Beiblatt zur Vierteljahrsschrift
der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich.

1932 **No. 20.** **Jahrg. 77**

Geologische Nachlese Nr. 30

Bergsturz und Menschenleben.

Von

DR. ALBERT HEIM

gew. Prof. der Geologie, Zürich.

Mit 29 Figuren im Text und 9 Figuren auf 5 Tafeln.

Als Manuskript eingegangen am 7. Juli 1932.

Inhalt.

Seite

Inhaltsverzeichnis 1
Einleitung 5

Erster Teil: Die Bergstürze.

Die Formung der Berge (Verwitterung und Talbildung) 5
Die Bergstürze im Überblick 11
Unterscheidung von Typen 14

I. Hauptgruppe: Schuttbewegungen mit vorherrschend schleichender Talfahrt 16
Typus I. Gekrieche, Solifluction 16
Typus II. Einmalige Schuttrutschungen 17
Typus III. Periodisch sich wiederholende Schuttrutschungen . . 18
Typus IV. Chronische Schuttrutschungen 19
Die Erscheinungen von II, III und IV 21
Abriss, klaffende Spalten, Wülste 23
Scherklüfte und Rutschflächen 27
Das Fliessen 32
Entwässerung zur Abwehr 34
Block- und Schlammablagerung, Ursachen, Zwerge . . . 37
Typus V. Schuttstürze (Bilten) 39
Typus VI. Trockene Schuttströme 40
Unterseeische Schuttrutschungen 41
Typus VII. Ufereinbrüche 41
Typus VIII. Uferabrutschungen 43

Seite

II. Hauptgruppe: Felsablösungen mit schleichender Talfahrt 43
A. Ohne Zerstörung der Lagerung 44
Typus IX. Sackungen 44
Typus X. Schiefe, langsame Abrutschung zusammenhängender Felsmassen 45
B. Unter Zertrümmerung und Verstellung des Bewegten übergehend in Trümmerströme 46
Strömungskonglomerate aus Fels, Eis oder Schnee . . . 46
Typus XI. Abtrennung und Bewegung auf Schichtflächen (Campo-Valle Maggia etc.) 49
Typus XII. Abtrennung unabhängig von der Schichtung (Brienz, St. Moritz, Sörenberg) 55

III. Hauptgruppe: Felsstürze 60
Vergleich von Schleichstrom und Wurfstrom 60
Typus XIII. Steinschlag und Steinlawinen 64
Typus XIV. Felssturz (Schlipfsturz) 70
Über einige Abrissgebiete von Typus XIV 71
1. Rossberg — Goldau 71
2. Ennetbühl 74
3. Slavini di San Marco 74
4. Kandertal 75
5. Oeschinensee 76
6. Flims 76
7. Sierre 77
8. Engelberg 78
9. Südkette des Säntis 78
10. Deyenstock — Netstal 80
Typus XV. Felssturz (Fallsturz) 80
Über einige Abrissgebiete von Typus XV 80
Die stürzende Talfahrt von XIV und XV 82
Steinlawinen, Vorderglärnisch 83
Trümmerstrom (Schußstrom, Wurfstrom, Sturzstrom) . . . 84
Die allgemeinen Erscheinungen der Felssturzströme 85
Trümmerbewegung, Staubbildung 85
Brandung 87
Teilung und Ablenkung 91
Luftsprung 92
Geschwindigkeit 92
Strombild (Fluidalstruktur, Strom als Ablagerungsgebiet) . . 94
Strömung ohne Gefälle 98
Anordnung der Blöcke nach Grösse 100
Randwälle, Aufschürfen 100
Grossblöcke, anstehenden Fels vortäuschend 102

Seite
Steinfolge im Trümmerstrom von Elm 104
Bergsturzschutt als petrographisches Produkt, verglichen mit anderen Schuttbildungen 105
Von Augenzeugen Gesehenes (Goldau, Elm) 108
Trümmerströme als allgemeine Erscheinung 112
Tabelle der Maße einiger der grossen Felsstürze . . . . 114—119
Ergänzungen und Erläuterung zu der Tabelle . . . . . 112—120
a) Die Böschungen . . . . . 112—120
b) Verhältnis von Fahrböschung zu Masse 121
(Airolo Montbiel, Spirigen, Zarera, Elm, Goldau, Kandertal, Flims)
c) Felsstürze mit Trümmerströmen unter verschiedenen Umständen 130
(Diablerets, Disentis, Bormio, Parpan, Saoseo, Poschiavo, Estavayer)
Das Leuchten des Felssturzes 140
Das Getöse der Felsstürze 140
Der Windschlag der Felsstürze 142
Physikalisch-mechanische Betrachtung 143
Typus XVI. Chronische Felsstürze (Felsberg, Riseten) 152
IV. Hauptgruppe: Oben nicht einzuordnende Typen . . 154
Typus XVII. Zusammengesetzte Bergstürze 154
(Yvorne, Schönegg, Vitznau)
Typus XVIII. Unvollständige (unterbrochene) Bergstürze . . . 156
(Arbino, Aegerti-Brienz)
Typus XIX. Nachstürze (Risikopf) 163
Typus XX. Weitere, noch nicht erkannte Typen 164
V. Weitere Erscheinungen verschiedener Bergstürze . . 165
Bergstürze und Quellen 165
1. Quellen erzeugen Bergstürze 165
2. Bergstürze erzeugen Quellen 165
Bergsturzlandschaft 168
Bergsturzseen (dauernde) 168
Vorübergehende Bergsturzseen 172
Ursachen der Bergstürze 174
Ursache und Auslösung 175
Erdbeben, tektonische Bewegungen 177
Bergstürze, durch Menschen verursacht 180
Die eiszeitlichen Bergstürze 183
Übersicht der Typen 184

Zweiter Teil: Das Verhalten der Menschen zum Bergsturz.

Vorboten, von den Menschen beobachtet, aber nicht gewürdigt . . 185
(Corbeyrier, Plurs, Diablerets, Goldau)
Die Vorbereitung der Bergstürze 188

Seite
Vom Kilchenstock in Linthal und den dortigen Vermessungen . . 190
Die Einstellung der Menschen auf die Bergstürze 197
in Goldau 197
in Elm vor dem Absturz 199
Einstellung der Tiere 203
Das Benehmen der Menschen in Elm während des Bergsturzes . . 204
Der Tod durch den Bergsturz 207
Es muss anders werden! 209
Die Mittel zum Schutz der Menschenleben 210
Schlusswort 214
Nachtrag zu Kilchenstock 214

Das Figurenverzeichnis, sowie die T Fig. befinden sich Seite 217 u. f.

Einleitung.

Unser Neujahrsblatt der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich auf das Jahr 1882 gab eine kurze Zusammenfassung mit einem Versuch zur Einteilung der Bergstürze in verschiedene Arten. Seither hat sich die Erfahrung und Untersuchung gemehrt, der Überblick erweitert und die praktischen Fragen haben sich klarer gestellt. Die hier folgende Darlegung ist eine wesentliche Erweiterung von derjenigen des Neujahrsblattes 1882, wobei im Interesse einer umfassenden zusammenhängenden Darstellung einzelne Wiederholungen nicht gescheut werden sollen. Es war für mich gegeben, dass ich mich hauptsächlich von Beobachtungen und Erfahrungen leiten liess, die ich selbst während meiner über 50jährigen praktischen Tätigkeit in diesem Gebiete machen konnte. Die Benützung von Publikationen anderer Autoren ist hingegen zu meinem Bedauern etwas spärlich ausgefallen. Die Hauptschuld daran trägt mein schlechtes Gedächtnis, das solche Arbeit furchtbar erschwert. Selbstverständlich halten wir uns vorwiegend an unsere Alpen. Die hier festgestellten Erscheinungen finden sich aber ebenso in andern Gebirgen oder Hügelländern der Erde — selbst Flachländer haben ihre Bodenbewegungen in ihren Verwitterungskrusten. In der Literatur finden wir nur hie und da eine Beschreibung eines einzelnen Falles, solche sind schwierig zu sammeln. Ein Werk über Bergstürze im ganzen ist mir nicht bekannt.

Erster Teil: Die Bergstürze.

Die Formung der Berge (Verwitterung und Talbildung).

Blicken wir zurück in die Entstehungszeit unserer Alpen, so erkennen wir aus der genauen Prüfung des Gebirgsbaues, dass in den Zentralalpen ungeheure Gesteinsmassen in Falten und auf Rutschflächen übereinander geschoben worden sind, 50 bis 100 km weit aus S bis SE gegen N bis NW, ein gewaltiges Schichtenpaket über das andere, so dass schliesslich ein plumper Gebirgsklotz von 10 bis 20 übereinander geschobenen und wieder gefalteten Streifen der Erdrinde und von bis über 50 km Dicke entstanden war. Schon während diesem Geburtsakte der Alpen haben Verwitterung und Talbildung diesen mächtigen, teilweise einsinkenden Gebirgsschild von aussen angegriffen, gegliedert und zu einem prachtvollen Hochgebirge ausgemeisselt, und dieser Vorgang dauert stetig fort; er wirkt nicht nur periodenweise, wie die Türmung der Gebirge durch die Bewegungen der Erdrinde. Die beiden Vorgänge Verwitterung und Talbildung arbeiten stets nebeneinander und miteinander in gegenseitiger Förderung.

Die Verwitterung beruht erstens auf der langsamen chemischen Umwandlung oder Auflösung sämtlicher Gesteine durch Wasser, Luft (besonders Sauerstoff und Kohlensäure), Verwesungs- oder Ausscheidungsprodukte der Pflanzen und Tiere, komplizierte Umsetzungen innerhalb der Mineralstoffe selbst, gelegentlich auch vulkanische Dämpfe, und zweitens auf mechanischer Zertrümmerung durch Temperaturwechsel, besonders Frost nach Durchnässung, durch Absturz oder Transport durch fliessendes Wasser, Eis, sandführenden Wind, sprengende Pflanzenwurzeln.

Die Ausspülung der Gesteinstrümmer geschieht durch das sich sammelnde, in der Richtung des grössten Gefälles abfliessende Wasser, dessen Stosskraft proportional ist der Wassermasse und dem Quadrat der Wassergeschwindigkeit. Das gesammelte Wasser gräbt Rinnen aus, die weiter ausgeschliffen werden durch Steintrümmer (die Gerölle oder Geschiebe), wobei die Geschiebe die Rolle der Feile, das Wasser den Motor spielt. Das Abschlagen oder Abfeilen ist stets beidseitig: die Rinne am Fels wird durch konkave Erosionskesselreihen vertieft, und die Geschiebe werden gleichzeitig konvex gerundet, verkleinert, zerschlagen und zerrieben zu Sand und Schlamm.

Die Rinnen vertiefen sich, verlängern sich rückwärts (bergeinwärts dem Wasser entgegen) und verzweigen sich bergaufwärts. Die Verwitterung besorgt das Abschrägen der Gehänge beiderseits der Rinnen. Dadurch erhält die Ausspülung wieder neues Material zum Feilen und Ausschleifen.

Jede Gebirgsfläche, die durch Ausspülung aus dem Klotz freigeschnitten und zur Oberfläche geworden ist, erträgt nur ein bestimmtes Gefälle als Höchstes. Wir nennen dasselbe die Maximalböschung. Sie hängt ab von der Art und dem Zustande des Gesteines. Frische Gesteine ertragen eine steilere Böschung; durch mehr und mehr Eindringen der Verwitterung nimmt sie ab. Bricht ein Stück aus einer Maximalböschung heraus, so ist nun das nächst obere ohne Stütze, so dass jeder Nischenausbruch an einem Gehänge in Maximalböschung im Laufe der Zeit durch Nachbrechen aufwärts wandert, bis er als Bresche im überliegenden Grate erscheint. Auch Nachbrüche verzweigen sich beim Hinaufwandern und erweitern die sich bildende Steinschlagrinne zu einer halbtrichterförmigen Nische. Jede Maximalböschung kann immer nur lokal und vorübergehend überschritten werden. Durch Nachbrüche wird wieder das Gehänge auf Maximalböschung ausgeglichen.

Jeder Stein, der sich aus einer nahezu maximal steilen Felswand herauslöst, stürzt ab. Er kann erst anhalten auf den Schutthalden, die

überall am Fuss der Steilgehänge durch die Steinschläge sich anhäufen. Schutthalden bilden sich unter Felsgehängen mit wenig ausgeprägten Rinnen. Sind die Rinnen, die Steinschlagwege, gut ausgegebildet, so werden durch diese die Steinschläge auf einzelne Stellen gesammelt und es häuft sich der Schutt am unteren Ende der Rinne in Kegelform an. Aus jeder Steinschlagfurche wächst ein Schuttkegel heraus. Solche Schuttkegel nennen wir „trockene". Sammelt die Furche auch Wasser oder führt sie solches wenigstens zeitweilig, so wird die Böschung des Schuttkegels weniger steil. Je grösser die mittlere Wassermenge, desto flacher wird der Schwemmkegel. Das Endglied der ganzen Reihe ist schliesslich das Delta eines Flusses. Auch das Delta hat noch stumpfe Kegelform, Böschung der Mantellinie oft nur wenige ‰, endlich nur kleine Bruchteile von 1‰.

Die Böschung von trockenen Schutthalden und Schuttkegeln ist um so steiler, je grobkörniger und rauhbrüchiger das Gestein ist. Glatt brechende Steinarten geben flachere, mergelig schlüpfrige noch flächere Halden. Die Reibung ist also das Maßgebende für die Schutthalden und Schuttkegelböschungen. Folgende Böschungszahlen geben ein Bild dieser Erscheinungen:

Schuttablagerung aus fliessendem Wasser:

Fluss-Delta ½ bis 1°,
Kleiner Fluss 1 bis 3°,
Grosser Wildbach 3 bis 10°,
Kleiner Wildbach 10 bis 20°.

Übergang zum trockenen Schuttkegel 20 bis 25°.

Trockene Schuttablagerung:

Trockener Schuttkegel aus Mergel um 25°,
„ „ „ „ Tonschiefern 26 bis 29°,
„ „ „ „ Kalksteinen um 32°,
„ „ „ „ Gneiss 34°,
„ „ „ „ Syenit, Granit 35 bis 40°.

Steinschlag liefernd:

Felsgehänge vorherrschend schuttfrei 35 bis 50°,
Felsgehänge immer schuttfrei 50 bis 90°.

Folgende Notizen mögen noch von Interesse sein: Mit glatter Schuhsohle auf glattem Eis bei Temperatur einige Grade unter Null gleitet man schon bei 1 bis 2° ab. Mit genageltem Schuh auf glattem Eis kommt die Unsicherheit zwischen 5 bis 10°. Auf körnigem Gletschereis bei Lufttemperatur unter 0° steht man mit genageltem Schuh fest bei 5 bis 10° Neigung, bei über 0° noch bis über 30°. Polierte ebene Steinflächen rutschen bei 10 bis 12° übereinander ab. Glatter unpolierter Stein bei 20 bis 25°; rauh gebrochener Stein bei 30 bis 40°. Glatte Schuhsohle auf glatter Steinplatte rutscht ab bei 25 bis 30°, auf rauher Steinfläche steht er noch bei 30 bis 35°, genagelter Schuh auf gewöhnlicher Steinplatte steht bei 30 bis höchstens 40° — barfuss noch sicherer bis ca. 42°. Bei 30° Gehängeböschung beginnt bei

Ungewohnten die Unsicherheit und das Gefühl von Schwindel. Bei 40° wird es bei Ungewohnten allgemein. Unter 30° bleibt ein Stürzender auf gewöhnlichem Berggehänge liegen, gegen 40° rutscht er hingegen weiter ab und hat Schwierigkeit, sich wieder zu halten. Steilere Gehänge kann ohne Weg und ohne Gefahr nur derjenige begehen, der seines Schuhes und Trittes sicher ist und nicht ausgleitet.

Die Grösse der Trümmer hat keinen bedeutenden Einfluss auf die Böschung trockener Schuttkegel und Schutthalden. Indessen entsteht eine gewisse Anordnung dadurch, dass die kleineren Trümmer schon im oberen Teil des Schuttkegels liegen bleiben, die grösseren und die grossen Blöcke den Fuss, den unteren Umkreis des Kegels erreichen. Ganz frisch gebildete Schutthalden sind 1 bis 3° steiler als schon älter liegende, die etwas zusammengesunken und verfestigt sind. Durch weiteres Eindringen der Verwitterung mit Abtrag durch Steinschläge kann jede Felswand langsam ihre Böschung schliesslich vermindern bis auf die Böschung ihrer eigenen Schutthalden. Der Fels zerfällt und schrägt sich ab, weil sein innerer Zusammenhang aufgehört hat und seine Maximalböschung stetig gesunken ist. Gehänge, steiler als die Schutthalden, sind dann nicht mehr möglich. Die Maximalböschung ist zurückgegangen auf die Schutthaldenböschungen. Grössere Formveränderungen können erst wieder dadurch eintreten, dass fliessendes Wasser neuen Angriff mit neuen Steilstellen schafft.

Schutthalden und Schuttkegel auf Terrassen oder am Fusse der Felsgehänge sind nur zeitweise, vorübergehende Umladeplätze für die Verwitterungsspäne des Gebirges. Eine Gehängefurche, ein Bach, ein Talfluss kann sie anschneiden und weiter verarbeiten und verfrachten. Der ganze Vorgang kommt erst zu dauerndem Stillstand, wenn alle Böschungen auf diejenigen grosser Delta, das heisst auf fast horizontale Fläche abgeschwemmt, also das Gebirge vollständig abgetragen ist. Gebirge entstehen und Gebirge vergehen.

Wir kennen mächtige Faltengebirge aus der Steinkohlenzeit, die jetzt gänzlich zur Tiefebene abgetragen und mit horizontalen, jüngeren Schichten (Kreide und Quartär) überdeckt sind (z. B. Umgebung von Aachen).

Die Rinnen, durch Ausspülung entstanden (Erosionsrinnen), schneiden sich im jungen Gebirge erst vertikal ein, dann beginnt der Fluss horizontal zu schwanken unter Bildung von Serpentinen. In beiden Fällen greifen die Flüsse den Fuss der Gehänge an. Dort entstehen vorübergehende übermaximale Böschungen, das Gehänge bricht nach; die Seitenwände der Schlucht vermindern ihre ursprüngliche Steilheit und rücken bergeinwärts. Immer besorgt die Ausspülung durch fliessendes Wasser die Vertiefung und den Sohlenangriff, die Verwitterung dagegen die Abschrägung der Gehänge und Erweiterung des Tales nach oben.

Der Sprachgebrauch wirft leider heutzutage noch immer die Begriffe Härte und Festigkeit durcheinander. Härte ist die Widerstandsfähigkeit gegen Anritzen, Festigkeit diejenige gegen Formveränderung durch Druck und Zerfall durch Verwitterung. Die gegen Verwitterung widerstandsfähigen Gesteine sind nicht immer die härteren. Die Verwitterung schält im Gebirge die leichter verwitterbaren Gesteine heraus und lässt die festeren vorragend stehen. Durch steile Maximalböschungen zeichnen sich zum Beispiel manche Kalksteine, manche Dolomite aus, während dazwischen liegende Tonschiefer oder Sandsteine oder gar Granite flach abgeschrägte Gesimse bilden. Der Kalkstein oder Dolomit ist aber viel weniger hart als manche Tonschiefer, Sandsteine und Granite, durch die sie sich leicht ritzen oder ausschleifen lassen, aber die härteren sind in der Masse oft von brüchigerem, spröderem Gefüge. Dagegen ist die wirkliche Härte der einzelnen Bestandteile von Geröllen im fliessenden Wasser sehr bedeutend für das Ausschleifen im Felsgrund (Erosionskessel, Kesselschluchten). Da erreicht die höhere Härte mehr als die höhere Festigkeit.

So wechselvoll auch an einem Bergabhang von 1000 bis 3000 m Höhe die Böschungen sich eingestellt haben, so beträgt doch die Summenböschung vom Gipfel bis an den Rand der Talsohle in den Alpen nur sehr selten über 45°, meistens bedeutend weniger.

In reichlich mannigfaltigen Formen entwickelt sich ein grossartiges Arbeitssystem zur Talbildung: Ausreiben der Rinnen, Abschälen der verwitterten Rinden, Entblössung wieder frischeren Gesteines, Steinschläge, Schutthalden, Steinschlagrinnen („Züge"), trockene Schuttkegel, Bäche, Flüsse, Gehängenischen, Rüfenen (rovina), Muhrgänge, Rutschungen von Schutt und Fels und Bergstürze aller Arten und Dimensionen, das sind alles Erscheinungen der Talbildung und Modellierung der Berge. Die rückwärts sich verlängernden und verzweigenden Täler durchschneiden einander, die Reste der ursprünglichen Schiltform des Alpenkörpers sind verschwunden; an ihre Stelle sind scharfe Wasserscheidegräte getreten. Die Berge, die zwischen den Tälern aufragen, sind nur noch Reste, herausgemeisselt aus dem Massenkörper des Gebirges. Die schönen Bergformen sind ein Gewirr von Ruinen, zugeschnitten von unten nach oben. Früher hat man immer den Betrag der Modellierung des Gebirges durch Verwitterung und Ausspülung ganz unterschätzt. Man wollte die Türmungsgeschichte eines Berges aus seinen heutigen Formen erkennen, man hielt die grösseren Täler für klaffende Risse, das Fehlen von Zusammenhängen in horizontaler Richtung für Zerreissungen. Man traute der Verwitterung und Ausspülung nur die Schöpfung von Kleinformen zu. Erst eine eingehende Untersuchung und Kartierung des Gebirges lehrte allmählich erkennen, wie der Gesteinszusammenhang ursprünglich war, und was über unseren

Tälern und Gipfeln heute fehlt. Man kann in den geologischen Querprofilen, wie Längsprofilen die Unterbrüche, die Lücken, die verschwundenen Gewölbebogen u.s.w. erkennen und als nicht durch Auseinanderreissen, sondern durch Erosionseinschnitt und Abtrag entstanden, bestimmen. Material ist herausgeschnitten worden! So hat sich denn unwiderruflich ergeben, dass über den nördlichen Zonen des helvetischen Deckengebirges bis zu 6000 m Gestein verschwunden sind, über dem Glärnisch fehlen wohl 4000, über dem Tödi 8000 m. Ueber den penninischen Alpen im Wallis fehlen 15 bis 18 km Gesteinsmantel. Von den untersten tessinischen Deckenstockwerken sind Gesteinsmassen von 30 bis 35 km Dicke abgetragen worden, und die ergänzte tektonische Firstlinie der Alpen kommt vom Puschlav über Bellinzona, Locarno, Südfuss des Monte Rosa in eine Meereshöhe von etwa 50 km zu liegen; da hat also ein Abtrag durch Verwitterung und Abspülung von im ganzen etwa 45,000 m stattgefunden! (Verglichen Neujahrsblatt der Naturf. Ges. Zürich 1927. Alb. Heim: Die Gipfelflur der Alpen.) Die Zentralalpen haben nur noch $^1/_2$ bis $^1/_{10}$ ihrer angebornen Höhe!

Sicherlich arbeitete der Abtrag vom ersten Momente an, da das Land aus dem Meere emportauchte, und er arbeitet noch jetzt. Zeitweise mögen die Alpen bedeutend höher gewesen sein als jetzt, aber wir dürfen sie uns nicht jemals in ihrer „angeborenen Höhe" von 20 bis 50 km vorstellen. Einsinken des gefalteten Gebirgskörpers in die Erde durch seine Last, Schwimmen auf tieferen plastischen Schichten hat der möglichen Höhe stets ihre Grenze gesetzt.

Der jetzt aus dem Alpenkörper herausgemeisselten Gebirgslandschaft müssen ungezählte, anders gestaltete vorangegangen sein. Immer wurde im Laufe der weiten Zeiträume wieder ein verändertes, ein neues Relief, mit neu umgestalteten Bergen, umgestalteten Tälern und Seen eingetieft. Manches wurde dabei ganz aufgezehrt, zerstört und ganz neues gestaltet. Einzelne Züge im Relief des Gebirges haben sich lange gehalten und gewissermassen vom früher vorhandenen Relief aus in immer tiefer liegende Gesteinszonen hinabgeprägt. Man kann sich denken, wie verwickelt die Geschichte und die Ursachen mancher heutiger Gestalten oft sind. Es ist naiv, die Entstehung solcher Bodenformen aus den nächstvergangenen allein verstehen zu wollen.

An den Gehängen des immer tiefer greifenden Reliefs führten Millionen von Steinschlagrinnen die kleineren Verwitterungssplitter in die schäumenden Exportrinnen hinab, während die in grösseren Schuppen gelösten Gesteinsmassen im Verlaufe der Zeit in

vielen tausenden von Bergstürzen niederdonnerten — und weitere tausende solcher Ereignisse werden noch nachfolgen.

Unser Leben ist kurz. Das Gedächtnis der Menschheit als Ganzes schwach. Die wenigen Bergstürze, die wir miterlebten, haben den Eindruck hinterlassen, die Bergstürze seien ganz ungewöhnliche, ausserordentliche Erscheinungen. Allein, es ist nicht so. Die Bergstürze sind normale Erscheinungen der Gebirge. Im Gebirge, besonders im Hochgebirge, haben sie ihr Heimatrecht. Hier müssen sie helfen am Modellieren und am endlichen Schleifen der Gebirge, welche Formungsvorgänge unabänderlich, rücksichtslos und stetig fortarbeiten.

Im Gebirge haben wir von Zeit zu Zeit, von Ort zu Ort Bergstürze zu erwarten.

Die Bergstürze im Überblick.

Der Name „Bergsturz" enthält eine Übertreibung. Die Natur lässt es wohl nie so weit kommen, dass ein ganzer Berg auf einmal stürzt. Das Wort darf uns nur sagen Sturz am Berge oder Sturz vom Berge. Das französische Wort éboulement ist besser. Aber auch das Wort „Sturz" ist bei der Hälfte dieser Erscheinungen noch zu viel. Die Hauptsache ist der Niedergang, die Talfahrt. Sie braucht kein wilder Sturz zu sein, sie kann auch ein langsames Fliessen oder Gleiten sein.

Die allgemeine Ursache der grossen Mehrzahl der Bergstürze ist die Untergrabung eines Gehänges mit Ausbildung einer übermaximalen Böschung. Das gestörte Gleichgewicht muss sich wieder herstellen durch Abschrägung des Gehänges auf oder unter die Maximalböschung. Verwitterung und Talbildung sind also die normalen Ursachen. Ausnahmsweise gibt es auch noch andere besondere Ursachen. Darauf kommen wir zurück. Von der Lösung eines einzelnen Steines an einem steilen Abhang, der dann in Sätzen zu Tale stürzt, bis zum gewaltigen Bergsturz besteht eine Reihe mit allen Zwischenformen.

Bei jedem Bergsturz haben wir zu unterscheiden:

I. Oberes Gebiet, von welchem die Gesteinsmassen sich lostrennen: **Abrissgebiet.** II. Mittleres Gebiet, durch welches sich die Gesteinsmassen zur Tiefe bewegen: **Fahrbahn, Sturzbahn** (Bewegungskanal, Weggebiet). III. Unterer Teil, in welchem die Trümmer zur Ruhe kommen und sich aufhäufen: **Ablagerungsgebiet.** Im Abrissgebiet hat ein Materialverlust eine Abtragung oder Erniedrigung des Bodens, im Ablagerungsgebiet eine Erhöhung stattgefunden. Das Volumen der Ablagerung ist ungefähr gleich dem Hohlvolumen des Abrissgebietes, vermehrt um den Volumenzuwachs durch die Auflockerung. Während unmittelbar am Fuss einer

Steinschlagrinne, wo ein Stein nach dem andern fällt und rutscht, regelmässig kegelförmige Aufschüttung, auf welcher der einzelne Stein zum Stillstand aufgehalten wird, sich einstellt, muss die gewaltige Energie, die durch den Bergsturzfall sich in den Trümmern angesammelt hat, erst noch sich austoben, bis das Trümmerwerk liegen bleiben kann. Die Schutthaufen oder Schuttströme der Bergstürze reichen deshalb weit über den Fuss der Gehängewand hinaus, oft fast horizontale Ebenen überfahrend oder an im Wege stehenden Gehängen hinaufbrandend. Die Ablagerungen bilden manchmal ein unregelmässiges Haufwerk, erinnernd an die Formen einer tobenden Brandung.

Viele Bergstürze, eigentlich die grosse Mehrzahl, sind kaum beachtet, bald vergessen, und nirgends, oder nur in einer Zeitungsnotiz, erwähnt worden. Nur grössere, besonders solche, die bis in die Region des Kulturlandes eingeschlagen haben, bleiben im Gedächtnis der Menschen und sind durch Chronisten der Geschichte überliefert worden. Manche kennt noch die Sage, oder Ortsnamen verraten sie („Gand", „Teufelsfriedhof").

Viel grösser als die Zahl der historisch bekannten Bergstürze ist die Zahl derjenigen, welche der Geologe noch sehen kann. Jede gute geologische Karte eines Stückes der Alpen weist solche auf. Die geologische Karte 1 : 50,000 des Kantons Glarus z. B. gibt zirka 60 Bergstürze an. Die übrigen geologischen Karten verzeichnen für die ganzen schweizerischen Alpen etwa 1500 solche. Das sehr verdienstliche Verzeichnis der in der Geschichte notierten Bergstürze, das Dr. DAMIAN BUCK (von +563 bis 1910) für die Schweiz aufgestellt hat, nennt deren etwa 135, ohne vollständig sein zu wollen. Man kann, in Rücksicht auf die Unvollkommenheit der niedergeschriebenen Notizen und die Verborgenheit mancher derselben, diese Zahl füglich auf zirka 150 angeben. In den ganzen Alpen haben jedenfalls in geschichtlicher Zeit weit über 500 Bergstürze stattgefunden. Aber was sind die Alpen im Vergleich zu den Hochgebirgen von Asien, und was ist die „geschichtliche Zeit" im Vergleich zur Vergangenheit!

Wir lassen eine kurze Aufzählung einiger der interessantesten Bergstürze vorhistorischer und historischer Zeit folgen. Selbstverständlich ist sie nicht vollständig, im prähistorischen nur als einige Beispiele gegeben, im historischen vielleicht etwa ein Viertel; und ich habe dabei nur die Schweiz und nächste Randregion benützt.

Beispiele für vorhistorische Bergstürze in der Schweiz:

Eiszeitlich (interglazial oder interstadial)

Engelberg, Sierre, Flims, Glärnisch-Gleiter und -Guppen etc.

Postglazial vorhistorisch

Deyenstock-Netstal, Salez (Rheintal), Barriere des Poschiavosees, Barriere des Davosersees, Barriere des Voralpsees, Parpan, Bergellertal, viele kleinere und grosse Bergstürze prähistorisch bis historisch, Kernwald (Unterwalden), Kandertal u. a.

Historisch notierte

+563 Zerstörung von Tauretunum (Unterwallis).
1110 Ein Teil des Dorfes Bürglen (Uri) verschüttet.
„Im 13. Jahrhundert" Dorf Grimenz (Val d'Annivier, Wallis) ganz verschüttet.
1435 Ufereinbruch in Zug.
1486 13. VI. Dorf Zarera am Berninapass, Südseite, ganz zerstört, zirka 300 Menschen begraben.
1512 IX. Bergsturz ab Pizzo magno ob Biasca staut das Val Blenio. 1514 Ausbruch des Sees, 600 Tote.
1512 IX. Dorf Campo Bargigno (Tessin, Val Calanca) verschüttet.
1535 XI. Rädlisau bei Bischofszell, grosse Schuttrutschungen.
1545 Val de Bagnes Entremont, Badeort Curru und Dorf zerstört.
1573 Septimer, Dorf Casaccia geschädigt (seither das gleiche schon mehrmals wiederholt).
1584 III. Corbeyrier und Yvorne, Bergsturz ab Tour de Mayen, über 330 Tote.
1593 etc. Felsstürze vom Vorderglärnisch.
1597 31. VIII. Dorf Simpeln am Simplonpass verschüttet, 81 Tote.
1618 (4. IX.?) Plurs, grosser Flecken im Bergell ganz eingedeckt, über 2000 Tote.
1683 Disentis, Rhein gestaut, 22 Tote.
1689 Saas (Prättigau), Felssturz.
1700 14. XI. Aumühle, Thurgau, grosser Bergschlipf.
1714 / 1749 Diableret (Wallis), Südseite, zirka 20 Menschen tot.
1749 Aven bei Sitten, das ganze Dorf mit allen Einwohnern verschüttet.
1770 Monbiel, Oberprättigau, 17 Tote.
1794 Ferreratal (Avers).
1795 Weggis (Vierwaldstättersee), Schuttrutschung, stiess 31 Häuser in den See.
1805 Busserein bei Schiers im Prättigau verschüttet.
1806 2. IX. Goldau, 457 Tote, 110 Häuser zerschlagen.
1808 Tirano im Veltlin, grosser Bergsturz.
1834 bis 1867 Felsstürze über Felsberg, Südcalanda.

1835 Absturz von der Westflanke der Dents du Midi.
1858 Dorf Santa Maria, Veltlin, verschüttet.
1868 IV. Bilten (Kt. Glarus), Schuttsturz.
1868 27./28. IX. Bodio, Tessin. Verschüttet wurden 22 Menschen, 30 Häuser, 40 Ställe und viel Vieh.
1875 IX. Ufereinbrüche Horgen (Zürichsee).
1876 VI. Viele Schuttrutschungen, Herdern etc.
1876 Pörtlialp Fellital, Granitsturz.
1878 Brienz, Graubünden.
1879 XII. Vitznauerstock, Vierwaldstättersee.
1881 11. IX. Elm, 115 Tote.
1887 5. VII. Ufereinbruch in Zug.
1890—1910 sehr reich an Rutschungen und kleineren Bergstürzen.
1897 IX. Sattel (Kt. Schwyz), Rutschung.
1898 XII. Sasso Rosso Airolo, 3 Tote.
1901 III. Fletschhorn (Fels- und Gletschersturz) Simplonpass.
1907 11./12. V. Kiental (Berner Oberland).
1919 Rossberg, Gwandenfluh, Felsrutschung.
1910 Sörenberg, Entlibuch.
1928 Arbino (Tessin).

Die Gesamtzahl der Menschen, die in historischer Zeit in der Schweiz von Bergstürzen begraben worden sind, mag zwischen 4600 und 5000 liegen. Die Zahl der Tiere (Rinder, Pferde, Schafe, Ziegen) ist wohl mehr als doppelt so gross.

Unterscheidung der Bergstürze in verschiedene Typen.

Die Erscheinungen der Bergstürze sind im allgemeinen noch wenig untersucht worden, und die Berichte ihrer Zeitgenossen sind meistens sehr spärlich. Sicherlich ist ihre Mannigfaltigkeit gross. TSCHARNER war wohl der erste, der (1807) als Beobachter die Bergstürze beurteilte. BALTZER versuchte 1875 (Jahrbuch des S. A. C.) zum erstenmal eine Einteilung der Bergstürze nach Art der Bewegung (Rutschungen und Stürze). Dann folgte mein Versuch von 1882 (Schuttbewegungen und Felsbewegungen, und bei beiden die Unterabteilungen Rutschungen und Stürze, im Neujahrsblatt der Naturf. Ges. Zürich). Immer mehr zeigten sich solche, die in dieses System nicht recht passten, sonderbare Zwischenformen. Schliesslich überzeugte ich mich, dass eine durchgreifende reihenmässige Gliederung kaum möglich ist. Immerhin ist die Einteilung in Schuttbewegungen und Felsbewegungen beizubehalten. Statt Reihen sind eher einzelne Typen mit Übergängen in verschiedener Richtung zu unterscheiden. Das führt mich heute auf etwa

20 Typen. Dazu kommen dann noch eine ganze Anzahl von Verschiedenheiten in den Folgeerscheinungen. Es gibt kaum zwei Bergstürze, die ganz gleich verlaufen wären. Fast jeder ist eine eigene Tat und will für sich selbst studiert sein. Wir wollen die bis jetzt bekannt gewordenen Typen kurz durchgehen und ihre charakteristischen Merkmale und Erscheinungen nennen. Dabei ist zu beachten, dass von Bergstürzen, älter als 50 bis 100 Jahre, die Berichte ganz ungenügend sind. Auch die Zahl der Geologen, welche Bergstürze untersucht und beschrieben haben, ist nicht gross und ihre Publikationen sind spärlich und vereinzelt.

Ich bin der Überzeugung, dass auch meine jetzige Einteilung in Typen nichts Definitives, sondern nur etwas Vorläufiges, Unvollständiges sein kann — immerhin ein Fortschritt über 1882. Dass ein anderer Geologe zwischen 1882 und heute einen Versuch zu einer systematischen Behandlung der Bergstürze gemacht hätte, ist mir nicht bekannt.

Am Bergsturz ist das Wesentlichste die Bewegung der Masse von oben nach unten. Die Art der Bewegung ist das innerlich Eigentümlichste, Ergreifendste und Umfassendste vom Beginn bis zum Stillstand. In der Bewegung suchen wir deshalb mit Recht Unterschiede der Typen und darin eine natürliche Einteilung.

Die Schwere ist die Ursache der Bewegung. Ihre Ungleichheiten durch geographische Breite, Mondphase (Gezeiten) etc. sind zu gering, um sich an den Bergstürzen zu zeigen. Wie sich der Bergsturz unter ganz anderen Schwereverhältnissen, z. B. auf dem Monde vollzieht, ist noch unbekannt. Für uns bleibt die Schwere praktisch eine konstante überall gleiche Ursache. Grössere Variationen bietet das spezifische Gewicht der Gesteinsmassen. Dasselbe schwankt zwischen 2,5 und 3 — selten darunter oder darüber. Gewiss muss ein Felssturz aus Basalt ein etwas schärferes Temperament entwickeln, als ein solcher aus Gips oder gar Steinsalz. Aber um dies vergleichend beobachten und messen zu können, werden Gelegenheiten nicht leicht sich finden.

Gewiss könnte man über einzelne Erscheinungen der Bergstürze mit Erfolg experimentieren, indem man z. B. Modelle in etwa 1 : 10000 und entsprechendem Steinschutt herstellen würde. Aber immer blieben Momente unfassbar, die in der Natur Grosses wirken. Die Resultate würden vielfach mit der Wirklichkeit schwer vergleichbar sein. Ich habe niemals solche Experimente versucht.

I. Hauptgruppe: Schuttbewegungen, mit vorherrschend schleichender Talfahrt.

Die harmloseste Schuttrutschung ist das **Gekrieche** oder die **„Solifluction"**. Sie ist lange unbeachtet geblieben. PENCK, G. ANDERSSON, HÖGBOHM, GÖTZINGER, TARNUZZER haben sich ihr angenommen. Die oberste Verwitterungsrinde an den Gehängen sinkt in Zeiten starker Durchnässung abwärts. Stellenweise reisst sie auf, stellenweise stösst sie sich mit dem aufliegenden Rasenpelz in kleine Faltenwülste zusammen. Häufiger Wechsel von Nässe mit Frost begünstigt stets dies Hinabkriechen. Es kann im Jahr einige Zentimeter bis einige Meter betragen. Die kriechende Verwitterungsschicht kann dünn (z. B. 5 bis 10 cm) oder auch bedeutend dicker (bis über 50 cm) sein. Das Gekrieche kann auch Steinblöcke mitbewegen, oder es kann sich in einen abfliessenden Schlammbrei auflösen. Es ist beschrieben worden von der Bäreninsel, den Falklandsinseln, aus Alaska, aus dem Ural, von Spitzbergen, aus den Alpen, aus dem Wienerwald. In den Polargebieten fehlt es wohl nirgends, wo der Boden eine Verwitterungs- oder Schuttrinde trägt und das Gehänge geneigt ist. Je frostreicher das Land, desto ausgeprägter das Gekrieche. Bei uns in den Alpen sieht man es oft in sehr schöner Entwicklung. Etwas abweichende Formen sind nicht selten. Oft sieht man bei mit einzelnen Blöcken überstreuten Wiesen im späteren Frühjahr den einzelnen Block nach unten dem Rasen angepresst, manchmal ihn etwas stauend, während auf der oberen Seite der Block dem Wiesengrund etwas voraus geeilt ist, so dass hinter dem Block eine scharfe Lücke von einem halben bis einigen wenigen Zentimetern klafft. Innerhalb des Gekriechs drängte der schwere Block vor. Das Gekrieche ist gewissermassen ein kindlicher Versuch, Bergsturzarbeit zu leisten.

An das „Gekrieche" schliesst sich die Erscheinung an, die Ingenieur MAX SINGER (Zeitschrift Oester. Ing. u. Archit. Verein 1902, Nr. 11) als „fliessende Hänge" beschreibt und abbildet. Die Schichtköpfe am Gehänge im Karlsbader-Granitgebirge sind durch Verwitterung so durchweicht, dass die Platten alle in der Richtung des grössten Gefälles unter dem Rasenfilz abwärts umgekrümmt und durch langsames Fliessen aufs schönste in dünne Schlieren ausgezogen worden sind.

Vielleicht ist es gerechtfertigt, hier gerade auch das „Hakenwerfen" zu nennen. An vielen Steilgehängen über geschichteten oder geschieferten Gesteinen senken sich die Schichtenköpfe mit einer Umbiegung talwärts, manchmal wenig tief, manchmal schon mehrere Meter unter der Oberfläche. Hie und da soll das Hakenwerfen Bergstürze vorbereiten. Zum Unterschied von den „fliessenden Hängen" ist die

hakenförmige Umkrümmung der Schichtköpfe meistens nicht plastisch weich verwittertes Gestein, sondern unter zahlreichen Brüchen und Verschiebungen ist sie zustande gekommen. Das Vorkommen ist nicht selten, aber sehr unregelmässig.

Als Typus I soll uns gelten: **Gekrieche (Solifluction)** einschliesslich „fliessende Hänge" (Singer) und Hakenwurf.

Typus II, III und IV sind die vorherrschenden Schuttrutschungen, auch „Erdrutsche", „Erdschlipfe", „gleitende Schuttbewegungen" genannt. Sie unterscheiden sich wie folgt:

Typus II: Schuttrutschungen, die sich in einer **einzigen Bewegungsperiode ganz vollziehen.**

Als einige Beispiele für Typus II mögen dienen:

1795 entstanden im Frühjahr oberhalb Weggis am Vierwaldstättersee Spalten am Abhang der Rigi. Am 15. Juli des gleichen Jahres wurde starkes Getöse vernommen und bald setzte sich der Schutt als viele Meter hoher Strom von ca. 1 km Breite in Bewegung. Die Bewegung hielt 14 Tage an, der Schutt ergoss sich bis in den See. Bewegliche Habe konnte gerettet werden, Kulturboden und Häuser wurden zerstört. Die schriftlichen wie die mündlichen Überlieferungen sind sehr unvollkommen, und das verwüstete Land ist längst wieder gründlich in bestes Kulturland verwandelt und mit Häusern besetzt worden. Heutzutage kann man keine Spuren des damaligen Ereignisses erkennen. Sicher aber ist, dass hier ein grosses Ereignis sich in einem Zuge bis zu Ende vollzogen hat. War es Gehängeschutt, war es Moräne, wir wissen es nicht.

Das Dorf Herdern im Kanton Thurgau liegt auf einer Terrasse, welche vom Sandstein und Mergelfels (Molasse) der Gegend gebildet wird. Oberhalb folgt ein gut bebautes Gelände von ca. 10° Böschung, welches aus 2 bis 8 m dickem fruchtbarem Schuttboden gebildet wird. Darüber folgt dann der Felsrand einer höheren Terrasse. Diese letztere war drainiert worden, dem Drainierwasser derselben aber gestattete man einfach im tieferen Gelände oberhalb Herdern wieder zu versickern und den Boden zu durchweichen. Nach ausserordentlichen Regenfällen entstand, von dieser Stelle aus immer weiter um sich greifend, vom 10. bis 13. Juni 1876 eine langsame Bewegung des Gehänges. Zahllose Risse im oberen Teil, Wülste im unteren verwüsteten auf etwa 50 Hektaren Fläche die Kulturen, verschoben die Eigentumsgrenzen und Bäume und zerstörten 6 Häuser. Das Wasser quoll aus dem Felsen oberhalb in die Abrissklüfte hinein, der Regen wollte nicht aufhören, die Risse überflossen von Wasser, die untersten hohen Bodenwülste waren am Dorfe angelangt, schon standen sie dicht hinter dem Schulhause. Man war keine Minute mehr sicher, ob nicht eine raschere Bewegung eintreten und das ganze Dorf zerstören werde. Wir trafen sofort sehr energische Massregeln. Sappeurkompagnien und die Bewohner arbeiteten in grosser Hast Tag und Nacht an der Herstellung von Entwässerungsgräben. Das Wasser strömte in Massen durch dieselben ab, der Boden blieb stehen, das Dorf war gerettet.

Später wurde sodann eine dauernde tiefgründige Entwässerungsanlage mit dauernden Drainageröhren ausgeführt, wodurch mit einem Kostenaufwand von

45,000 Fr. 90 Hektaren Land für die Zukunft vor Verrutschung geschützt worden sind. Der Erfolg war durchschlagend. Gewiss ist es hier der menschliche Eingriff, der uns Herdern unter Typus II einzureihen berechtigt. Ohne diesen wäre er zum Typus III geworden.

1876 entwickelte sich bei Böttstein (Jura) an der Aare ein starker Schuttstrom, der sich in einem Zuge vollzogen hat.

Typus III: Schuttrutschungen, die sich periodisch wiederholen. Die periodische Wiederholung ist teils bedingt durch die immer sich fortsetzende und immer tiefergreifende Verwitterung der Gesteine, teils durch die Schwankungen und Perioden in der Verteilung der Niederschläge. Viele Schuttrutschungen halten in ihren Bewegungen zeitweise wieder ein, stehen stille, geraten wieder in Bewegung nach einer Zeit sehr ergiebiger Niederschläge. In manchen Fällen hat sich auch im Abrissgebiete erst ein Teil losgelöst und in die Wegbahn begeben; nach längeren oder kürzeren Intervallen folgen weitere, die Abrissnische wandert rückwärts. Die Mehrzahl der Schuttrutschungen haben, solange nicht mit Entwässerung künstlich eingegriffen wird, diesen Charakter.

Beispiele: Zahllose Talgehänge, die von Zeit zu Zeit neu unterschnitten werden. NW-Abhang des St. Galler Rosenberg (Hallerenwald) bis in die Sitter hinab, aus Moränen, auf Molasse.

Ausgedehnte Rutschungen von 1300 m bis auf 650 m herab bewegen sich zwischen dem Grossen Mythen und der Rothenfluh. Moränen, Gehängeschutt und Flyschschutt liegen auf Flyschunterlage. Grosse Quellen bei Hasli und Rhätig, sowie bei Mythenbad und Geschloo sollten gefasst und abgeleitet werden und den unterliegenden Ortschaften gute Wasserversorgungen verschaffen. Statt dessen lässt man ihr herrliches Wasser unbenützt sich verteilen und versickern. Unten rückt eine Front von mehreren Zungen mit ihren Schuttwülsten in den Talboden bei Rickenbach vor, zerstört Kulturland, bedroht Strassen und Häuser, während oben die Häuser und Ställe immer mehr verschoben, schief gestellt und zerrissen werden.

Zum Typus III gehören auch die aus den Nischen an der Albiskette (Ütliberg) auf beiden Seiten des Kammes von Zeit zu Zeit gegen den Fuss des Berges vorstossenden Wulstströme. Sie bestehen aus den Verwitterungsrückständen der Molasse, also aus Sand und Lehm, und wickeln oft den Rasenpelz bei ihren Bewegungen ein. Sie bedrohen die untenliegenden Bauernhöfe (z. B. Sellenbüren und Loomatt im Reppischtal).

Rutschungen dieser Art sind stets zu Hunderten vorhanden, und alle zeigen sich nach besonders nasser Jahreszeit wieder beweglich, oft nur 1/2 Meter, oft mehrere Meter, sogar viele Meter im Jahr vorrückend. Sie schürfen unter ihren Zungen den Boden meistens nicht auf, sie überwälzen ihn öfter, oder sie stauen ihn vor sich her zu weiteren Wülsten auf.

Vom 8. VI. 1898 wurden viele Schuttschlipfe aus der Umgebung von Escholzmatt (Entlebuch, Kt. Luzern) genannt. Und zahllose andere mehr!

Typus IV: Schuttrutschungen, die stets am Werke sind, chronische Rutschungen sind solche, deren Ursache lange Zeit bleibt und wirkt, deren Bewegung fast nie ganz aufhört, und deren Endziel, vollständige Abrutschung der Schuttdecke des Gehänges, manchmal viele Jahrzehnte zu ihrer Erledigung bedarf. Diesen Charakter haben manche Gehängebewegungen in den Moränengebieten des Mittellandes, in den Gebieten der Flyschberge und den Bündnerschieferbergen der Alpen, ebenso an Lias- und Oxfordgehängen im Jura. Keine nasse Zeit hat vermocht, die Abrutschung zu vollenden. Die Rutschung bleibt immer wieder unfertig, und muss zur Fortsetzung auf weitere Nassjahre warten. Es gibt solche Rutschungen, die einzelne Jahre vollständig stille stehen, in manchen Jahren nur einige Zentimeter oder Dezimeter des vielleicht noch einige Kilometer weiten Weges zurücklegen. Aber das genügt, um darauf stehende, besonders gemauerte Gebäude zugrunde zu richten.

Ein sehr interessantes Beispiel von chronischen Schuttbewegungen hat uns das Dorf Fetan auf 1650 m hoher Terrasse im Unterengadin gezeigt. Künstlicher Eingriff hat dann die chronische Ursache entfernt, so dass jezt der Boden dort annähernd in Ruhe steht. Ich erlaube mir, hier meine Darlegung aus Neujahrsblatt 1882 zu wiederholen:

Während das Dorf Herdern durch eine von oben kommende Bewegung bedrängt worden ist, sehen wir in einer gegenwärtigen (1882) sehr gefährlichen Rutschung das auf hoher Terrasse gelegene Dorf Fetan im Unterengadin von unten her dadurch bedroht, dass das Abrissgebiet einer Rutschung immer weiter nach oben greift. Die Verhältnisse sind dort nach des Verfassers Untersuchungen vom September 1882 etwa die folgenden: Oberhalb des Bades Tarasp (Nairs) steigt vom Inn und der Landstrasse nördlich ein steiles Felsgehänge auf. Man kann auf einem Fusswege der nach Fetan führenden Telegraphenleitung entlang in etwa einer Stunde auf die Terrasse von Fetan gelangen. Der Boden besteht aus dunklen Tonschiefern, Bündnerschiefer, welche in den Berg hinein fallen und aussen stellenweise mit Krusten kalkiger und eisenhaltiger alter und neuer Quellabsätze bedeckt sind. Mehrere Schluchten, welche zu den wenig verheerenden gehören, sind in dieses Felsgehänge eingeschnitten. Überall ist der Boden fest, ohne frische Abrutschungen oder Risse. Am oberen Rande der steilen Rinnen verlassen wir den Felsgrund und gelangen auf flacheren Schuttboden. Unter dem Schutt treten eine Menge kleiner Quellen hervor. Der Schutt ist ohne Schichtung, bald tonig, bald sandig, und enthält eine ganze Sammlung verschiedener im oberen Teile des Inngebietes und der Seitentäler vorkommender Gesteinsarten in kleinen und auch in sehr grossen Blöcken: es ist echter Moränenschutt, abgelagert von grossen vergangenen Gletschern. Dieser Gletscherschutt ist trotz geringer Neigung der Oberfläche in Bewegung. Der Boden ist zerrissen, der Schutt ergiesst sich allmählich in die oberen Teile der Felsschluchten hinab. Die Felder sind von Jahr zu Jahr schlechter geworden. Wo noch vor zwei Jahren die schönsten Kulturen gediehen, sieht jetzt alles wie umgepflügt aus. In 10 bis 15 Jahren sind in dieser Weise etwa 15 Hektaren besten Pflanzlandes zerstört worden. Die Wege haben sich gesenkt und verschoben, die Telegraphenstangen müssen immer wieder versetzt werden. Im oberen Teile dieses Cuttüra und „suot ruinas“ (= „unter dem Einfluss der Rüfen“)

genannten Gebietes erhebt sich ein Hügel Namens „Nügla". Er ist eine echte alte Längsmoräne, welche fast ein Kilometer weit sich in gleichmässiger Höhe am Abhang hinzieht. Hinter demselben und durch denselben gebildet folgt ein kleines muldenähnliches Längstälchen. Das schöne grosse Dorf Fetan liegt in dem Tälchen und am östlichen Ende des Hügelzuges.

„Fetan selbst wird nicht mitrutschen", so tröstete man sich dort, denn „Fetan steht auf Felsen". Der hohe weithin leuchtende Kirchturm ist, getrennt von der Kirche, kühn auf eine grosse granitische Felsklippe gestellt worden. Einige Keller sind „in den Felsen gesprengt" worden. Allein sind dies Felsen? Es sind nur grosse Felsblöcke von Gesteinen, die erst weiter talaufwärts anstehend vorkommen. Der Gletscher hat sie einst hergetragen, gebettet in feinerem, vielfach sandigem und tonigem Schutt, der tief hinabreicht, und, die „Felsen" mitführend, von der Bewegung ergriffen werden kann. Schon haben sich in den untersten Häusern von Fetan und darunter auch in dem 1865 erbauten, weithin glänzenden, grossen, aufs beste fundierten Hause auffallende Risse gezeigt; schon greifen die obersten Bodenklüfte dicht am Dorfe und den Gärten bis auf den Nügla-Hügel hinauf. Geht es noch 20 oder 30 Jahre so fort, so wird das ganze Dorf Fetan eine verlassene Ruine sein!

Woran liegt die Schuld? Nur eine sehr starke Durchnässung kann Moränenboden bei so geringer Böschung beweglich machen.

In dem Tälchen hinter der Längsmoräne und am nördlichen Gehänge treten eine Menge von zum Teil sehr starken Quellen auf. Sie finden nicht genügenden Abfluss und bilden die „Palüds (paludine oder palude = Sumpf) da Sainas", eine grosse Sumpfwiese. Sägemühlen und neue Strasse helfen der Moräne zur Stauung des Wassers. Das reichliche Abwasser der Brunnen von Fetan, das Abwasser der Dächer und Strassen wird nicht durch Dolen in Bäche geleitet, sondern es sickert teils sofort ein, teils geht es nach den Palüds da Sainas. Wenn man im Dorf Fetan ein Loch in den Boden gräbt und Wasser hineingiesst, versickert dasselbe rasch, während in den Wiesen am untern Rande des Dorfes gegen Val Furade das Übermass des eingedrungenen Wassers einige Quellen bildet. Man kann sich von der Menge des wirkenden Wassers eine Vorstellung machen, wenn man bedenkt, dass trotz der Versickerung aus den Palüds da Sainas westlich von Fetan noch über 6000 Liter Wasser per Minute gegen Val Mulins quer durch eine Lücke in der Moräne abfliessen. Das was hinter dem Moränenhügel liegt, ist ein gewaltiger Infiltrationsapparat, der nicht besser eingerichtet sein könnte, um den Moränenschutt tüchtig und anhaltend zu durchtränken. Von diesem her kommt die Bewegung. Solange diese Palüds da Sainas existieren, wird sie, da der Fuss der Moränenterrasse nun gewichen ist, unwiderbringlich von Jahr zu Jahr weiter hinauf greifen.

Die Mittel zur Abhilfe liegen auf der Hand. Gründliche Entwässerung der Palüds da Sainas wird wahrscheinlich vollständig ausreichen und alle übrigen überdies vorgeschlagenen Arbeiten überflüssig machen.

Fetan ist ein Ort, der hart bedrängt ist, und deshalb unsere Teilnahme verdient. Schon mehrmals teilweise abgebrannt, durch schwere Strassenlasten, welche ihm ein in diesem Falle ungerechtes Strassengesetz auferlegt hatte, und durch Verbauungen gefährlicher Lawinen, welche den Ort schon schwer geschädigt haben, erschöpft, hat es den besten Kulturboden in den letzten Jahren verloren und geht selbst dem Untergang entgegen — doch nein! Fetan kann ganz bestimmt — auf hundertfältige Erfahrung gegründet dürfen wir dies behaupten — gerettet werden, wenn die nötige Energie und Einigkeit ausserhalb und in Fetan herrscht — und sie wird herrschen! (1882.)

Die Erscheinungen von II, III und IV.

Für unsere weitere Betrachtung fasse ich die Typen II, III und IV zusammen, weil ihre Erscheinungen sehr ähnlich sind und sie sogar durch Wechsel der Umstände ineinander übergehen können. Dennoch ist es praktisch oft wichtig, sie zu unterscheiden. Immer besteht die Schuttrutschung darin, dass durchweichter Schuttboden rutschend und fliessend, der steilsten Böschung nachtastend, breiförmig als Strom zur Tiefe sich bewegt.

Der Schuttboden, das Material der Schuttrutschungen, liegt auf geneigtem Felsgrunde. Es kann einheitlich oder kompliziert zusammengesetzt, sogar geschichtet sein. 1. Sehr oft ist es die Verwitterungsrinde der Felsunterlage selbst, die in Bewegung kommt. So z. B. der Flyschschutt auf Flyschboden, wie an der Fähneren, am Schwarzsee, an vielen Stellen im Simmental, die tonigen Böden im Pliozängebiete des Appenin u. a. m. Im Plateaujura von Basel und Aargau finden sich zahlreiche Abrutschungen im und auf dem Opalinuston, die sich immer wieder bewegen, bis sie den Talboden erreicht haben (BUXTORF)! Die Ornatentone in Süd-Deutschland, die Cyrenenmergel im Mainzerbecken sind Erzeuger von Erdschlipfen. 2. Der Verwitterungsschutt eines höheren Gehänges hat sich auf dem Felsboden angehäuft. 3. Transport aus grösserer Entfernung hat die Schuttdecke geschaffen. Bei uns kommen hierbei meistens die quartären bis rezenten Moränen in Betracht. 4. Schutt mannigfaltiger Herkunft und Mischung (1. + 2. + 3. u. a.) kann dem Felsen auflagern.

Die Böschung und Beschaffenheit des unterliegenden Felsgrundes, die Beschaffenheit und Mächtigkeit der Schuttauflagerung und ganz besonders die Wasserführung von Fels und Schutt bestimmen die Art des Vorganges. Bei glatter toniger Felsunterlage und zugleich Durchnässung des Schuttes hinab bis auf diesen Felsgrund genügen 2° bis 5° Neigung der Unterlagenfläche, um rutschende oder abfliessende Bewegung des aufliegenden Schuttes zu erzeugen. Da wirkliche, in sich nicht verfestigte Schuttmassen sich nicht steiler als höchstens 45° halten können, Felsoberflächen also von steilerer Böschung keinen Schutt tragen können, so gibt es Schuttrutschungen nur an Gehängen von ca. 2° bis 45° — praktisch können wir sagen von 5° bis 35°, und das gewöhnlichste sind 10° bis 20°.

Die Schuttrutschungen aller Typen werden vorherrschend veranlasst durch sehr nasse Zeit. Das eindringende aufgesogene Wasser vermehrt in hohem Grade das abwärtsdrängende Gewicht

der unsicheren Masse, und es vermindert ihre innere Reibung. Dadurch erleichtert es die Bewegung und vermindert in hohem Masse den Reibungswiderstand an der Unterlage. Schuttmassen, die trocken noch bei 20° Böschung und mehr festsitzen, rutschen oder fliessen bei starker Durchnässung ab. Erfahrungsgemäss ist es an den dazu geneigten Gehängen nicht die normale Nässe, bei der die Bewegung eintritt. Was bei gewöhnlicher Nässe abrutschen kann, ist längst abgerutscht. Es ist immer nur ein aussergewöhnliches Übermass an Durchnässung, welches die Bewegung auslöst. So kommt es dann, dass in übernassen Zeiten die Schuttrutschungen aller Grössen in gebirgigen Gegenden zu Hunderten und Hunderten niedergehen.

Jahre, überreich an Schuttrutschungen, waren: 1816, 1846, 1876 und 1878, 1908 und 1910. Es ist auffällig, dass das Intervall zwischen diesen Rutschjahren stets 30 bis 32 Jahre — die „BRÜCKNER'sche Klimaperiode"? — ist.

Bei sehr anhaltenden Regen ergibt es sich recht oft, dass die durchweichte rutschende Masse sich immer mehr mit Wasser mischt, in einen Brei auflöst und schliesslich unsere Schuttrutschung zum Muhrgang wird. Während der normale Muhrgang dadurch entsteht, dass fliessendes Wasser sich reichlich mit Geschiebe belastet, kann hier sich auch eine Schuttmasse überreichlich mit Wasser sättigen mit der gleichen Schlusswirkung. Dieser Übergang vollzieht sich besonders oft dadurch, dass Schuttrutschungen an den Gehängen in den Sammelgebieten der Wildbäche sich bilden, und dann der Schutt in den Bach vorstösst und ihn staut. Der Bach durchbricht leicht den Verschluss und mischt sich mit dem Material. Das gleiche kann auch bei Flüssen geschehen. Viele Verheerungen durch Muhrgänge, die in den Zeitungen und lokalen Annalen erwähnt werden, sind die Folge von Schutt- oder Felsrutschungen, die in Wildbachsammelgebieten stattgefunden haben. Schuttrutschungen und Muhrgänge gehören oft zusammen.

Bezeichnend für die sämtlichen Typen der Schuttbewegungen ist ihre meist geringe Geschwindigkeit, oft unterbrochen durch ein zögerndes Stillstehen. Es gibt Schuttrutschungen, die so langsam wandern, dass man ihr Vorrücken erst im Verlaufe von Viertelstunden oder Stunden sehen kann. Oder sie bewegen sich $^1/_2$ bis 1 m per Minute, im vollsten Gang nur manche so schnell, wie wir gehen oder laufen. Meistens ist so rascher Gang nur in einer kurzen Phase tätig. Eine grosse Schuttrutschung braucht oft ein bis mehrere Tage oder

noch länger, bis sich der ganze Vorgang abgewickelt hat, und der Brei stille steht. Der Stillstand tritt nach Verzögerung meistens ganz langsam ein, rasch nur dann, wenn die bewegte Masse an ein grosses Hindernis gelangt ist. Diesem Benehmen der Schuttbewegungen stehen bei den Felsbewegungen manchmal Geschwindigkeiten gleich einer Flintenkugel gegenüber.

Die Schuttbewegungen gehen fast lautlos vonstatten. Wurzeln, die zerrissen werden, Bäume, die fallen, Gebäude die zusammenbrechen, können hie und da etwas Lärm verursachen, aber die Schuttrutschung selbst ist meistens nicht hörbar. Es erfordert eine besondere Aufmerksamkeit, bis man ein leises Rauschen und Knistern vernimmt. Die meisten Felsbewegungen dagegen brechen unter furchtbarem Donnern und Knallen nieder.

Die Schuttbewegungen werfen — ausgenommen wenn eine Felswand in der Fahrbahn steht — auch keine Steine, keinen Staub um sich, sie haben keine „Spritzzone".

Allein trotz diesem fast phlegmatischen, zahmen Benehmen bedecken sie doch rücksichtslos schöne Kulturen, umschliessen Gebäude, drücken ihre Fenster und Türen ein oder werfen sie sogar um und schieben ihre Trümmer vor sich her.

In ihrer Vorbereitung und der Mechanik ihrer Bewegung sind die drei erstgenannten Typen einander sehr ähnlich. Die folgende Darstellung bezieht sich auf alle drei zusammen.

Abriss, klaffende Spalten, Wülste (Fig. 1).

Die erste Andeutung einer Rutschung besteht gewöhnlich darin, dass im werdenden Abrissgebiet klaffende, meist in nach oben gewölbten Bogen angeordnete Risse entstehen, wobei je das abwärts folgende Bodenstück sich etwas senkt. Unten am Fuss der Halde oder doch am Fuss der beginnenden Bewegung stauen sich langsam Wülste auf, welche in umgekehrten Bogen nach unten ausgebaucht sind (Fig. 1). Je mehr die Bewegung zunimmt, desto zahlreicher und stärker werden die klaffenden Risse oben, die Wülste unten. Geschieht dies langsam und gleichförmig, so entstehen Wülste auch weiter oben, und die klaffenden Spalten greifen fächerförmig bis in das System der Wülste hinab. Wülste und Spalten schneiden sich dann unter steilem, meist dem rechten sich annäherndem Winkel. In jeder langsam sich bewegenden, mehr oder weniger innern Zusammenhang besitzenden, und am Rande und Untergrunde sich reibenden Masse verteilen sich die einander entgegen

arbeitenden Kräfte und Widerstände (Schwere einerseits und Widerstand durch Reibung und inneren Zusammenhang anderseits) nach bestimmten Gesetzen. Senkrecht zu denjenigen Linien, in welchen die stärkste Zugspannung in der plattenförmigen abrutschenden Masse sich geltend macht, bilden sich die klaffenden Risse und senkrecht zu den Linien der grössten Druckspannung werden die Wülste gestaut. Das System der Linien grössten Druckes (Maximaldruckkurven) fällt zusammen mit der Lage der klaffenden Spalten und trennt im Abrissgebiet den Boden in gewölbeförmige Stufen; das System der Linien grössten Zuges (Maximalzugkurven) fällt zusammen mit den Linien, welche die Terrainwülste bilden.

Beides, Wülste und Spalten, entstehen bei gleichförmiger Beschaffenheit des Schuttbodens, gleichförmiger Unterlage und bei langsamer Bewegung oft in staunenswerter Regelmässigkeit. Wir sehen dieselben Gestalten nur wenig modifiziert bei den Gletschern auftreten und wir können sie mit teigförmiger aber nicht zäher Masse im Experiment in kleinem Maßstabe erhalten.

Auch die Felsbewegungen beginnen meistens wie die Schuttrutschungen im Abrissgebiet mit klaffenden Rissen, die, nach oben sich bogenförmig ausbiegend, allmählich immer bestimmter die Ausbruchsnische abzeichnen und umschliessen. Es ist aber doch schon aus diesen beginnenden Bewegungen zu erkennen, was droht: Ein ausgesprochener einziger Abrissbogen, der eine grosse Fläche umspannt, beweist Tiefgründigkeit und Einheitlichkeit der Bewegung und lässt einen grossen Felssturz erwarten. Eine grössere Zahl von kürzeren Bogenrißstücken, erst ohne eine oberste Hauptspalte, deutet auf wenig tiefe und unzusammenhängende Bewegung und wird eine Schuttrutschung zur Folge haben, die zeitlich und örtlich nicht kompakt ist und eine Talfahrt, aufgelöst in kleine einzelne Stücke, auslöst. Eine Menge von Mittelformen kommen vor. Wenn der oberste Anriss sich zu einer zusammenhängenden Spalte ausgegebildet hat, so ist durch dieselbe zugleich der Umfang des Abrissgebietes gegeben, der dasselbe umschreibt, wie die Randkluft der Firnmulden das Sammelgebiet eines Gletschers.

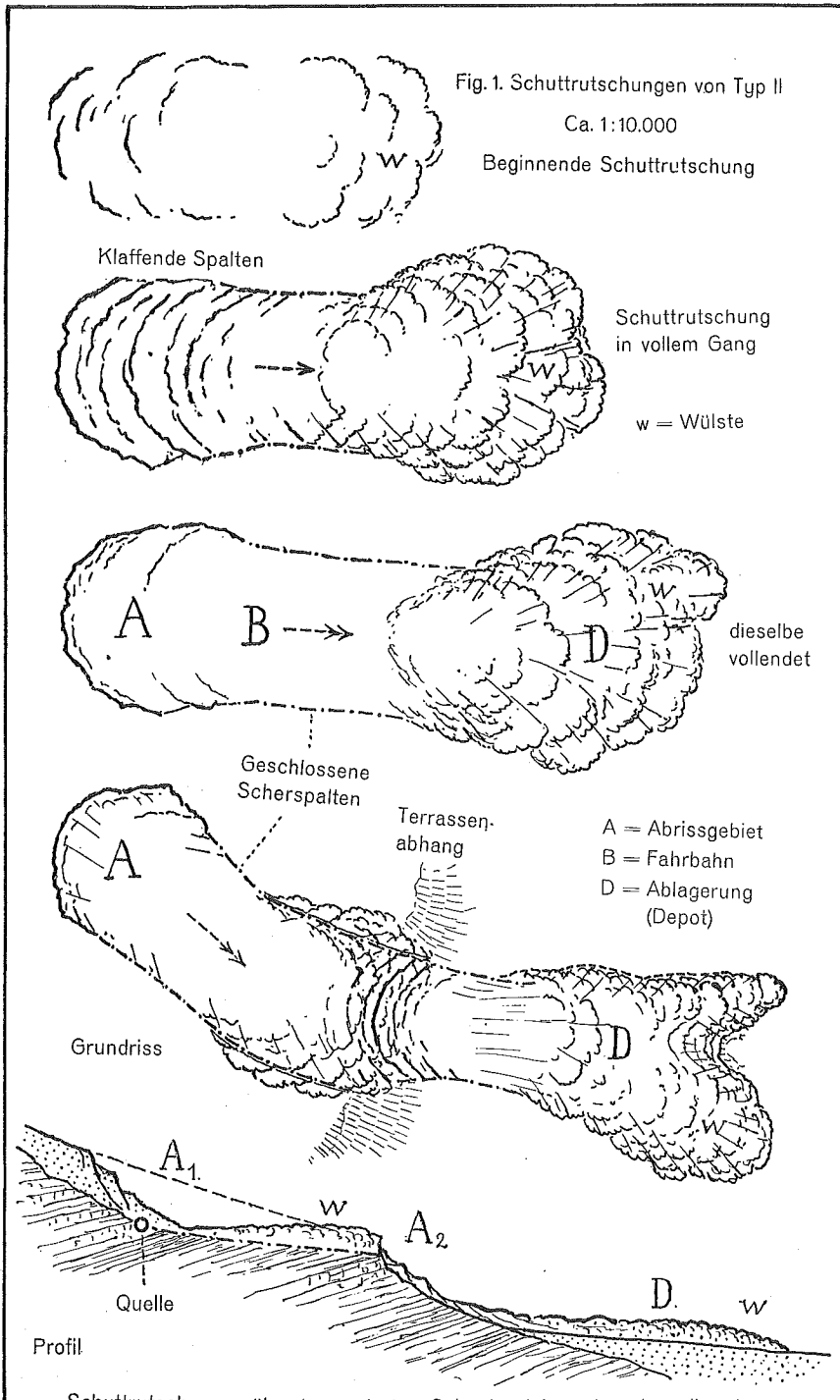
Selbstverständlich hat der prüfende Geologe zuerst festzustellen: Geht hier der Fels bis fast zu Tage, oder liegt auf demselben eine weniger mächtige oder eine sehr mächtige abrutschungsfähige Schuttmasse? Sodann: bedeuten die Risse nach Form und Art des Auftretens eine untiefe, oder eine tiefe gefährliche Ablösung? Wie tief liegt die Rutschfläche, ist sie einheitlich oder verworren?

Über die ersten Spalten bei Schuttrutschungen und die aus ihnen gewonnene Diagnose und Prognose ein Beispiel:

Ich wurde einmal nach Davos gerufen. Das bald ausgebaute, damals noch englische Sanatorium steht nahe am oberen Rand einer Felskante, die zum Albertitobel gehört und sich gegen S nach der sonnigen Wiesenhalde „die Grüne" wendet; es steht 150 bis 200 m über dem Talboden. Man war im höchsten Grade geängstigt, durch eine Menge von Bodenrissen in der „Grüne" — „all full of cracks". Am Steilabhang gegen den Albertibach reicht der Fels bis an den Grat hinauf und zeigt nirgends Spalten. Die Schuttüberlagerung ist auch nach Wegeinschnitten in der Grüne nur dünn, die Fundamente des Gebäudes stehen im Fels. Und nun diese Risse: Alle kurz, klein, in grosser Zahl, ohne Ordnung, eben den Rasen durchbrechend, nirgends weit klaffend. Die ganze Bewegung kann eher als blos eine Solifluktion nach starker Durchnässung beurteilt werden, ohne Gefahr für das Sanatorium und seine Umgebung. Anordnung: an dem zerrissenen Rasengehänge eine Anzahl horizontaler Reihen von Holzpfälen in den Boden schlagen, um den Rasengrund etwas festzunageln. Heute sind die Rissnarben wieder verwachsen. Es gibt Fälle, die nicht so leicht und sicher zu beurteilen sind.

Die Ausbildung der Spalten und Wulstsysteme vollzieht sich bei beginnenden Schuttrutschungen selten im Verlauf weniger Tage, meistens dauert sie Wochen, Monate, sogar Jahre. Es kommt da auf das besondere Temperament der Rutschung an, und dieses hängt von vielen Faktoren ab: Gefällsverhältnisse, Materialbeschaffenheit, Durchnässung und Gleichgewicht. Wie alle übersteilen Stellen an den Gehängen im Laufe der Zeit durch Nachbrechen am oberen Rande so weit als möglich immer aufwärts greifen und rückwärts wandern, so auch die Abrißstellen der Schuttbewegungen. Oberhalb des vorläufig obersten Nischenbogenanrisses zeigen sich oft allmählich weitere, und die Bodenstreifen zwischen denselben bilden nach und nach durch langsames Vorsinken eine Art grosser Treppe, bis sie durch ganzes Absinken und Verrutschen sich im Schuttstrom verlieren.

Im Waldboden findet man Baumwurzeln über klaffende Spalten gespannt wie Seiten einer Violine, und kann an dieser Spannung den Fortgang der Bewegung in neuester Zeit erkennen. In einem in vollem Gange befindlichen Abrissgebiete kann im Wald ein heftiges Geknatter durch das Zerreissen der Wurzeln entstehen. In Kohlgrub (Hirzel, Kt. Zürich) entwickelte sich vor zwanzig Jahren eine Schuttrutschung gegen die Sihl. Eine klaffende Abrißspalte ging gerade unter einem grossen Kirschbaum durch. Die eine Hälfte der Wurzeln wurde von der andern weggezerrt und nach einigen Tagen war der mächtige Stamm von unten, fortschreitend nach oben in zwei gleiche Hälften auseinandergerissen. Natürlich werden im Gebiete von Schuttrutschungen die Bäume schief verstellt, wachsen nachher bei Stillstand wieder senkrecht nach oben, werden wieder verstellt usw. So


Fig. 1. Schuttrutschungen von Typ II
Ca. 1:10.000
Beginnende Schuttrutschung
w
Klaffende Spalten
Schuttrutschung
in vollem Gang
w = Wülste
A
B
D
w
dieselbe
vollendet
Geschlossene
Scherspalten
Terrassen-
abhang
A = Abrissgebiet
B = Fahrbahn
D = Ablagerung
(Depot)
Grundriss
A1
A2
Quelle
Profil
Schuttrutschungen über terrassiertes Gelände, sich aneinander reihend

können Bäume, besonders Tannen, im Laufe der Jahre zu einer vollen Chronik der Bewegung werden. Dies gilt für das Abrissgebiet, wie für die Fahrbahn und das Ablagerungsgebiet (Fig. 2).

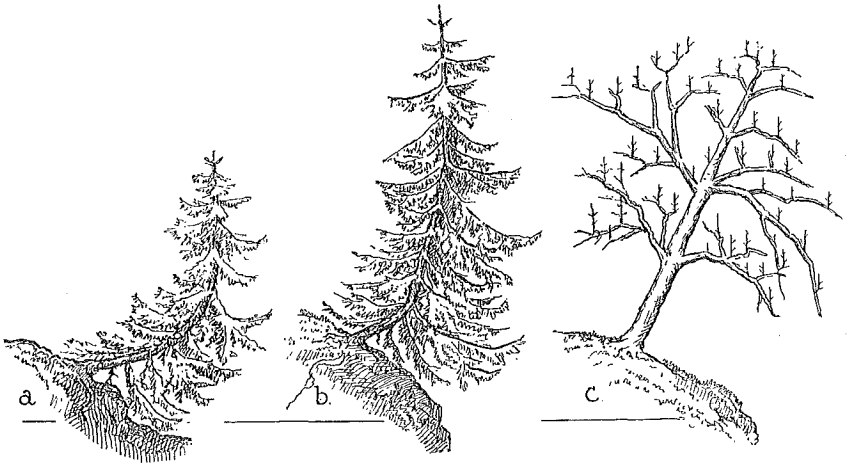


Fig. 2. Verstellung von Bäumen durch Rutschung.

a. Anhaltende Bodenbewegung von vor 10 bis 5 Jahren.
b. Zweimalige Bodenbewegung, zuerst vor 12, dann vor 6 Jahren.
c. Birnbaum im Winter, einmal verstellt vor ca. 3 Jahren.

Die *Wülste* bilden sich zuerst im untersten Teil der eben beginnenden Bewegung. Oft ist es dann der aufgestaute, dunkle, humose Boden mit dem Rasenpelz, der sie bildet. Je weiter die Bewegung sich entwickelt, desto weiter talabwärts wirkt die Stauung durch den Schuttstrom. So entstehen weiter unten immer neue Wülste. Unterdessen rutscht der Gewalthaufe der bewegten Masse nach und häufig sehen wir, dass dieser in seinem unteren Teil wieder neue Wülste bildet und diese über die erst entstandenen überwälzt. Wir können also oft zu Beginn der Schuttrutschung Wülste erhalten, die unmittelbar unten am Abrissgebiete sich einstellen. Diese werden dann durch die folgende Hauptbewegung verschürft und gegen Ende der Bewegung entstehen oft sehr schöne neue Wulstsysteme im untersten Teil des Ablagerungsgebietes.

Scherklüfte und Rutschflächen.

Seitlich an Rutschungen, dieselben begrenzend, bilden sich schon bei beginnender Bewegung in der Bewegungsrichtung lange Verschiebungsspalten, welche, ohne zu klaffen, den bewegten vom um-

liegenden feststehenden Boden abscheren. Sie schliessen sich oft unmittelbar an den beiden Zweigen des Abrissbogens an. Allmählich wachsen sie deutlich nach unten aus. Sie durchschneiden und verschieben Wege, Hecken, Grenzen, woran man dann den Betrag der Bewegung und ihres Fortganges sehr gut abmessen und kontrollieren kann. Sie bleiben aber geschlossen. Die Scherklüfte sind also ganz anderer Art, als die klaffenden Spalten. Sie sind wesentlich eine Horizontalverschiebung der beiden Seiten, die sich in Rutschstreifen auf den beiden Kluftflächen abzeichnen. Die klaffenden Spalten ergeben keine Verschiebung und keine Rutschstreifen, nur Öffnung senkrecht zur Spaltenrichtung. Die Scherklüfte begleiten und begrenzen eine Schuttrutschung nicht nur seitlich, sie verbreiten sich auch an die Unterseite der Rutschung und werden dort zu der **Rutschfläche,** auf welcher die ganze Masse sich talwärts bewegt und absinkt. Auch die Rutschfläche dort unten ist geschlossen, in der Bewegungsrichtung gestreift — sowohl an der Unterseite des Rutschenden, wie an der Oberseite der feststehenden Unterlage. Seitliche Scherklüfte und unterliegende Rutschfläche verbinden sich zu einem zusammenhängenden Gleitbett von Hohlzylinderform. Die seitlichen Scherflächen wie die untere Rutschfläche sind manchmal als ganz einzige Gleitflächen weitherum ausgebildet, manchmal entstehen mehrere oder viele unregelmässigere Rutschflächen, die einander unterstützen und auf welche die gleitende Bewegung sich verteilt. Das sind „Rutschflächenbündel". Bei jeder grossen Schuttrutschung bilden sich die meisten Rutschflächen im untersten Teil des sich bewegenden Schuttbodens. Häufig findet man sie direkt an der Oberfläche des untenstehenden Felsgrundes. Dies alles gilt besonders vom Abrissgebiet.

Auch die Rutschfläche auf dem Boden der Bewegung entsteht im Abrissgebiete gleich am Anfang. Sie gehört in der Hauptsache nur dem Abrissgebiete an, wo sie auch ihre schönste Ausbildung erreicht. Dort kann sie stets durch Nachgrabung gefunden werden, so weit das rutschende Material das Abrissgebiet noch nicht ganz verlassen hat. Die randliche Scherkluft mit ihren gestreiften Rutschspiegeln reicht abwärts nur bis zum Beginn der Fahrbahn. In den Rändern der Fahrbahn findet keine Abscherung von Untergrund mehr statt. Die vorhandenen seitlichen Rutschflächen am Schuttstrom werden ins Leere hinausgestossen, wo sie zerfallen. Nur die Basisrutschfläche kann sich noch weit durch die Fahrbahn hinab fortsetzen, ändert aber dabei ihren Charakter. Sie bleibt hier nicht mehr der feine zweiseitige Rutschspiegel, sondern wird allmählich eine grobe

Rutschfläche, nur einseitig an der stehenden Unterlage, passiv, erzeugt durch das Darüberfahren der Trümmermassen. Diese letzteren sind nun mehr und mehr in Unordnung geraten und nicht mehr imstande, an ihrer Unterseite eine schöne Rutschfläche entstehen zu lassen. Im Ablagerungsgebiete kommen innere oder unterseitige Rutschflächen nur noch in unregelmässigen kleinen Flächen gelegentlich vor. Im Schutt auf der Unterlage hat Wälzen das einheitliche Gleiten mehr und mehr ersetzt.

Regel ist also: Im Abrissgebiete geschlossene, steil gestellte Scherkluft als Bewegungsrand, mit beidseitig fein gestreiftem Rutschspiegel. Überdies am Boden der sich abbewegenden Masse und an der Unterseite der letzteren gleiche Rutschspiegel, die Streifen in der Bewegungsrichtung. In der Fahrbahn nur noch kurze Scherflächen unregelmässig, grobe Rutschflächen nur am Boden der Fahrbahn. Im Ablagerungsgebiet keine grossen Rutschflächen mehr, nur kleine unregelmässige Flächen, entweder verschleppt von weiter oben, oder nur lokal entstanden.

Daraus erklärt sich zugleich, dass schöne frische, feine Rutschspiegel nur in den oberen Teilen der Rutschgebiete gefunden werden, deren Bewegung noch nicht vollendet, oder nur zu vorläufigem Stillstand gebracht worden ist. Frische Rutschflächen in einer Baugrube bedeuten immer grosse Bewegungsgefahr.

Eine gute Ausbildung der Scherflächen (Rutschflächen) ist selbstverständlich ganz abhängig vom sich bewegenden Material, ebenso wie schon die Entstehung einer Schuttrutschung überhaupt. Je toniger desto besser. Aber schöne, lange aushaltende Rutschflächen entstehen nur, wenn der Ton ziemlich fest, zähe und etwas feucht ist. Zu nass verhindert die Ausbildung bleibender Rutschspiegel.

Es gibt Grund-Rutschflächen, die ganz eben unter Gehängeflächen sich hektarenweit gleichmässig ausbilden. Aufgeschlossen durch einen Schacht, sieht man sie wie ein flacher, scharfer Messerschnitt durch das zähe geknetete und gewalzte, feste, aber noch plastische, tonige Material setzend. Man kann die beiden Seiten leicht trennen. Sie sind beide gleich glatt, oft spiegelnd und mit genau parallelen geraden, oft ganz feinen Rutschlinien oder Streifen versehen, die mehr oder weniger exakt in der Richtung ihres grössten Gefälles laufen. Sie sind immer feucht, aber seltener so nass, dass Tropfen aus ihnen hervordringen. Man kann oft alte, wieder neu belebte Rutschflächen von ganz neu entstandenen unterscheiden, indem die alten von auffallenden Ver-

witterungsfarben begleitet sind, die neuen keine andere Farbe zeigen als der Ton, den sie durchschneiden. Ihr Gefälle kann sehr bescheiden sein, 10°, 5°, aber auch nur 2—3°. Ich habe den Eindruck, dass sie um so schärfer ausgebildet sind, je weniger Gefälle sie haben. Sie zeigen das Gefälle und die Richtung der Rutschbewegung für diese Stelle an. Schon mehrmals habe ich in solchen Probeschächten beobachten können, wie die obere Materialmasse auf der Bergseite in der Zeit von einem oder zwei Tagen um einige Millimeter, sogar einige Zentimeter über die untere vorrückte. Natürlich konnten wir solche Probegruben nicht lange offen lassen.

An Stelle der einzigen einheitlichen Rutschfläche können auch zahlreiche büschelartig sich häufende, flasrig geordnete, oft sich ablösende Rutschflächen entstehen und manchmal ganze Schuttlager durchsetzen.

Die Ausdehnung einer Rutschfläche kann uns keine Auskunft geben über den Betrag der bisherigen talwärts gerichteten Bewegung. Bei dafür gut geeignetem Material und Druck kann eine einheitliche Bewegung von wenigen Zentimetern eine grossartige Rutschfläche von mehreren Aren, sogar von Hektaren Ausdehnung erzeugen. Im Experiment kann eine Verschiebung von aneinander gepressten Metallen um 1 cm eine mehrere dm^2 grosse Fläche zum gestreiften Spiegel machen. Die Ausdehnung des Rutschspiegels wird viel weniger von der Weglänge der Bewegung, als von ihrer ursprünglichen Ausbreitung bedingt. Die Wegweite der Bewegung kann man weder aus der Beschaffenheit, noch aus der Ausdehnung der Rutschfläche erkennen.

Schöne Rutschflächen sah ich an vielen Orten. Selbstverständlich liegen dieselben nicht mehr zugänglich sichtbar vor. Man könnte aber an manchen Orten durch Öffnen eines Schachtes sie wieder sichtbar abdecken. Es ist mir nie gelungen, Stücke der Rutschflächen für die Sammlung zu gewinnen. Beim Austrocknen werden sie rauh, rissig und zerbröckeln.

Bei Gelegenheit des Baues der Bötzbergbahn (Brugg-Basel) wurde im Gebiete Villnachern ein eben fertig aufgeworfener langer Damm um einen nicht grossen Betrag (ca. 2 m) talabwärts verstellt. Trotz dem geringen Betrage griff diese Bewegung doch weit um sich und schien zuzunehmen. Da wo sie am stärksten war, trat auch etwas Wasser auf. Wir legten einige Entwässerungsstollen an. Der Boden bestund aus alten Bergrutschungen in Grundmoränen. Selbstverständlich wurde der Stollenboden mit den Drainierröhren unter der Rutschfläche, die obere Partie (Stollenfirst) über der Rutschfläche geführt und nachher die Stollen mit Steinen „ausgebeigt". Bei diesen Arbeiten konnten wir eine ganz ebene, feingestreifte Rutschfläche von mehreren Hektaren Ausdehnung und kaum 5° Böschung, gegen das Aaretal geneigt, in 4 bis 10 m Tiefe unter der Oberfläche durchweg verfolgen. An einigen Stellen träufelte Wasser heraus. Die Entwässerung wurde besonders ein Stück oberhalb der Bahnlinie durchgeführt und führte zum dauernden Stillstand.

In Wädenswil, etwa in der Mitte zwischen der Bahnstation und dem Schloss (Obstbauinstitut), findet sich eine alte vernarbte Abrissnische im Rebland und am Dorfrand von 20 bis 30 m Höhe in der Molasse. In dem flachen Boden der Nische, bei etwa 200 bis 250 m Sehnenbreite, wurden einige neue Häuser gebaut, und dann noch etwas weiter seewärts eine neue Strasse mit Richtung NW—SE. Unterhalb vor den Häusern verlangte die Strasse einen Einschnitt. Der obere Anschnitt von etwa 2 m Höhe erhielt eine gute Stützmauer. Da zeigten sich auf einmal Risse in dem einen der neuen Häuser. Ich fand sogar neue Risse bei den alten Dorfhäusern an der oberen Kante der alten Nische. Die Risse nahmen zu und stellten sich auch in der Stützmauer an der Strasse ein. Die Stützmauer wurde durch einige sehr starke und tief fundierte Pfeiler verstärkt. Um zu wissen, wie tief die Pfeiler fundiert werden sollten, musste ein Schacht am oberen Strassenrand geöffnet werden. In 1 bis $1^1/_2$ m Tiefe unter der neuen Strasse zeigte sich eine prachtvolle alte spiegelglänzende, nur wenige Grade seewärts geneigte Rutschfläche in Grundmoräne und tonigem Moränenschutt. Die Fortsetzung zeigte sich dann durchgehend in allen den 3 oder 4 Pfeilerfundamenten. Die Bewegung stund bald still durch Entwässerung und durch die Pfeiler.

Das Gebiet Zürich VI und VII, oberhalb der schönen Moränenterrasse von ca. 510 m Meereshöhe, wurde gegen Schluss des Jahres 1769 auf eine Breite von etwa 850 m südlich von „Rigiblick" bis über Hinterberg-Fluntern, und von 550 bis über 620 m Höhe, von einer bösen Schuttrutschung verwüstet, die sich besonders in den Moränen der grössten Vergletscherung vollzog. Die historischen Notizen sind leider sehr spärlich. Es wird nur in einer Chronik berichtet, dass das ganze Gehänge des Zürichberges bis Geissberges in Rutschung war, und durch die ganze Neujahrsnacht 1770 und noch nachher Feuerwehrmannschaften und die Bewohner von Zürich, Fluntern und Oberstrass in strenger Arbeit beschäftigt waren, dem Wasser, das in Strömen fiel und die Spalten füllte, Ablauf zu verschaffen. Es gelang, die Bewegung zum Stillstand zu bringen und das damalige Oberstrass zu retten. Währenddem Zürich 1850 bis 1890 sich mächtig ausdehnte, und gute Strassen, schöne Gärten und schöne Häuser ringsum immer weiter und höher entstanden sind, blieb das Stück Oberstrass ob der Vogelsangterrasse ganz auffallend öde. Lange stund ein einziges Haus, „Jakobsburg", mitten darin. Nur wenige ganz alte, krumme und schief gestellte Bäume waren zu finden. Ich ging öfters mit meinen Studierenden durch diese Wildnis, um ihnen zu zeigen, wie ein verrutschtes Gehänge aussieht. Da war ein aufgestauter Wulst, dort ein eingesunkenes Loch. Die typische Form der Schuttrutschungswellen, oft erinnernd an die Form eines Wassertropfens auf schiefer Fläche, und ganze Systeme hintereinander folgender Wellen und Wülste, beherrschten die ganze grosse Fläche. Die Bewegungen hatten im allgemeinen aufgehört. Nur an einzelnen Stellen zeigten sie sich noch. Aber das Land blieb lange wie vergessen.

Da begann endlich etwa 1890 der Anbau im nördlichsten Teil. Ich warnte die Unternehmerfirma mit der Bemerkung: Sie müssen je nach dem lokalen Untergrund entweder tiefgründige Stützpfeiler bauen oder oben herum tief und gründlich entwässern. Man hörte nicht darauf. Da zerriss eines der ersten schönen Häuser an der Hadlaubstrasse. Es folgte ein Prozess zwischen der Unternehmerfirma und dem Hauseigentümer. Ich wurde vom Gericht zum Experten bezeichnet. Unterdessen hatte ich viele weitere Beobachtungen über dieses Gebiet gesammelt, ich besuchte jede Baugrube.

Östlich von Rigiblick, nahe der Grenze von Oberstrass (Zürich 6) in Fluntern Zürich 7), wo ein alter Schützenstand war, gedachte der Stadtingenieur Dr. Bürkli,

ein Wasserreservoir anzulegen und beriet mich über den Untergrund. Misstrauend riet ich erst zu einem Versuchsschacht. In 8 m Tiefe trafen wir dort auf Molasse. Darüber lag toniger Schutt; dann kam eine scharfe Rutschfläche und darüber, durcheinander geworfen und eingeknetet in Grundmoräne, eine Menge von starken Baumstämmen (Föhre, Fichte, Eiche, Buche, Ahorn). Die Lage mit den Baumstämmen war etwa 2 m mächtig. Darüber folgte wulstig verrutschte Moräne. Diese Stelle wurde für das Reservoir aufgegeben. Im Verlaufe des Prozesses an der Hadlaubstrasse liess ich dort einen Schacht abtiefen. Wieder trafen wir in 5 bis 8 m Tiefe auf einen geworfenen und überschütteten Wald und darunter auf die Rutschfläche. An der Freudenbergstrasse hatte ich später Gelegenheiten, in vier Baugruben und einem durch mich veranlassten Probeschacht in etwa 5 m Tiefe die Rutschfläche wieder in schönster Ausbildung durchgehend zu finden — hier stets begleitet von rot-, weiss- und blaugeflecktem Ton — wahrscheinlich durch Gletscher und Rutschung verschürfter bunter Molassemergel. Sodann erhielt ich noch Kunde von Bewegungen, verspürt an einigen anderen Neubauten des weiten Gebietes.

Wir haben also hier die Folgen der unterbrochenen und unvollendet gebliebenen Rutschung von der Neujahrsnacht 1770, die durchgehende Rutschflächen zurückgelassen hat. In allen Fällen konnte durch richtiges Vorgehen sichere Fundation geschaffen werden. Dazu kommt helfend, dass durch die starke Überbauung mit den massenhaften Wasserabläufen nach den Strassendolen, und die durch feste Strassen und Hausdächer verkleinerte Versickerungsfläche überhaupt, der Boden viel trockener wird, als er früher war. Tatsächlich ist die früher öde Fläche jetzt ein sehr schönes Wohngebiet geworden.

Die Lehre ist noch aus dieser, wie vielen ähnlichen Beobachtungen, zu ziehen: Eine alte Rutschfläche kommt leichter wieder in Bewegung, als dass eine neue sich bildet, also immer Vorsicht in alten Rutschgebieten!

Das Fliessen.

Die Bewegung der Schuttrutschungen ist meistens nur in den Randregionen (seitlich und unten) ein reines Rutschen oder Gleiten. In Wirklichkeit verbindet sich damit im Innern der bewegten Masse ein wirkliches **Fliessen.** Man hat beim ersten Anblick, im Gang wie im Stillstand, den Eindruck eines Stromes mit Fluidalstruktur. Die Schuttrutschung bewegt sich wie jeder Fluss in der Mitte und oben schneller als am Rand und an der Unterlage. Sie staut sich auf vor Hindernissen, schmiegt sich solchen an, beschleunigt sich bei Zunahme des Gefälles oder Konzentation des Querprofiles. Ihr Hauptunterschied vom Fliessen des Wassers besteht darin, dass sie mehr Gefälle braucht als das Wasser, weil sowohl die inneren Bewegungswiderstände, wie diejenigen vom Rand und am Grunde, grösser sind. Während Teilchen des Wassers in Berührung mit den Kanalwänden fast stille stehen, und ihre Bewegung dann erst innerhalb des Stromes rasch zunimmt, verhält sich der Schuttstrom weniger biegsam in sich selbst. Er scheert sich gleitend an den Wandungen seiner Bahn ab. Der grösste

Unterschied in der Bewegung des Schuttstromes im Vergleich mit Wasser besteht darin, dass der Schuttstrom nicht nur fliesst, sondern auch noch gleitet, und dass seine Geschwindigkeit infolge innerer Reibung und grösserer Kohäsion viel geringer bleibt als diejenige des Wassers.

Dagegen besteht eine viel vollkommenere Ähnlichkeit im Fliessen des Schuttstromes mit demjenigen des Gletschers, der auch gleitet und fliesst. Da wie dort verursacht die in der Mitte grössere Geschwindigkeit eine Streckung (Zug) vom Rande talwärts nach der Mitte. Senkrecht auf diese Zerrung entstehen klaffende Spalten vom Rande gegen die Mitte schief talaufwärts (Fig. 1). Das sind die normalen „Randspalten" der Gletscher, die ganz so sich auch in vielen Schuttrutschungen einstellen. Die Randspalten sind der sichtbarste Beweis für das Fliessen. In der Bewegung eines Schuttstromes ist das Rutschen (Gleiten) bei geringerem Wassergehalt stärker, mit der Durchtränkung nimmt das Fliessen zu — Endglied ist der Schlammstrom, der Muhrgang.

Ähnlich wie grosse Schuttmassen bewegen sich noch Lawinen, Lavaströme, ganz ähnlich, aber noch viel langsamer und viel regelmässiger, die Gletscher. Alle strömende Materie gibt ähnliche Bilder. Indessen darf man doch nicht übersehen, dass die Art des Fliessens nach verschiedenen inneren Eigenschaften des Materiales auffallende Unterschiede ergibt. Um die Gletscherbewegung zu begreifen, verglichen vor 80 bis 100 Jahren besonders die englischen Physiker dieselbe mit dem Fliessen von Honig oder von warmem Wachs, von Teer oder Pech. Das war nicht zutreffend. Diese zähflüssigen Körper reissen bei ihrer Bewegung keine Spalten. Sie verringern ihren Querschnitt, wo Zug ins Spiel kommt; sie ziehen sogar „Fäden". Diese Art innerer Kohäsion, die jede Verschiebung eher zulässt als eine Trennung der Teilchen, fehlt dem Gletscher, den Lawinen und allen Mischungen von Wasser mit Gesteinsmaterial. Die Nässe klebt wohl die Trümmerchen etwas weniges zusammen, wenn aber eine Zugspannung sich einstellt, so tritt sofort senkrecht auf deren Richtung die klaffende Trennung oder die Verschiebung ein. Also Gletschereis, Schuttströme verhalten sich plastisch gegenüber Druck, Spröde bei Zug.

Ganz allgemein ausgedrückt beruht jedes Fliessen darauf, dass das Gewicht der fliessenden Masse ihre innere Festigkeit zu überwinden vermag.

Es gibt Schuttrutschungen in allen Dimensionen, von nur 10 bis 50 m^3 bis zu über einer Million m^3 bewegtem Volumen. Allein

die Dimensionen grosser Felsbewegungen erreichen sie nicht. Sollte sich irgendwo eine Schuttrutschung von mehreren Millionen m^3 vorbereiten wollen, so wird der Schutt sich in kleinere Partien geteilt unterwegs begeben, ohne die Abfahrtsbereitschaft des Ganzen abzuwarten. Überdies ist eben die Schuttbedeckung immer unterbrochener und dünner als die Felsmassen des Anstehenden.

Entwässerung zur Abwehr.

Die Bewegung der Schuttrutschungen, es sei nochmals wiederholt, ist ganz an den Wassergehalt des Schuttes gebunden. Ist kein oder nur noch vermindertes Wasser darin, so bleibt der Schutt bis zu 20 bis 30° Böschung stehen. Daraus ergibt sich ohne weiteres, dass man die Schuttrutschungen am ehesten durch Entwässerungen bekämpfen kann. Recht bezeichnend ist die schon oft gemachte Erfahrung, dass die stärkste Stütz- oder Ablenkungsmauer von einer andringenden Schuttrutschung weggestossen oder umgeworfen wird, während eine Reihe starker Pfähle manchmal sie feststellt. Die Pfahlreihe bietet für die ersten Minuten ein Hemmnis. Diese Augenblicke benützt sofort das Wasser, um aus dem Schutte und zwischen den Pfählen herauszulaufen. Diese Entwässerung greift rasch weiter in die Schuttmasse hinein, und damit bildet hinter der Pfahlreihe der entwässerte Schutt den festen Wall für den hinterliegenden. Der etwas entwässerte Schutt staut sich selbst.

Um nun eine Schuttrutschung nicht entstehen zu lassen oder während schon begonnener Bewegung zu stellen, muss vor allem die Frage beantwortet werden: woher kam und kommt das Wasser in unsere Schuttmasse hinein? Daraus ergibt sich denn, wo und wie eingegriffen werden soll. Die Verhältnisse sind sehr mannigfaltig, oft kompliziert, und erfordern jedesmal eine eingehende Untersuchung. Ohne solche kann man grosse Misserfolge erleben. Ich will nur wenige typische Fälle herausnehmen.

Fall 1: Wir gehen rings um das Abrissgebiet der drohenden Schuttmasse. Da treffen wir an einer Stelle auf einen kleinen Bach, der aus einem Sumpfgebiet kommt. Auf unserem Abrissgebiet verteilt er sich, breitet sich aus, versickert. Sonst sind die Ränder des Gebietes nicht fähig, Wasser zu liefern, der Boden ist bis tief hinab geschlossen und eher schwer durchlässig. Da ist leicht abzuhelfen: Das Bächlein muss vor dem Eintritt in unser Schuttgebiet gut abgefasst und weggeleitet, oder in einer guten Zementschale über das empfindliche Bodenstück abgeführt werden.

Fall 2: Im umgebenden Boden liegt viel Grundwasser. Es tritt dasselbe nicht aus und es fehlen sichtbare Zuflüsse in unser Gebiet. Aber das Grundwasser dringt in den tieferen Lagen ein. In nassen Zeiten ist unser fragliches Gebiet sogar so sehr mit Wasser von unten erfüllt, dass dasselbe an einigen Stellen heraufquillt

und die Vertiefungen mit Tümpeln füllt. Eine Scheidewand, geschlossen ringsum bis auf die undurchlässige Grundlage, wäre ein sehr schwieriges und kostspieliges Stück Arbeit. Wir schneiden Entwässerungsgräben ein, hinab bis auf undurchlässige Unterlage, belegen sie mit guten Drainierröhren; und „beigen" sie mit Steinen etwa 1 m hoch auf, darüber folgt ein Zementguss und dann Zuschüttung mit dem Aushub. Natürlich muss die Anlage der Gestalt des Bodens und den Ablaufmöglichkeiten angepasst werden.

Fall 3: Manchmal führt eingehende Prüfung zu der Überzeugung, dass die Durchnässung unseres Bodens nicht vom Boden kommt, sondern nur von dem hier fallenden Regen und Schnee, der nicht ablaufen kann, herrührt. Einen grossen Schirm über die ganze Fläche können wir nicht aufspannen. Aber da kann oft am besten ein System oberflächlicher Ablaufrinnen helfen. Das Wasser, das vom Himmel fällt, soll nicht Zeit haben zur Versickerung, sondern rasch ablaufen.

Fall 4: Am dankbarsten zum Eingriff sind Fälle, wo der Geolog zum Resultate kommt, dass die stetig sich wiederholenden Drohungen zur Bewegung immer wieder von ein und demselben Punkte ausgehen, obschon dort und in der Umgebung der Boden an der Oberfläche stets trocken bleibt. Da muss in der Tiefe, vielleicht aus dem Felsen, eine Quelle in den Schuttboden münden, von der dann die Beweglichkeit gespiesen wird. Oft wächst stetig ein Schuttstrom unten aus einer zirkusförmigen Nische heraus. Dann kann man sicher sein, dass die Quelle tief oberhalb dem Mittelpunkt der Nische liegt. Mit einem kurzen tiefen Graben kann man sie abfangen. So war es z. B. oberhalb eines Schuttstromes an der SO-Bahn, zwischen Trachsli und Kupfenried 1897. Ähnlich an der Ostflanke des Rossberges von 1400 m bis 950 m Höhe gegen SE, aufs neue stark bewegt im Frühjahr 1910. Die Schuttströme an der S-Seite der grossen Mythen bei Mythenbad bis Geschloo-Rickenbach könnten alle leicht durch gründliche Fassung und Ableitung der grossen Quellen bei Räthigs, Hasli etc. stillgestellt werden, während sie jetzt die Weiden zerstören und die Gebäude beschädigen.

Bei Kellenholz-Hirzel (Kt. Zürich) befindet sich ein Zirkus aus einer Deckenschotterwand („diluviale", „löchrige" Nagelfluh) ausgebrochen (Fig 3). Unterhalb folgen grosse Nagelfluhblöcke, die sich unter die Strasse bis nahe an die Sihl als bewaldeter Blockstrom erstrecken. Am unteren Ende des Schuttstromes erschienen zwei grosse Quellen von 500 und 1000 Minutenlitern. Die Ursache des von Zeit zu Zeit nischenförmigen Zurückbrechens der Deckenschotterwand war, so schlossen wir, die Quelle, vom Deckenschotter geliefert, und über der ausweichenden unterliegenden Grundmoräne fliessend. Erst musste durch einen Schacht an der einen Flanke der Nische die Höhenlage der undurchlässigen Grundmoräne bestimmt, und dann mit Stollen, die Sohle auf der Grundmoräne, in die Wand eingedrungen und ca. 10 m hinter ihrer Nischenrundung durchgefahren werden. So fassten wir die herrliche Quelle ab. Die Rutschungen der abgebrochenen Nagelfluh haben aufgehört, die Quellen am unteren Ende des Trümmerstromes sind abgestanden. Die Quelle fliesst jetzt in das Brunnennetz der Stadt Zürich und gehört zu den besten unserer Wasserversorgung. (A. Heim, „Geologie der Schweiz", Band I, Seite 421, Profilzeichnung.)

Die Umstände, unter denen Schuttrutschungen durch Entwässerung bekämpft werden müssen, bieten noch viele weitere Mannigfaltigkeiten. Im allgemeinen greift man erst ein, wenn das Unglück schon in vollem Gange ist, und sehr oft ist sein Auftreten selbst

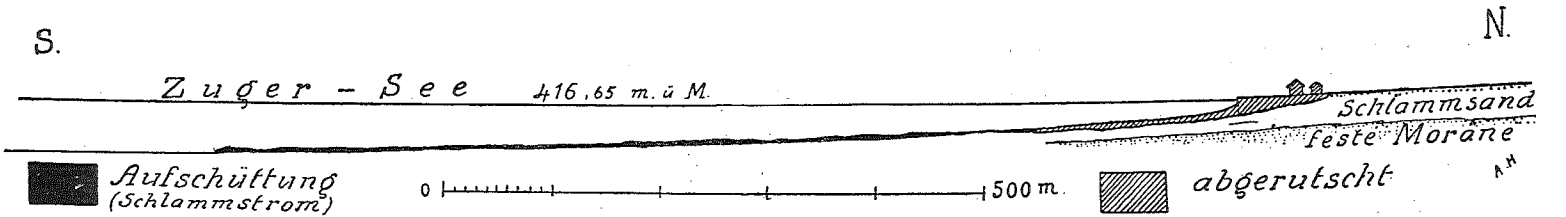


Fig. 5.

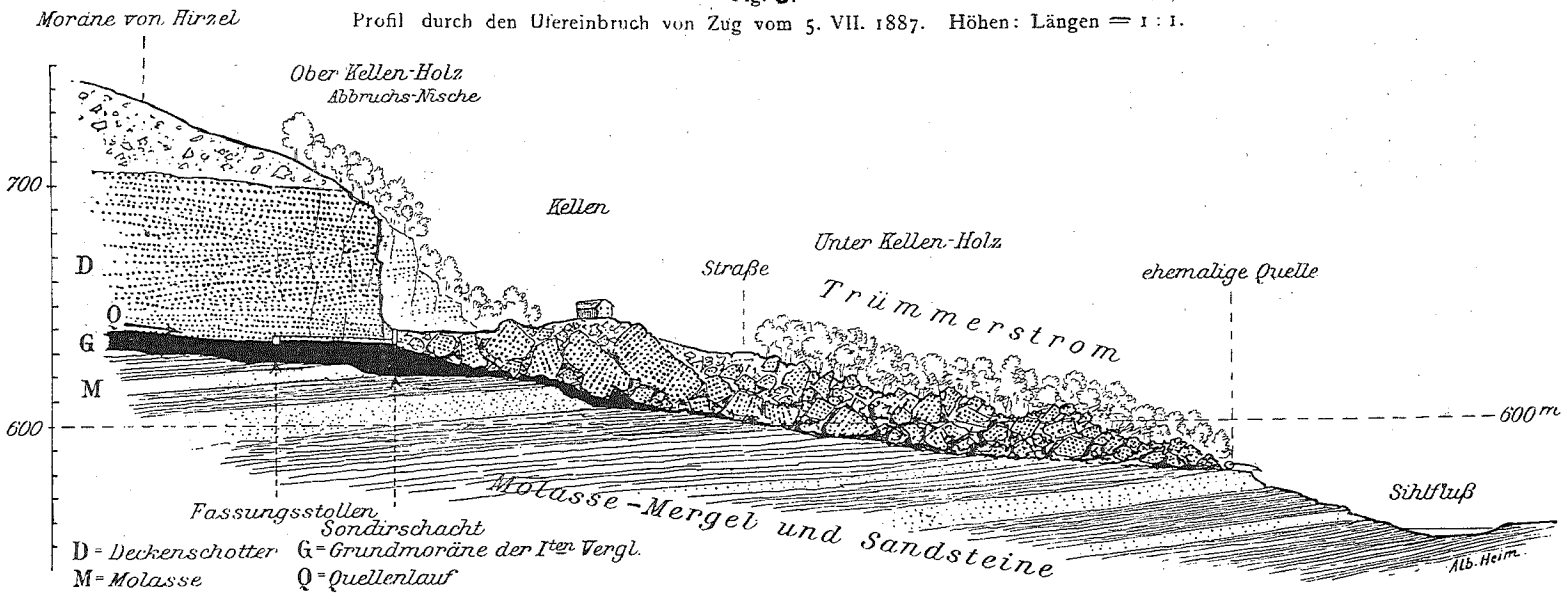


Fig. 3.

Schuttrutschung und Quelle bei Kellenholz-Hirzel, Kt. Zürich

schon die Schuld einer Nachlässigkeit (Abwässer einfach verlaufen lassen, statt sie geschlossen in einen Bach oder Fluss abzuleiten, Tümpel einfach stehen lassen, statt ihnen Abfluss zu geben, alte Ablaufdolen nicht zu unterhalten etc.). Es ist mir indessen doch ein Fall bekannt, wo eine gefährliche Schuttrutschung durch rasche Entwässerung bei Sicht der ersten Bewegungsspuren stillgestellt worden ist. Es betrifft dies 1900 Gschwend bei Unter-Iberg (unfern Einsiedeln).

Steht man vor einem Notfall, wo grosses Unglück droht (z. B. Dorf Herdern, Kt. Thurgau, 1876), so muss rasch entwässert werden. Die der Zukunft dienenden tieferen Drainageanlagen, die längerer Bauzeit bedürfen, müssen noch verschoben werden. Alle Kraft hat sich auf Entwässerung der Oberfläche, Abläufe der die Spalten füllenden Wasser, Ablenkung von Zuläufen etc. zu werfen. Man könnte die Anordnungen gliedern in erstens Notarbeiten: rasche Oberflächenentwässerung und zweitens dauernde Sicherheit bietende, tiefe Entwässerung oder Quellenfassung.

Schuttrutschungen, oft von bedeutender Ausdehnung, lassen sich in Menge wohl aus jedem Jahrhundert aufzählen. Sie vernarben wieder, es wird das zerstörte Land wieder „urbarisiert", und im folgenden Jahrhundert weiss man meistens nichts mehr davon. Nur wenige grosse „Erdschlipfe" blieben länger in Erinnerung und werden oft wieder angeführt. So z. B. 1700 bei Fischingen, Kt. Thurgau, „Bergschlipf" mit ausgedehntem Schaden an Kulturland. 1769 Berneck und Heiden (Appenzell A.-Rh.) schwere Erdschlipfe. Es wäre leicht, Hunderte von Fällen zusammenzufinden.

Manche richtige Entwässerung hat früher gefährliche Gebiete für Jahrzehnte vollständig gesichert. Allein die Formung der Erdoberfläche steht nicht still. Die Verwitterung und Untergrabung bereiten langsam immer wieder neue Bewegungen in verschiedenen Formen vor.

Block- und Schlammablagerung, Ursachen, Zwerge.

Bei Schuttrutschungen kommt es hie und da vor, dass sich das Ablagerungsgebiet teilt in Blockablagerung und Schlammablagerung — wenn die Fahrbahn auf weniger geneigtes Gehänge tritt, bleiben die Blöcke liegen, während der Schlamm zwischen hinaus fliesst und sich auch noch bei ganz geringen Böschungen talwärts bewegt. Schon ein Hindernis wie Wald kann einen nicht zu tiefen Schuttstrom sieben, indem er das feinere Material breiartig durchfliessen lässt, die Blöcke aber zurückhält (1868, Bilten, Kt. Glarus).

Wenn ein Schuttstrom über ein sanft geneigtes Gehänge hinabfliesst, in welchem aber steilere Stellen vorkommen, so entstehen am oberen Rande jedes Steilabsturzes aufs neue Abrißspalten innerhalb des Trümmerstromes, ganz ähnlich wie diejenigen vom Abriss im Abrissgebiete. Es wiederholen sich Querspaltung, treppenförmiges Absinken, Randspalten vom Rande schief aufwärts gegen die Mitte, Scheerrisse an den Flanken und weiter unten Wülste und Aufstau. So können die Bewegungen einer Schuttrutschung am gleichen Strome sich zwei oder mehrmals wiederholen. Ein Vorgang knüpft sich an den vorangegangenen und das gleiche Material wiederholt seine Stromstadien, wie durch Verjüngungen. Ein solcher Fall ist in unserer Fig. 1 (unten) in Grundriss und Profil dargestellt. Unter Umständen können die späteren Abschnitte verstärkt werden durch Mitnahme neuen Schuttmateriales.

Die **Ursachen der Schuttbewegung** sind im grossen ganzen immer die drei normalen Ursachen aller Bergstürze: 1. Entstehung von übermaximalen Böschungen durch Angriff des Fusses durch Fluss oder Bach; 2. Abnahme der Maximalböschung infolge Fortschreiten der Verwitterung oder 3. Belastung und Aufweichen mit Wasser. Die so entstandene Gleichgewichtsstörung muss sich ausgleichen durch Reduktion der Böschung mittels Abgleiten. Aber in manchen Fällen stellen sich auch noch menschliche Missgriffe ein: Untergrabung am Gehänge durch Einschnitte für Eisenbahnbau, Strassenbau, Gebäudebau, Ausbeutung; ferner: Überlastung durch Bauten aller Art, fahrlässige Wasserwirtschaft etc. Die so erzeugten Schuttbewegungen sind meistens nur von lokaler geringer Ausdehnung. Sie kommen aber massenhaft vor. Ich allein hatte deren schon weit über hundert zu prüfen. Manche davon waren sehr ernsthafter Natur. Nach Ursachen könnte man also unterscheiden Bodenbewegungen durch natürliche Ursachen und menschlich verschuldete. Diese Unterscheidung kann bei allen Bergstürzen getroffen werden. In der Mehrzahl der Fälle wirken mehrere Ursachen zusammen, und blosse Veranlassung (z. B. einige Tage Regen) ist nicht mit tieferer eigentlicher Ursache (Gesteinsaufbau etc.) zu verwechseln.

In grosser Zahl gibt es zwerghafte Schuttrutschungen. Das Abrissgebiet zeigt sich in einer halbtrichterförmigen Einsenkung, aus welcher heraus die Ablagerung als eine Aufbauchung nach unten vorstösst — in der Form erinnernd an einen Wassertropfen auf schiefer Ebene. Die Breite, Länge und Tiefe messen oft kaum wenige Meter, die bewegliche Materialmasse manchmal nur wenige, häufiger 10 bis einige hundert m^3. An Böschungen aller Art, die aus aufgelagertem

Schuttboden oder aus stark verwittertem Felsgrunde bestehen, treten diese kleinen Narben in Erscheinung. Bei uns finden wir sie am häufigsten in Grundmoränen oder bei Felsgrund in Flysch und Molasse, im Jura in Keuper, Dogger und Liastonen u. a. m. Besonders markant stellen sie sich in künstlichen Gehängen ein, sei es an Einschnitten von Strassen, Bahnen und Baugruben, sei es an Aufschüttungshalden.

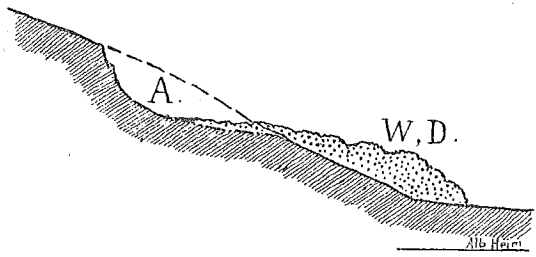


Fig. 4. Profil einer gewöhnlichen kleinen Gehängerutschung (Typus II).

Fig. 4 stellt das einfache Profil einer solchen Bewegung schematisch dar. Am auffallendsten zeigen sie sich dem Beobachter bei Streiflicht. Ausgedehnte sanfte Gehänge sind damit besetzt. Sie vernarben wieder im Laufe der Jahre, und neue brechen aus. Sie entsprechen verkleinerten Schuttrutschungen und gleichzeitig vergrösserter Solifluktion.

Typus V Schuttstürze. Beim Schutt ist Rutschen, Gleiten, Fliessen, sobald das nötige Nass dabei ist, weit gewöhnlicher als eine rollende oder stürzende Bewegung. Eine solche tritt nur ein, wenn sich in der Fahrbahn sehr steile Stellen, Felswände vorfinden, über welche der Schutt hinausgestossen wird, oder über die er hinabgehen muss. Dann wird die innere fliessende Stromordnung verwirrt oder zerstört. Aus einiger Entfernung sieht der Schuttsturz aus wie ein ganz schmutziger Wasserfall. Der Ton freilich ist anders. Die zusammenschlagenden Blöcke knallen wie Geschütze und eine Spritzzone reicht seitlich über den Schuttstrom hinaus. In kurzer Distanz unterhalb der Sturzwand läuft der breiige Schutt wieder zusammen und setzt seinen Weg als geordneter, gemächlicher Strom fort. Auch da treffen wir wieder auf Fälle, wo Schuttbewegung in Muhrgang übergehen kann. Das zufliessende oder das vom Himmel fallende Wasser entscheidet darüber. In der Mehrzahl der Fälle ist die Fahrbahn nur auf kurzen Stellen steil genug, um Schuttstürze zu erzeugen.

Am 29. IV. 1868 erlebte das Dorf Bilten (Kt. Glarus) einen Schuttsturz. Ein kleines gegen E geneigtes Isoklinaltälchen, 400 m über dem Dorf, im Mergel zwischen zwei mächtigen Nagelfluhschichten ausgehöhlt, war seit Jahrhunderten mit

Gehängeschutt erfüllt und längst mit schönem Hochwald überwachsen. Da stürzte im Frühling 1868, ganz entgegen der Gewohnheit, eine mächtige Schneelawine vom Hirzliberg ab und blieb auf dem von ihr umgeworfenen Walde auf der alten Schuttfüllung liegen. Die Schmelzung der Lawine führte zu einer ganz ungewöhnlichen Durchtränkung des Schuttes. Er fing an, in seinem Tälchen gegen E hinabzurutschen. Aber sehr bald traf er dort an eine Bresche in der äusseren Kante der bergeinwärtsfallenden Nagelfluhbank. Diese benützend stürzte der Schutt wie ein Wasserfall über die Felswand etwa 50 m hoch hinab und schlug sich dann seinen Weg durch den Wald. Am Fusse des Abhanges breitete sich der Schutt kegelförmig aus unter Teilung in Blockablagerung und Schlammstrom. Der letztere, $^1/_2$ bis 3 m hoch, floss langsam ins Dorf und hinaus in die Linthebene, wo er nach 48 Stunden stillstund. Zum Fliehen war Zeit genug, aber der Schlammstrom verschob Scheunen, überdeckte Felder, Gärten, Strassen. Er staute sich an Häusern, drückte Türen und Fenster ein. Die verwüstete Fläche wurde zu 40 Jucharten, der Inhalt des Schuttsturzes auf 180000 m^3 geschätzt. Gesamte Bewegungshöhe = 400 m, davon erst etwa 50 m Abrutschung, dann ca. 50 m Sturz, dann wieder Fliessen. Der oberste Anriss lag bei 900 m, das Dorf liegt bei 450 m Meerhöhe.

Am Sonnenberg bei Oberarth am Westabhang des Rossberges ergossen sich zwei Quellen über eine Schuttanhäufung, die auf einer Mergelterrasse dicht über einer Nagelfluhwand lag. Im VIII. 1874 geriet der durchnässte Schutt in Bewegung und stürzte senkrecht über die Nagelfluhwand ab, an deren Fuss er sich kegelförmig ausbreitete.

Die meisten Schuttstürze sind nur kleine Episoden innerhalb der Bahn einer Schuttrutschung. Sie beginnen und endigen meistens nach Art der Schuttruschungen.

Typus VI. Trockene Schuttströme können sich in Steinschlagrinnen und an Berghängen von 30° bis 40° entwickeln. Sie sind also steile Schuttströme. Sie entstehen nur auf wasserdurchlässigem Gebirge aus dessen trockenem Schutte. Die Bewegung wird verursacht einzig durch die stete Überfüllung der Steinschlagrinnen und sie sind gewissermassen Stücke von wachsenden Schuttkegeln, stets in die äusserste Maximalböschung des Schuttes eingestellt. Tritt man irdendwo vom Felsufer auf den Schutt in der Rinne, so beginnt derselbe durch die Mehrbelastung sofort abzurutschen. Das Abrutschen greift rasch nach oben. Das Steingeriesel, oft dabei auch Steinregen, können ziemlich lange dauern, bis alles wieder ruhig liegt. Ein rascher Sprung zurück auf den Fels kann uns retten. Manchmal genügt eine solche Veranlassung, um ein trockenes, rauschendes Fliessen des Steinschuttes zu veranlassen, das $^1/_2$ oder 1 m tief in den Schutt greift und eine halbe Stunde, eine Stunde dauert, bis die Böschung sich wieder in Gleichgewicht beruhigt hat. Da kann es vorkommen, dass man mit dem Steinstrome gerissen wird. Wenn Gemsen solche trockene Schuttströme queren müssen, so laufen sie in Sprüngen so schnell, dass die Steine von oben, deren Bewegung sie veranlassen, erst ihre Spur schneiden, wenn die Gemse schon weit darüber hinaus ist. Nur

ein Tier des Rudels nach dem andern tritt die Querung an, und dies immer erst, wenn das Steingeriesel hinter dem vorangegangenen sich wieder beruhigt hat. Was der Tritt eines Menschen oder eines Tieres verursacht, geschieht im normalen Gang der Natur immer wieder und wieder durch das Nachbrechen des verwitternden Felsens aus der Sammelnische oder von den Seiten der Rinne. Der kleinste Steinsturz kann eine die ganze Höhe der Schuttrinne belebende Bewegung erzeugen.

Steinschlagrinnen, geladen mit solchem trockenen Schutte, finden sich am häufigsten im Kalkstein und Dolomitgebirge. In den Engadinerdolomiten des Schweizerischen Nationalparkes kommen solche vor. Sie können vom Talgrunde bis an die Berggipfel hinauf reichen. Im Schiefergebirge sind sie weniger typisch aber auch weniger gefährlich. Dort kann man manchmal auf dem Schutte stehend und mit ihm gleitend, lange Abfahrten machen. Am prachtvollsten sah ich die trockenen Schuttströme in einigen Teilen der neuseeländischen Alpen ausgebildet, wo sie von der Sohle bis zum Gipfel der Berge reichen, welch letzterer selbst von einer Kappe seines eigenen Schuttes bedeckt ist. Dort gibt es grosse Berge, an denen man kaum anstehendes Gestein findet.

Die trockenen Schuttströme sind nicht immer bloss zeitweise, sprungweise zur Bewegung bereit. Sie zeigen ausser den Sprüngen oft auch noch ein langsames, stetiges Absinken; ein „Sacken", das sie in ihrer ganzen Tiefe ergreift und selbst wieder Veranlassung zu sprunghaften Bewegungen wird. Genauere Beobachtungen wären erwünscht.

Unterseeische Schuttrutschungen.

Als **Typus VII** gedenken wir der zahlreichen **Ufereinbrüche** am Rande der Seen, und zwar zunächst desjenigen Falles, wo ein Stück Uferland plötzlich sich abtrennt und senkrecht oder beinahe senkrecht um 5 bis 10 m oder 20 m tief versinkt, während darunter weicher Seeschlamm seewärts ausgequetscht, abfliesst. Es ist das ein Glied in der natürlichen Verlandung der Seen: Aus dem See setzte sich „Seeschlamm" ab, bald mehr Fluss- und Bachschlamm, mechanisch gebracht und gesunken, manchmal chemischer Kalkniederschlag aus dem Seewasser („Seekreide"). Torfsubstanzen können sich beimengen. Die Auffüllung hat vielleicht in seichter Seebucht schon Jahrtausende stattgefunden, der weiche Seeschlamm hat sich 5 bis 8 m hoch aufgehäuft. Ein naher Bach verschiebt seine Mündung und lagert Schichten von Sand und Kies über den Schlamm. Der Schlamm wird etwas zusammengedrückt, etwas fester. Vielleicht häufen die Menschen noch Erde darüber, um Land zu gewinnen, oder sie schütten einen Strassendamm darüber oder gar sie beginnen mit Häuserbau. Endlich wird diese Belastung dem unterliegenden Seeschlamm zu

gross, er weicht etwas aus, ein Uferstück bricht ab und versinkt, während der alte weiche Seeschlamm darunter seitlich ausgequetscht wird und an den Seegrund abfliesst.

An den Ufern des Zürichsee sind im Laufe meines Gedenkens schon an etwa 15 verschiedenen Stellen solche Ufereinbrüche erfolgt. Wir kennen sie vom Bodensee, vom Zugersee, vom Bielersee, Genfersee u. a. Sie sind auch aus älterer Zeit überliefert.

Am 4. III. 1435 versank die äusserste Häuserreihe der Altstadt Zug. 26 Häuser mit 60 Menschen verschwanden in der Nacht. Gefährdende Veränderungen waren nicht mitschuldig, vielmehr ist hier ein seit Jahrhunderten unveränderter Stadtteil versunken. Damals wurden die unschuldigen Fische angeklagt, sie hätten die Stadt unterwühlt! Dass überhaupt Unterhöhlung der Ufer an Ufereinbrüchen schuld seien, was man so oft behaupten hört, ist eine blosse Fabel. 1592/1594 wiederholte sich in Zug ähnliches in kleinerem Masse. Am 5. VII. 1887 fand am äussersten Quai in der Vorstadt Zug abermals ein Ufereinbruch statt. Mehrere Häuser stürzten ein und einige Menschen wurden mitgerissen. Auf Seekreide und feinem Schlammsand des Lorzedeltas waren einige Meter Kies aufgelagert, auf denen die Häuser standen. Überlastung des Uferrandes durch neue Quaibaute war die Veranlassung. Der Hohlraum der Einsenkung betrug ca. 150 000 m³. Der ausgequetschte Schlamm goss sich als Schlammstrom auf etwa 1050 m Entfernung in den See hinaus, wo die Seetiefe 40 m betrug. Auf etwa 700 m Länge ist sein Gefälle nur 2 % = 1 bis 1 ½° (Fig. 5, Seite 36).

Im August 1874 versank ein Stück der Landstrasse Zug-Walchwil etwa 10 m tief in den See.

Von den vielen Ufereinbrüchen am Zürichsee sei hier nur derjenige vom Februar und besonders vom 22. bis 24. September 1875 erwähnt. Er zerstörte die wenige Tage vorher dem Betrieb übergebene Stationsanlage Horgen der linksufrigen Zürichseebahn. 6560 m² Stationsboden und anliegende Wege und Anlagen versanken innerhalb sechzig Stunden in 5 Portionen, Stück um Stück, und lagen 8 bis 11 m unter Wasser, ohne seitliche Verschiebung. Dabei erlitt das Unterseegehänge gleich ausserhalb der Station bis zu 600 m Entfernung vom Ufer starken Abtrag. Der 135 m tiefe, flache Seeboden dagegen erhöhte sich um 1 bis 2 m, und das Wasser am gegenüberliegenden Ufer trübte sich. Das Stationsgebäude, fundiert auf 13 bis 15 m langen Pfählen, blieb als Halbinsel in der neu eingebrochenen Bucht stehen. An mehreren Orten landwärts der Bucht erwiesen ein Schacht und mehrere Bohrungen das Vorhandensein des unter festem Boden noch gebliebenen weichen Seeschlammes in der Tiefe von 5 bis 10 m. An den Abrißstellen hielt neue Aufschüttung manchmal wieder fest, der gefährliche Seeschlamm war dort weggefegt.

Zu Typus VII und VIII ist noch zu bedenken, dass subaquatische Erdbewegungen in Masse stattfinden können, ohne dass sie beachtet werden. Einige Fälle von einer plötzlichen wellenden Unruhe auf einem ufernahen Flecken eines sonst ganz ruhigen Wassers, nur kurz dauernd, sind wahrscheinlich durch subaquatische Abrutschungen bedingt. Dass solche auch in früheren geologischen Perioden häufig gewesen sind, ist durch allerlei Erscheinungen innerhalb der Sediment-

gesteine nicht zu verkennen. Schon könnte eine weitgreifende Abhandlung über die fossilen (= in geologischer Vergangenheit vollzogenen) subaquatischen Rutschungen geschrieben werden. Allgemein orientiert die Arbeit von ARNOLD HEIM: Über submarine Denudation etc. in Geol. Rundschau 1924. Manche Flyschbreccien sind wohl durch Ufereinbrüche und submarine Abrutschungen entstanden. P. ARNI (Eclogae 1931) und A. AMSLER haben Reste gewaltiger Uferbergstürze aus der Kreidezeit (Cenoman) im Gebirge längs dem Südrand des Schwarzen Meeres gefunden. Es sind noch viele Entdeckungen „fossiler Bergstürze" zu erwarten.

Typus VIII: Uferabrutschungen mit einfachem **schiefem Abrutschen über das Gehänge unter Wasser,** wobei auszuquetschender Seeschlamm nicht im Spiele ist. Der Unterschied gegenüber VII zeigt sich sofort darin, dass Abriss und Bewegung nicht senkrecht, sondern schief seeauswärts gerichtet sind. Solche Schuttbewegungen treten besonders massenhaft auf an den jeweiligen Stirnrändern der Delta. Auch da können Überlastungen die Ursache werden. In dieser Art sind einst grosse Stücke des Quai von Vevey 1785, 1809 und wieder 1877 auf 100 m Länge abgerutscht, ebenso 1891 am Quai von Montreux.

Die meisten Ufereinbrüche (Typ VII und VIII) fallen in Zeiten ungewöhnlich niedrigen Wasserstandes. Die Abnahme des Gegendruckes des Wassers erleichtert die Ablösung.

II. Hauptgruppe: Felsablösungen mit schleichender Talfahrt.

Die Felsbewegungen sind viel mannigfaltiger als die Schuttbewegungen. Der Charakter der einzelnen Felsbewegung hängt ab von der Art der Abtrennung der Felsmassen, der Art ihrer Bewegung, ihrer Geschwindigkeit, vom Material und dessen Wassergehalt, von der Masse, von Form und Beschaffenheit der Abrissnische, der Sturzbahn und des Ablagerungsgebietes, von der Sturzhöhe, von der Veranlassung und der eigentlichen Ursache und noch andern Momenten mehr. Es ist nicht möglich, die Felsbewegungen in eine in allen Dingen logische Reihe zu ordnen. Wir können nur auf Grundlage der tatsächlich beobachteten Fälle einige Typen unterscheiden, und fahren in der Numerierung fort. Wir gruppieren die Typen wie folgt:

A. Felsbewegungen ohne Zerstörung der Lagerung innerhalb der bewegten Gesteinsmasse.

Typus IX. „Sackung" (Absenkung, tassement) werden langsame, steile bis senkrechte Absenkungen von Bergmassen bezeichnet, die, trotz der Bewegung des Ganzen, die gegenseitige Lagerung ihrer Gesteinsmassen nicht wesentlich ändern. Sie lösen sich nicht ganz in Trümmer auf und werfen ihre Trümmer nicht regellos durcheinander. Erst wenn die Sackung sich weit entwickelt, wird die Verstellung der einzelnen Teile gegeneinander stärker. Der Fuss des bewegten Gehänges rückt im Talboden langsam vor, drückt eventuell den Fluss zur Seite oder staut ihn gar. Der obere Teil, vielleicht erst ganz vertikal abgebrochen, stellt sich allmählich auf die im grossen schiefe Lage der Rutschfläche an seinem Rücken ein. Dadurch entsteht meistens eine Vertiefung im Nacken des bewegten Bergstückes. Darin sammelt sich das Wasser, soweit es nicht gleich in die Rutschfläche eindringt und dieselbe schmiert. Diese kleinen Tümpel und Seen nennen wir „Nackenseen". Die Scheitelfläche bildet eine terrassenförmige Stufe vor der durch den Nischenabriss gebildeten Hinterwand. Manche Sackungen bewegen sich sehr langsam oder nicht mehr. Freilich ist das nicht immer leicht zu unterscheiden. Manche alte Sackungen haben allmählich flachere Bewegung gefunden und gehen dadurch allmählich über in Felsschlipfe (Typ X).

Beispiele älterer Sackungen: Obere Matt und Untere Matt am Nordfusse des Bürgenstockes sind zwei Gebirgsstücke, die vom Abhang des Bürgenstockes in den Vierwaldstättersee abgesunken sind, ohne dass ihr Schichtenbau gestört worden wäre. An der Grenze von Seewerkalk und Assilinengrünsand gemessen, beträgt die Vertikalsenkung für Untermatt 270 m bei fast ebensoviel Horizontalbewegung nach N. Die Tiefenkurven des Sees zeigen entsprechende, der Form dieser beiden Absackungen angepasste Ausbuchtungen an dem ca. 140 m tiefen Seegrunde. Dabei ist das grössere Stück, die Untere Matt, 875 m lang und schätzungsweise ca. 150 m dick. Auf der ganzen Länge liegen Schrattenkalk, Gault und Seewerkalk ungestört, fest und nicht zerrüttet aufeinander. Das ganze Stück ist einheitlich abgesunken (Vergl. Geol. Karte Bürgenstock von A. Buxtorf, Spezialkarte Nr. 27a der Beiträge zur geol. Karte der Schweiz) — es ist eine Felsbewegung vom Typus IX.

Das Dorf Oberterzen am Walensee liegt im Nacken einer Absenkung ähnlicher Art von wenigstens 120 m Vertikalbewegung. Breite der Sackung am Seeufer ca. 1 km, Ausbuchtung am Seegrund 250 m bei ca. 120 m Tiefe, sehr scharf ausgeprägt. Das abgesunkene Stück besteht aus Lias, Quartenschiefer und Rötidolomit. Die Übereinanderlagerung ist nicht gestört, aber einzelne Stücke sind im Streichen und Fallen verstellt. (Vergl. geol. Karte Nr. 44 von J. Oberholzer.)

Karte Nr. 50 (Glarner-Alpen) bringt uns eine noch viel grössere Sackung vor Augen. Am Fusse liegt das Dorf Mollis. Die Sackung ist im N von einer sichtbaren Absenkungskluft begrenzt. Sie liegt zwischen Neuenkamm und Frohnalpstock und

die Mulde Mulleren ist ihr Abrissgebiet. Die zugehörige, unten vorgestossene Ausbuchtung ist ursprünglich wohl auch in den See hinaus vorgerückt, allein seither ist hier der See wohl um 150 bis 200 m aufgefüllt und der Fuss der Sackung ist in diesen Anschwemmungskies eingehüllt worden und liegt unter dem Talboden verborgen.

Der Türlersee im oberen Reppischtal (Kt. Zürich) ist durch eine Sackung im Molassefelsen gestaut.

Arosa ist eine liebliche Landschaft, reich an Stufen und kleinen Seen. Diese Gliederung ist durch eine Anzahl von Sackungen entstanden. Die meisten Seen sind Nackenseen. In der Grenzregion von Ausser- und Inner-Arosa genügte vor etwa 20 Jahren die etwas ungeschickte Anlage des Abfalldepots einer Serpentingrube, um Bewegungen zu rufen, die mehrere Häuser schwer schädigten. Die Unterlage ist beweglicher Bündnerschiefer, auf dem nur noch in Fetzen die festeren Gesteine der überschobenen ostalpinen Decke liegen.

Manche Sackung ist für Jahrzehnte oder Jahrhunderte zum Stillstand gekommen. Aber eine Erneuerung der Bewegung bleibt oft möglich. Zahlreiche Sackungen bergen die grossen Bündnerschiefer- und Flyschgebiete.

Das Segninagebirge ist reich an solchen (BUXTORF). Dort untergraben die Wildbäche die Schiefergehänge und die Sackungen sind die Folge davon. So ist Dorf Riein schon seit über 100 Jahren zeitweise schwer geschädigt worden, es bewegte sich oft lange Zeit täglich millimeterweise. Das Dorf Tenna ist in den Nacken einer Sackung gebaut worden, die den Safienrhein gegen Osten drängt. Überall in diesen stark von Wildbächen durchfurchten Schiefergebirgen machen die Sackungen mit den Wildbächen gemeinsame Sache. Salgina im Salginatobel (Prättigau) ist auf dem Scheitel einer Sackung gebaut, die eine Absenkung um etwa 500 m erledigt hat. Zwischen Bad Serneus und Conters ist die Landquart durch den Fuss einer Sackung stark nach N gedrängt; die Bahnlinie Klosters-Davos greift mit ihrem Kehrtunnel noch in diese Sackung hinein und musste sie spüren. Die Wasserstollen, die im oberen Prättigau angelegt worden sind, haben es erfahren müssen, dass bei der geringsten Anregung oder auch aus sich selbst heraus nach langen Stillständen wieder Bewegung sich geltend machen kann. „Alp" ob Höfli, 1 km E Klosters, ist die Scheitelfläche einer kleinen Sackung. Eine sehr breite Sackung trägt auf ihrem Fusse das Dorf Saas und reicht von Mezzaselva bis Küblis. Konzentrisch dem mächtigen oberen Anrissbogen am Saaser Calanda liegen am Gebirge, N über Saas, die Sackungsterrassen Tschuggen, Mittelberg und Oberberg. Von Guarda im unteren Engadin bis über Ardez hat das Einschneiden des Inn in die Schieferunterlage des Gebirges tiefe Felssackungen und Rutschungen veranlasst, die bis über 2100 m hoch an den Piz Cotschen hinaufgreifen. Im Oberhalbstein ist die Talstufe von Roffna (1420 m) gestaut durch die östlich an Roffna anschliessende mächtige Sackung, gerichtet gegen NW, beginnend am Gipfel des Piz Cuolm mit Alp Sumnegn, 1872 m im Nacken, God da Rona vorschiebend.

Die wenigen Beispiele mögen genügen. Sie wären leicht zu vervielfachen.

Typus X. Schiefe langsame Abrutschungen zusammenhängender Felsmassen.

An die Sackungen mit vorherrschend vertikalem, jedenfalls sehr steilem Absinken eines Gesteinskomplexes schliessen sich mit allen

Zwischenformen Bewegungen mit geringerem (unter 45°—10°) Gefälle, die auch Abrutschungen von zusammenhängenden Felsmassen sind. Im Jura, in den Alpen finden sich solche bei geologischer Untersuchung nicht selten. SCHARDT und DUBOIS haben von einer langsamen Felsrutschung von 500 m Breite und 1500 m Länge, die linksseitig der Areuseschlucht (Neuchâtel) in flacher Böschung zugerichtet ist und die Bahn mitbewegt hat, berichtet. Die Schichten des Urgonien und oberen Hauterivien gleiten dort auf den unterliegenden Hauterivien-Mergeln. Im Juragebirge sind solche Felsrutschungen hie und da zu treffen. Der Felsbau bedingt dabei alles.

Wenn im Abgerutschten die Schichten ihre gegenseitige Lage behalten haben, also die Felsmasse als Ganzes sich bewegt hat, so war sicher die Bewegung ein langsames, sanftes Gleiten. Jede rasche Bewegung müsste den wandernden Bergteil zerbrochen und seine Trümmer verstellt haben.

Beispiele: Trias und Lias bei Getschwilen, 1 km E Spiringen (Schächental). Unter der sehr guten Bezeichnung „Zusammenhängend abgesunkene Komplexe" hat MÜHLBERG solche meistens in Jurakarten bezeichnet. Ich nenne „Auf dem Roggen" N Oensingen, „Auf der Egg" und Bärwald W an der Wannenfluh, Bussbarg N Wettingen an der Lägern u.a.m., und in grosser Ausdehnung finden sich solche Abgleitungen im Gebiete von Günsberg, E vom Weissenstein.

B. Felsbewegungen unter Zertrümmerung und Verstellung des Bewegten, übergehend in schleichenden Trümmerstrom (Typus XI und XII).

Strömungskonglomerate aus Fels, Eis oder Schnee.

Solche Felsbewegungen zeigen in ihrem Verlaufe immer mehr Ähnlichkeiten mit den normalen Schuttrutschungen (= schleichenden Schuttströmen).

Der Unterschied liegt in der Beschaffenheit des Abrissgebietes und der Art der Ablösung des Materiales. Der Fels löst sich in grösseren Stücken, in zerfallenden Massen ab, und nährt mit denselben vorweg den sich langsam bewegenden Schuttstrom. Der Schutt lag nicht schon als solcher zur Reise bereit. Die Bewegung **beginnt im Fels**, der selbst seine Trümmer vorweg sendet.

Vom oberen Anfang bis an das untere Ende wird der Fels immer kleintrümmeriger, denn die Bewegung dreht, wälzt und presst die Blöcke oder Platten, so dass sie weiter zerbrechen, ihre Ecken und Kanten aneinander abschürfen, sich runden und ihre Zwischenräume mehr und mehr mit ihren kleineren Splittern und Trümmern und mit Steinmehl füllen. Der Schuttstrom ist eine grosse langsame,

aber kräftige Steinmühle, er verarbeitet sich selbst zu einer Strömungsbreccie. Mit dieser Umarbeitung des Schuttes Hand in Hand vermehrt sich der Einfluss des Wassers (Schneeschmelze, Regen, zufliessende Quellen und Bäche) auf die Bewegung. Er kann einer Schuttrutschung so ähnlich werden, dass man den Unterschied erst erkennt, wenn man an seinen Ursprung geht. Nach regenreichen oder schneeschmelzenden Tagen, in stiller Nacht auf dem Schuttstrom horchend, vernimmt man oft deutlich das Knistern, Knarren und Knirschen der aneinander sich reibenden und kratzenden oder gar brechenden Steine. An den Steinen findet man krumme, tiefe Schrammen schon beim schleichenden Schuttstrom.

Eis-Trümmerströme.

Schon mehrere Male hatte ich Gelegenheit, Trümmerströme, aus Eisblöcken entstanden, zu verfolgen. Das Eis ist ein leichtes, sprödes und wenig festes Gestein. Beim **Eisgang eines Flusses** wird durch das anschwellende Wasser die gefrorene Decke zuerst gehoben und in Eistafeln zerbrochen. Die Eistafeln werden dann an Hemmungsstellen übereinandergestossen. Das Eis bildet dann grosse Stauhaufen, die ruckweise vorgetrieben werden. Es knarrt und rauscht. Es wird grösstenteils zersplittert, zermahlen. Schliesslich ist es umgewandelt in einen Haufen von Eissplittern, aussehend wie körniger Schnee, und einschliessend eine Menge von verschieden grossen Eiskugeln, den abgeriebenen und gerundeten Bruchstücken der ursprünglichen Eistafeln. Wie am Grunde eines geschiebereichen Stromes alle Steinstücke in gerundete Gerölle umgearbeitet werden und die abgeriebenen Ecken und Kanten den Sand und Schlamm liefern, so wird der Eisgang in ein Konglomerat von Eisgeröllen, gebettet in Eissand, umgewandelt. **Bergsturzartiges Niederbrechen von Gletschereis** schafft durch die Bewegung in der Eislawine ein ganz gleiches Konglomerat von Eisgeröllen in Eissand. Ich konnte keinen Unterschied finden in der Struktur des gebrandeten Eisganges der Sihl, 3. II. 1893, und in der $4^1/_2$ Millionen m^3 haltigen Gletscherlawine der Altels am Gemmipasse, 11. IX. 1895. (Verglichen Vierteljahrsschrift d. Nat. Ges. Zürich, 1894, und Neujahrsblatt d. Nat. Ges. Zürich, 1896 — in letzterem phot. Abbildg. des Eiskonglomerates von Flusseisgang und Gletscherlawine.) Was entstanden ist, ist ein „Strömungskonglomerat" oder eine „Strömungsbreccie".

Die Trümmerströme jeder Art haben ihre besonderen inneren Bewegungen. Da die Strömung am Grunde durch Reibung stark gebremst wird, so gehen die einzelnen Blöcke, die mit dem Grunde

in Berührung kommen, in rollende Bewegung über. Die Blöcke in höherer Lage im Blockstrom ihrerseits rollen auf den tieferen. Die tieferen Trümmer rollen mehr, die höheren fliessen rascher. Die Abnutzung an allen drängt zur Kugelform. In den Felstrümmerströmen der Bergstürze finden wir wohl hie und da gerundete Ecken und Kanten und krumme Schrammen, aber noch keine glatten Kugeln. In den Strömen des viel leichter zu bearbeitenden und empfindlicheren Eises dagegen erhalten wir schon nach einer Strömung auf 2 km Länge, in einigen Minuten vollbracht, das Kugelkonglomerat, oder richtiger: das Eismehl, einschliessend die Eiskugeln. (Unter der Altels 1895, Kugeln von wenigen Zentimetern bis zu solchen von 1 m Durchmesser, im Eisgang der Sihl ebenso, aber hier erst nach etwa 10—20 km Weg.)

Wir müssen uns im Inneren der Trümmerströme durchweg die Tendenz zum Zurechtrollen von Kugeln denken, denn die Kugel im zugleich gleitenden und fliessenden Strome wird der Bewegung den geringsten Widerstand bieten.

Während die Gletscherlawine und der Eisgang ein Kugelkonglomerat aus eckigen Blöcken durch rollende Bewegung unter stetigem abnutzendem Zusammenstossen erzeugt, schafft die *Schneelawine* des Tauwetters Kugeln durch Zusammenballen und Abdrehen im bewegten Schneestrom. Die vor kurzer Zeit frisch gefallene und eben zum Stillstand gelangte Grundlawine ist sofort zu erkennen als fast ganz ein Haufe von gedrehten Schneekugeln, Schneescheiben und Schneezylindern. Die Drehachsen liegen vorherrschend horizontal und senkrecht zur Bewegungsrichtung der Lawine. Diese Rotationseinheiten, die sich bilden und in welche sich der ballende Schnee einstellt, haben Durchmesser von wenigen Zentimetern bis zu 1, sogar 2 m. Wir erkennen somit bei Eis zwei Arten der Strömungskonglomerate: 1. Bei Eisgängen und Gletscherlawinen, entstanden durch Zertrümmerung des Felseises und Abrundung der Trümmer; 2. bei Grundlawinen durch festes Zusammenballen und Drehen des körnigen Schnees. Das letztere beruht einzig auf der Eigentümlichkeit von Eis, bei annähernd 0° in zwei Stücken zusammengedrückt, sofort fest zusammenzuwachsen („Regelation", „Schweissen", „Ballen" des Schnees).

Den Gesteinen fehlt die Regelation. Beim Trümmerstrom aus Felsblöcken könnte nur die Abrundung der Trümmer durch Zusammenschlagen und aneinander Abdrehen und Abreiben zur Kugelbildung führen.

Die Umwandlung des aus dem Abrissgebiet hervordringenden Felsens in einen Schuttstrom und schliesslich in ein Strömungskonglomerat geschieht in gleicher Weise, ob die Felsablösung durch Abgleiten von Schichten oder durch Abbruch anderer Art vollzogen worden ist (Typ. XI u. XII).

Typus XI: Die Abtrennung des Felsens erfolgt auf den Schichtflächen (Plattung, Schieferung). Die ganze Bewegung, vom noch zusammenhängenden bis zum ganz in Trümmer aufgelösten Felsen, vollzieht sich als ein langsames Abgleiten, Rollen und Fliessen auf der schiefen Ebene der Schichtflächen, oft unter Mitwirkung starker Durchnässung.

Das schönste, aber auch traurigste Beispiel dieser Art, das ich näher kenne, betrifft das ehemalige Dorf und die Terrasse **Campo-Valle Maggia** im Tessin (Vergl. HEIM, Die Bodenbewegungen von Campo im Maggiatale, Vierteljahrsschrift d. Naturf. Ges. Zürich, 1898).

Die Geschichte der Bewegungen von Campo. (Fig. 6.)

Das schöne grosse Dorf Campo-Valle Maggia lag auf herrlicher Terrasse vielleicht 20 bis 30 m über der Rovana. Die breite sonnige Terrasse und ihr Abhang zur Rovana und die ganze Umgebung waren noch in den Jahren 1818 grün und unverletzt. Aus den Jahren 1834 und 1839 werden schwere Hochwasser erwähnt mit einem kleinen Abbruch am Terrassenrande. 1852 verkaufte die Gemeinde viel Wald in der Alpe di Quadrella und gestattete unglücklicherweise den Wegtransport durch Flössen. Oberhalb Campo wurden 3 Wasserschwellsperren errichtet, um dann jeweilen durch deren Öffnen das Holz durch die Rovanaschlucht zu jagen. 1857 stürmte das hochangeschwollene Wasser mit solcher Kraft, dass der Boden in Campo zitterte, das linksseitige Ufer unterspült wurde, eine Reihe von Ställen abrutschten und bald darauf 10 Häuser zerrissen oder schief gestellt wurden. In 6 Monaten war die Rovana um 12 m und seit 1852 um 30 m eingetieft. Die ganze Terrasse mit dem Dorfe Campo war ins Rutschen geraten. An den Randrissen verschob sich die zerschnittene Strasse jährlich um ca. 1 m. Nach langem Kampfe wurden endlich 1859 die Schwellsperren entfernt. Nun ging aber noch fortan ein grosser Geschiebetransport von den angerissenen Gehängen weg. Cevio wurde sehr bedroht und das Maggiadelta wuchs rasch in den Lago Maggiore hinaus. Mit dem Hochwasser 1868 vermehrten sich die Übelstände. Der Dorfbach schnitt sich ein, seine Ufer brachen nach, Haus um Haus wurde unbewohnbar. Bis 1892 hatte sich die Rovana auf 150 m unter den Terrassenrand von Campo (70 m unter den Stand 1864) eingetieft, in 40 Jahren betrug die Vertiefung 100 m. 1887 begann man mit Verbauung der Rovana, Sicherung gegen Einschneiden und gegen linksseitigen Uferangriff. 1896 war Ruhe eingetreten — freilich nach einer Reihe trockener Jahre — und man glaubte Campo gerettet zu haben. Der Winter 1896 auf 1897 war übermässig schnee- und regenreich. Im Frühling lag im Gebirge der stark gesinterte Schnee noch 7 m, im Dorfe 4 m hoch. Die Schneewasserinfiltration wurde enorm. Im Juni 1897 begann die Bewegung im Dorfe wieder. Am 4. September brachen die Sicherungsbauten an der Rovana teilweise zusammen, am 19. September stürzte ein gut gebautes Haus im Hauptteil der Ortschaft ein, und der Zerfall vieler anderer machte erschreckende Fortschritte.

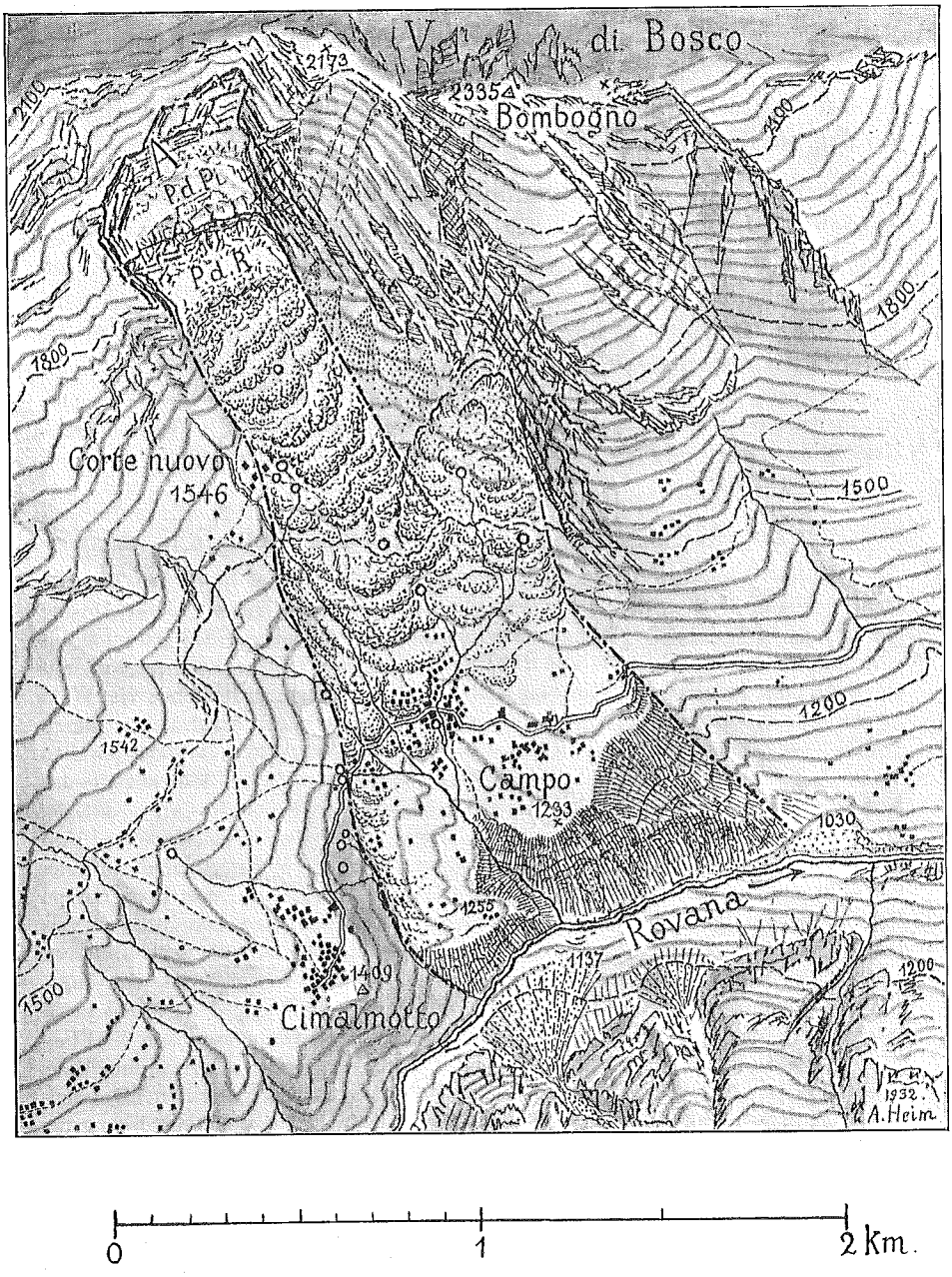


Fig. 6a. Karte der Rutschung (Typus XI) von Campo-Valle Maggia (Tessin).
Befund 1897.
ca. 1 : 20 000.

Sehr bemerkenswert ist die Tatsache, dass bis 1897 alle die fachmännischen Berater die Rutschungen von Campo für einzig durch das Anreissen der Terrassensohle durch die Rovana angenommen hatten. Der historische Vorgang, die Folgen der künstlichen Hochwasser zum Flössen, hatten sie zu dieser Auffassung gedrängt. Niemand sah sich gegen NW hinauf um! Der Sachkundige aber wäre sicherlich schon vor 1850 durch eine Untersuchung des Gebietes bis 3 km NW Campo zum Schlusse gekommen, dass die Sohlensicherung **allein** Campo nie und nimmer retten könne. Die Ereignisse von 1856 bis 1859 haben den kräftigen Anstoss zur Wiederbelebung einer Rutschung gegeben, die viel älteren, vorhistorischen Ursprunges ist.

Im Auftrage der Gemeinde Campo beging ich im November 1897 das Gebiet.

Dass die neuen Bewegungen seit Juni 1897 nicht vom Angriff der Rovana veranlasst waren, zeigte sich deutlich im damals guten Zustand der Verbauung der Rovanaufer und dem Mangel an bedeutenden Nachbrüchen am Fusse der Campo-Terrasse. Dagegen wälzten sich Rutschungswülste am oberen Rande der Campofläche auf dieselbe hinauf und von hier NW bis zum anstehenden Fels begehen wir einen gewaltigen wilden Steinstrom mit mächtigen, 10 bis 20 m hohen Wellenbergen und Wellentälern, die quer zum Strome gerichtet, und bogenförmig abwärts ausgekrümmt sind. Fast alle Bäume stehen schief. Manche grosse alte Lärche lässt an ihren Krümmungen eine ganze Anzahl von Verstellungen, wechselnd mit wieder senkrechtem Aufwachsen, erkennen, 30, 40, 60 Jahre zurück! Die Wülste sind oft aufgerissen. In den Eintiefungen dazwischen und in vielen kleinen Rissen stehen Wassertümpel, kleine Seen. Viele Bäume sind ganz gefallen. Im obersten Teil des Steinstromes werden die Querwellen höher und getrennter. Die oberste, die Piano dei Pi, besteht aus Gneiss und Glimmerschiefer in glatten Platten oder Schichten, bergeinwärts gestellt und vielfach zerbrochen. Oberhalb folgt ein queres Wellental, dann eine Schutthalde und der anstehende Fels. Das ist der eigentliche Abrissrand des Steinstromes. Die Schichten fallen mit 15° bis 25° gegen SSE. Im Hintergrunde der gut ausgeprägten Abrissnische hat die Abtrennung des Felsens quer zur Schichtung und Schieferung, die Bewegung auf der Schichtfläche, stattgefunden. Die Talmulde, in welcher der Felsstrom bis an die Rovana sich befindet, fällt mit den Schichten in gleicher Neigung gegen die Rovana, sodass die Bewegung grösstenteils auf den Schichtflächen stattfindet. Abtrennung und Bewegungsrichtung entsprechen also einer Felsrutschung, d. h. anstehender Fels, nicht Schutt, hat sich abgetrennt und bewegt sich in der Fallrichtung der Schichten, durch diese als Bahn geleitet. In der Flanke der grossen Schwelle Piano dei Pi erkennt man noch deutlich die Lagerung der Gesteine. Die Schichten sind von zahllosen Klüften durchsetzt, offenbar hinten mehr abgesunken, vorne gestaut und dadurch der anstehenden Lagerung entgegengeneigt. Eine Stufe weiter talwärts folgt als zweite die grosse Abrisswelle Piano delle rose. Da ist der Fels schon weit mehr verwittert, die Stücke gegeneinander verstellt. Noch weiter talauswärts ist der Fels in ein Blockwerk aufgelöst. Aufliegender Gehängeschutt und aufliegende Moränen werden mehr und mehr mit dem in sich zerfallenen Fels gemengt, in Wülsten vorgeschoben, eingewickelt in ein Blockwerk, in eine „Strömungsbreccie“ umgewandelt. Noch am Terrassenabsturz gegen die Rovana liegen in dieser Masse einzelne grosse Fetzen des Gneiss- und Glimmerschieferfelsens mit zusammenhängender Schichtung.

Die mittlere Böschung des Steinstromes beträgt 22°. Im oberen Teil hat er 350 bis 400 m Breite, im unteren (Campoterrasse) 900 m. Die gesamte Länge

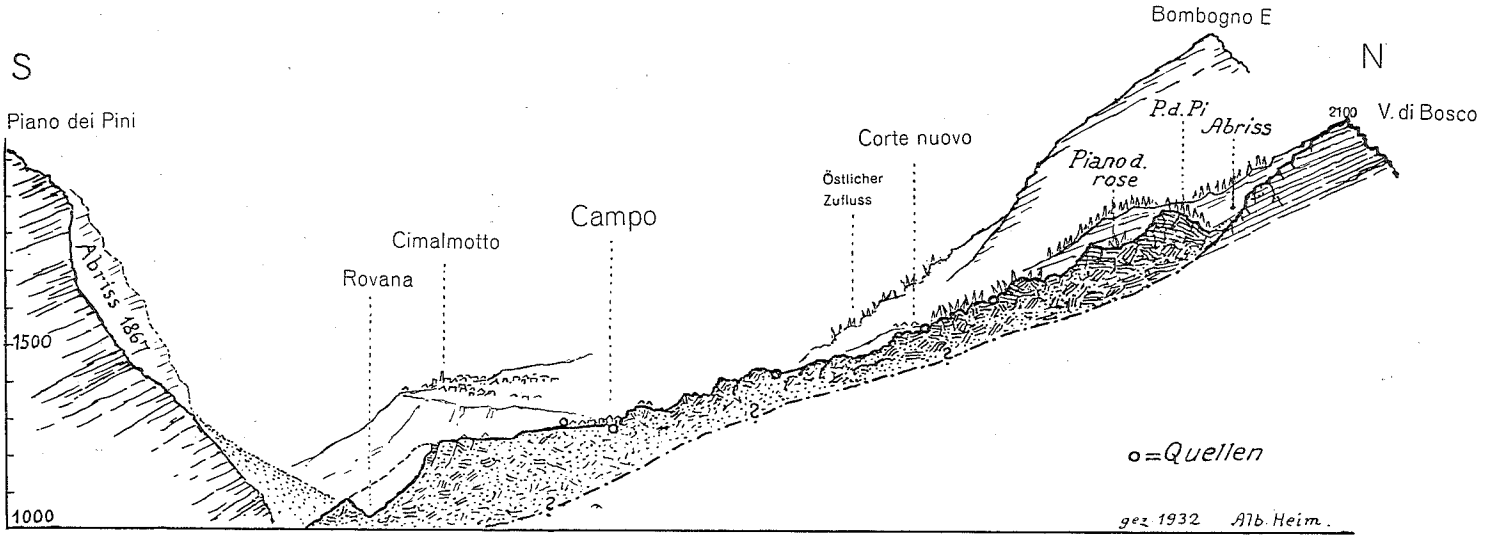


Fig. 6b. Profil der Rutschung von Campo-Valle Maggia, Tessin.
Befund von 1897.
1 : 20 000.

vom Felsabriss bis an die Rovana beträgt auf der geraden Mittellinie 2300 m. Die Gesamtmasse des Bewegten ist über 120 Millionen m³. Beiderseits wird der Schuttklotz der Campoterrasse symmetrisch von je einer geradlinigen, über 1 km langen, gegen NW gerichteten, glatten, scherenden, nicht klaffenden Randkluft begleitet. Die 1883 wieder erstellte Strasse ist bis 1897 an der westlichen Randkluft um 57 m, an der östlichen um 35 m verschoben worden. Stets musste die Abrissstelle wieder gangbar gemacht werden. Der ganze Klotz der Campoterrasse mitsamt dem Dorf hat sich in 14 Jahren um 45 m gegen SE vorgeschoben und gleichzeitig um 6 m abgesenkt. Die 1895 wieder hergestellte Verbindung der abgescherten Strassenstücke zeigt am XI. 1897 schon wieder 1 bis 2 m Verschiebung. Die beiden scherenden Randklüfte, die die ganze Steinstrommasse begrenzen, stehen am Absturz der Terrasse 1 km, auf der Linie der Strasse 856 m auseinander. Damit ist die untere Breite des Trümmerstromes gemessen.

Eine Felstrümmermasse, wie der Trümmerstrom von Campo, würde selbstverständlich in annähernd trockenem Zustande fest selbst auf einem Untergrund von 30° Neigung aufsitzen und keine Miene machen, sich bewegen zu wollen. Allein hier, teils am Rande, teils in der Mitte sprudeln 6 bis 8 mächtige Quellen hervor! Sie verlaufen zu einem grossen Teil in dem zerrissenen höckrigen Boden des Schuttstromes:

Dicht an der SW-Randkluft erscheint unter der Strasse nach Cimalmotto die Sägequelle mit über 1000 ml noch in trockener Jahreszeit. Der Boden ist bis an die Randkluft, in der viel Wasser versinkt, sumpfig. 1893 ist ein Holzkanal erstellt worden, um die Quelle in die Rovana zu leiten. Das Prinzip ist gut, die Ausführung verfehlt. Die Quelle ist nicht gefasst, sondern, erst nachdem sie schon viel Wasser seitlich und in die Trafa geliefert hat, als noch übriger Quellenbach in den Kanal geleitet. Der Holzkanal ist stellenweise verschüttet oder unterspült. Die Quelle „a la Ganella" bei ca. 1370 m Meereshöhe liegt dicht hinter der Randkluft, etwa 250 m NNW der Sägequelle. Sie lieferte bei Trockenzeit 2500 bis 3000 ml. Sie fliesst über die Randkluft und über zerrissenen Boden gegen den Bach von Campo und treibt Sägemühlen in Campo. In Campo selbst sprudelt zwischen den Häusern unter der Strasse, mitten in bewegtem Terrain, die „Dorfquelle" mit 3000 bis 5000 ml hervor. Bei ca. 1410 m quillt von der Seite des Bombogno eine milchig getrübte Quelle mitten aus den Steinstromwellen. Sie rieselt hinab, bis sie mit der Dorfquelle zusammen ihre milchige Trübung — eine Andeutung starker Bewegung in dem durchsickerten Boden — nach der Rovana trägt. Weiter oben bei Corte nuovo, 1576 m, noch innerhalb der westlichen Abscherungsgrenze des Trümmerstromes, brechen zwei starke Quellen aus den Blockwülsten hervor. Ich schätzte den Ertrag auf 500 und auf 1000 ml. Diese bildeten einen kleinen Stausee im bewegten Boden. Diese Quellen waren auch in einen Holzkennel geleitet. Aber die scherende Randkluft hatte denselben zerrissen. Ein Wulst staute das Wasser und die Hauptmenge desselben floss unter dem Holzkanal durch nach den zahlreichen Rissen, in denen es versickerte. Kaum 1/4 des Wassers blieb im Kennel. Zwischen Corte nuovo und der milchig getrübten Quelle trat im November 1897 in 1470 m Höhe abermals eine grosse Quelle mitten aus dem Trümmerstrom heraus.

Der Trümmerstrom von Campo wird nicht nur bei nasser Zeit stark durchtränkt durch die Niederschläge. Er verfügt ausserdem noch über wenigstens 10000 ml dauernden Quellwassers, das stets seinen Leib in allen Richtungen durchsickert und tränkt.

Es besteht eine Wechselwirkung zwischen 1) Fussangriff der Terrasse von Campo durch die Hochwasser der Rovana und 2) Vorstoss von oben durch die Bewegung des mächtigen durchtränkten Trümmerstromes. Das erstere Übel ist leichter abzuwenden. Beide können zeitlich zusammenfallen, sie können aber auch auf ungleiche Jahre sich verteilen. Sicherlich ist die zweite Ursache, die bis 1896 fast ganz unbeachtet geblieben war, die viel wirksamere und gefährlichere.

Nur eine richtige, möglichst gründliche Fassung und geschlossene Ableitung dieser Quellen kann und würde sicher Campo vor dem Untergange retten. Allerdings muss zugestanden werden, dass die richtige Durchführung nicht nur kostspielig, sondern auch schwierig ist und es nicht viele gibt, die der Leitung dieses Werkes fähig wären.

Seitdem ich 1897 meine Vorschläge gegeben hatte, haben Behörden verschiedener Instanzen Beratungen gepflogen. Aber es fehlte an Einigkeit und Kraft. Selbst parteipolitischer Zwist mengte sich hemmend ein. Ein Freund aus Locarno sandte mir auf meinen Wunsch noch folgende Notizen über die Schicksale von Campo seit 1900, die ich ihm herzlich verdanke. Wiederum liess man den Trümmerstrom, der auf die Terrasse von Campo stösst, unberücksichtigt. Alle Arbeit bezog sich nur auf das Rovanabett.

1900 errichtete man aus grossen Quadern eine Anzahl wenig hoher Querschwellen (Talsperren) in tiefer Fundation. Noch im selben Jahre spülte ein ungeheures Hochwasser das ganze Werk bis auf die tiefsten Fundamente hinab wieder aus. Noch im gleichen Jahre stürzte der Palazzo Pedrazini zusammen und gegen 1910 eine Kapelle und mehrere Sennhütten und Ställe. Die Anrisse vergrösserten sich; die Bewegung dehnte sich aus nach Cimalmotto, wo Risse im Kirchenportal entstunden. Der Kirchturm von Campo dagegen, der vorher 30 cm aus dem Lot stund, stellte sich sonderbarerweise wieder vollständig senkrecht. 1928 grub sich einer der Bäche, die über die Hochterrasse von Campo fliessen, tief in diese ein und bildete einen 50 m langen See. Nach einiger Zeit brach der See im unteren Teil des Rovanaanschnittes aus und entleerte sich. Er häufte dort einen so gewaltigen Materialhaufen an, dass die Rovana mehr als einen Monat mit seiner Wegspülung sich und die Maggia trübte. 1928 bis 1931 befand sich die Terrasse von Campo in relativer Ruhe. In der Zeit 1900 bis 1929 ist die Campoterrasse um 12,6 m gegen die Rovana vorgerückt und gleichzeitig um 2,8 m gesunken. Das bedeutet ein Gefälle der Gleitfläche von 12°.

Zur Zeit soll eine intensive Bepflanzung mit Oliven und Erlen teils weit über dem Dorf, teils an der Absturzfront der Terrasse beabsichtigt sein. Der Trümmerstrom und seine durchnässenden und ausspülenden Quellen über der Rutschfläche werden sich darum wenig

kümmern! Es fehlt die Einsicht und der Mut, am rechten Orte anzugreifen, und Politik verhindert die Einigkeit.

Schönes, herrliches Campo, bald wirst du nur noch ein Traum aus vergangenen Zeiten sein!

Zu Typus XI gehören eine Menge von kleineren Felsrutschungen im Gebiet der schiefgestellten Molasse, wo die Schichtung die Bewegung leitet, manchmal Quellen sie veranlassen, und aus einer rückwärtswandernden Felsnische ein langsam vorschreitender Schuttstrom sich wälzt. Die Quelle selbst, wenn sie nicht gefasst und geschlossen weggeleitet wird, durchnässt und bewegt stets den langsamen Schuttstrom aufs neue. Fälle der Art finden sich zahlreich an der Südseite des Rossberges (Schuttstrom an der SO-Bahn 1897. An der Ostflanke des Rossberges, der Gwandelenfluh, beginnend bei 1350 m und mit Schuttwulstzunge endigend bei ca. 960 m unterhalb Kessel, in starker Bewegung 1910) und viele ähnliche über Steinenberg und Ecce Homo. Eine völlige Herde von solchen halbkreisförmigen Felsnischen, aus denen Schuttströme wandern, die von dem Abbröckeln der Nischenwände genährt und sicherlich meistens von Felsschichtquellen auf Mergeln aus Nagelfluhspalten „geschmiert" werden, finden sich an dem Südabhang Rigi-Scheidegg. Auf der prachtvollen Geolog. Karte der Rigihochfluhgruppe (Spezialkarte No. 29a der „Beiträge zur Geolog. Karte der Schweiz" in 1 : 25000 von A. BUXTORF) sind sie gut dargestellt — ebenso auf der Spezialkarte No. 66a 1 : 50000.

Typus XI zeigt sich also im kristallinen Silikatgestein wie in jungen Sedimenten!

Typus XII. Die Abtrennung des Felsens erfolgt unabhängig von der Schichtung. Die ganze Bewegung wird nicht von der Schichtung geleitet, geschieht aber unter Mitwirkung von Durchnässung.

Einige Beispiele sollen ein Bild von diesem Typus der Bergstürze geben:

Brienz (S-Abhang des Lenzerhornes, Graubünden). Im XI. 1878 hat nördlich von Brienz eine Bewegung eingesetzt, die, bald langsamer, bald rascher oder mit zwischenliegenden Stillständen immer noch anhält. Der Anblick vom Dorfe Brienz aus ist grossartig. Das grünende, zum Teil bewaldete Gehänge ist unterbrochen durch einen kahlen, gletscherförmigen Strom aus oben vorherrschend hellgelben, nach unten mehr und mehr bläulichgrauen Felstrümmern. In nach oben ausgebogener Nischenwand beginnt der Bergsturz in 500 m Breite. Die Oberkante des Abbruches steht bei 1690 m Meerhöhe. Unter der obersten, senkrechten Abbruchsstufe folgen deren noch eine Anzahl vorangegangener, die bereits tiefer gesunken sind. Die hier wohl etwa 200 m mächtige, horizontal gelagerte Schichtmasse der La-

dinien-Kalke und Dolomite steigt so als eine Riesentreppe von 10 bis 40 m breiten und bis über 20 m hohen Stufen talabwärts. Die unteren Stufen werden unregelmässiger, sie zerbrechen und verstellen sich. Alles löst sich abwärts in Blöcke auf. Auf etwa 350 m Breite zusammengezogen, schleicht der Trümmerstrom herab. Nach und nach stellen sich darin immer mehr aufgeschürfte blaugraue Bündnerschiefer ein. Diese liegen unter der hier nach N aufsteigenden tektonischen Überschiebungsfläche der ostalpinen Decken über den peninnischen Bündnerschiefern. Der Bergsturz benutzt diese Rutschfläche in umgekehrter Richtung zum Abstieg nach S. Die Schiefer sind durchweicht und werden von den sinkenden Dolomittreppen ausge-

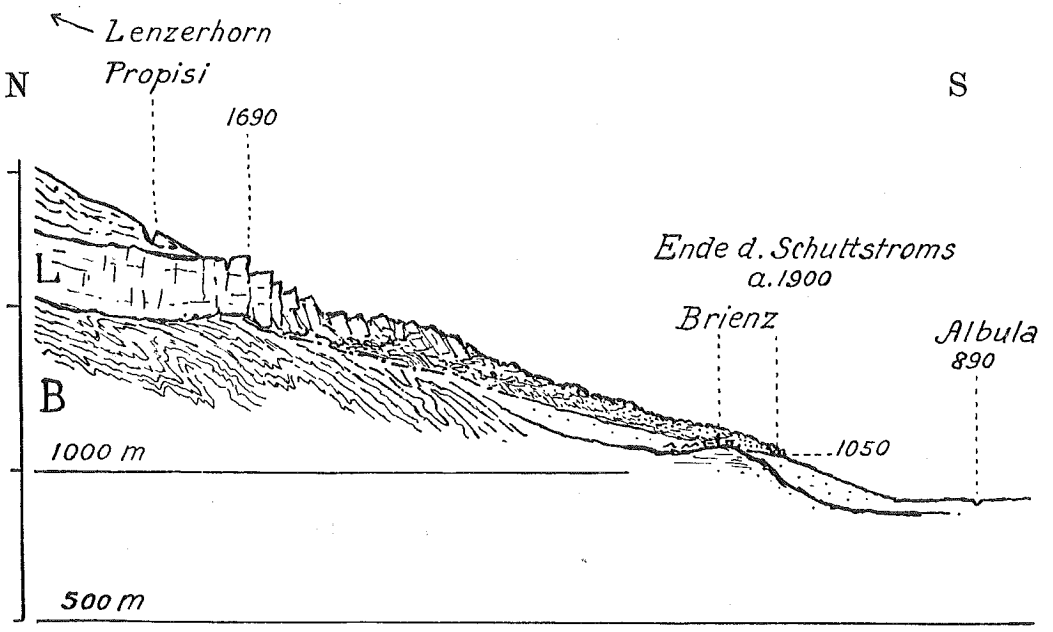


Fig. 7. Brienz (Graubünden). Seit 1878 in Bewegung.
Felsbruch, abfliessend als Schleichstrom (Typus XII).
Maßstab 1 : 25 000.
L = Ladinienkalk (Trias), B = Bündnerschiefer.

pflügt. Mehr und mehr herrscht im Trümmerstrom die Farbe der Schiefer vor. Die Mischung der beiden Gesteine wird immer inniger. Der Trümmerstrom vom Oberrand der Anrissnische in den Dolomitfelsen bis ans untere Ende der Schuttzunge misst im Grundriss 1450 bis 1500 m, der damit verbundene Abstieg beträgt 640 m. Die Fahrböschung ist 20° (ca. 1890).

In der Zeit XII. 1878 und I. 1879 drang der Schuttstrom täglich im Mittel 1 m vor. Im Sommer 1879 stund er beinahe still, im Herbst war er wieder belebt. Im Winter 1879 auf 1880 ging er auch bei der grössten Kälte vorwärts. Im Herbst 1880 erreichte er die Poststrasse Lenz-Landwasser-Davos, welche nun verlegt werden musste. Frühjahr 1881 betrug der Fortschritt 5 m, Stillstand im Sommer, Fortgang im Herbst. Trockene Zeit beruhigt die Bewegung und schläfert sie ein, nasse Zeit schafft Bewegung — selbstverständlich beides immer mit einer bedeutenden Verzögerung. So geht es fort.

Im Bergsturz von Brienz ist fast gar kein Schuttboden einbezogen. Die dolomitischen Felsen, wie die Bündnerschiefer trennen sich vorweg vom anstehenden Felsen ab. Zum Verständnis der Erscheinungen an dieser Stelle führt uns die Prüfung des Gehänges oberhalb. Gleich über der Anrissnische und unterhalb der Maiensässe von Propisi befindet sich ein grosser Versickerungstrichter, der aus weitem Gebiete von oben Regen und Schneeschmelze sammelt und unmittelbar durch den Vertikalschlot im Dolomit auf dessen Unterlage, die Überschiebungsfläche in den tonigen Bündnerschiefern, leitet. Einige kleinere begleiten ihn. Aufgeweicht durch diese sich stets wiederholende Durchnässung muss der Schiefer der Last der Dolomite weichen, den Dolomiten eine schlüpfrige Bahn liefern, und, von denselben ausgeschürft, an ihrem Trümmerstrom teilnehmen.

Ich schlug 1879 vor, den grossen Trichter von Propisi sot mit tiefem Graben oder Stollen von unten seitlich anzugreifen, den untersten Teil des Trichters mit Zement auszugiessen und das Wasser aus dem Trichter gegen das nächste östliche Felstobel abzuleiten. Der Erfolg könnte mit Sicherheit erwartet werden. Es ist aber nichts getan worden! Die Bewegung wird im gleichen unregelmässigen Tempo weitergehen. Schon gegen Ende des letzten Jahrhunderts waren etwa 3 ha Wald und 3 ha Wiesen zerstört. Die Strasse wird wieder zerstört, dann wird die Bahn bedroht werden. Im Trümmerstrom selbst und in der nächsten Umgebung seines Zungenendes haben sich bereits 6 bis 7 Quellen eingestellt. Sie bringen das Wasser der Trichter von Propisi zu Tage, nachdem es seine Übeltaten vollbracht hat.

Unser jetziger Brienzerbergsturz ist übrigens hier nicht der erste, sondern die Nachhut eines viel grösseren prähistorischen, der viel weiter ausgegriffen hat. Die Terrasse von Brienz ist von ihm überschüttet und er reicht bis an die Albula hinab, die er zwischen Surava und Tiefenkastel auf einer Länge von fast 2 km über 1/4 km gegen S gedrängt hat.

Ein sehr ähnlicher Bergsturz hat sich über **St. Moritz** (Oberengadin) zugetragen. Welchem Besucher von St. Moritz sollte nicht der schiefe, aber seit Jahrzehnten immer noch gleichstehende alte Kirchturm auf der N-Seite der Strasse bei St. Moritz-Kulm aufgefallen sein. Er steht am Fusse eines Trümmerstromes, der sein Fundament noch etwas gestaut hatte.

Der Trümmerstrom beginnt mit Abrissnische ca. 500 m breit bei 2369 m am S-Rande der Terrassenfläche von Val Saluver. Am Bergsturze sind Gips, Rauhwacke, Triasdolomite und Casannaschiefer beteiligt, die aus annähernd horizontaler Lage abgebrochen sind. Die Trümmer sammeln sich im unteren Teil des Abbruchgebietes zum Talweg als Schleichstrom, dessen Beweglichkeit durch grosse Quellen bei etwa 2100 m, die aus den Triasdolomiten von der Seite in den Schuttstrom hinübertreten, gehörig geschmiert wird. Zahlreiche Versickerungstrichter in den Dolomiten des breiten Bergrückens von um 2400 m Höhe (Munt da St Moritz) liefern das Wasser. Weiter unten treten im Trümmerstrom Quellen hervor und versickern wieder. Man

meinte, die Kalktuff ablagernden Quellen sollten nun den Trümmerstrom versteinern. Man wusste nicht, dass tuffbildende Quellen dies nur an freier Oberfläche tun, wo die Kohlensäure entweichen kann, nicht aber eingesickert im Boden. Ich habe dringlich Fassung der Quellen und Leitung zur Wasserversorgung empfohlen, weiss aber nicht, was dann geschehen ist.

Der Trümmerstrom ist von oben bis unten 500 bis 600 m breit, beidseitig von parallelen Scherflächen begrenzt. Er hat 500 m Fallhöhe bei 1600 m Basislänge. Anscheinend sind schon seit vielen Jahren keine starken Bewegungen mehr eingetreten. Er ist teilweise bewaldet. Vom obersten Abrissrand bis zum Fuss am schiefen Turm ist das Gefälle 19°, in den unteren $^2/_3$ der Gesamtlänge unter 2100 m hat der eigentliche Trümmerstrom 13° Böschung: Bewegte Masse über 10 000 000 m³.

Der Trümmerstrom von St. Moritz hat eine alte Innschlucht, die unter der Stelle, des Dorfes und schiefen Turmes durchging, verstopft, und den Inn gegen SE abgelenkt, wo er seither die Charnadüra eingegraben hat (HEIM, Geol. der Schweiz, III., Seite 801 und geolog. Karte 1:25 000, Spezialkarte 115 B. von H. P. CORNELIUS).

Also auch beim Bergsturz in St. Moritz liegt der Fall so, dass Felsquerabbruch nicht einen Felssturz erzeugt, sondern in einem langsamen Trümmerstrom abfliesst und stillsteht.

Ein anderer Fall ähnlicher Art zeigte sich Ende Mai 1910 hinter **Sörenberg** (Kant. Luzern, Mariental südlich Flühli, rechtsseitig der kleinen Emme, Gebiet Entlebuch):

An der SW-Seite des Nünalpstockes 1906 m trennte sich am Gipfelgrate der unregelmässig gelagerte Flysch (Sandstein und Tonschiefer) in etwa 4 mächtigen Stufen von 40 m, 25 m, 20 m und nochmals 20 m Höhe ab; die oberste hat über 250 m Breite, die unterste 75 m. Als ich dort war, waren die abgesunkenen Stufenflächen noch mit aufrechtstehendem Tannenwald besetzt. An der untersten Stufe aber war der Wald gestürzt, und gleich unterhalb der Fels in Brocken zerfallen und in Gestalt eines Schuttstromes abgeflossen. Der Schuttstrom umging, langsam fliessend, vorragende Stellen, verbreitete sich nach unten, umfing und verstellte die Gebäude der Säge und schob sich stauend in die Emme vor. Der dunkle Strom hatte 1 bis 3 m Fronthöhe. Er liess kein Wasser sehen, nur Steine, alle von bescheidener Grösse, faust- bis kopfgross. Für das Auge war es ein lebendiger Steinhaufen. Die langsam, im Mittel $^1/_2$ m in der Minute, vorschreitende Bewegung dauerte 2 Tage und 2 Nächte an, um vom Abrissrand bis an das Ufer der Emme zu gelangen. Nur ganz langsam nach Wochen kam es dann zum wirklichen Stillstand. Man konnte schon wenige Tage nachher den Steinstrom betreten, ohne einzusinken.

Vom oberen Anrissrande am Nünalpstock bis an die Emme beträgt die maximale Bewegungshöhe 740 m, bei 1800 m Horizontaldistanz. Im Abrissgebiet konnte man etwa $1^1/_2$ bis 2 Millionen m³ Materialverlust schätzen. Der Schutt im Tale bedeckte etwa 30 ha mit 1 bis 4 m. Es ist kaum $^1/_3$ dessen zu Tale gewandert, was oben mit Spalten sich losgelöst hat. Der Bergsturz hatte sich also nur teilweise vollzogen. Die abgesunkenen hohen Stufen in der Abrissnische sind stehen geblieben, ohne zu Tal zu fahren. Diese Abrutschungen im Sörengebiete wandern von Zeit zu Zeit und mit langen Stillständen dazwischen. Wir finden sie

in ganz gleicher Weise an vielen der Gehänge in der Flyschzone, die von Alpnach bis Unterseen (Thunersee) reicht. Überall rings um Sörenberg erkennt man ihre Formen. Ein Trümmerstrom überfährt den vorangegangenen. „Sören", „Saren" bedeutet Gesteinsschutt. Diese Namen verraten Geschehnisse. Die älteste historische Nachricht erzählt, dass „vor ca. 300 Jahren" in Laui, dicht westlich neben dem Schuttstrom von 1910 ein Senn mit Vieh verschüttet worden sei. Ums Jahr 1880 begannnen die Bewegungen am Nünalphorn und waren 1902 besonders tätig. Die Hauptbewegung vollzog sich 1910 am 9. V. Am 26. V. schlossen sich nördlich noch kleinere daran. Die Böschungen sind stets sehr mässig.

Selbstverständlich sind die Ablagerungsgebiete der Steinströme vom Sörentypus in nassen Zeiten geneigt, Muhrgänge zu liefern. (Vergl. Th. HOOL, Mitt. Naturf. Ges Luzern, Bd. VII).

Gewiss gehören Brienz, St. Moritz und Sörenberg zum gleichen Typus XII, weil bei allen dreien anstehender Fels ohne Leitung durch die Schichtlage abbricht und sich mehr und mehr in Felsschutt auflöst und als solcher schweigend seine schleichende Talfahrt vollzieht. Dazu kommt noch, dass bei allen der Abrisszirkus stets durch Nachbrechen bergeinwärts wandert. In gewissen Dingen sind aber dennoch diese drei verschieden: Im Brienzer über dem Abrisskessel grosser Versickerungstrichter, der starke Durchnässung bringt; Quellen unten im Schuttstrom und seiner Umgebung. Unter dem oberen grossbrüchigen Kalkfelsen, der alles Wasser seiner Unterlage zuführt, weiche tonige Mergel, die schlüpfrig werden. Da liegt die Abhilfe auf der Hand: Ableitung des Wassers aus dem Trichter, der es uns schon schön sammelt. In St. Moritz grosse Felsquellen aus der rechten Seite. In Sörenberg dagegen gar keine natürliche oder künstliche Wasserleitung in das Abrissgebiet, kein Zulauf von oben oder von den Seiten, der abgewendet werden könnte. Nur der direkt auf das Abrissgebiet fallende Regen und Schnee besorgt die mässige Durchnässung des zerfallenden, porösen und zerbrochenen Felsens; keine Quellen im Schuttstrom oder seiner Umgebung. Bei Campo, Brienz und St. Moritz wäre sichere Abhilfe durch Entwässerung möglich, bei Sörenberg nicht. In Brienz Erledigung durch viele Jahre chronisch hingezogene Bewegungen im Abriss wie im Bahn- und Ablagerungsgebiete. In Sörenberg Erledigung in einzelnen grösseren Ereignissen innerhalb einiger Tage, dann wieder Stillstand für Jahre. Der Vorgang hält in Brienz fast ständig an, in Sörenberg tritt er periodenweise auf. An beiden Orten handelt es sich um Bergstürze, die sich durch Jahrzehnte und Jahrhunderte hinziehen. St. Moritz ist schon lange anscheinend im (unsicheren ?) Stillstand. Wir erkennen durch diesen Vergleich wieder die grosse Mannigfaltigkeit der Bergsturzerscheinung.

III. Hauptgruppe: Felsstürze. Felsbewegungen mit stürzender Talfahrt. (Typen XIII, XIV und XV).

Ich habe früher (1882) die Bergstürze eingeteilt in:

I. Schuttbewegungen, a) Schuttrutschungen, b) Schuttstürze.
II. Felsbewegungen, a) Felsschlipfe, b) Felsstürze.
III. Gemischte und Besondere.

Im Laufe der Zeit zeigten sich mir noch manche Vorgänge, die hier sich nicht, oder nur unter den Titel „Besondere" einreihen lassen. Wie Felsmassen, gleitend abgelöst, in wilden Absturz übergehen können (Goldau), so können auch Felsmassen, auf Querbruch gelöst, sich zu schleichenden Trümmerströmen entwickeln (Brienz, St. Moritz, Sörenberg). Die Auswirkung der Bewegung scheint mir jetzt für den Charakter des einzelnen Phänomens viel bedeutender als die Art der Ablösung. Nur für Schutzarbeiten oder Prognose im Stadium der Vorbereitung, ist die Art des Bewegungsbeginnes wichtig. Nachher hat sie keinen Einfluss mehr, weder in der Fahrbahn noch für die Ablagerung. Dass ich damals die Bezeichnung nach der „Geburtsart", statt nach der Art der Auswirkung vorangestellt habe, scheint mir jetzt unpassend. Goldau verdient auch die Bezeichnung „Sturz" als das Hauptwort. Ob als Schlipf oder in unabhängigem Querbruch entstanden, ist Nebensache und soll — falls zusammengesetzt im Wort — das Nebenwort sein, also: Felssturze:

XIII. Steinschlag, XIV. Schlipfsturz, XV. Bruchsturz.

Das Gefälle am Boden des Abrissgebietes der Felsstürze ist in der Regel über 30°. Im Durchschnitt der ganzen Abbruchfläche beträgt es meistens 30° bis 50°. Nur ausnahmsweise begnügt es sich mit 20° (Goldau) oder gar noch etwas weniger, und nicht selten hat es 50° bis 90°.

Das Gefälle der Fahrbahn liegt normalerweise bei 30° bis 10°. Es kann auch übersteil sein, oder unter 10° sinken.

Das Gefälle des Bodens im Ablagerungsgebiet kann schon bei 30° (mit der Schutthaldenböschung) beginnen. In der Regel beginnt es erst unter 20°, und die Hauptmasse erobert sich Böden von 10° bis 0° oder gar solche von rückläufigem Gefälle.

Vergleich von Schleichstrom und Wurfstrom.

Vorerst soll hier der grosse **Unterschied zwischen schleichenden und stürzenden Talfahrten** herausgehoben werden, um die scharfe Hauptgrenze zwischen Hauptgruppe II und III festzustellen.

Schleichende Bewegungen sind die Regel bei allem Gesteinsschutt, unseren Typen I, II, III, IV. Der Typus V gestattet der stürzenden Bewegung nur die Rolle eines kleineren Auftrittes innerhalb der ganzen Tragödie des Bergsturzes. Typus VI bietet viele rasche

Bewegungen nur in räumlich und zeitlich kleinen Einzelheiten, bindet dieselben aber zusammen zu einem im grossen ganzen langsam wirkenden und andauernden Vorgang. Typus VII und VIII, sich unter Wasser vollziehend, sind etwas besonderes und lassen sich nicht in die schleichenden und stürzenden einreihen. Sie nehmen eine mittlere oft schwer zu beurteilende Stellung ein. Sie wollen besonders behandelt sein. Bei Typus IX und X wandert auch der Fels langsam, bei XI und XII löst er sich vorweg langsam in einen Schuttstrom auf.

Bei diesen **langsamen** Bewegungen ist die Art ihres Vorschreitens von Minute zu Minute von den momentanen Gruppierungen von Kraft und Widerstand bedingt und abhängig; die vorangegangene Minute hat im allgemeinen der nachfolgenden keinen motorisch bedeutenden Impuls übergeben. Jede Minute übergibt der folgenden nur die Sachlage von Masse, Bahnform, innerer und randlicher Reibung, Gewicht, Gefälle, Wassergehalt etc. aber keine kräftigen Impulse zur Bewegung, keine „lebendige Kraft". Die jeweilen jetzige Minute soll nur nach ihren eigenen Trieben und fast ohne Erbe der vorangegangenen Minute sich gestalten. Der schleichende, reine Schuttstrom lebt stets der Gegenwart!

Einen durchschlagenden Gegensatz hierzu, ohne jeden Übergang, zeigen die schnellen Bewegungen, die **„Wurfbewegungen", „Schussbewegungen"** oder **stürzenden Talfahrten.** Auch bei den raschen Bergstürzen ist nach der Art der Loslösung im Abrissgebiete „Schlipfsturz", Typ. XIV, und „Bruchsturz", Typ. XV, zu unterscheiden. Beim **Schlipfsturz** (Rutschsturz) beginnt die Bewegung im Abrissgebiete langsam. Spalten erweitern sich, die grossen Felsplatten unterhalb mit darauf aufrechtstehendem Walde, auch Häusern, gleiten ganz langsam, dann immer schneller, dann erst kommen sie in Schussbewegung. In Goldau haben eine ganze Anzahl von Augenzeugen das langsame Gleiten gesehen. Einige konnten noch über die scherende Randkluft springen und so sich retten. Aus mehreren Erzählungen geht hervor, dass das Gleiten mit aufrecht stehendem Walde wahrscheinlich einige 100 m weit und $^1/_4$ bis $^1/_2$ Minute lang dauerte, bis es in sausenden Lauf sich steigerte. Beim **Bruchsturz,** wie er von Anfang an in Elm beobachtet worden ist, beginnt die Bewegung sofort mit der vollen Fallgeschwindigkeit. Die Bewegung nimmt nicht erst einen Anfang mit einigen Minuten von Gleiten.

Rutschsturz und Bruchsturz liefern Schußströme. Sie unterscheiden sich aber in ihrem Geburtsakte gründlich von allen Felsschleichströmen dadurch, dass die Abtrennung der ganzen Felsmasse als

einheitlicher Klotz im gleichen Momente sturzbereit ist, während eine ganz andere Art der Abtrennung, diejenige Block für Block, eins nach dem andern, den schleichenden Strom in die Fahrbahn liefert.

Bei der Abfahrt nach **Typ. XIV und XV** verschwinden rasch die Wirkungen dieser „Unterschiede der Geburt". Meistens sind sie schon im oberen Teil der Fahrbahn verloren gegangen. Der Schussstrom, der sich in der Fahrbahn entwickelt und ins Ablagerungsgebiet herausgeworfen wird, kann bei Typ. XIV ganz gleich wie bei XV werden. Infolge des steilen Sturzes vom Abrissgebiet bis gegen das Ende der Fahrbahn hat die Felsmasse eine grosse Geschwindigkeit angenommen und dadurch ist sie mit gewaltiger „lebendiger Kraft" erfüllt. Am Fusse der Fahrbahn ist einzig dieses Produkt des Absturzes, dieser Gehalt an lebendiger Kraft und ihre Richtung massgebend. Wie eine Kugel aus der Laufmündung einer Kanone, so fährt der Trümmerstrom aus seiner Fahrbahn hinaus ins Ablagerungsgebiet. Er kann nicht anhalten schon am Fuss der Fahrbahn, er ist in einer Wurfbewegung begriffen. Er muss aufreissen, stürmen, zerschlagen, schürfen, werfen, emporbranden bis er ausgetobt und seine lebendige Kraft aufgezehrt hat. Dann erst kann er, scheinbar fast plötzlich, stillstehen.

Der schleichende Strom, der Schuttstrom, ist nicht mit lebendiger Kraft geladen. Darin liegt die Ursache für das verschiedene Benehmen der Schleichströme und der Sturzströme!

Der durchgreifende Unterschied zwischen schleichender und stürzender Talfahrt macht sich in folgenden Erscheinungen geltend:

1. Gewisse Nebenumstände, wie Neigung der Fahrbahn, Wassergehalt des Trümmerstromes, Beschaffenheit des abgetrennten Gesteines u. a. m. erzeugen Unterschiede der verschiedenen Schuttbewegungen. Der Bergsturz heftiger Art ist von dergleichen viel weniger abhängig. Im allgemeinen sind die Böschungen der Schleichströme im Oberlauf viel geringer als diejenigen der Sturzströme.

2. Geschwindigkeit. Die Bergstürze der Hauptgruppen I und II bewegen sich langsam wie eine Schnecke, seltener und nur zeitweise mit Bruchteilen eines Meters oder gar mehreren Metern in der Sekunde. Die Trümmermassen eines Felssturzes der Gruppe III bewegen sich mit 50 bis 150 m in der Sekunde, das ist mit Geschwindigkeit eines Geschosses.

3. Wasser. Die Schuttmassen der langsamen Bergstürze bewegen sich meistens durch die Mitwirkung von Durchnässung. Diejenigen der raschen sind meistens trocken und erzeugen ungeheuren Zermahlungsstaub.

4. Die langsamen Schuttströme schmiegen sich den Hindernissen in ihrer Fahrbahn sorgfältig an, sie umfliessen sie tastend und bleiben immer in den tiefsten Rinnen. Die Trümmermassen der schnellen Bergstürze dagegen branden an im Wege stehenden Widerständen hoch auf, überspringen sie, oder lassen sich von ihnen nur ablenken, wenn sie zum Überspringen zu hoch sind. Von einer hinausragenden Felsplatte oder einem festen Terrassenrand, auf den sie aufschlagen, springen sie frei in die Luft, wie ein Wasserfall dies tut. Die langsamen Ströme können dicht am Fusse des Abhanges sich zu Haufen stauen und stehen bleiben. Die schnellen aber, auch wenn sie noch so grossblockig sind, fahren noch über horizontalen oder entgegenfallenden Boden kilometerweit hinaus.

Der schleichende Trümmerstrom kann nicht schnell, der mit lebendiger Kraft geladene nicht langsam gehen!

5. Dauer der Bewegung. Der einzelne, schleichende Trümmerstrom erledigt seine Naturaufgabe kaum je schon innerhalb einiger Stunden. Meist gebraucht er Tage, Wochen, oft sogar Monate und Jahre dazu. Der schnelle Bergsturz hatte Zeit zur stillen Vorbereitung gebraucht, er erledigt aber seinen Talgang in einhalb bis drei Minuten.

6. Die Schuttbewegung geht fast lautlos von statten, der Felssturz erfüllt die Luft mit furchtbarem Getöse (Krachen, Donnern, Knirschen).

Ich kenne keine wirklichen Mittelformen zwischen langsamen Rutschungen und eigentlichen Felsstürzen. Der grosse Unterschied im Benehmen ist dadurch bedingt, dass der erstere sich immer aus seiner neuen momentanen Sachlage bewegen muss, der letztere hingegen mit einer furchtbaren Masse lebendiger Kraft sich im ersten Teil der Bewegung für den zweiten geladen hat. Wir können aber nicht kurz und bündig sagen, warum bei Felsabtrennungen im einen Fall die langsame, im anderen die rasche Bewegung eintritt. Es scheint, dass da verschiedene Faktoren zusammen wirken müssen. Zum schnellen Bergsturz gehören steile Böschungen und einheitlich umfassender Abriss im Abrissgebiete. Die Hauptsache für den katastrophalen Schnellsturz ist die einheitliche Abtrennung der ganzen Felsmasse auf der Bergseite im gleichen Momente sturzbereit, während die Abtrennung Block für Block eins nach dem andern stetsfort nur den schleichenden Strom in die Fahrbahn liefert.

Der rasche Trümmerstrom ist durch hohen Absturz gewissermassen geladen und verhält sich dann wie die abgeschossene Kugel aus dem Schussrohr. Er ist ein **Schußstrom,** wie man ihn wohl am bezeichnendsten nennt. Für mein Gefühl ist sein Überfahren horizontaler Talböden auf mehrere Kilometer Länge und dann sein fast plötzliches Anhalten noch viel eher verständlich, als die Tatsache, dass er trotz seinem Ungestüm die Erscheinungen der massvollen Brandung, der geordneten Fluidalstruktur, des genauen Anschmiegens an die Talform, kurz die Formenähnlichkeit mit dem Schleichstrom und dem Wasserstrom, Schneestrom oder Lavastrom festzuhalten imstande ist. Er geht nicht vor wie eine Explosion. Es ist, als hätte er eine erstaunliche Schnelligkeit des Empfindens und der Einstellung auf die Gestaltung des Bodens und seiner inneren mechanischen Eigentümlichkeiten, die durch alle Rücksichtslosigkeiten und Gewalttaten der Schussbewegung nicht aufgehoben wird. Im tot daliegenden Trümmerstrom tritt uns dies oft noch überwältigend vor Augen.

Der Trümmerstrom der Felsstürze führt nie den ganzen Schutthaufen zu seinem unteren Ende. Vielmehr lässt er stetsfort unterwegs Schuttmassen liegen. Er gehört damit zum Teil noch in die Fahrbahn, weit mehr aber in das Ablagerungsgebiet, in welchem er in die Länge gezogen liegt. Gewöhnlich ist die Dicke des totliegenden Schuttstromes am grössten vor einem Hindernis, etwa einer Ablenkung, und nimmt dann gegen das Ende hin ab. Er ist mit einem Lindwurm verglichen worden.

Typus XIII: Der Steinschlag. Einzelne Felsblöcke stürzen von Zeit zu Zeit über die Gehänge herab.

Wie oft haben wir nicht im Hochgebirge an Stellen, die keine Gefahr und keinen Schaden möglich machten, Felsblöcke zu einer Steinschlagrinne („Kamin", „Stein- oder Lawinenzug", „Couloir", „riale") gewälzt, abgeworfen und ihrem Absturz zugesehen. Aber auch sehr oft sind wir unausweichlich zwischen gefährlichen Steinschlägen gestanden. Man kann solche Erscheinungen nicht genug beobachten.

Ein einzelner losgelöster Stein, senkrecht abstürzend auf eine horizontale Fläche, bleibt unbedingt an der Aufschlagstelle ganz, oder in Stücke zerschlagen ringsum zerstreut, liegen. Im Gebirge kann man diesen Fall wohl nie beobachten. Man kann ihn aber experimentell herbeiführen. In der freien Natur wird unter hunderttausend Fällen kaum einmal durch Zufall die auffangende Felsfläche exakt senkrecht zur Schussrichtung des Steines stehen. Der Stein wird im allgemeinen schief auf die Felsfläche aufschlagen. Wäre die Fels-

fläche ganz glatt und der Stein eine elastische, glatte Kugel, so würde er in der Ebene seiner schon durchflogenen Bahn von der Felsfläche symmetrisch nach der anderen Seite abspringen, unter dem gleichen Winkel, in welchem er aufgeschlagen hat. Jeder Aufschlag wirft ihn unter gleichem Winkel weg. Wäre das Steinschlagkamin parallel glattwandig, so würde der Ball in Zickzacklauf geraten, wobei jedes Flugstück immer wieder Stück einer Wurfparabel wäre, und die Geschwindigkeit würde fortwährend zunehmen, so lange die Flugstücke vorwiegend abwärts gerichtet sind. Nun sind die Felsflächen des Couloirs nicht glatt und wir können ihre genaue Lage nicht erraten. Weder der Fels noch der Stein sind exakt elastische Substanzen. Ein Teil des Schlages wird zum beidseitigen Zerschlagen der Auffallstelle in Steinpulver oder zur Zerkleinerung des Steines verbraucht. Wenn die Materialien teilweise brüchig oder plastisch statt elastisch sind, wird der Absprungswinkel des Steines kleiner als der Auffallwinkel. Und welches eigentlich der Aufschlagswinkel des stürzenden Steines auf der Felsfläche ist, das werden wir kaum ungefähr erraten können aus den Zickzackwendungen des Steines. Unter Umständen springt der Stein, veranlasst durch eine kleine Unebenheit in der Aufschlagfläche, in wesentlich anderer Richtung, als erwartet, ab. Wir wissen alle, wie so ganz unberechenbar schon durch den Formenreichtum der Natur die Wege der einzelnen stürzenden Steine sind. Noch eine weitere Komplikation stellt sich ein: Man beobachtet leicht, dass ein zuerst frei hinabfliegender Stein sich im Fluge nicht dreht. Springt er aber vom ersten Aufschlag wieder ab, so sehen wir ihn in der Luft in Rotation. Hat er zum zweiten Mal aufgeschlagen, so wirbelt er noch lebhafter. Er schwirrt pfeifend durch die Luft. Beim Aufschlag war sein Flug an der Aufschlagstelle einen Moment zurückgehalten worden. Sein Schwerpunkt aber drängte vorwärts. So ist ein Teil der lebendigen Kraft, mit der er aufschlug, in eine drehende Bewegung umgewandelt worden. Das hat seine Folgen bei weiteren Aufschlägen. Er kann jetzt aus einem Schlagloch aus weicherem Boden sich herausrollen, er kann an einem entgegenstehenden Gefälle emporklettern, er kann, wenn er irgendwo einschlägt, viel bösere Wunden aufreissen und von der Auffallsstelle wie von einem Sprungbrett abfliegen.

Der Absturzweg einzelner Blöcke, der auf ungewöhnlichen Wegen ging, kennzeichnet sich durch eine Anzahl grosser und tiefer Schlagwunden im Boden. Diesen nachgehend kann man sich Bilder machen von der Launenhaftigkeit und Unberechenbarkeit der Steinschläge. Sprünge von mehreren 100 Metern Weite sind gewöhnlich. Es kommt

auf Zufälligkeiten an. Einzelne Steine fliegen aus der gewöhnlichen Bahn seitlich ab. Ein einzelner Block, hochoben abgelöst, kann einige hundert Meter tiefer als ein Steinregen einschlagen. Die kleinen Stücke bleiben stets eher liegen, die grössten schlagen sich durch. Am Fusse von Steinschlagrinnen zeigt sich stets der Schuttkegel gegen seine Spitze aus kleineren Steinen gebildet, die grösseren Blöcke umrahmen den unteren Rand oder zerstreuen sich noch über den Fuss des Schuttkegels hinaus.

Dass ein einzelner fallender grosser Stein am Fusse seiner Steinschlagrinne nicht plötzlich anhalten kann, ist selbstverständlich. Ihm wohnt dann noch eine grosse, lebendige Kraft inne, die erst durch Anschlagen an Widerstände, Aufreissen des Bodens, Aufbranden an entgegenstehenden Gehängen, Reibungen verschiedener Art aufgebraucht werden muss, bis er liegen bleiben kann. Das Aufschlagen der einzelnen Steine gibt nicht neue Schwungkraft, sondern nimmt von der vorher angesammelten weg.

Zerstreute Steinschläge häufen am Fusse einer Steilwand weite Schutthalden an, aber beschränkt auf einzelne Steinschlagfurchen, wachsen daraus einzelne ausgesprochene Schuttkegel heraus. Alle trockenen Schutthalden und Schuttkegel sind durch die Steinschläge angehäuft. Unzählbar sind die zu Rinnen ausgeschlagenen Steinschlagwege, welche überall an steilen Gehängen sich ausbilden. Sehr oft sind es die gleichen Züge und die gleichen Abrissgebiete, in welchen auch die Lawinen, besonders die Grundlawinen zu Tale fahren.

Es gibt Steinschlagrinnen träger Art und solche, die sehr lebhaft tätig sind. An den lebhaften hört man fast ein beständiges Rieseln. Auf hohen Gipfeln braucht man nur einige Minuten zu horchen, um da oder dort das Knallen stürzender Steine zu vernehmen. Die Menge hängt ab vom Gestein, von der Witterung, der Jahreszeit, der Tageszeit. Aber es kann auch zu jeder ungewohnten Zeit und bei jeder Witterung eintreten, auch wenn man glaubt, sicher zu sein. Bergsteigers Regel ist: lieber die Gräte, als die Kamine benützen, und besonders auf die so oft unterschätzte Gefahr achten, welche über uns steigende, ungeschickte Menschen oder die Tiere durch Lostreten lockerer Steine sind.

Der Steinschlag ist im Gebirge die grösste und sehr oft die am wenigsten zu beurteilende Gefahr. Alljährlich unterliegen ihm Menschen und in noch grösserer Zahl Tiere.

Herr Prof. DYHRENFURTH hat mir erzählt und mein Sohn hat es mir bestätigt, dass im Hochgebirge Asiens, wo Steinschläge nicht einige hundert, sondern einige tausend Meter in einem, in wenigen

grossen Sätzen vollbrachten Sturze fallen, noch viel unberechenbarer und weiter vom Bergabhang hinaus ins Tal springen und mit viel heftigerem Schlage den Boden erreichen, und dass die Spritzkreise um den Fuss der Steinschlagrinnen viel grösseren Radius haben, als bei uns. Es ist das die notwendige Folge der mehrfachen Falltiefe, welche diesen Steingeschossen viel grössere Geschwindigkeit gegeben hat.

Selbstverständlich sind Gebirge mit steilen Gehängen steinschlägiger, als solche mit milderen Böschungen. Aber auch in Gebirgen wie Schwarzwald, Jura kommen sie stellenweise vor.

Von jeher hat man nach Abwehr der Steinschläge gesucht. An Bahnlinien und Strassen werden Schutzmauern, Schutzwälle, Schutzgräben zum Auffangen der Steine, Galerien, mächtige Schutzbarrieren u. a. mit Erfolg gebaut. An den Bergbahnlinien werden von dafür vortrefflich eingeübten Arbeitern die Felsgehänge, an denen Steine sich lockern könnten, immer wieder geprüft, und was locker ist, zum Abbruch gebracht. Man nennt dies Verfahren „la purge", das „Reinigen". In vielen Fällen sind absturzdrohende Felsstücke künstlich in kleinen Stücken abgesprengt worden. Vor einigen Jahren ist die nordwestliche Felsecke des Mythengipfels, die Absturz gegen Schwyz drohte, abgesprengt worden. Schon bevor die stürzende Hauptmasse den Wald am Fusse der Wand erreicht hatte, war sie in lauter kleine Stücke zersplittert, die auch den Wald nicht merklich schädigten. Das älteste Schutzmittel waren schon in früher Zeit die Bannwälder. Im besonderen ist der „Bannwald" an der W-Seite der Mythen ein Bannwald als Schild gegen Steinschlag. Das gleiche gilt von dem berühmten, schon im Jahre 1300 genannten Bannwald östlich über Altdorf. Eine Nachricht spricht von einem bösen Steinschlag gegen die Kirche Altdorf vom 10. V. 1268.

Der Abhang NE über Altdorf ist sehr bezeichnend für Steinschlaggefahren. Leider beging man den grossen Fehler, 1865 grosse Kahlschläge in dem bisher „heilig gebannten", gutgeschlossenen Walde zu machen. In den Jahren 1881, 1885, 1886 hatten sich die Steinschläge vermehrt. Das Bannwaldgehänge hat im Mittel eine Böschung gegen Altdorf von 35° bis 45°. Im November 1886 brachen besonders viele Blöcke vom „Waldinossen" einer scharf herausstehenden Felsecke von 1210 m Meereshöhe ab. Herr Kantonsförster MÜLLER schätzte den Ausbruch am Waldinossen auf 70 bis 100 m^3 Fels, von welchen etwa 15 m^3, in Blöcke von $^1/_2$ bis 2 m^3 aufgelöst, den Talboden erreichten, der grössere Teil im Walde aufgehalten blieb. Ein Block von gegen 2 m^3 durchschoss in der Nacht des 12. XI. das Haus auf der Terrasse Nussbäumli bei 584 m. Das Mauerloch des Einschlages auf der Bergseite und dasjenige des Ausganges auf der Talseite hatten die gleiche Form. Der Block schoss durch das ganze Haus wie eine Flintenkugel durch doppelte Fensterscheiben. Er zersplitterte dabei die Balkenköpfe des Bodens zwischen den unteren Wohnräumen und den oberen Schlafgemächern. Er war aber schon wieder weg, als hinter ihm der Boden

samt den Betten und den darin Liegenden ins untere Stockwerk versank, ohne dass die Erschreckten weiteren Schaden litten. Der Block blieb dann auf dem Talboden hinter dem Frauenkloster bei etwa 470 m Meereshöhe liegen. Ein anderer Block von ähnlicher Grösse blieb etwa 200 m ausserhalb des Gehängefusses mitten zwischen den Häusern auf der SE gerichteten Strasse stehen, ohne weiteren Schaden angerichtet zu haben. Im Walde, auf dem ganzen Wege, den die Blöcke genommen hatten, wurden zahlreiche Tannen abgeschlagen und der Boden erhielt grosse Schürfwunden. Im Jahre 1874 hatte ich von der eidgenössischen Behörde den Auftrag, die Steinschlag- oder Bergsturzgefahr des Altdorfer Bannwaldes zu beurteilen. Meine Untersuchung, die eine eingehende Prüfung im einzelnen sein musste, hatte deutlich ergeben, dass der Bannwaldberg im ganzen aus festem Gestein (Flyschsandsteine und Quarzite mit zwischen gelagerten Schiefern) in mehr oder weniger horizontaler Schichtung besteht. Tiefergreifende, etwa nischenförmige grössere Abtrennungen, Spalten, sind nirgends im Gange. Aber die äusserste Rinde der Felsen ist stark verwittert, in Brocken aufgelöst, und zu Steinschlägen geneigt. Dabei kann es sich nur um einzelne unzusammenhängende Steinschläge, einmal da, einmal dort, handeln. Ein grösserer Felssturz vom Bannwaldgehänge auf Altdorf hinunter ist nicht zu befürchten. Da die Böschung des Abhanges im Mittel steiler ist als die Schutthaldenböschung, fallen die Stücke sofort weit hinab. Einzelne Steinschläge wie im November 1886, die in die Strassen und Häuser von Altdorf springen, sind freilich auch in Zukunft unvermeidlich. Dies hatte ich 1874 geschrieben. Im Juni 1910 wurde das Haus von Briefträger Ziegler von einer Steinlawine getroffen und Frau Ziegler mit 10 Kindern getötet. Nachher wieder Ruhe.

Schonung und Aufforstung des Gehänges ist jetzt und in Zukunft unbedingte Pflicht. Ein dichterer Wald wird die Mehrzahl der Steinschläge aufhalten.

In allen Alpentälern gibt es zeitweise zu Steinschlägen geneigte Stellen. Noch einige Beispiele:

Im Kanton Glarus ist die Risi ESE ob Ennenda bekannt. Rote Sernifitkonglomerate lösen sich aus einem steilen felsigen Gehänge ungefähr 500 bis 550 m über dem Talboden ab. Etwa 330 m über demselben setzt ein grosser Schuttkegel aus dem gleichen Gestein an. Die meisten Steinschläge von oben bleiben auf dem Schuttkegel liegen, nur hausgrosse Blöcke nicht. Solche rollen über den horizontalen Talboden noch bis 200 m weit gegen die Linth hinaus. Einige, die da liegen, haben Namen erhalten. Der „Gässlistein" ist auf der 1:50000 Karte verzeichnet. In den letzten Jahren war die Rotrisi ruhig („Risi" = allgemeiner Name für Schutthalden und Schuttkegel, abgeleitet vom Herunterrieseln des Schuttes.)

An der Ostseite des Gersauer- (oder Vitznauer-) Stockes, ansetzend an der Gipfelkante zwischen 1456 m und 1366 m Höhe, findet sich eine grosse Ausbruchsnische in Kieselkalk und Valangien (untere Kreide). Aus der Nische herab wächst ein frischer Schuttkegel bis etwa Höhenkurve 880 m. Aber einzelne Steine, die sich hoch oben abtrennen, die zähe und gross sind, setzen über den normalen Schuttkegel hinaus, springen in weiten Sätzen über das ganze Gehänge hinunter, und dann manchmal in hohem Bogen über die Häuser an der Seestrasse in den See hinaus. Zu einer durchführbaren praktischen Schutzwehr wusste ich in diesem Fall keinen Rat.

Über der Axenstrasse gibt es viele steinschlägige Stellen. Am allerschlimmsten war es dort Ende der siebziger Jahre des letzten Jahrhunderts. Das massenhafte Sprengen für die Tunnels und Einschnitte der Gotthardbahn hatte die Felsen zu sehr

erschüttert. An zahlreichen Stellen waren Strasse, Stützmauern und die Strassengeländer seewärts durch Steinschläge zerschlagen. Jetzt ist es wieder viel ruhiger und sicherer geworden. Das Gelockerte ist abgestürzt. Im Herbst 1931 wurde die Axenstrasse durch Steinschläge gesperrt. Am 8. XII. 1769 stürzte eine grosse Felsecke von der Gyrenfluh bei Seelisberg in den See. Der Wellenschlag richtete viel Schaden in den Schiffshäfen an. Im Januar 1932 fanden starke Steinschläge im Riemenstaldental von dessen Nordseite statt.

E vom Bahnhof Erstfeld steigt aus dem Talboden von 475 m ein grosser trockener Schuttkegel bis 775 m Höhe an. Dort wächst er heraus aus einem engen Kamin im Erstfeldergneiss, das oben auf einer Terrasse von 1040 m ansetzt. Meistens fallen keine grossen Stücke, und sie bleiben im oberen Teil des Schuttkegels liegen. Die grösseren Blöcke aber rollen bis dicht hinter die Häuser von Erstfeld. Nur selten schlägt einmal einer in ein Haus. Indessen sprang am 10./11. September 1902 ein ganzer Schwarm von Steinen über das Bahnhofgebäude in die Geleise. Eine Staubwolke wirbelte auf. Dort stehende Wagen wurden stark beschädigt. Einige Steine schlugen Löcher in die Dächer, einer schlug ein Hühnerhaus zusammen. Merkwürdigerweise wurde nur ein Huhn, aber kein Mensch getroffen.

Ich glaube wohl, dass eine gründliche „purge" in den Wänden des Kamins ob Erstfeld nützlich wäre. Grosse Felsausbrüche zeigen sich nirgends in Vorbereitung. Aufforstung des ganzen Schuttkegels ist nicht leicht und wirkt langsam, wäre aber gut. Tüchtige Horizontalgräben mit Wall auf der Unterseite oder mehrere Horizontallinien von Fangwänden könnten helfen. Launiger Steinschlag, nicht Bergsturz, ist hier zu erwarten.

Sehr schwierige Steinschläge vom anstehenden Fels, aus einer Nische sich lösend, ereigneten sich vor einer Reihe von Jahren bei etwa 1900 m Höhe am Emdberg, am linksseitigen Gehänge des Nikolaitales (Wallis). Sie bedrohten Häuser und schädigten die Zermatterbahn bei Kipfen.

Die südlichste schweizerische Ortschaft im Tal von Poschiavo, Campocologno, war schon öfter schwer bedroht von Steinschlägen, die die 1253 m hoch gelegene Terrassen-Oberkante des ostseitigen Sasso del Gallo lieferte. Der Talboden mit Brücke über den Fiume Poschiavino liegt dort bei 562 m, Sturzhöhe also 690 m. Glücklicherweise fallen die meisten Blöcke etwas talaufwärts von der Ortschaft, die an die italienische Grenze anstösst.

Auch im Jura gibt es nicht wenige steinschlägige Stellen. In der Oensingerklus z. B. sind am 1. Februar 1892 und später nochmals Felsstürze niedergegangen.

Und so könnten wir lange mit Berichterstattung fortfahren. Der Steinschlag im Hochgebirge ist etwas Gewöhnliches. Am besten tut der Mensch nach dem alten Prinzip, „der Gescheidtere gibt nach", indem er Steinschlagstellen möglichst ausweicht, falls sie nicht durch Schutzmittel sicher gebändigt werden können.

Wenn man die Felstrümmer, die gleichzeitig in allen Teilen der Hochgebirge niederprasseln, an einer Stelle beisammen sehen könnte, so würde man einen ungeheuren Bergsturzstrom vor sich haben, der ununterbrochen, Tag und Nacht, jahraus, jahrein, aus der Höhe nach der Tiefe donnert. Der Steinschlag liefert das Material für alle die trockenen Schutthalden und Schuttkegel, die den Fuss der Felswände

bekleiden. Durch Steinschlag sammelt der Gletscher seine Moräne, der Wildbach einen grossen Teil seiner Geschiebe. Und wenn ich in Gedanken die Ablagerungshaufen aller Bergstürze damit vergleiche, so kann ich mich des Eindrucks nicht erwehren, dass im ganzen — trotz eines Flimserbergsturzes — die Summe aller Steinschläge die Summe aller Bergstürze um das Mehrfache übertreffe.

Typus XIV. (Felssturz) Schlipfsturz. Beginnend im Abrissgebiete mit gleitender Bewegung, Schicht auf Schicht, in der Fahrbahn, dann übergehend in stürzende Bewegung.

Ein grosser Teil der Gesteine, welche die Erdrinde bilden, sind nach wechselnden Umständen von der Aussenseite auf die Erdrinde abgelagert worden, Schicht um Schicht, in langen zeitlichen Folgen, die Schichten verschieden nach den Umständen ihrer Entstehung. Das sind die Sedimentgesteine. Es kann nun vorkommen, dass die Schichten ungefähr in der gleichen Richtung wie der äussere Abhang geneigt sind, aber weniger steil als der Abhang selbst. In solchen Fällen war durch die talbildenden Prozesse den oberen Schichten ihr Fuss genommen. Diese halten dann am Berge nur durch die Reibung auf den unteren Schichten fest. Wird die Unterspülung zu stark, und vermindert Durchnässung die Reibung an den Schichtflächen, so kommt der obere Teil des Schichtkomplexes in gleitende Bewegung in der Richtung des grössten Gefälles. So ergibt es sich sehr oft, wenn der Komplex der Sedimentschichten, der unsern Berg aufbaut, aus einem Wechsel von tonigen weichen und von festen aber klüftigen Schichten besteht. Die festen klüftigen Schichten sichern dann dem Regen-, Tau- und Schneewasser den Zutritt zu den weichen Schichten, während sie selbst vom Wasser nicht bedeutend angegriffen werden. Die weichen tonigen Schichten halten das Wasser, sie sind undurchlässig; aber sie lassen sich von demselben weich und schlüpfrig machen. Gerade ein solcher mehrfacher Wechsel von festen klüftigen Schichten mit weichen tonigen ist recht häufig. Ausserdem muss noch die Bedingung erfüllt sein, dass der Schichtenfall nicht steiler als 30 bis 35° betrage, weil bei noch steileren Böschungen die Bewegung sich in rollende und stürzende Abtrennung lauter einzelner Blöcke auflösen würde. Grosse Felsschlipfe (Schlipfstürze) kommen also im allgemeinen nur vor bei Schichtenfall kleiner als 30°.

Zur Entstehung eines Schlipfsturzes ist somit eine ganz bestimmte Beschaffenheit und Lage der Schichten notwendig, während der Fallsturz (Typ. XV) bei fast jeder Schichtlage und Gesteinsbeschaffenheit

entstehen kann, Die Fallstürze sind deshalb häufiger als die Schlipfstürze (XIV).

Zunächst betrachten wir die Erscheinungen der Abrissgebiete von Typus XIV und XV, um die Unterschiede in ihrer Entstehung kennen zu lernen. Erst nachher soll folgen eine Untersuchung über die Talfahrt und die Ablagerung bei diesen beiden Typen. Ich fasse sie dabei zusammen, weil die beiden Typen hierin sich ganz gleich benehmen.

Über einige Abrissgebiete von Typus XIV.

1. Rossberg-Goldau (Fig. T 8 und T Fig. 9).

Am Rossberg (Gnippe) nördlich Goldau wechseln Ton, Mergel und wenig Sandsteinschichten mit weit durchgehenden, mächtigen, festen, sehr regelmässigen ebenen Nagelfluhbänken ab. Diese letzteren gestalten das ganze Gebirge ihrer Zone treppenförmig. Am Boden der Abbruchsnische des Bergsturzes vom Rossberg findet sich ein Komplex dunkler Mergellager, in welchen Pflanzenreste gefunden worden sind. HEER bestimmte **Sequoia Langsdorfi, Cinnamomum, Populus balsamoides.** Daraus ergibt sich nach neuesten Darlegungen (E. BAUMBERGER) altmitteltertiäre (Stampien-) Bildungszeit. Mächtigkeit dieser Mergel 2—3 m. Solche wiederholen sich hie und da auch in etwas tieferer Schichtlage. Diese Mergel sind die Basis für die gleitende Abtrennung der mächtigen überliegenden Nagelfluhen (Stampien-Konglomerate). Die Mächtigkeit des abgeglittenen Komplexes von Nagelfluh beträgt meistens etwa 100 m (60—120). Die Gesamtmächtigkeit der Nagelfluhbildung in dieser Region (Rigi-Rossberg) ist wohl über 3000 m. Was abgeglitten ist, ist selbstverständlich nur eine dünne, äusserste, gelockerte Schuppe des Berges.

Die Schichten streichen im Rossberg-Rigi-Gebiet sehr regelmässig, am Rossberg nach meinen Messungen von W nach E mit 12° bis 13° Ablenkung nach ENE. Das grösste Gefälle der Schichten ist somit gerichtet nach S mit ca. 12° bis 13° Ablenkung nach SSE. Die Südseite des Rossberges ist aus den Schichtflächen gebildet, die Nordseite hat treppenförmigen Querabbruch mit Schichtköpfen. Das Fallen der Schichten von der Bergkante am Gnippe (Westende des Rossberggrates) bei 1574 m Höhe bis hinab zur Höhe von 750 m ist vollständig gleichmässig 20°. An der westlichen Bergkante (Ochsenboden-Goldau) 19° und unten am Ostrande des Sturzgebietes von etwa 800 m bis in den Lowerzersee hinab etwas flacher auf 13° vermindert. Es ist sofort einleuchtend, dass bei so bescheidener Böschung ohne eine starke wässerige Aufweichung zwischenliegender Mergelschichten ein Abgleiten nicht möglich wäre. Auf einer Unterlage von bloss 20° Neigung ist „der Berg zu Tal gefahren"!

Ein so grosser Felsschlipf kann nur bei Schichtneigung von weniger als 30° entstehen, denn er bedarf einer langjährigen Vorbereitung. Bei steilerer Schichtlage stürzt der Fels in kleinen Stücken vorweg ab, ohne die Bereitstellung eines grossen Ereignisses abzuwarten.

Für die Art der Abtrennung ist noch von Bedeutung die Klüftung in der Nagelfluh. Es herrschen stark vor glatte senkrechte Spalten S—N oder etwas gegen NNW. Damit kreuzen zahlreiche Klüfte annähernd senkrecht auf die Schichtfläche und ungefähr im Streichen (W—E bis ENE) gerichtet. Gebietsweise ist die Klüftung ziemlich regelmässig und teilt den Fels in grosse, mehr oder weniger rechtwinklige Blöcke. An andern Stellen herrscht mehr Unregelmässigkeit. Von Bedeutung ist noch, dass an den vertikalen S—N-Kluftflächen sehr häufig sich Rutschflächen mit ziemlich flachen Rutschstreifen, hie und da mit Calcitabgüssen, befinden. Diese Klüfte sind also nicht bloss Verwitterungserscheinungen, sondern durch innere Bewegungen des Gesteines bei der Aufstauung zum Gebirge entstanden.

Der Anriss an der Gnippe hat die oberste Kante des Berges stehen lassen. Er verläuft 20 bis 50 m südlich der gebliebenen Bergkante. Ich stelle mir vor, dass diese obersten Teile der Bergkante stehen geblieben sind, weil sie, oberhalb der Wasserzutrittsspalten der Nagelfluhbänke, auf trockener Unterlage ruhten. Von der Talseite gesehen ist dadurch die Ausbruchsnische oben ziemlich geschlossen. Sie ist ungefähr rechteckig, zuoberst 300 m, etwas weiter unten 400 bis 425 m breit. Die Länge des Felsausbruches in der Gefällsrichtung ist leider nicht bestimmbar. Sicher muss sie über 750 m betragen haben, am wahrscheinlichsten 1500 m, maximum 2250 m, nach BAUMBERGER (Karte) sogar bis 3000 m! Die östliche Abbruchseite ist durch eine gerade, vertikale Nagelfluhwand vom Gnippegipfel bis auf 760 m Meerhöhe hinab gebildet. Diese Wand ist ein Abbruch, folgend den oben beschriebenen Vertikalbrüchen in der Nagelfluh. Man weiss, dass die jetzige Wand durch den Anriss beim Bergsturz entstanden ist. Man sah hier die Spalte sich öffnen. Aber niemand kann darüber Auskunft geben, wie weit längs derselben der westliche Felsstreifen vor dem Bergsturze noch gereicht hat, und ebensowenig darüber, wie breit der hier abgestürzte Felsstreifen noch war.

Es gibt Abbildungen des Rossberges aus der Zeit vor dem Bergsturz, aber sie sind zeichnerisch so flau, so ohne alle Merkpunkte und Modellierung, dass sie über diese Fragen gar nichts aufklären. Die Untersuchung des westlichen Randes im Abrissgebiete liefert auch

keine Auskunft, weil dort kein neuer Abriss entstehen musste, sondern die abgefahrenen Schichten mit alter Kante in die Luft hinaus endigten, und schon bei 1300 m, 750 m talwärts von der Oberkante des Berges, der Schutt sich über die westliche Kante rechts hinaus ergoss.

So kommt es denn, dass die Berechnungen des abgestürzten Volumens für den Bergsturz von Goldau zwischen 6,000,000 und 90,000,000 m^3 schwanken! An eine Volumenberechnung aus der Ablagerung ist nicht zu denken, denn um diese zu berechnen, stossen wir noch auf weit mehr nicht zu bestimmende Maße. Setzen wir die mir wahrscheinlichsten Zahlen ein, so kommen wir auf einen Hohlraum des Abrissgebietes von 40 bis 45 Millionen m^3. An dieser Unbestimmtheit sind die lokalen topographischen Verhältnisse und besonders der Mangel jeder genaueren Darstellung des Berges vor dem Absturz schuld.

Die Fahrbahn setzt die Böschung des Abrissbodens von $19^1/_2 - 20°$ ohne jede wesentliche Veränderung fort. Das ist eine Eigenheit des Bergsturzes von Goldau! Es lohnt sich, diesen schönsten Vertreter von Typus XIV auch in der Folge eingehend zu berücksichtigen.

Nach einer kurzen obersten Abbruchstreppe tritt die Schichtfläche ins Spiel. Von 1360 m Meerhöhe bis auf 900 m hinab ist die 20° geneigte, ebene Rutschbahn etwa 1450 m lang. Dann beginnt etwas Schuttauflagerung und das Gefälle nimmt damit auf eine Strecke von 1160 m 15° Neigung an und erreicht bei 600 m die Oberkante eines Absturzes über zwei Nagelfluhwände. Am Fuss derselben, bei 510 m liegt kein Bergsturzschutt. Wir stehen da in einer Lücke in der Ablagerung. Der Schutt hat diesen Winkel übersprungen. Die Gleitfläche im Abrissgebiet setzt sich bis etwa 900 m hinab fort in die Sturzbahn hinaus. Ich schätze: Abrissgebiet von 1574 m bis 1000 m, Fahrbahn von 1000 m bis 520 m. Erst ausserhalb dieser 520 m bauten sich die Haufen der Ablagerung auf.

Dem Bergsturz von Goldau 1806 sind kleinere vorangegangen, daher der ältere Namen Rufiberg. Ein Dorf Röthen, das am Weg zwischen Goldau und Steinenberg noch im Jahr 1395 bestund, ist nachher ganz verschüttet worden. Es gibt aber auch zahlreiche Fälle, wo die gleichen Ursachen, die gleichen Lagerungen Felsschlipfe ganz ähnlich vorbereitet haben, wo dann aber die Felsmassen nicht als ein Ganzes auf einmal sich abgelöst haben, so dass das Abrissgebiet nur einen schleichenden Schuttstrom, nicht einen Felssturz ernähren konnte. Wir haben solche dem Typus XI zuzuweisen, aner-

kennen aber eine Verwandtschaft in der Entstehung mit XIV. Nur die ergiebige Vorbereitung zum gleichzeitigen Absturz einer grossen Felsmasse kann einen Goldauer Schlipfsturz erzeugen. Bei allmählicher Abtrennung des Felsens, nur Block um Block, wirkt sich das Ganze nur allmählich als schleichender Schuttstrom aus.

2. Ein Goldau ähnlicher, aber viel kleinerer vorhistorischer Nagelfluhschlipfsturz, ebenso von den 18°—20° S fallenden Schichten an etwas steilerem, die Schichten unterschneidenden Gehänge entstanden, findet sich in dem östlichen Seitental des Toggenburg oberhalb Nesslau, zwischen **Ennetbühl** und Rietbad: Anrissrand bei 1150 bis 1200 m an der Nordseite des Tales. Talgrund bei 860 bis 900 m, Fallhöhe ca. 300 m. Brandungswelle gipfelt auf der S Seite des Luternbaches mit 965 m, Aufbrandungshöhe = 60—65 m = ca. $^1/_5$ der Sturzhöhe. Fahrböschung ca. 10°. In dieser so kleinen Zahl spiegelt sich die starke Durchnässung der Mergelschichten zwischen den Nagelfluhbänken. Der Luternbach hat sich eine 550 m lange Schlucht mit ca. 40 m Gefälle durch die Ablagerung geschnitten. Historisch nichts bekannt, aber postquartär. Volumen ca. 5 000 000 m³ (?).

3. Ein sehr grosser Felsschlipf aus historischer Zeit hat die Trümmerfläche **Slavini di San Marco im Etschtal**, unterhalb Rovereto geschaffen. Nach den Fuldaer Annalen geschah dies im Jahre 833 (A. Penck, Mitt. d. k. k. geog. Ges. 1886, p. 395). Der Absturz ging ab vom Gipfel der Zugna o Torta, 1255 m hoch, an der Ostseite der Etsch. Die Fläche von 390 ha „ist im Mittel 50 m hoch aufgeschüttet" — fast alles grosse Kalkblöcke. Daraus würde sich ein Volumen von 150 bis 200 Millionen m³ ergeben!? Das Abrissgebiet ist deutlich zu erkennen. Der gut geschichtete Kalkfels steht dort mit 20° Fall (wie Goldau!) gegen W an und ist treppenförmig abgebrochen, glatte Schichtflächen weisend. Die Hauptmasse des Abgestürzten fuhr vom Fusse der Sturzbahn ab bis auf 1,8 km in den Talboden hinaus. Am Fuss der Sturzbahn befindet sich eine Eintiefung mit Weiher.

Sowohl die verschieden gestellten Flächen der Blöcke wie auch des noch stehenden Felsens im Abrissgebiete sind von kleinen **Karrenfurchen** von 1—3 cm Tiefe stets in der Richtung des steilsten Wasserablaufes wie gekämmt. Die Furchen liegen meist dicht zusammen, so dass zwischen ihnen nur schneidige, brüchige Rippchen geblieben sind. Das hieraus sich ergebende Mass für Eintiefen von Karrenfurchen in Kalkstein von 1 bis 3 cm per Jahrtausend, das wir schon römischen Kalksteinbrüchen entnommen haben, findet sich hier bestätigt. Die vielen Fälle von Karrenfurchen an den Kalkblöcken anderer Bergstürze, die wir kennen, gehören meist vorhistorischen Ab-

lagerungen an. Diese Erscheinung verdiente noch mehr Aufmerksamkeit als Zeitmass. So viel ich mich erinnern kann, habe ich bei den eiszeitlichen Bergsturzblöcken nicht diese feinen scharfkantigen Karrenfurchen, die man bei den rezenten („lebenden") Karrenfeldern so schön ausgebildet findet, gesehen, sondern stumpfere Furchen, 10 bis 30 cm tief und breit. Bei den ältesten historischen aber habe auch ich immer nur die 1 bis 2 cm tiefen, dicht beisammenliegenden angetroffen.

4. Kandertal (T Fig. 10).

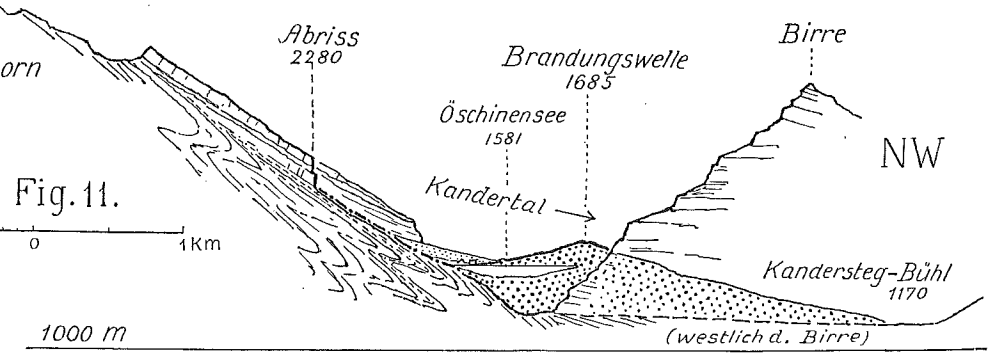
Ein grossartiger vorhistorischer und postglazialer Schlipfsturz erfüllt das Kandertal. Er hat sich an der NW-Seite von Klein-Doldenhorn und Fisistock bei 2900 m Höhe der Nischenkante abgelöst. Untere Kreidekalke und Kieselkalke in tauchenden, spitzen Faltenpaketen bilden das ganze Gebirge, wobei die Berriasmergel die glatten Rutschflächen am Grunde der Ausbruchsnische liefern. Im nördlichen Teil des Nischenbodens kommen auch Böschungen von bis 35° auf den Zementmergeln des Öhrlikalkes und des Portlandien vor. Die gewaltige Nische ist schon vom unteren Teile des Trümmerstromes prachtvoll sichtbar. Über das Volumen der Ausgleitnische ist wiederum keine Sicherheit möglich. Man kann nicht wissen, ob die Unterkante der abgeglittenen Felsplatten bei 2100 m stund, oder vor dem Abgleiten bis zur Doldenhornhütte 1920 m, oder gar noch bis Biberg 1550 m reichte. Man kann auch nicht mehr bestimmen, ob das abgerutschte Schichtensystem in der Streichrichtung 700 m oder 1000 m breit war. Auch über die Dicke des Abgestürzten schwankt man zwischen 150 und 300 m. Die Minimalzahlen eingesetzt, komme ich auf ein Ausbruchsvolumen von ca. 200,000,000 m³. Es könnten aber auch dreimal mehr sein, und TURNAU hat 900 Millionen errechnet!

Die Gleitfläche am Grunde der Abrissnische des Kandertaler Schlipfsturzes hat streckenweise 26° Neigung. Von der Höhe 2750 m bis hinab auf 1500 m misst sie in der Fallrichtung im Grundriss 2600 m. Aber diese Abgleitfläche ist bei weitem nicht so regelmässig wie die Goldauer. Gleich unter 2400 m ist eine steilere Partie und unter 1900 m eine Sturzwand in die Gleitfläche eingesetzt, so dass ein mittleres Gefälle des Abrutschungsbodens von 32° sich ergibt. Die Gesteinsmasse musste wohl zu einem grossen Teil schon im Abrissgebiet in tausende von Brocken zerschellen.

Über die Erscheinungen der Talfahrt und der Ablagerung sprechen wir später zusammen mit Typ. XV.

5. Oeschinensee (Fig. 11).

Östlich, dicht angeschlossen an die Ausbruchsnische unter dem Fisistock, folgt etwas tiefer eine kleinere, sehr schön bogenförmig ausgebrochene Abbruchsnische im Steilgehänge am Nordfuss des Kleinen Doldenhornes. Der Ausbruch betrifft den Öhrlikalk. Der Schichtenfall, der auch hier mit der Schlipffläche zusammenfällt, ist 30 bis 35° gegen NNW, die Fallhöhe war wohl ca. 860 m. Die Trümmermasse wurde aufgestaut von der gegenüberliegenden Wand der Birre und staute dann ihrerseits die Talwasser in dem mächtigen Zirkus zum Oeschinensee. Ein Abflußstrom wandte sich gegen W. (In Fig. 11 ist Birre durchsichtig gedacht.)



Stauung des Oeschinensees im Seitental des oberen Kandertales.

6. Flims (Vorderrheintal, Graubünden) (Fig. 12, 14, T 18 und T 13).

Der grösste Bergsturz, den wir bisher kennen, ist der Bergsturz von Flims. Der Klotz des Flimserstein einerseits und der Abbruch von Piz Grisch gegen das Segnestal andererseits sind die Flankenpfosten, die stehen geblieben sind. Die ausgebrochene Nische dazwischen hat $2^1/_2$—3 km Breite, die Abbruchhöhe am Flimserstein beträgt 400 bis 800, vielleicht bis über 1000 m. Der Rhein, der hier den ursprünglichen Fuss des Flimsersteines benagt hat, musste etwa 450 m tiefer und 1—2 km S von Dorf Flims gelegen haben. Es ist sehr schwierig, das Abrissgebiet genauer zu bestimmen. Das sicherste und beste was wir sagen können ist, dass die Nische zu wohl $^9/_{10}$ in den Malmkalk eingeschnitten ist, dessen Schichten mit 10 bis 15° gegen SSE abfallen, und dass in weiter Ausdehnung im Segnestal (bei Stretg, Flimsdorf, Spalignas und aufwärts über Foppas, Pult, Alp Cassons etc.) der glatte Gleitboden des Ausbruch-

gebietes blossgelegt ist. Freilich finden wir auf diesen grossen schiefen Kalkfelsflächen, die im Mittel recht regelmässig ein Gefälle von $13^1/_2{}^\circ$ gegen SSE aufweisen, keine Schlipfschliffe mehr. Solche Feinheiten hat das Regenwasser verwischt. In der seitlichen Gestaltung der Ausbruchsnische spielen offenbar hier, ähnlich wie am Rossberg, die sehr häufigen vertikalen SSE—NNW laufenden, und ferner auch WSW—ENE streichenden Vertikalklüfte eine Rolle (Sehr ausgesprochen an der W-Wand des Flimsersteins). Diese beiden Vertikalkluftrichtungen sind in den Zentralalpen ziemlich genau die Querrichtung und die Längsrichtung im tektonischen Bau!

Am unklarsten ist mir im Abrissgebiet des Flimserbergsturzes der ursprüngliche oberste Rand. Ein Wall auseinandergerissener Kalkfetzen und Blöcke, von der Segneshütte gegen N laufend, scheint den oberen Abrissrand zu bezeichnen. Sicher ist, dass mächtige Malmkalkmassen auf ihren tieferen Schichten abgerutscht sind. Die ziemlich häufigen Einlagerungen von etwas mergeligem Kalke und vielleicht auch die Zementsteinschichten in überkippter Lagerung, — und gar die Aufschubflächen der helvetischen Decken über ihren Flysch mögen geholfen haben. Eine starke Untergrabung durch den Rhein in etwa 600 m Meerhöhe war mit im Spiele. Das Hohlvolumen der Abrissnische berechnet sich auf wenigstens $8^1/_2$, wahrscheinlicher auf 12 bis 15 km^3! Oder reichte der Abriss gar bis an die Mannen?

Über die Bewegungserscheinungen, Ablagerungsform etc. soll später noch einiges mitgeteilt werden.

7. Eboulement de Sierre (Wallis).

Wie ein Spiegelbild des Flimserbergsturzes stellt sich im Wallis derjenige von Sierre, aus einem nördlichen Seitental herausfahrend, in den grossen Haupttalzug Chur—Martigny ein. Ein kleiner Teil hat sich im Haupttale ca. 4 km weit aufwärts gewendet, der grössere, ein Trümmerstrom von etwa 10 km Länge, hat sich talabwärts ergossen. Das Material ist vorherrschend Valangien. Die Ausbruchsnische wird oben begrenzt vom Mont Bonvin 3000 m im Westen, les Faverges 2975 m im Norden. Die Schichten fallen durchweg mit dem Abhang gegen S. Die Ablösung, sowie der Abmarsch des Gesteinsmateriales geschahen zu einem grossen Teil Schicht auf Schicht. An Wucht bleibt er allerdings noch auf der Hälfte des Flimser zurück. Das Glazial des Rhonetales bedeckt bis auf 1300 m Höhe in grossen Flächen die Bergsturzbreccie, während im Talgrunde der Schuttstrom schon sehr weit in kleine Hügel aufgelöst ist, deren man auf der geologischen Karte: „des Hautes Alpes calcaires entre la Lizerne et

la Kander, 1 : 50 000", Spezialkarte Nr. 60 der „Matériaux pour la carte géol. de la Suisse" von M. LUGEON etwa 50 zählt. Stellenweise bedecken jüngere Bergstürze den alten, interglazialen. Die Erscheinungen sind schon ziemlich stark verwischt, manches über Bau und Gang nicht mehr in Zahlen feststellbar.

8. Schlipfsturz von Engelberg.

Der ganze Talboden von Engelberg ist in einen diluvialen, fleckenweise mit Moränen bedeckten Bergsturzhaufen eingeschnitten. Er ist lange nicht als solcher erkannt worden. Zuerst hat ihn ARBENZ genauer untersucht und in seiner „Geolog. Karte des Gebietes zwischen Engelberg und Meiringen", Spezialkarte No. 55 in 1 : 50 000 dargestellt. Für den Augenblick wenden wir uns kurz nach seinem Abrissgebiet. Vom Titlis 3239 m fällt ein Grat gegen NW ab. Bei 2448 m Höhe gabelt er sich nach links in den Laubersgrat—Pfaffenwand—Bitzistock, rechts in die Ostkante der Laubalp, welche bis an die Engelbergeraa hinab (Eien) als Felswand östlich abfällt. In dieser Gabel zwischen westlichem und östlichem Zweiggrat liegt oben die Laubalp, unten die Gerschnialp. Die erstere ist die ebene, abgedeckte Abgleitungsfläche in unveränderter Form, Streichen E—30° NE Fallen N—30° NW. Sie liegt innerhalb des verkehrten Malms der helvetischen Überschiebung, 30 bis 40 m über der tektonischen Überschiebungsfläche und in N—28°NW fallenden laminierten Schichtfugen. Hier hat also eine grosse tektonische Bewegung die Gleitflächen geschaffen, die dann den Bergschlipf vorbereitet und erleichtert haben. Die tektonischen Gleitflächen liefern sogar in Eien eine Quelle. Vor dem Bergschlipf muss wohl der Pfaffenwand—Laubersgrat noch höher gewesen sein, und die ganze Laub- und Gerschnialp werden noch mit 100 bis 250 m Lias und Doggerschichten, alles harmonisch nach NW abfallend, beladen gewesen sein. Dieser Auflagerung entsprechend war denn auch der Ostrand noch höher. Untergrabung durch die tiefe Schlucht, die jetzt viele 100 m hoch aufgefüllt ist, und hoch über welcher jetzt Engelberg liegt, ermöglichte dann das Abgleiten. Die Bewegung war wohl gleitend bis etwa 1000 m, wonach dann die Talwand den wilden Absturz brachte. ARBENZ schätzt das abgestürzte Gesteinsvolumen auf $2^1/_2$ bis 3 km³.

9. Schlipfstürze am Abfall des Säntisgebirges zur Rheintalebene.

Der nach SE gerichtete steile Abfall der südlichsten Falte des Säntisgebirges, hinab unter die Ebene des Rheintales wird von den mächtigen Schichten der unteren Kreide gebildet, welche in gleicher

Richtung abfallen. Der obere Teil der Unterkreide ist hier auf den Valangienmergeln, vielfach samt noch aufliegendem Schrattenkalk bis und mit Seewerkalk, ins damals noch viel tiefere Rheintal abgerutscht. Die Abrissnischen sind deutlich und reichen bis an den Grat hinauf, in welchem sie noch Breschen ausgebrochen haben und Ruinen stehen liessen. Der grösste dieser Schlipfstürze ist derjenige von Salez. Kehle heisst der Ausbruchstrichter, der von etwa 800 m bis 1700 m Höhe hinaufreicht. Der Trümmerstrom ist zuerst an der Ausweitung der Fahrbahn bei 680 m bis 430 m in einem mächtigen Rücken stehen geblieben, während sich das Ablagerungsgebiet von dieser Stelle an in einem Umkreis von beinahe 3 km Radius flach verbreitet, als eine typische Hügelblocklandschaft. Was man sieht, sind nur die Spitzen und Wellenkämme der erstarrten Schuttflut, die noch hervorragen aus der späteren Auffüllung des Rheintales mit Rheingeschieben. Die Hauptmasse ruht auf tieferem Talboden, eingehüllt in den Aufschüttungen des Rheines. Erratica finden sich keine auf dem Bergssturz. Er ist postglazial.

Etwa 2 km weiter westlich folgt eine Nische, deren Westwand durch den Bergklotz von Alpeel und Furgglenfirst (Häuser) 1946 gebildet, die Oberkante durch die Stauberenkanzel markiert wird. Der Trümmerstromrücken, bei ca. 800 m beginnend, taucht unter Frümsel bei ca. 460 m in die Rheintalalluvionen hinab. Das Hügelwerk des eigentlichen Ablagerungshaufens, wie es Salez zeigt, liegt hier tiefer und bleibt unsichtbar vergraben. Ohne Zweifel ist beim Schlipfsturz von Frümsel ein bedeutendes Stück des Alpeelklotzes der früher weiter nach NE reichte, bestehend aus Schrattenkalk, Gault und Seewerkalk, auf den Mergeln der Drusbergschichten abgefahren. Vertikale SE—NW gerichtete Klüfte begleiten den westlichen Nischenrand und verkünden weitere Abbrüche — wieder die gleiche alpintektonisch bedingte Klüftung.

Der grosse Schutthaufen ob Sennwald, obschon von Wildbächen etwas umgeformt, erweist sich als gleichartig mit demjenigen von Kehlenbach und demjenigen ob Frümsen. Wie beim letzteren liegt auch hier das Hauptablagerungsgebiet ganz unter dem Rheinschutt. Die Nische ist sehr klar gezeichnet, es ist der Kessel von Rohr. Die Ostgrenze ist die Hohenkastenwand, die obere Weite des Ausbruches misst 1 km. Im Grunde des Kessels ist die Überschiebungsfläche der liegenden Kastenfalte mit Seewerkalk und Flysch darunter angerissen. Schichtfall SE mit allerlei Unregelmässigkeiten. Im ganzen aber ist deutlich auch hier das Abrutschen von Schichtmassen auf ihrer Schichtunterlage der Hauptvorgang gewesen,

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 Berneroberland 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 bergeinwärts 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 getreppte Bruchfläche. Der Absturz kann in die Fallrichtung oder derselben entgegengesetzt, oder auch in der Streichrichtung eintreten.

Ganz massige Gesteine sind oft parallelklüftig. 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 bergeinwärts fallenden Schichten oder Schiefern:
   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;
   Weisstannental 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 Steinschlag 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 Kubikinhalt 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 Notitzen:

Schichtung meist wenig S fallend. Jurassische Kalksteine in gewaltigen Wänden quergebrochen 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 Oberdorfbaches 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 150000 m^3 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 (Sonneggstr. 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 Hauptfahrlinie. 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 zermalmenden 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 Bergsturztrümmerstrom 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 Bergsturztrümmerstrom 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 Gebrüll und den Bergsturzstaub 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 ineinander 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.

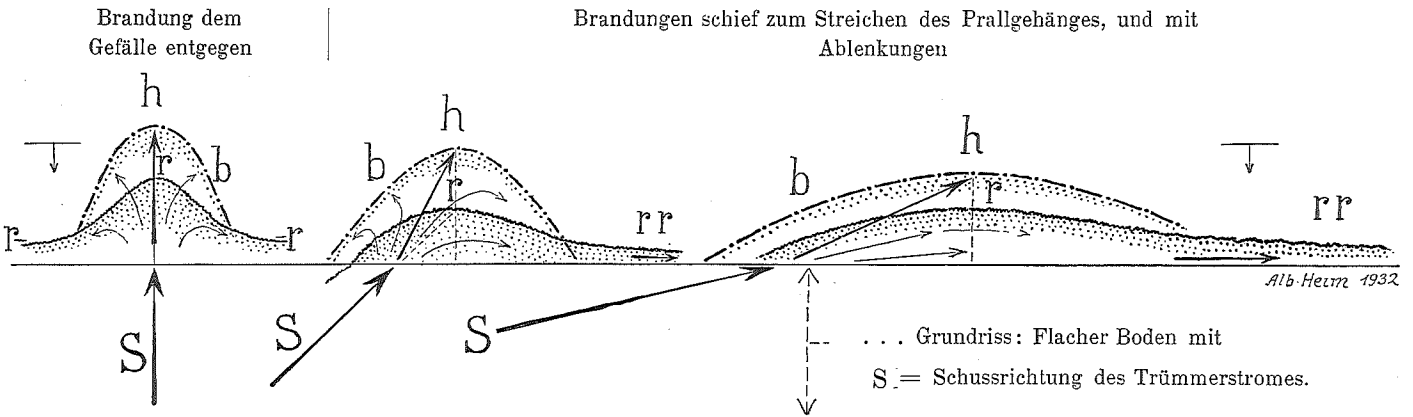
4. Wenn statt einer Kugel ein Trümmerstrom senkrecht zur Streichrichtung der Brandungsfläche anfährt, so brandet er an derselben empor und bleibt, wenn seine lebendige Kraft erschöpft ist, als erstarrte Brandungswelle liegen. Ist aber die Prall- oder Brandungsfläche zum Stillstand zu steil, so fällt 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-Guppen-Sturzes und dem Verrucano-Abhang von der Fässisalp auf 1 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 1/2 km lang, 20 bis 30 m tief, 150 bis 300 m breit, liegt das Tälchen von Selva piano. Der Bergsturz von **Parpan** endigt 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 = 1/6,4 bis 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 km², das Volumen ca. 120,000,000 m³. 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 Hinternisse 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 300 m Höhe erreicht! Es ist das meistens $^1/_{10}$ bis $^1/_5$ der vorangegangenen Sturzhöhe. An den Rändern der Brandungswellen findet sich keine Streuung der Trümmer, keine Spritzzone.

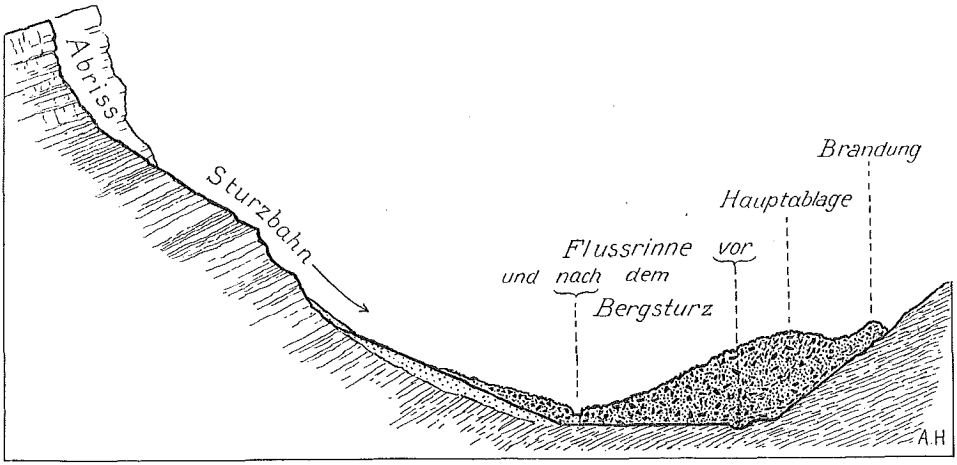


Fig. 16. Flussverschiebung durch Bergsturz.

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 Steilabhang 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 schiefer 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 schiefer 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, 1/3 gegen E abwärts, 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 Trümmermassen 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 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 übertroffen.

Für Goldau bringt uns die Schätzung aus einigen Zeugenaussagen auf 1 bis 1 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 hergerasten 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 Abflussweges, 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 Bergkannte 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 Trümmermassen 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 bälder 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 = $2^1/_2$ km. Er stürzt dann an einer $3^1/_2$ 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 höckrige 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 Felsschutt 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 Felstrümmern 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.

Elm-Unterdorf
Haus von Lehrer Wyss

Sandhaus

Müsli



Fig. 17. Flacher Blockstrom in Elm, 11. IX. 81. Phot. J. Ganz, 1881.

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, Sprödheit); 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 vielorts 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 Wiesengrund oder Strassenboden und ein Schritt weiter steigt der Steinhaufe 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 Ausschürfens 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 Ausschürfungsmaterial 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 zermalmten Menschen und Tieren, alles durchknetet mit ausgeschürftem 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 Randwälle 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 einhergefahren 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 Felsschutt 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 ausgedehntem 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 m^3 waren fast überall gewöhnlich, solche von 500 bis über 1000 m^3 selten. Der grösste, den wir messen konnten, hatte ca. 1260 m^3. 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 hie 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 Felsschlipf 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, 1:100000 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 Malmkalksplittern 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 Bergsturzbreccie 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 1½ 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 Dachschiefern; 2. Darüber und darin bei ca. 1180 bis 1200 m folgen die dort ausgebeuteten feinen Clivageschiefer, ca. 30° bergeinwärts 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 Assilinengrünsand, 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 Trümmerstrome 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 Tannenstämme, 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 weniges 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 Trümmerstrome 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.

Trümmermaterial eckig, splittrig, wechselvoll 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 Zermalmungspulver 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 m^3. Die grossen meistens eckig und kantig, nicht poliert und nicht geschrammt; die polierten, gerundeten und geschrammten Blöcke sind meistens klein, selten bis 1 m^3. 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-

stürzen und plötzlich in rasendes Dahinfahren und Dahinstürzen. Auf der Höhe der Kapelle Röthen und über der Nagelfluhwand ob Grossweiher folgte ein Sprung durch die Luft, einige Stellen blieben unberührt. Und nun raste die Steinflut in radialen Strahlen sich fächerförmig verbreitend, hinüber an die Rigi. Der östlichste Stromstrich war gegen den Lowerzersee gerichtet und hatte eine furchtbare Überschwemmung der Ufer zur Folge.

In Goldau gab es nur im Randstauwall, in welchen die zertrümmerten Häuser vorgestossen wurden, 6 bis 10 Vergrabene, Eingeklemmte zu retten. Wer vom Trümmerstrom selbst erreicht worden ist, ist verschwunden, zermalmt, begraben.

Es wird noch berichtet über die Staubwolken, das Getöse, blitzartiges Aufleuchten im dahinfahrenden Gestein, und Windschlag vor der Steinwelle. Zwei Mädchen und zwei Knaben, die Ziegen hüteten, wurden wirbelnd hoch in die Luft gehoben und fielen dann in den Trümmerstrom zurück, Häuser wurden abgedeckt oder vorangerollt.

Von **Elm** möchte ich zunächst nur die Aussagen der Augenzeugen über die Strombewegung des Schuttes hervorheben. Nirgends stehen dieselben untereinander in Widerspruch. Da ist zu sagen:

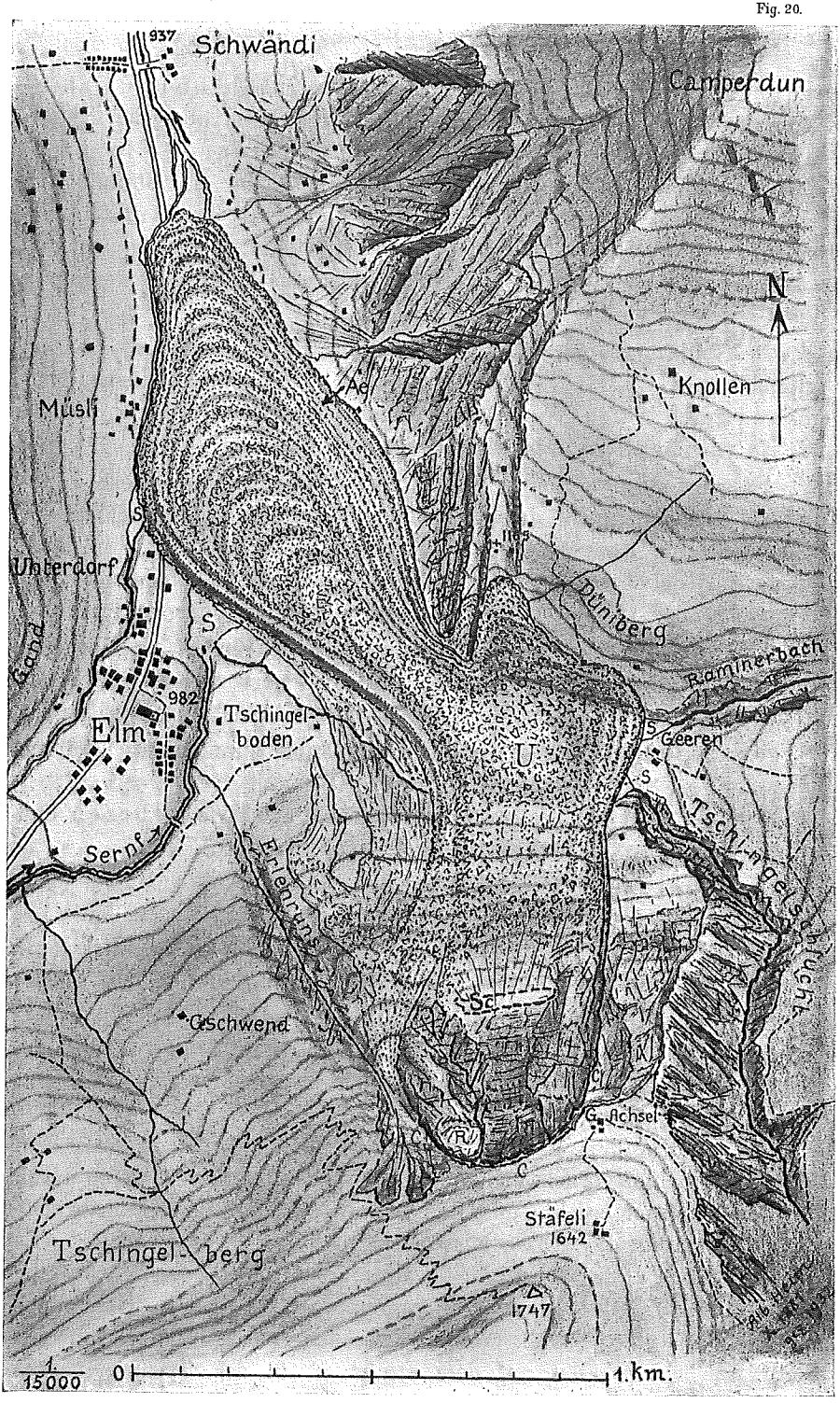
Vorzeichen gingen wochen-, tage- und stundenlang reichlich voran.

Der Bergsturz vollzog sich dann in zwei Vorstürzen und einem Hauptsturz. Verglichen T Fig. 19 und 20:

1. Der erste Sturz, eine „Steinlawine", brach aus dem östlichen Rande des Abrissgebietes herab am 11. Sept. 1881, nachmittags 5^{15} Uhr. Er verschüttete die Schiefermagazine und das Haus „Wirtschaft zum Martinsloch" und staute den Tschingelbach und Raminerbach; Schuttfläche „etwa vier Jucharten".

2. Der zweite Sturz, eine grössere Steinlawine, brach aus dem westlichen Rande des Abrissgebietes um 5^{32}, zerstörte fünf Häuser und neun Ställe.

3. Nun war der „Plattenbergkopf", die Felsmasse über dem Plattenbergschieferbruch, vollständig herausgeschnitten — unten durch den Schieferbruch, rechts und links durch die zwei Flankenausbrüche und oben durch die grosse Nischenspalte: Der „grosse Chlagg". Es ging nur noch vier Minuten bis diese ganze Felsmasse 5^{36} Uhr herunterbrach. Dabei sahen die Augenzeugen folgendes: Der ganze Plattenbergkopf fuhr von N gesehen senkrecht, von der Seite gesehen parallel auf dem steilen Profil des Tschingelberges



Der Bergsturz von Elm am 11.IX.1881.

Ae = Aeschen, ccc = Grosser Chlaß", R = Risikopf, G = Gelber Kopf

direkt mit ungeheurer Geschwindigkeit hinab. Er schlug auf der Terrasse des Schieferbruches auf. Von da schoss die schwarze Steinwolke horizontal nach N in die Luft hinaus, vom nachfolgenden Fels wie weggespickt. Nach unten war die Steinwolke scharf begrenzt, nach oben in Staubwolken aufwirbelnd. Man sah unter dem Sprung der Felsmasse hindurch die Landschaft und die Fliehenden. Im Bogen schlug die Hauptmasse am Fuss des Düniberges und im Gut Alpegli, am Fuss des Knollen, auf den Boden. Der östliche Teil brandete am Düniberg auf dem Abhang gegen N 110 bis 115 m hoch über den Untertalboden hinauf; der westliche Teil und wohl auch noch die Mitte des Stromstriches wurden von dem schief nach NW streichenden Abhang des Düniberg—Knollen aus S—N in N—65°—W Richtung abgelenkt und fuhr nun, flach über den kaum 2% abfallenden ebenen Talboden sich ausbreitend, noch 1½ km weit talauswärts. Von Müsli, unterhalb Elm-Dorf, sah man plötzlich die „einige Meter hohe schwarze Trümmermasse unter der Staubwolke" „ähnlich einem Eisenbahnzug" „herausfahren". Sie fuhr auf dem Boden, schlug die Gebäude in ihren untersten Mauern ein, stiess manche Häuser ein Stück weit vor sich her, bis sie rückwärts auf den Trümmerstrom fielen, der sie dann rasch einwickelte. Der Trümmerstrom fuhr auch unter das Widerlager der eisernen Brücke über den Sernft, stellte dadurch die Brücke auf, überwälzte, zerquetschte und zerriss sie. Alle Augenzeugen hatten kaum Zeit, anzusehen, was geschah, bis „ganz plötzlich" die gesamte Steinmasse „wie durch einen Zauberschlag erstarrte".

Über eine Menge interessanter Einzelheiten ist hier nicht der Raum zu berichten. Ich bitte, dafür die genannten Publikationen nachzusehen. Die Untersuchung des Elmer Trümmerfeldes wie die Aussagen der Augenzeugen lehren also übereinstimmend kurz:

Die vom Schieferbruch unterhöhlte Felsmasse des Plattenbergkopfes ist 1. gegen N abgestürzt über und auf den Abhang hinab bis auf die Schieferbruchterrasse, dann 2. hinausgesprungen durch die Luft in Richtung S—N bis an den Fuss des Düniberges—Knollen, sofort 3a am Düniberg über 100 m hinaufgebrandet und 3b vom Düniberg, um 65° nach links abgelenkt, als flacher Schuttstrom, über den flachen Talboden sich ausbreitend, gefahren bis 1½ km vom Fuss des Plattenberges entfernt. Es lassen sich also in der Bewegung deutlich unterscheiden: Fall des Felsens, Sprung durch die Luft, Brandung am Düniberg empor, Ablenkung zum flachen Trümmerstrom nach NW.

Trümmerströme als allgemeine Erscheinung.

Wir kennen nun schon um zwanzig Bergstürze grosser Dimensionen, bei welchen allen das Phänomen des Strömens des trockenen Felsschuttes sich ausprägt und deutlich gezeigt hat. Bei Goldau ist es von den Augenzeugen mehr bloss aus seinen Wirkungen halbbewusst erkannt worden. In Elm haben zum ersten Mal viele Augenzeugen vollständig übereinstimmend den Vorgang in seinen verschiedenen Abschnitten und Eigentümlichkeiten direkt gesehen und erzählt. Dadurch sind auch die von uns aus den Erscheinungen der in Stillstand gekommenen Trümmerströme gezogenen Darlegungen vollauf bestätigt. Fliessende Trümmerströme hatten sich ergeben bei den historischen Felsstürzen von Elm, Goldau, Frank, Diableret, und den vorgeschichtlichen: Lago di Poschiavo, Glärnisch-Guppen, Wiggis, Rautispitz-Obersee, Voralpsee, Parpan, Flims, Sierre, Engelberg, Kandertal, Cima di Saoseo, Cima di Dosdè, Kernwald, Bormio. Dabei habe ich Bergstürze von geringeren Dimensionen, bei welchen zwar die Schußstrom-Natur deutlich sich zeigt, aber sich nicht vollauf entwickeln konnte, wie Airolo 1898, Zarera in Val Lagone-Bernina 1486, Schwanden bei Brienz 1901, u. a. nicht eingereiht. Nach meiner Überzeugung kann man sagen, dass bei grossen Felsstürzen mit einigen hundert Metern Sturzhöhe und über $^1/_2$ Million m^3 Volumen der Trümmerstrom als allgemeine, mechanisch notwendige Auslösung entstehen muss. Eine genauere Prüfung wird ihn noch bei vielen alten Bergstürzen in allen Gebirgen erkennen, die eben bisher noch gar nicht näher beachtet worden sind.

Wir können hier nicht auf eine grössere Zahl dieser Stromkatastrophen eintreten. Doch seien in der folgenden Tabelle die Ausmaße einer Anzahl von Felsstürzen zusammengestellt, die wir bestimmen konnten.

Ergänzungen und Erläuterungen zu der folgenden Tabelle (s. Seite 114—119) und Schlüsse.

a) Die Böschungen.

Schon lange haben wir gefunden, dass die Weite, in welche ein Felsbruch als Trümmerstrom hinausschiesst, zunimmt hauptsächlich mit:

1. Der Grösse der Masse, die im gleichen Momente die Talfahrt antritt.

2. Der Höhe des Absturzes.

3. Der Regelmässigkeit der Fahrbahn, wobei die hemmendsten Abweichungen sind: im Wege stehende und aus der Richtung des Schusses ablenkende Bergfüsse.

Ich suchte dann nach einem einfachen, charakteristischen **Maße** für die relative Weite der Talfahrt, und prüfte zu diesem Zwecke die verschiedenen Gefälls- oder Böschungslinien, die man einem Längsprofile eines Bergsturzes entnehmen kann. Es sind die folgenden:

1. Das geometrische Gefälle, d. h. der Böschungswinkel der Linie, welche als Gerade den obersten Anrisspunkt am Abrissgebiet mit dem tiefsten Punkte der Ablagerung verbindet, also Anfangspunkt mit Schlusspunkt der Bewegung verbindet.

2. Das geometrische Gefälle der Schwerpunkte. Der Schwerpunkt des Abrissgebietes wird geradlinig verbunden mit dem Schwerpunkte der Ablagerung und der Fallwinkel dieser Linie bestimmt: Schwerpunktsgefälle.

3. Die **Fahrböschung.** Darunter verstehe ich den Fallwinkel der Verbindungslinie vom obersten Abrissrande nach dem tiefsten und fernsten Endpunkte der Ablagerung, gemessen senkrecht über dem Stromstrich, diesen zur Geraden gestreckt. Diesen Gefällswinkel bezeichnen wir als Fahrböschung oder -gefälle, in Figuren und Formeln mit α.

4. Die Brandungsböschung. Das ist das Gefälle der geraden Verbindungslinie vom obersten Abrissrande an die obersten Punkte der Brandungswelle.

5. Die Rückenböschung des Trümmerstromes im Ablagerungsgebiete (Flachstromböschung).

Nach allerlei Vergleichen bin ich dann dazu gelangt, die „Fahrböschung" über dem Stromstrich als das beste vergleichende Mass für das Temperament eines Bergsturzes zu verwenden aus folgenden Gründen:

Nr. 1. Geometrisches Gefälle ist allerdings leicht zu bestimmen, und steiler als die anderen, hängt aber viel zu viel gerade von den zufälligen Unregelmässigkeiten und Krümmungen der Fahrbahn ab. Nr. 2 leidet an der Schwierigkeit, oft Unmöglichkeit, die Lage des Schwerpunktes vom Abrissgebiet und gar vom Ablagerungsgebiete zu bestimmen. Ausserdem ergab sich mir da, wo dies einigermassen zu prüfen war, dass das Gefälle der Schwerpunkte, innerhalb der Fehlergrenzen der Bestimmung, gleich ist Nr. 3, der „Fahrböschung".

Zusammenstellung einiger

Ort und Zeit	Typus	Oberrand des Abrisses m ü.M.	Fuss der Steilfahrt m ü.M.	Steilfall Höhe h_1	Brandung	
					Meereshöhe	Aufstieg br
Frank Alberta-Canada 29. IV. 1903	XV	2128 bis 2200	1250	950	1390	139
Sasso Rosso ob **Airolo** (Tessin) 28. XII. 1898	XV	2000	1275	725	— Keine Gelegenheit	— Keine Gelegenheit
Vom Tschingelberg — Plattenberg-Kopf **Elm** (Glarus) 11. IX. 1881	XV	1560	986	570	1100	114
Vom Rossberg-Gnippe **Goldau** (Schwyz) 2. IX. 1806	XIV	1550	510	1040	585	75 ? (60—100)
Diablerets (Wallis) 24. IX. 1714 und 23. VI. 1749	XV	3120	1480 bis 1500	1620 L = 1500	— Nicht bestimmbar, weil Felsgrund unsicher und Brandungen sehr schief	— ?
Disentis (Kurhaus) (Graubünden) 29. VI. 1683	XV	1900	ca. 1000	900	1160	160

Felsstürze nach ihren Maßen.

h_1/br	Grundriss Stromlänge Ende der Ablagerung Meereshöhe h_2	*Fahr-Böschung* Schutt-strom-Böschung	Volumen in Millionen m^3 D = Ablage-rungsdicke	Eigentümlichkeiten und Notizen
$^1/_8$	1390	16° −5°	$30^1/_2$ D = 14 m	Paläoz. Kalkstein, 50° bergeinwärts fallend am Turtle Mountain, grosse Querabbruchnische bis an den Gipfel. Ausbreitung nach NW über sanft stufig ansteigende Fläche. Ausbreitungsradius 1650 m. Vorausgesehen!
— Keine Gelegenheit	1270 1180	$32^1/_2$° 12°	0,5	Kristalline Schiefer (Gneiss, Amphibolit, Granat gl.) ca. 50° bergeinwärts fallend. Ablösungen parallel der Oberfläche. Sturzbahn 44 bis 45°, Zerstörungsfläche = 425000 m^2, Abrissfläche 10000 m^2. Vorausgesehen.
$^1/_5$	2375 950	16° Flachstrom =1412=3° 3°	10—11 D = 5 m bis 50 m	Ursache: Untergrabung durch Schieferbruch. Zunehmende Bewegung im Fels seit 1878. Zwei Vorstürze, 17 Minuten auseinander. 4 Minuten nachher Hauptsturz: Felsfall, Felssprung, Brandung, Ablenkung nach links, flacher Strom.
$^1/_{12}$ bis $^1/_{10}$	7620 2000 450 Lowerz	12° $3^1/_2$°	30—40 D = 25 m bis 100 m	Felsschlipf, Nagelfluhschichten auf Mergelschichten. Schichtenfall 20° gegen S. Fächerförmige Ausbreitung.
— ?	5500 1215	$19^1/_2$° Strom auf 2900 m Länge $4^1/_2$°	50	1. Fall ca. 1000 m auf 50° bis 60°. 2. Brandung, Ablenkung 60–70° links bei ca. 20° auf $1^1/_2$ km. 3. Zwischenfläche bei 1380 m Höhe, 1200 m lang, 3°. 14 kleine Seen. 4. Zweite Brandung mit Ablenkung über 50° nach rechts. 5. Strom mit 4°. Ende Besson 1215 m (ungenau verwaschen).
$^1/_6$ bis $^1/_5$	2000 An Brandung 1160	21°	10—20	Altkristalline Schiefer, steil nach S fallend. Abfahrt nach N aus halbrunder Nische. Aufbranden ohne Teilung senkrecht auf die Gegenwand, Stauung des Rheines während 3 Std. 22 Tote.

Ort und Zeit	Typus	Oberrand des Abrisses m ü.M.	Fuss der Steilfahrt m ü.M.	Steilfall Höhe h_1	Brandung	
					Meereshöhe	Aufstieg br
Voralpsee (Kt. St. Gallen) ob Grabs, Rheintal prähistorisch	XV	1970	1050 bis 1100	870	1190	90 bis 100
Bormio (Italien. Alpen) prähistorisch	XV	2800	1175 bis 1300	1625 bis 1500	1. 1490 N Premadio 2. 1400 (Masucco)	ca. 200 ca. 110
Parpan (Graubünden) prähistorisch, postglacial	XV	2400 bis 2800	1457 bis 1500?	900 bis 1343	1710	210 bis 260
Ab **Cima di Saoseo** (Graubünden) nach Valle di Campo am Berninapass E. prähistorisch? postglacial	XV	3270	2150	750 bis 1120	2340	180
Adda — Beginn an der italienischen Grenze **Cima di Dasdè** in Val Viola-Bernina prähistorisch? postglacial	XV	3230	2310 2270	920	2400	90 bis 120
Ab Fisistock **Kandertal** (Kt. Bern) prähistorisch, postglacial	XIV	2950	950 bis 1000	1350	1340	300 bis 400?
Ab C^{no} del Giumellino Motta di Meschino **Poschiavosee** (Graubünden) postglacial, prähistorisch	XV	2280	870 (Seetiefe?)	1410	1140	270

h_1/br	Grundriss Stromlänge Ende der Ablagerung Meereshöhe h_2	*Fahr-Böschung* Schutt-strom-Böschung	Volumen in Millionen m^3 D = Ablage-rungsdicke	Eigentümlichkeiten und Notizen
$^1/_9$	2875 920	15° Flachstrom 8°	ca. 30	Felssturz gegen NE ab einer Kreidefelswand, Scheitel eines gegen NE einsinkenden Gewölbes. Beginn der Ablagerung (Stauung) 875 m NE vom Kopf. Stromlänge von da bis Brandungsstelle 625 m. Nach der Brandung nach NE abgelenkter 2300 m langer Strom. Bildung des Voralpsees. Quelle am unteren Stromrande bei 929 m.
$^1/_7$?	nach S 2250 nach W 3500 Ende bei 1180	20° z. Brandung $17^1/_2$° z. Stromende	180? 6 km^2 Ablagerung	Zweiteilung des Trümmerstromes: 1. Nach Val Viola talaufwärts 10° bis 20° rechts nach W. 2. 75° links abgelenkt nach S, Addatal und Bormio.
$^1/_6$ bis $^1/_4$	Σ 10000 S : $3^1/_4$ km Ende 1460 N : 3 km Ende 1240	15° S-Zweig 2°	Zwischen 100 und 200	Felsbruch ab fast horizontaler Schichtung. Absturz nach W. Brandung und Teilung in zwei Ströme: Nach S bis Ova da Sanaspans 1461 m. Nach N bis Churwalden Brugg 1240 m. Sattelpunkt S Parpan, 3 km W Abrissrand = 1551 m.
$^1/_6$ bis $^1/_4$	$5^1/_2$ km 1822 Terzana	15° Strom 5°	ca. 80	Absturz u. Aufbranden gegen NW. Ablenkung 90° gegen SW. Kurz vor dem Stromende Ablenkung gegen W. 6 Seen im Strom und Lago di Val Viola am NE Rande.
$^1/_{7,5}$	3750 2040	24°	ca. 20	Absturz am Rande der Schweizergrenze in Italien gegen N. Nach 2 km Weg Ablenkung 70° nach rechts. 2 Seen.
$^1/_5$	10 bis 11 km Strom 8 km 740	10—12° Strom 3°	140?	Absturz nach NW, Ablenkung 30° bis 40° nach rechts NNW. Strombreite meistens 500 m, zwei Quellseen Unteres Ende verschwemmt.
$^1/_{4,5}$ bis $^1/_5$	4 km 780 Brusio	19° bis Brandung 25°	ca. 150 D max. = 270 m	Sturz nach NE, Ablenkung 90° nach recht in SE. Strom bis Brusio. Stauung des Lag di Poschiavo, Schöpfer der Talstufe vo Poschiavo, Kraftwerk Brusio.

Ort und Zeit	Typus	Oberrand des Abrisses m ü. M.	Fuss der Steilfahrt m ü. M.	Steilfall Höhe h_1	Brandung	
					Meereshöhe	Aufstieg br
Rautispitz-**Obersee** (Glarus) prähistorisch	XIV	2284	900	1380	1115	215
Ab **Glärnisch-Gleiter** (Glarus) interglacial	XV	2000 bis 2900	770?	1200 bis 2100	480 Ennetbühl	Schon mehrmals vorher
Ab **Glärnisch-Guppen** (Glarus) interglacial	XV	2300 bis 2400	490 bis 500	ca. 1800	720	220
Aus Segnastal **Flims** (Graubünden) Der gewaltigste! interglacial	XIV	2100 bis 2700	490 bis 500	ca. 2000	1022	200 bis 500

Nr. 4 und 5 sind leicht zu bestimmen und oft von Interesse, sie sind aber nicht ein Maßstab der ganzen Erscheinung.

Selbstverständlich wird unsere Fahrböschung um so kleiner, je grösser die Sturzhöhe und die Sturzmasse ist und je ungestörter geradlinig Fahrbahn und Ablagerungsgebiet sich in der Sturzrichtung ausdehnen. Krümmungen, Ablenkungen, Teilungen, Brandungen, besonders Stauungen verzehren viel Kraft, vermindern die Schussweite und schaffen ein steileres Fahrgefälle. Je gewaltiger ein Bergsturz ist, desto kleiner wird die Fahrböschung. Unsere „Fahrböschung" ist in den Profilzeichnungen der Bergstürze dieselbe Linie, die Dr. E. Müller in seinen Betrachtungen (S. 145, Fig. 29) als Charakterzug der Bergstürze bezeichnet und als „Energielinie" benützt.

h_1/br	Grundriss Stromlänge Ende der Ablagerung Meereshöhe h_2	*Fahr-Böschung* Schutt-strom-Böschung	Volumen in Millionen m^3 D = Ablagerungsdicke	Eigentümlichkeiten und Notizen
$^1/_{6,4}$	5 km 440 Näfels	16°	120	Schrattenkalk, Gault und Seewerkalk, abgerutscht auf der Schichtfläche, Bildung des Obersees (im Winter abgehend). Abfluss des Trümmerstromes bis über Näfels. Sehr klar umgrenzt. Ausbreitung im Talboden.
?	8 km 440	?	770 max.: D = 350 m	Abfahrt zuerst nach N. 1. Ablenkung am Wiggisfuss gegen E nach Glarus. 2. Ablenkung am Schiltfuss Ennetbühl nach N bis unter Netstal. Interglacial. Klöntalersee gestaut.
$^1/_8$ bis $^1/_6$	$7^1/_2$ km 480 Ennenda	20°	800 D max.: 270 m	Abfahrt nach E. Brandung Sool-Burg Salaz. Ablenkung nach N. Strom 5 km bis Glarus. Stauseeterrassen Matt-Nidfurn. Einschnitt der Linth Schwanden - Mitlödi - Ennenda über 200 m tief.
$^1/_4$?	14 km bis Teilung + 10 nach E + 6 nach W ca. 580 Reichenau	8° Stromrücken 2—4°	min.: 12000! D max. = 720 m	Sturz SE senkrecht gegen Rheintal, Trennung talauf und talab. Trümmerhaufe ca. 40 km². Einschnitt des Rheines bis 600 m Tiefe. Randseen und innere Seen. Oben Grundmoränen und grosse errat. Blöcke, bes. Puntaiglasgranite.

Um die Fahrböschung zu bestimmen, muss man auf gerader Basislinie die verschieden gerichteten Stromteile nach ihrer Grundrisslänge nacheinander auftragen und über dieser so erhaltenen Länge des ganzen Sturzes am einen Ende im gleichen Maßstabe die Meereshöhe des Abrissrandes, am andern diejenige des Ablagerungsendes auf Linien vertikal zur Basislinie abstechen. Die Verbindung dieser zwei Punkte ist die gesuchte Fallinie, die in ihrer Abweichung von der horizontalen Basislinie mit jedem guten „Transporteur" in Winkelgraden abgelesen oder in % berechnet werden kann. Das ist der Fahrwinkel α (oder β).

Nr. 5. Das Gefälle des Stromrückens, gemessen im Stromstrich, wird freilich veränderlich sein am gleichen Strome.

Das geringste Gefälle ist am interessantesten, weil es am auffälligsten zeigt, wie die Bewegung des Felstrümmerstromes eine reine Folge der Wurfinertie ist, die, von der Bewegung eines schleichenden Schuttstromes ganz verschieden, uns ein vollständig anderes Phänomen zeigt. Bei vielen grossen Bergstürzen, die am Fusse des Berges auf ganz horizontale oder nur sehr wenig geneigte Böden ausfuhren, finden wir Böschungen der Unterlage von nur 1 bis 3° oder gar Gegengefälle, auf dem die Trümmerströme noch 1 bis 3 km weit flach hinausstürmen. Der Rücken der Ströme hat dann 1 bis 4° Böschung, stückweise ebenfalls Gegengefälle. Bei so flach fahrenden, trockenen Trümmerströmen hat selbstverständlich die geringe Neigung des Bodens um wenige Grade gar keine nennenswerte Bedeutung mehr für die Bewegung. Strecken so annähernd horizontal gefahrener Trümmerströme zeigen die Bergstürze von Elm, Kandertal, Diablerets, Bormio, Frank, Parpan, Flims und viele andere mehr. Die Erscheinung ist eine allgemeine, keine ausserordentliche.

Selbstverständlich wird der Fahrwinkel sein Maximum erreichen mit dem Gefälle der Schuttkegel: Der Grenzfall des Bergsturzes ist der Schuttkegel. Nicht nur bei Felsstürzen unserer Gruppe III, Typus XIII—XV, sondern bei allem was Bergsturz heisst, wird die Fahrböschung immer weit geringer sein, als die Schutthaldenböschung trockenen gleichen Gesteines! Sie wird unter 35° bleiben. Die häufigsten Werte sind **20° hinab bis 10°**, oft noch weniger, am Flimserbergsturze, dem grössten, 8°! Die Böschungen einzelner Strecken der Trümmerströme sind oft noch viel geringer; sie sind die geringsten Böschungen im gesamten Längsprofil eines grossen Felssturzes. Die sämtlichen an Ablagerungen von Bergstürzen sich ergebenden Böschungen sind also weniger steil als alle normalen Fels- oder Schutthaldengehänge.

Die in unserer Tabelle (Seite 114—119) benützten Bergstürze sind so weit möglich nach der Zeitfolge ihres Niederganges geordnet, beginnend beim jüngsten, endigend bei den älteren. In diese Tabelle habe ich nur solche Bergstürze aufgenommen, für welche die vergleichbaren Zahlen mit annähernder Sicherheit bekannt oder festzustellen sind. Das ist eine kleine Minderheit! Mancher interessante Fall ist nicht näher untersucht, oder ist so sehr durch jüngere Vorgänge verhüllt (z. B. Bergsturz von Sierre, Engelberg, Biasca) oder in sich so verworren zusammengesetzt (Corbeyrier-Yvorne 1584), dass einfache, klare, in Zahlen fassbare Geschehnisse nicht herauszuschälen sind.

b) Verhältnis von Fahrböschung zu Masse.

Zunächst lese ich aus den Beispielen unserer Tabelle eine Reihe heraus, welche zeigt, wie unter sonst ähnlichen Bedingungen das Fahr-Gefälle abnimmt — also das Fliessen zunimmt — mit der Grösse der auf einen Schlag stürzenden Masse. Nachher soll an einigen Beispielen gezeigt werden, wie mit zunehmenden Komplikationen in der Fahrbahn und dem Ablagerungsgebiete die in der Sturzmasse angesammelte lebendige Kraft rascher aufgezehrt, also das Fliessen und die Schussweite damit abnimmt. Die letzteren Fälle passen also nicht in die erstere Reihe, sie sind individuell zu prüfen, um verstanden zu werden.

Das Verhältnis von Fahrgefälle zu Volumen (Masse) des Sturzes ergibt uns folgende Zahlenreihe:

Bergsturz	Fahrgefälle Abrissrand-Schuttende	Abgestürztes Felsvolumen in Millionen m³
Airolo	33°	1/2
Monbiel	23°	3/4
Elm (50—60° Ablenkung)	16°	10
Frank	14°	30
Goldau	12°	30—40
Kandertal (30° Ablenkung)	11°	ca. 140
Flims (90° Ablenkung)	8°	ca. 12,000

Jeder dieser Fälle bedarf noch einiger näherer Erläuterungen:

Airolo, 28. XII. 1898, war fast mehr noch Felslawine, aber doch mit schon deutlicher Entwicklung eines kompakten, scharfbegrenzten

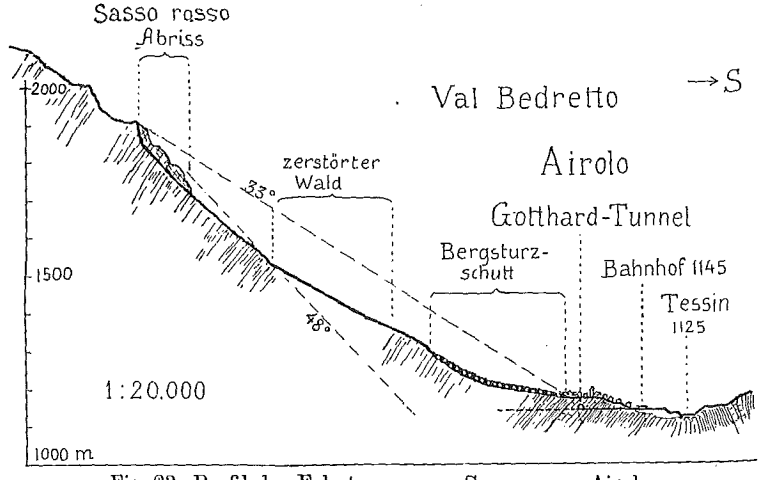


Fig. 23. Profil des Felssturzes vom Sasso rosso, Airolo.
28. XII. 1898, M. 2½ h.

Trümmerstromes. Begraben wurden 3 Menschen, 10 Häuser, 15 ha Wald, 20 ha schönes Wiesland. Maße in der Tabelle.

Da gerade Felsstürze dieser kleineren Art sehr häufig sind und alle Mittelformen von den Felslawinen zu den grossen Bergstürzen ergeben, ist es wohl am Platze, noch einige solche Mittelformen kurz zu notieren. Dieselben zeigen untereinander sehr vielerlei kleine Verschiedenheiten, denn Nebenumstände beeinflussen sie stärker als die grossen:

Monbiel im Prättigau, ca. 3 km talaufwärts von Klosters, Felssturz am 17. Juni 1770, mittags 2 Uhr (Dr. Blumenthal, in „Bündner Monatsblatt" 1925). Schichtung ziemlich flach, Gesteine der unterostalpinen Decken, unter dem Silvrettakristallin. Gesteinsgehalt sehr mannigfaltig, darunter viel Blöcke von Dolomit, Casannaschiefer und grobstruierten Pegmatiten. Obere Abrisskante bei ca. 1580 m. Unteres Ende des ausgeprägt geschlossenen, zungenförmigen Schuttstromes bei 1250 bis 1260 m Meereshöhe auf kaum 10° geböschtem Schuttkegel, ohne die Landquart zu erreichen. Die Sturzrichtung gegen S, Sturzhöhe 330 m, Fahrböschung = 23°, das Dorf durchschlagen, aber ohne ablenkendes Hindernis zu treffen, ohne Brandung. Volumen 65,000 bis 70,000 m³. Das neue Dorf ist auf den Trümmern des alten wieder gebaut. 13 Häuser waren zerstört, 17 Menschen begraben, 27 Ställe, 7 Speicher weggefegt worden. Die Böschung über 20° ist trotz freier Fahrbahn hier gross, bedingt durch geringe Sturzhöhe und bescheidenes Volumen.

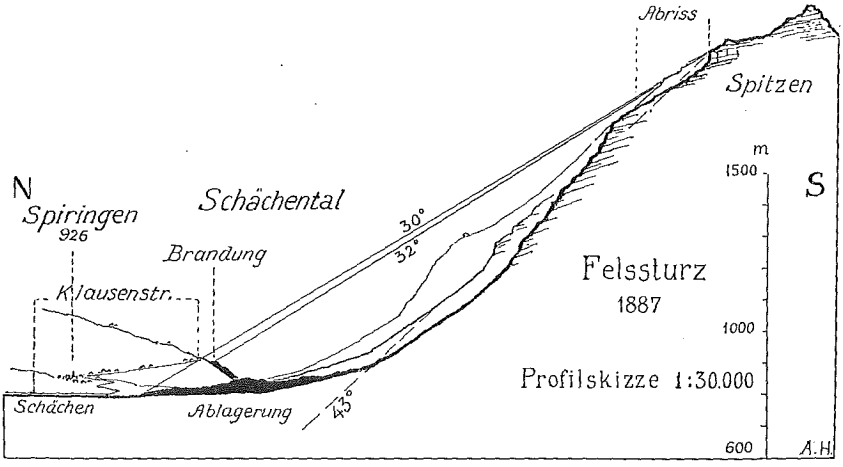


Fig. 24. Felssturz ab den Spitzen bei Spiringen, Schächental.

An den Spitzen auf der Südseite des Schächentales, südlich gegenüber von **Spiringen**, setzt ein Anriss am nördlichsten Gipfel (2234) einige Meter unter dem Gipfel an. Flysch-Schichtung unregelmässig, meistens ziemlich flach. Absturz Pfingsten 1887 gegen N, Sturzhöhe ca. 1340 m, Aufbrandung bis 915 m, nahe an die südlich hoch über dem Schächen angelegte Poststrasse, Brandungshöhe = 915—865 = 50 m

= ca. $^1/_{27}$ der Sturzhöhe, deutlicher Brandungswall, enthaltend die Trümmer der zerstörten Häuser von Hostet, Ablenkungsstrom 400 m lang schächenabwärts. Ende des Schuttes am Schächen bei ca. 865 m, Masse des Abgelagerten ca. 500,000 m³, Fahr-Böschung von Abrissrand bis Schuttende = 30°, bis Brandungswelle = 32°. 50 m Aufbrandung scheinen äquivalent 350 m Flachstrom. Stausee einige Zeit, dann zugeschüttet vom Schächen. Wir beachten: trotz der grossen Sturzhöhe und der direkt in der Sturzrichtung liegenden Brandung diese letztere wenig hoch — offenbar wegen der bescheidenen Sturzmasse. Ich war damals eben mit Studierenden auf Pfingstexkursion in Uri. Wir änderten das Programm sofort ab und gingen nach Spiringen. Noch sahen wir viele nachfolgende Steinschläge und, was die Hauptsache war, die frische Schürfung, Brandung und Lagerung. Sieben Tote.

Im Val **Lagone**, östlich am Berninapass, ist am 13. Juni 1486 das Dorf **Zarera** (oder Zarrera, Koschareida) mit etwa 300 Menschen und viel Vieh verschüttet worden. An der Ostseite an Cima di Carten ist eine jetzt noch deutlich umgrenzte Circusnische im Amphibolitgneiss, in der Anrisshöhe von 2400 bis 2450 m, ausgebrochen. Der ausgebrochene Gehängeteil hinab bis etwa 2100 m hat eine Gehängeböschung von ca 35°. Darunter folgt eine Fahrbahn von etwa 750 m horizontaler Länge, 200 bis 250 m Breite, gegen SW gerichtet mit 22° Böschung. Bei 1770 m bis 1710 m hinab ist die Böschung durch eine Terrasse vermindert. Hier vollzieht sich die Grenze von Fahrbahn und Ablagerungsgebiet. Es beginnt der typische Trümmerstrom, scharf begrenzt, aufgewölbt, ca. 250 m breit, 750 m lang und mit im Mittel 13° Gefälle der Rückenlinie. Die Berninapaßstrasse durchquert den Trümmerstrom. Auf der Stufe von Rovino-Pisciadello bei 1530 m liegt sein Ende. Es ist noch alles deutlich, nicht viel verwischt. Keine Prallwand, keine Brandung; Gesamtgefälle vom Anrissrand bis Stromende = 24° (konstruiert aus der Karte), Masse zwischen 500,000 und 800,000 m³. Auch hier wieder, obschon keine Ablenkung, kein Hindernis der Fahrbahn war, und keine Brandung den Lauf des Schußstromes störte, bleibt die Fahr-Böschung höher als 20° — das Volumen erreichte eben kaum eine Million m³. So sind diese zahlreichen kleineren Felsbrüche. Hierher gehören auch diejenigen des Urnerbodens, wo ich beim einen 36°, bei einem anderen ungefähr 32° Fahr-Böschung aus der Karte lesen und berechnen konnte.

In obiger Reihenstellung fortfahrend, treffen wir nun den Bergsturz von **Elm**, einen grösseren Bergsturz, doch mit Böschungswinkel unter 20° und Volumen um 10 Millionen m³. Wir sehen, wie auch weiter mit der Masse des Sturzes das Fliessen und Schiessen zunimmt, der Böschungswinkel, den er erkämpft, kleiner wird. **Elm** hat eine Ablenkung um ca. 50° erlitten. **Frank** folgt in der Böschung gleich nach, obschon Frank dreifache Masse brachte. Das ist verständlich, obschon der Strom von Frank keine Ablenkung erlitt. Aber schon sein Abriss ist 1 km breit. Der Trümmerstrom konnte schon am Abrissgehänge 950 m breit fliessen, und in der folgenden Ebene sich ohne jedes Hemmnis auf 1500 m ausbreiten. Nirgends war der Strom in geschlossener Talrinne geführt.

Jede Ausbreitung musste die Bodenreibung sehr vermehren und jede Abnahme der Stromtiefe seine Schusskraft enorm vermindern.

Wir erkennen aus diesem Vergleich den Einfluss der Gestalt der Fahrbahn. Je besser die Fahrbahn einen Trümmerstrom zusammenhält, desto schusskräftiger bleibt er, desto weiter geht er. **Goldau** hat Gefälle 2° weniger als Frank bei annähernd gleicher Masse. Das ist wohl nur der, besonders an der Ostseite, festen Abgrenzung der auf lange Strecke nur 450 bis 500 m breiten Fahrbahn am Rossberg zuzuschreiben. Ohne diese wäre der Goldauer Strom breiter, etwas steiler und kürzer geworden.

Der Trümmerstrom von **Kandertal** (Geol. Karte 1:25,000 Nr. 98, Profil T Fig. 10 ist vorhistorisch, aber Moränen oder erratische Blöcke finden sich nicht darauf. Das Blockwerk sieht strichweise wie neu geworfen aus — abgesehen von der bedeckenden Vegetation. Die gewaltige Ausbruchsnische fällt mit den Schichten, Kreide: Oehrlikalk Valangien, Kieselkalk („Tschingelkalk") und Nummuliten-Eozän nach NW ab und endigt unten an einer Felswand. Da hat der Strom einen Luftsprung machen müssen, hat dann linksseitig der Kander auf den Boden geschlagen und auffahrend gegen NW die Brandungswelle „auf der Höhe" 1340 m angeworfen. Der Anprall an das westliche Berggehänge geschah unter einem stumpfen Winkel von 140°, die Ablenkung nach rechts betrug ca. 40°. Weitere Hindernisse waren nicht zu überwinden. Der Strom schoss mit 500 m Breite durch das gerade, nach N — 16° NW gerichtete Tal. Das untere Ende ist nicht genau anzugeben, es ist verschwemmt und eingefüllt. Der Trümmerstrom selbst bildete Querwellen. Der Riegelsee und der herrliche Blausee sind von Quellen aus dem Trümmerstrom selbst gespiesen. Die gesamte Weglänge des Bergsturzes von Kandersteg, vom Oberrand des Abrisses bis zum untersten Stromhügel, beträgt 10 bis 11 km. Die Länge bloss des eigentlichen Felsblockstromes vom unteren Ende des Abrissgebietes, wo er in Luftsprung geriet, bis ans unterste Ende kann auf ca. 8 km angegeben werden. Rückenböschung des Stromes im Stromstrich 3°.

Der **Bergsturz von Flims** im Bündneroberland verlangt wohl eine etwas nähere Besprechung, weil er der gewaltigste Bergsturz ist, den wir bisher kennen (Fig. 12, T Fig. 13, Fig. 14 und T Fig. 18).

Literatur Bergsturz Flims: ALB. HEIM, „Der alte Bergsturz von Flims", Jahrbuch des Schweizer Alpenklub Bd. XVIII 1883. — ALB. HEIM in „Geologie der Hochalpen zwischen Reuss und Rhein", „Beiträge" erste Folge Nr. 25, 1891. — J. OBERHOLZER „Geol. Karte der Alpen zwischen Linthgebiet und Rhein" 1 : 50,000, 1920 = „Beiträge" Spezialkarte Nr. 63 (Text im Druck). — ALB. HEIM „Geologie der Schweiz", zweiter Band S. 399 etc. 1919. Zerstreut kleinere Arbeiten von THEOBALD, HARTUNG, ROTHPLETZ, TARNUZZER, W. STAUB, R. GSELL, BLUMENTHAL.

Der Bergsturz von Flims sperrte von Kästris bis Reichenau auf 15 km Länge das Vorderrheintal ab und zwang allen Verkehr zwischen Oberland und Unterland, über seinen Rücken, mit einem Gegengefälle von 410 m (Poststrasse Chur-Ilanz), zu steigen, bis die Bahn dem Fluss entlang in dessen bis 600 m tiefem Einschnitt angelegt worden war. Der einst oberhalb vom Bergsturz gestaute See ist längst

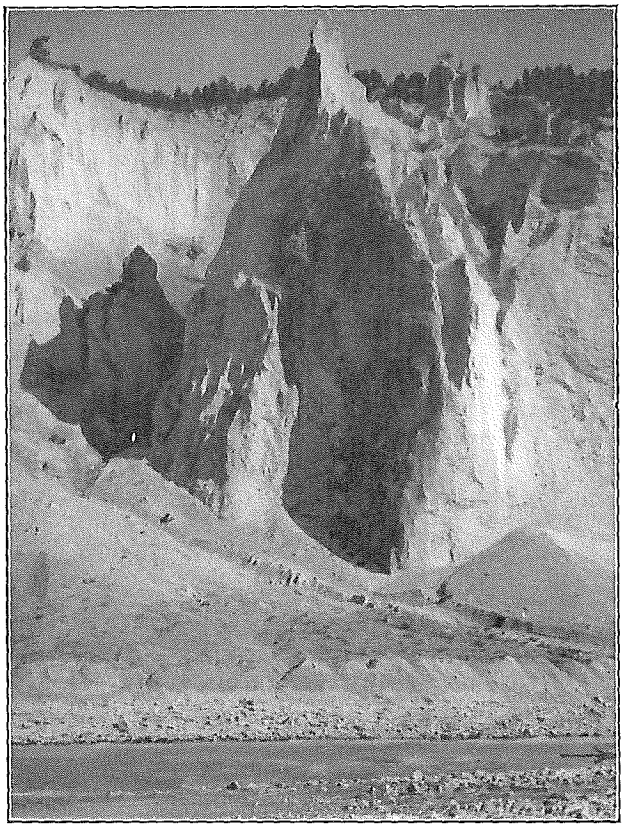


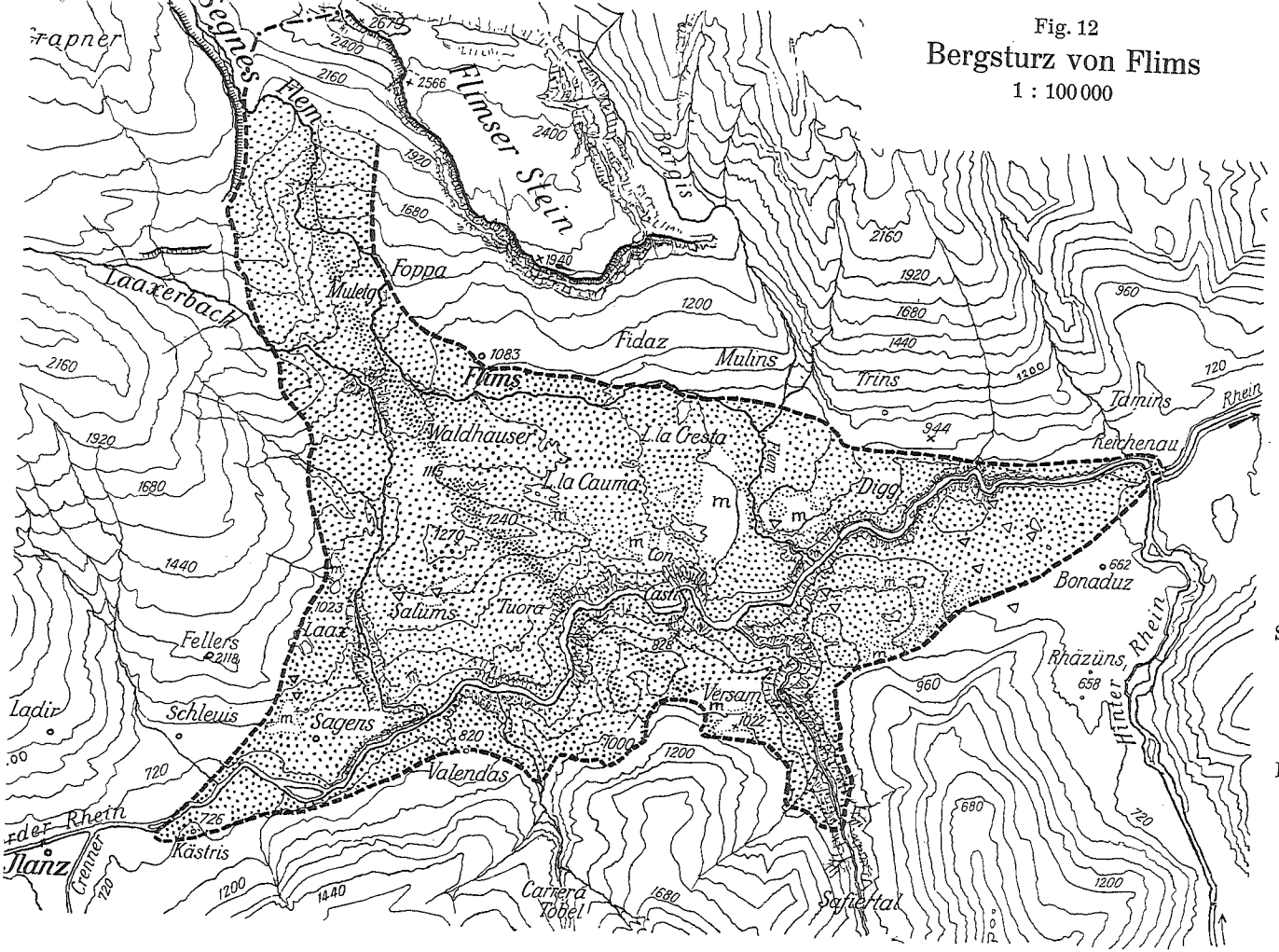
Fig. 14. Durchschnitt des Rheines durch den Bergsturzhaufen von Flims gegenüber Versam. Phot. Arn. Heim, 1919.

entleert. Schon serpentinisiert der Rhein in seiner im Längsprofil nahezu ausgeglichenen Schlucht. In den Ilanzer Stausee hinaus baute der Glenner ein schönes Delta, auf dessen Oberfläche bei 783 m — 81 m über Ilanz — die Kapelle St. Martin steht, während gegenüber rechtsseitig des Glenners in genau gleicher Höhe, am Fusse des Dorfes Seewies (Sargiein), die schöne Fläche Pleun de schentaneras liegt. Kiesgruben unter diesen beiden Flächen haben zeitweise den Kiesbestand aus lauter Lu-

Fig. 12

Bergsturz von Flims

1 : 100 000



Abrissrand
(am Flimserstein und Grapner)

Obere Abrissgrenze

Sturzbreccie

Stromstrich-Rücken

Erratische Blöcke

Grundmoräne

gnetzergeröllen mit ausgezeichneter schiefer Deltaschichtung entblösst. Weiter dem Rhein entlang aufwärts folgen noch andere Reste von Deltas der Seitenbäche, z. B. bei Ruis. Reste des alten Rheindeltas haben wir bisher nicht gefunden.

Die Hauptmasse des ungeheuren Sturzhaufens besteht aus Malmblöcken und deren verkrustetem Splitterwerk und Pulver. Die jungen Steilwände der Rheinschlucht geben den besten Einblick. Sie sehen vom etwas verkitteten Zerreibungsmehl weiss aus. Wild durchfurchte Gräte, Pfeiler und Orgeln wechseln in phantastischen Gestalten ab. Trockener Wind bläst grosse Staubmassen davon ab. Sie erfüllen die Luft oder rieseln in den Rhein hinab, der sie ohne Mühe sofort talauswärts spült. Dazwischen und darüber ist der Breccienhaufe mit Fichten und Lärchen dicht bewaldet. Die Gestalt zeigt, dass die Trümmermasse aus dem Segnestal aus NNW gegen ESE fuhr und S. Versam, an den nördlichen Ausläufern des Segninagebirges, anschlug. Hier muss momentan eine furchtbare Anstauung eingetreten sein, welche den Schuttstrom teilte: Etwa $^1/_3$ wandte sich mit Ablenkung um ca. 104° rechts, d. h. rheintalaufwärts, die andern $^2/_3$ mit etwa 76° Ablenkung nach links, talauswärts. Die sanft gewellte Rückenlinie des Hauptstromstriches hat noch im oberen Teil der Fahrbahn etwa 7—10° Gefälle. Dann folgt eine sanfte Einbiegung, von der Strasse bei 1115 m benützt. Das ist die Grenze zwischen Stromresten in der Fahrbahn und dem eigentlichen Ablagerungsgebiete. Der höchste Punkt der Ablagerung hat 1270 m, das ist 650 m über dem nahen Rhein. Die Aufschüttung der Bergsturzbreccie beträgt hier über 620 m, denn noch nirgends hat der Rhein zwischen Ilanz und Chur sich bis auf den anstehenden Fels vertieft, noch nirgends hat er den Trümmerhaufen ganz durchschnitten. Die ganze Oberfläche des Bergsturzes hat wellige Gestalt; nur der seither eingeschnittene Rhein mit seinen Zuflüssen hat wieder neue, scharfe Formen modelliert, die einen überraschenden Gegensatz zur erhaltenen Oberfläche des Schutthaufens zeigen. Denkt man sich die jungen Flussrinnen noch nicht ausgespült, so kann man ganz leicht der Rückenlinie der Ablagerung folgen. Dieselbe läuft von Muletg im Segnestal bis zur Landstrasse mit 7 bis 10° Gefälle gegen SSE. Dann biegt der Rücken auf und kulminiert aufgestaut in den Punkten 1270 m und 1247 m, wendet sich S des Rheines über Islapi gegen ENE, und fällt dann mit 2 bis 4° im Mittel gegen Reichenau ab. Das Volumen des ganzen Breccienberges betrug vor der Rheinausspülung wenigstens 12 km^3, die Fahrböschung 8°, das mittlere Gefälle des Stromrückens schwankt zwischen 2° und 4°.

„Mit 2 bis 4° Rückengefälle, bei noch weniger Bodengefälle, sollte sich dieser einige hundert Meter dicke trockene Felstrümmerhaufe talauswärts 10 km weit bewegt haben? Niemals!" Das ist die naheliegende Einstellung derjenigen, die die Scheidung zwischen Schleichstrom und Schußstrom noch nicht erfasst haben. Die Herren HARTUNG, ROTHPLETZ, BRÜGGER, R. GSELL versuchten, die Flimserbreccie als zusammengehäuft aus mehreren Stürzen nachzuweisen. Es gelang ihnen nicht.

GSELL liefert eine 1:50000 Karte des Flimserbergsturzgebietes. In derselben zeichnet er Bergsturzwellen als Randmoränen und Endmoränen des Segnesgletschers ein. Stromstriche nimmt er für Moränen, Bergsturzmaterial, etwas imprägniert vom Gletscherschlamm, hält er für mächtige Wallmoränen, Fluidalschlieren innerhalb des Bergsturzes bedeuten ihm verschiedene Bergstürze. Seither hat GSELL sich offen dahin ausgesprochen, dass er meiner Auffassung als eines gewaltigen Bergsturzes zustimme, dass er aber derselben unter dem Drucke seines Meisters entgegentreten musste, um zur Promotion zu gelangen. Er ist nicht der einzige, dem es so ergangen ist.

Nur ein einziger ungeheurer Bergsturz mit grösster Fallhöhe — wirklich der Einsturz eines ganzen Berges, von dem nur als „Flimserstein" noch ein östlicher Flankenrest geblieben ist — kann einen Trümmerhaufen von dieser einheitlichen Gestalt, diesem regelmässigen kleinen Gefälle seines Rückens, dieser Tiefe des Schuttstromes und dies **nur in einem Schlage** hingeworfen haben. Nur der furchtbare Anprall an dem gegenüberliegenden Gebirge kann die Masse so hoch gestaut und derart in Abfluss taleinwärts und talauswärts zerteilt haben. Gerade das geringe Gefälle dieser beiden Zweige des Trümmerstromes ist der Beweis für seine Grösse und die Einheit der Masse und ihres Schusses. Die Aufteilung in mehrere kleinere Bergstürze führt nur zu mechanischen Unmöglichkeiten. Sodann sind im Gebirge ringsum keine Abrissgebiete vorhanden, die zum Ausbau des Flimserschuttberges hätten helfen können. Er ist ein scharf umrandeter, in sich selbst abgeschlossener Ablagerungsberg, der nur aus dem Segnestal als Fahrbahn gegen SSE herausschoss und sich als gewaltiger Fächer nach W und E teilte. Warum sollte der Trümmerstrom Waldhaus–Flims bis Bonaduz–Reichenau unbegreiflicher sein, als das grossblockige flache Trümmerfeld in Elm–Unterdorf? Beides ist der Schuss aus vorher durch Absturz geladener lebendiger Kraft. In Flims war die Sturzhöhe beinahe das Vierfache und die Sturzmasse das mehr als Tausendfache! In Elm sahen die Menschen zu, wie der Blockstrom in wenigen Sekunden über die Ebene schoss, von Flims fehlen nur die Augenzeugen.

Stellenweise liegen typische Grundmoränen auf dem Flimserschuttberg, so bei Con, Pintrun, Las Seaz. Bei Salums und zwischen

dem Safienrhein und Bonaduz findet man viele erratische Blöcke der Bergsturzbreccie aufliegend, es sind kristalline Gesteine aus dem oberen Teil des Vorderrheingebietes, darunter besonders prachtvolle grosse Blöcke von Puntaiglasgranit. Ob der Bergsturz „interstadial" gegen Ende der Würmvergletscherung oder interglazial schon vor derselben gefallen ist, kann noch nicht sicher gesagt werden. Im letztern Falle könnten die Bärenjäger vom Drachenloch, im andern die Kesslerlochbewohner bei Thayngen Erschütterung und dumpfen Donner verspürt haben. Jedenfalls ist der Flimserbergsturz älter als alle Pfahlbauten, älter als 10,000 Jahre.

Der grosse Stausee von Ilanz im Niveau von 780 bis 785 m ist längst mit dem Einschneiden des Rheines ausgelaufen. Aber der Flimser Bergsturz hat noch einige kleine Seen bis heute bewahrt. Ein kleiner Randsee, von einem Bache gespiesen, ist der See von Laax 1000 m. Fast symmetrisch dazu linksseitig liegt der Crestasee bei 850 m. Dieser ist ganz in den Bergschutt eingebettet, aber ganz nahe an seinem Rande. Er wird gespiesen von Grundwasserquellen aus dem Bergsturze und läuft in ständigem Bache über den Rand der Trümmer in den Flem (Flimserbach). Der grösste etwa 500 m lang, im Niveau von 1000 m, der L. La Cauma, liegt mitten im Trümmerdreieck, ENE der Breccienkulmination. L. Cresta und la Cauma haben stets klares Wasser; sie werden beide aus dem Grundwasser des Bergsturzes gespiesen. La Cauma hat aber weder sichtbaren Zufluss noch Abfluss. Bei 1019 m mitten im Hauptstromstrich liegt der kleine L. de prau dideritg. Er ist zeitweise trübe. Nahe nördlich oberhalb des Strassenpunktes 1115 findet sich in der Breccie ein kraterförmiger kreisrunder Trichter mit See, dem L. de prau pulté. Dieser hat nur im Sommer und zwar immer trübes Wasser. Ein Gletscherbach muss an seinem Grunde aus dem Trümmerhaufen heraufbrechen. Der Breccienberg von Flims bietet noch manche andere Merkwürdigkeit. Zwischen Waldhäuser und Lei de prau pulté wurde, nach Mitteilung von Dr. J. HUG, für ein neues Haus ein Keller gegraben. Derselbe tut aber seinen Dienst nicht, weil in dessen Grunde warme Luftquellen austreten, die auch im Winter seine Temperatur auf + 15° halten. Anhaltende Beobachtungen wären auch wünschenswert über die fortschreitenden Erosionserscheinungen in der Rheinschlucht, am Laaxertobel etc.

Viele Erscheinungen des Flimser Bergsturzes wären anhaltender Beobachtung und gründlicher Untersuchung wert. Sie fehlt noch. Ein Bewohner von Flims sollte sich dieser Aufgabe widmen.

Die Bergstürze von Goldau und Flims, beide zum Typus XIV gehörend, haben gewisse Ähnlichkeiten. Bei beiden hat die Bewegung, nach wohl langer

Vorbereitung gleitend Schicht auf Schicht endlich langsam begonnen, ist dann nach Minuten immer schneller geworden. Nicht schon im Abrissgebiet, erst im oberen und mittleren Teil der Fahrbahn ist sie unter Zerbrechen der Schichtplatten und rascher Zunahme der Geschwindigkeit in Rollen und Schiessen, in einen Trümmerstrom übergegangen. Ganz verschieden sind die beiden im Ablagerungsgebiet, wo sie auf sehr verschiedene Gestaltung gestossen sind.

Unter Mitberücksichtigung aller Nebenumstände ergibt sich für die Trümmerströme das Gesetz: Je grösser die auf einen Schlag stürzende Masse und die Sturzhöhe ist, desto kleiner wird das Gefälle des ganzen, oder anders ausgedrückt: desto weiter schiesst der Strom hinaus, oder: desto grösser ist seine Geschwindigkeit am Fusse der Steilbahn beim Eintritt in das Ablagerungsgebiet. Diese Tatsachen können noch einfacher formuliert werden: Je grösser die strömende Masse unter im übrigen ähnlichen Umständen ist, um so grösser wird ihre Geschwindigkeit. — Das genau gleiche ist der Charakter jedes Fliessens. So macht es jeder Fluss, jeder Gletscher, jeder Lavastrom! Auch der Bergsturz fliesst.

c. Felsstürze mit Trümmerströmen unter zusammengesetzten wechselnden Umständen.

Man sollte denken, dass auch eine Reihe von Felsstürzen aus unserer Tabelle S. 114—119 sich herausnehmen liessen, die eine Zunahme der Stromflüssigkeit mit der Sturzhöhe vorführen würden. Allein der ganze Komplex der übrigen Umstände verdeckt den Einfluss der Sturzhöhe, obschon er sicher nicht unbedeutend in den Resultaten steckt. Das einzige grosse Beispiel für die Macht auch der Sturzhöhe ist für uns wiederum der Flimser Bergsturz — der massigste, der höchste und der schussflüssigste. Aber stets zeigt sich, dass das Gesamtgefälle sich besonders nach der Fallhöhe einstellt.

Nun ergänzende Bemerkungen zu den noch nicht besprochenen übrigen Fällen:

Da stossen wir zuerst auf die Felsstürze vom 24. IX. 1714 und 23. VI. 1749 an der Südseite der **Diablerets.** Vorherrschend horizontal gelagerte Schichten brechen senkrecht ab im Hintergrund einer Nische am Oberrand steiler Felswand unter Gletscher. Abbruch gegen S nach Val de Triqueut (Wallis). (Figur 21 und T Fig. 22.)

Literatur: E. RENEVIER, geol. Karte 1 : 50,000 „Matériaux" Spezialkarte Nr. 7 mit Text. Lfg. 16, erste Serie. 1875.

(Top. Karte d. Schweiz, Siegfriedatlas Bl. 477).

Geordnet nach der stürzenden Masse, sollte der Diableretssturz gleich nach Goldau folgen. Er war in historischer Zeit der mächtigste in der Schweiz. Allein das Fahr-Gefälle des Diableretsfelsstromes ist beinahe 20° geblieben. Und dies trotz der viel grösseren Sturzhöhe! Dem Diablerets-Felsstrom stunden wenigstens zwei stark ablenkende Felswände im Wege, an denen er hinaufbrandend sich teilweise erschöpfen musste. Dazu kommt noch, dass in 1390 m Meerhöhe zwischen den zwei Ablenkungsstellen plötzlich eine flache Verbreiterung die sonst enge Fahrbahn auf 1500 m Länge unterbricht. In dieser Ausweitung blieb ein grosser Teil des Trümmerstromes zurück. Nur ein Bruchteil fand den Ausweg aus dem Kessel, aufbrandend und rechts abgelenkt besonders an seinem linksseitigen (östlichen) Eingangstor (Gode-Montbas). Aber auch der rechtsseitige (westliche) Stromstreif konnte sich nur teilweise mühsam um den scharfen rechtsseitigen Bergsporn (Vérouet) zwängen. Noch heute sieht man im Gebiete der Ausweitung, prachtvoll ausgeprägt durch Anordnung der verschieden grossen und verschieden farbigen Felsblöcke in lange Schlierenlinien geordnet, die Fluidalstruktur des Diablerets-Trümmerstromes. Die plötzliche flache Talausweitung hat wohl noch stärker bremsend gewirkt, als eine Richtungsablenkung. Im Gebiete dieser Talausweitung sind 12 kleine Seen entstanden, der weitaus grösste ist der Lac de Derborence (500 m Durchmesser). Dieser, wie noch 2 kleinere sind Randstauungen durch den Trümmerstrom, die andern sind im Trümmerstrom selbst eingeschlossen.

Die Ereignisse im Verlauf des Absturzes waren folgende:

1. Oberster Anriss bei 3120 m, ca. 500 m E des Diableretsgipfels. Steiler Absturz über die Felsköpfe der fast horizontal geschichteten und überfalteten Kreide- und Oberjuraschichten. Erst ganz steil, dann weniger steil, im Mittel 40° bis zur Meerhöhe von 1830 m, Richtung N—S.

2. Aufbrandung an den Grat Liappey de Cheville, Ablenkung über 60° links.

3. Richtung S E mit Gefälle 18° auf 1500 m hinaus.

4. Aufschlagen; dann strahlenförmige Verteilung auf der Fläche zwischen Derborence und la Luys bei ca. 1500 m Höhe auf 1500 m Länge hinab bis 1322 m am Fuss des Montbas. Oberflächengefälle des Trümmerstromes 3 bis 4°, Ausbreitung, Seebildung.

5. Aufbranden am Fuss des Montbas linksseitig und an der scharfen Bergecke von Vérouet rechtsseitig, Ablenkung am Montbas um 60° nach rechts.

6. Trümmerstrom N—S von 1322 m bis unter Besson ca. $1^1/_2$ km, Stromende bei ca. 1215 m, Gefälle ca. $4^1/_2°$.

Also Diablerets fällt aus der Reihe, welche die regelmässige Abnahme des Fahrgefälles mit der Zunahme der Sturzmasse zeigt;

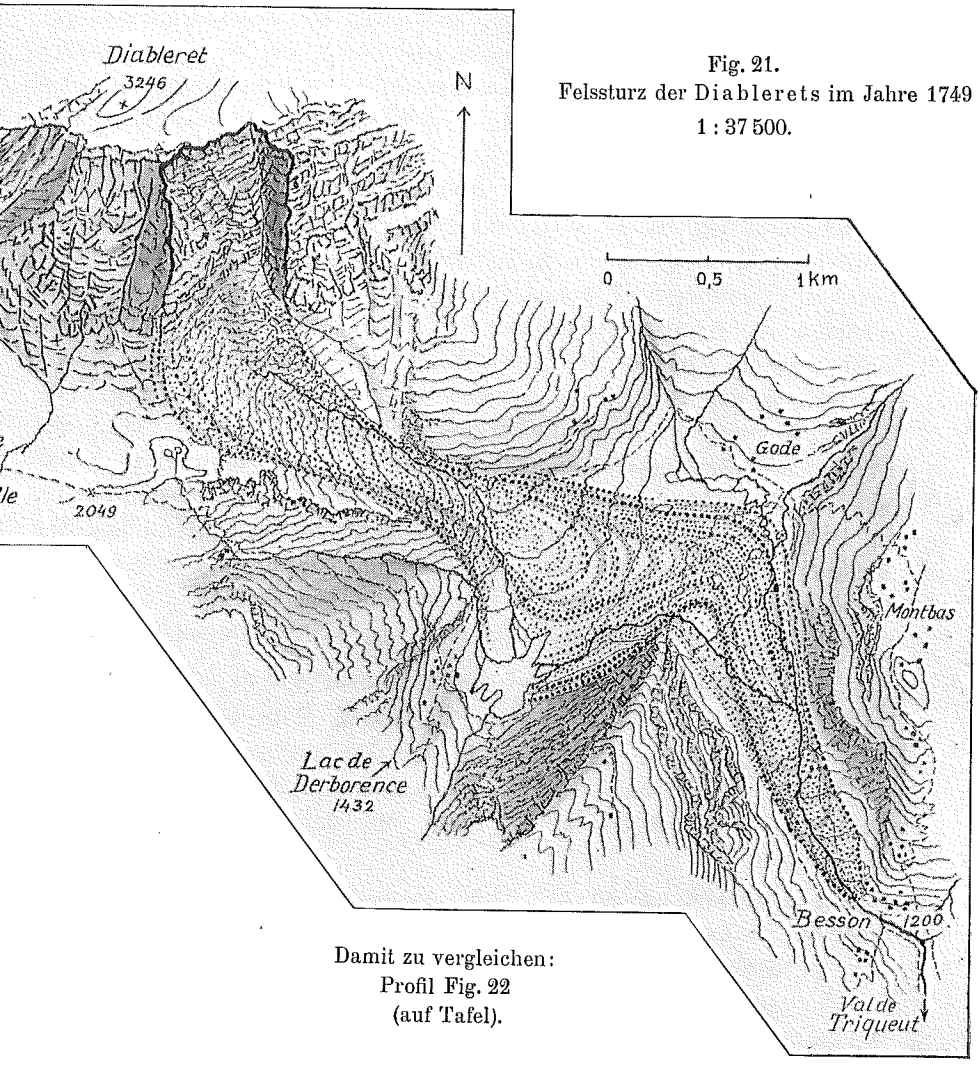


Fig. 21.
Felssturz der Diablerets im Jahre 1749
1 : 37 500.

Damit zu vergleichen:
Profil Fig. 22
(auf Tafel).

Diablerets gehört zu den steileren Felsströmen infolge der Hemmnisse in seiner Sturzbahn. Seine Fahrböschung ist $19^1/_2°$, erst im unteren Stück nach der Erweiterung wird der Stromrücken von geringem Gefälle.

Von historischem Interesse ist noch die Notiz, dass EBEL im Hinblick auf den Diableretssturz zum ersten Mal das Wort „Steinstrom" gebildet hat.

Disentis 29. VI. 1683 zeichnet sich aus durch gut zusammenhaltende kurze Fahrbahn dicht vor dem Fusse des entgegenstehenden Gehänges mündend. Infolge davon hohe Brandung, kein Abströmen nach links oder rechts, der Rhein durch den Brandungshaufen nach rechts an die Absturzseite gedrängt. Während 3 Stunden war der Rhein gestaut (vorübergehender See), 22 Tote.

In unserer Tabelle habe ich auch noch die Masse des Felssturzes notiert, welcher den **Voralpsee** ob Grabs (vorhistorisch) erzeugt hat. (ARNOLD HEIM u. J. OBERHOLZET, geol. Karte der Alviergruppe, 1 : 25 000, Spez.-Karte Nr. 80, 1917.) In diesem Fall ist die Trennung zwischen Fahrbahn und Ablagerungsgebiet sehr schön markiert. Die Fahrbahn ist wohl durch die Nachhut des Bergsturzes als Schuttkegel mit 28—30° aufgeschüttet bis 1200 m Meereshöhe, wo scharf abgesetzt der Trümmerhaufe des Ablagerungsgebietes folgt — erst noch zur Brandung ansteigend, mächtig gestaut vor dem angerannten Bergabhang, und dann unter rechtem Winkel rechts nach NE abgelenkt als relativ schwacher Strom — aber von 2125 m Länge für 280 m Gefälle. Auffallend an diesem Ablagerungsgebiete sind: die massige Aufstauung an der Gegenwand, die mässige Höhe der Brandungswelle und dennoch die sehr geringe Böschung von dem genannten Rückensattel, 1200 m, bis an das Ende des abgewendeten Trümmerstromes mit 8°. Die relativ geringe Sturzhöhe erklärt das erstere, das aber im Verhältnis dazu grosse Volumen der Sturzmasse das letztere.

Herr Dr. ERNST FURRER ist der Entdecker eines prähistorischen Bergsturzes von **Bormio**, im Oberlaufe der Adda, und berichtet darüber in der Vierteljahrsschrift der Naturforsch. Ges. Zürich 1915. Die grosse, etwa 1300 m breite Ausbruchsnische ist am Dosso Reit (Cristallo Kamm) in etwa 2800 m Höhe an der Ostseite des Tales angerissen. Die Basis des Berges besteht aus Altkristallin, die Ausbruchsnische liegt in dolomitischer, ostalpiner Trias, und fast der ganze Bergsturz besteht aus Dolomitblöcken aller Grössen, splittrig zermalmtem Dolomit und Dolomitmehl. Die Sturzhöhe auf 1300 m herab war 1500 m, der Sturz gegen WSW gerichtet. Die Bergecke im Winkel S des Viola-flusses und W der Adda zerteilte die stürzende Masse in zwei Trümmerströme. Die rechtsseitige Hälfte schoss erst westlich der Adda über Premadio bis 1490 m Höhe hinauf, prallte hier ab und warf sich schief südöstlich über die Viola, am Monte Masucco aufbrandend, und endlich taleinwärts nach E der Viola entgegen. Das

Frontende dieses sehr ausgeprägten, ringsum scharf begrenzten Trümmerstromes steht von der Zusammenflußstelle von Viola und Adda volle 2 km talaufwärts. Die linksseitige Hälfte wurde am östlichen Fusse des Monte Masucco um etwa 80° links abgeworfen und schoss das Addatal auswärts, also nach S. Der Winkel, unter welchem die beiden Stromstriche auseinandergehen, ist ein rechter. Der Teilungspunkt

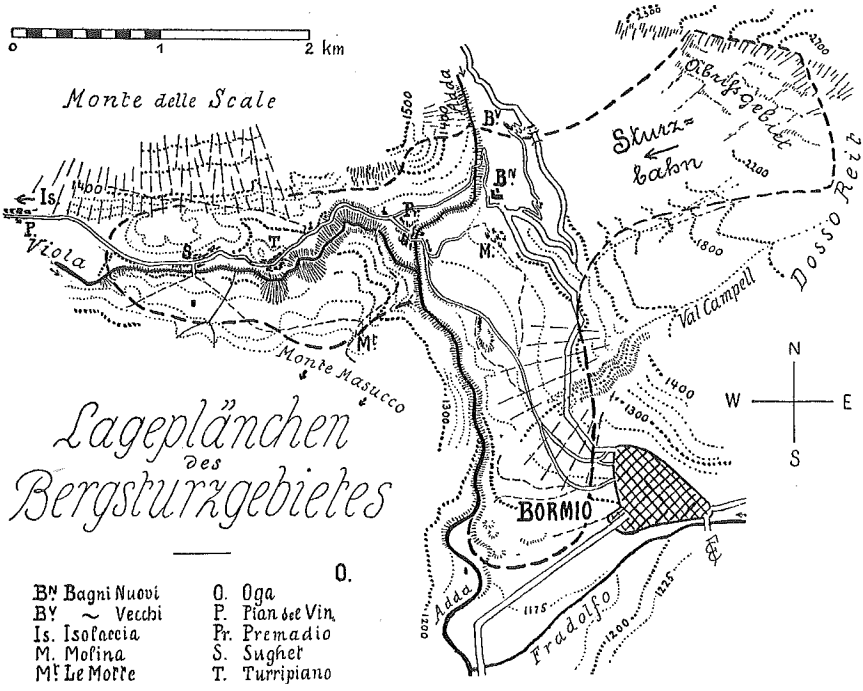


Fig. 25. Bormio, Zeichnung von E. Furrer.

lag vermutlich unter dem gegen N gekehrten Strassenwinkel, nahe S. Bagni nuovi. Von hier weg misst der Rechtsstrom, mitgemessen sein Branden N und S der Viola, bis an sein westliches Ende ca. 3300 m, der Linksstrom bis unterhalb Bormio, wo sein Ende etwas verwaschen ist, misst 2600 m Länge. Gleiches Material, gleiche Sturzhöhe, ähnliche Masse, also auch ähnliche Inertie lag in ihnen. Leider ist die Höhe der Aufbrandung des S-Stromes an der Ostwand unbekannt (unzugängliches Festungsgebiet). Auffallend ist immerhin die Tatsache, dass der Westzweig mit zwei schiefen Ablenkungen etwa 700 m weiter gefahren ist als der Südstrom mit bloss einer, aber senkrecht zum Bergabhang gerichteten Anbrandung. Man ersieht daraus, wie der senkrechte Aufprall viel mehr lebendige Kraft verzehrt als der schiefe.

FURRER betont die schöne Erhaltung des hellblockigen Weststromes, die Brandungswogen aus der Mitte gegen den Rand. Ein Stausee hat bis Isolaccia gereicht (2—3 km lang). Das terrassierte Einschneiden ist mehrerenortes zu verfolgen. Zwischen Turripiano und Premadio hat die Viola eine Schlucht von ca. 70 m Tiefe in den Trümmerstrom geschnitten, noch ohne den anstehenden Untergrund erreicht zu haben. Die ursprüngliche Dicke der Ablagerungen schätzt FURRER im Mittel auf gegen 40 m. Die Ablagerungsflächen des ganzen Bormioschuttes schätzt er auf $4^1/_2$ km², das Volumen auf 180,000,000 m³.

Parpan.

Beiträge zur Geologischen Karte der Schweiz, Spezialkarte 94 C. Geologische Karte von Mittelbünden 1 : 25,000, Blatt C, Aufnahme von TH. GLASER. HEIM, Geol. der Schweiz, III. S. 808.

Der alte, in der Vertiefung zurückgebliebene flusslose Taltorso von Lenz-Parpan-Churwalden ist reich an Schuttbildungen mit Bergstürzen, die teils übereinander liegen. Die steilgebirgige Ostseite hat sie geliefert. Die Bewegungen waren vorherrschend E—W gerichtet. Der dem Volumen nach weitaus bedeutendste ist aus dem Berggrat, der einst das Parpaner-Rothorn und Parpaner-Weisshorn verband, aus 2400 bis 2800 m Höhe angerissen. Er hat einen Wall von 40—50 m Höhe quer durch das Tal aufgeworfen. Die Landstrasse benutzt bei 1551 m, Acla alva, die niedrigste Stelle des Schuttstromes, der sich dann, westlich aufbrandend auf etwa 2 km verbreitet. Auf dieser ganzen Breite endigt der Trümmerstrom mit welligem, oft hohem Brandungsrand in 1580 bis 1710 m Meereshöhe. Von der Stelle Acla alva aus gehen Seitenströme diametral auseinander, jeder unter rechtem Winkel abgelenkt, der eine 3 km lange nach N bis Churwalden bei 1240 m Höhe, der andere $3^1/_4$ km nach S bis Lai 1461 m. Der nördliche Stromzweig wird hauptsächlich von den triasischen Gesteinen (Hauptdolomit des Weisshornes) gebildet, der südliche besteht vorherrschend aus Blöcken des Altkristallin (Rothorn), beides der Silvrettadecke zugehörig. Im Abrissgebiete war diese Anordnung gegeben: das nördliche Weisshorn Trias, das südliche Rothorn Altkristallin. Der Heidsee liegt ganz vom grossen Parpanerbergsturz umgeben. Bergsturz-Volumen 100 bis 200 Millionen m³.

Trotz seiner Sturzhöhe von 900 bis über 1000 m und seiner grossen Masse ist die Fahrböschung ziemlich gross, sie misst 15°. Ohne Zweifel war die völlige Spaltung des Trümmerstromes in Brandung nach E, und zugleich in zwei entgegengesetzt auseinander gehende Zweigströme, die beide sich um 90° wenden mussten, die Ursache für

Schwächung durch Kraftverbrauch. Hätte die Masse, statt in drei Richtungen auseinanderzureissen, einen einzigen Strom bilden können, so wäre gewiss der Böschungswinkel unter 12° gesunken. Zerteilung eines Stromes zerteilt auch seine Schusskraft.

Bergstürze, die in „abgestorbene" Talböden niedergegangen sind, haben das Glück, lange unversehrt in ihrer ursprünglichen Form zu

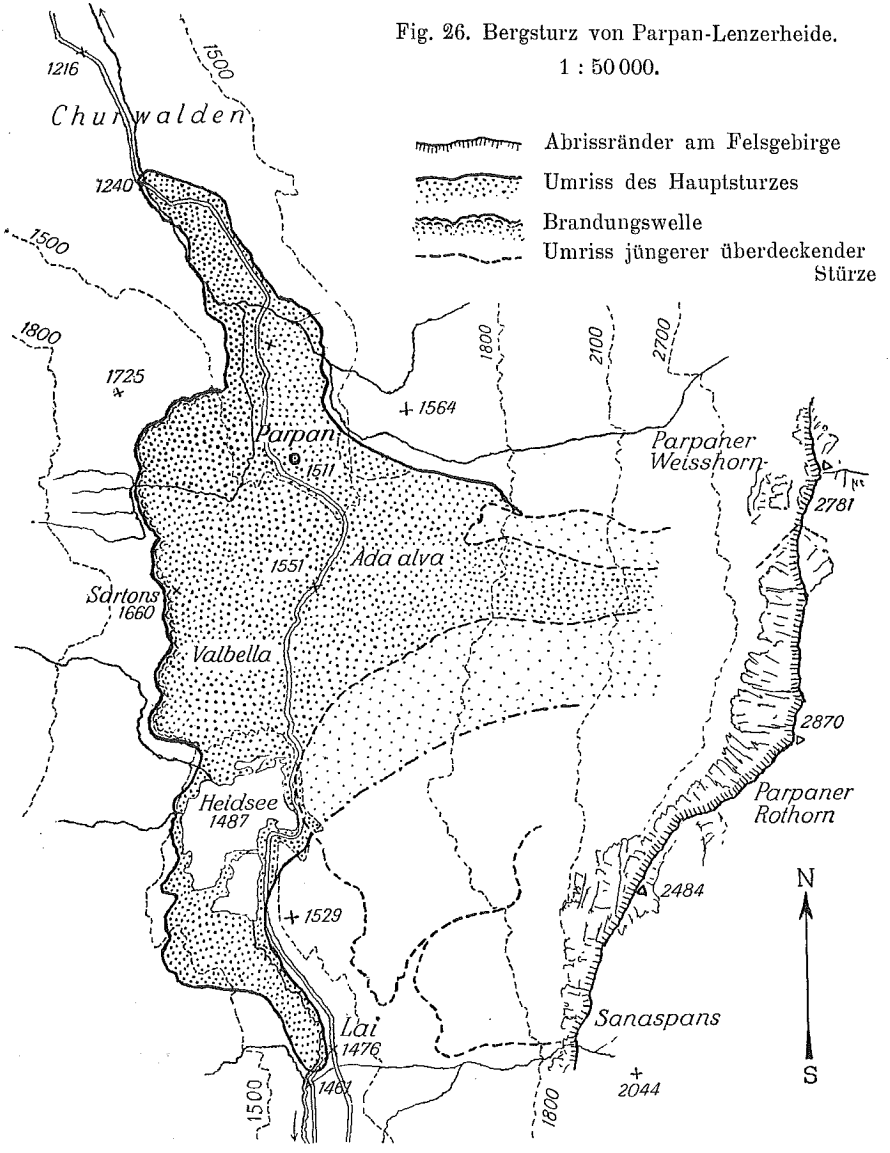


Fig. 26. Bergsturz von Parpan-Lenzerheide.
1 : 50 000.

Abrissränder am Felsgebirge
Umriss des Hauptsturzes
Brandungswelle
Umriss jüngerer überdeckender Stürze

bleiben, während solche, die einem starken Fluss in die Quere fallen, bald stark angegriffen und für die Bergsturzbeobachtung weit weniger ergiebig sind. Wie vollkommen erhalten ist der Parpaner, wie zerstückelt die Bergstürze von Sierre, Glarus, Bormio etc. !

Saoseo. Etwa 7 km N von Poschiavo tritt von der Ostseite her das Valle di Campo in die südliche Talfurche des Berninapasses. In den oberen Teil dieses Tales hat sich ein gewaltiger Bergsturzstrom ergossen. Überschreiten wir gegen NE die italienische Grenze, die hier auch Wasserscheide ist, so gelangen wir in Val Viola Bernina, wo ein anderer grosser Bergsturz liegt, der völlig ein symmetrisches Abbild desjenigen von Valle di Campo in etwas kleinerem Maßstabe ist.

Der Felssturz schweizerseits stammt von der SE-Seite des Tales. Die Cima di Saoseo ist der höchste Punkt des Abrissrandes mit 3270 m. Der Absturz ist steil gegen NW gerichtet. Der Felsstrom brandet nördlich des Talbodens, $3^1/_2$ km von Cima di Saoseo an Alpe di Val Viola auf. An dieser Bergecke prallt er ab und fährt nun um etwa 110° links abgeschlagen, umgedreht nach SSE, welche Fahrt ca. 2 km lang ist. Am Fusse der Cima di Ruggiolo muss der Felsstrom sich bis in Richtung nach W, das ist um 75° rechts, wenden, bis er in 1822 m Höhe bei Terzana endigt. Gesamte Fahrlänge vom obersten Abrissrand bis ans untere Ende 6400 m, wovon 2500 m Fahrbahn, beinahe 4 km Ablagerungsgebiet als stillestehender Felsstrom sind. Die flüssige Anpassung des Trümmerstromes ist in diesem Falle besonders schön ausgeprägt. Am NE-Rande liegt der Lago di Viola, im Innern des Stromes noch 4 kleine Seen. Die Gesteine der beiden Bergstürze sind Altkristallin der unterostalpinen Decken. Genauere Untersuchungen fehlen noch. Die Tabelle S. 116 gibt, soweit ich sie feststellen konnte, die Maße der Ereignisse.

Der Bergsturz, der den **Lago di Poschiavo** geschaffen hat, liegt in der Wurzelzone der ostalpinen Decken, in ihren altkristallinen Kernen. Der Abrissrand steht an der Oberkante der C^no^ del Giumellino bei im Mittel 2280 m, die Sturzhöhe, glatt und einfach, betrug ca. 1400 m. Die Aufbrandung ist sehr hoch, ca. 270 m. Die Sturzrichtung geht quer zur Talrichtung und traf, ohne Talboden dazwischen, gerade senkrecht auf die Horizontalkurven des gegenüberliegenden Steilabhanges unter St. Romerio (1800 m). Dadurch war die mächtige Aufbrandung zur Motta di Meschino und das Aufsichselbstzurückschlagen der Brandungswelle, das Tälchen Selva piana zwischen der erstarrten Brandungswelle und dem östlichen Steilabhang, und die nur sehr teilweise

Ablenkung nach rechts zu einem kaum 1 km langen, schwachen, aus dem hohen Stauhaufen talab ausfliessenden Trümmerstrom bedingt. Der Bergsturz folgt der Regel: er wirft sich auf die andere Talseite, hier die NE-Seite, und lässt dem Fluss den Weg auf der Abbruchseite (SW). Die Seestauung steht wohl auf 92 m über der ursprünglichen Talsohle; der jetzige See hat noch 83 m Tiefe. Die Schuttkegel und Rüfen aus dem südwestlichen Abrissgebiet hätten die Tendenz, den See noch etwas höher zu stauen; die Industrie wird

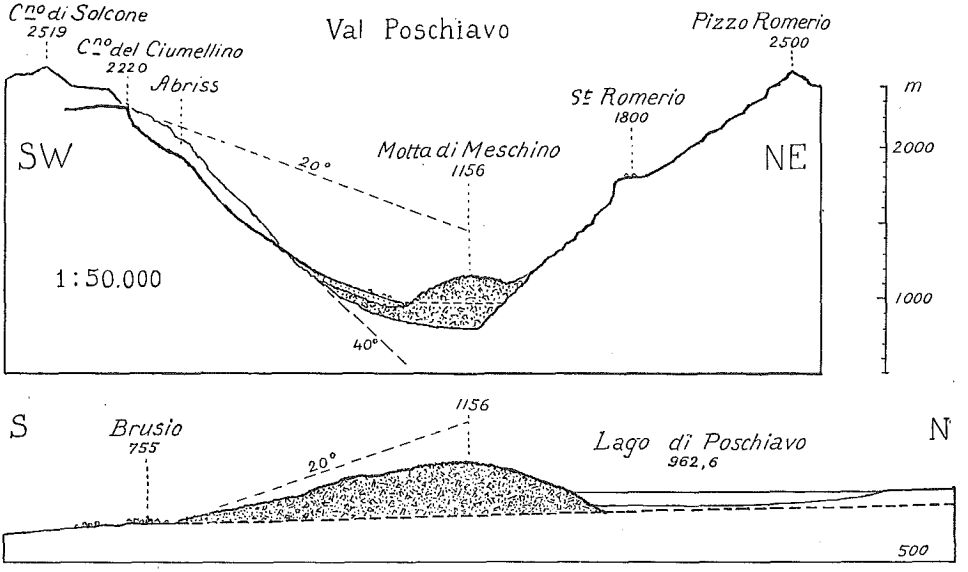


Fig. 27. Bergsturzprofile am Poschiavosee.

dies verhindern. Dieser Bergsturz liefert uns durch die fast vollkommene Ausschaltung einer längeren Laufbahn und den unmittelbaren Anschluss der Ablagerung an den Fuss des jenseitigen Steilabsturzes, mit senkrecht auf ihr Streichen gerichtetem Anprall, das Maß für die Aufbrandung, reiner und richtiger als bisher die anderen. Am nächsten steht in diesem Sinne der Bergsturz von Disentis. Allein, dort ist die Sturzhöhe nicht genau zu bestimmen und die Fahrbahn nicht so frei und klar. Am Poschiavo-Riegel tritt uns die Zahl: **Aufbrandungshöhe** $= {}^1/_5$ **Sturzhöhe** am klarsten und ohne Nebenkomplikationen und Hemmungen entgegen.

Der Bergsturz „Motta di Meschino" ist prähistorisch. Er ist nach seiner unversehrten Gestalt wie nach dem Funde von Moränenschlieren, im Trümmerstrom einbezogen (R. Staub), postglacial. Dass

er von rechts des Tales stammt, hat R. STAUB auch noch durch die Beschaffenheit seiner Gesteine bestätigt (Banatitgranit). Fig. 27.

Wenn die Umstände alle klar und einfach liegen, der Absturz glatt vor sich geht, die Fahrbahn kurz ist und keine Komplikationen hat, und das Ablagerungsgebiet dicht und als glatte horizontale Ebene anschliesst, so kann auch ein zwerghafter Felssturz die Formen des hundertmal grösseren annehmen. Westlich von **Estavayer** (Neuenburgersee) begleitet den S-Strand des Sees eine breite, ebene Abrasionsfläche, die erst durch die Aarekorrektion trocken gelegt worden ist. Auf dieser liegt die Eisenbahnlinie Fribourg-Payerne-Yverdon. Etwa 100 m S der Bahnlinie folgt auf lange Erstreckung eine 30—50 m hohe Kliffwand, an deren Fuss früher die Seewellen arbeiteten. Die Steilwand besteht aus horizontal gelagerten Molassesandsteinen, durchkreuzt von der Wand parallel laufenden, senkrechten Ablosungsklüften. Die Steilböschung war teilweise mit Wald und Gebüsch bekleidet. Da fiel plötzlich, ohne jede vorangegangene Beachtung, von diesem Kliff eine Felsrinde ab, die sich im Gebüsch verborgen abgelöst hatte. Die Felstrümmer schossen über den ganz horizontalen Talboden, über die Bahnlinie und noch etwa 100 m über dieselbe hinaus in Gestalt eines ganz scharf geschlossen umrandeten, schmal zungenförmigen Stromes von etwa 20 m Breite und 1 bis 2 m Dicke, ohne jede Spur randlicher Streuung. Im folgenden Augenblick kreuzte ein Güterzug. Lokomotivführer und Heizer wurden getötet. Lange gerichtliche Prozeduren knüpften sich daran. Ich war gerichtlicher Experte über die Voraussichtsfrage. Für uns ist das wertvoll: Ein kleiner Felsabsturz von vielleicht 25,000 m³ kann auf horizontalem Boden einen musterhaften Schußstrom liefern — einen Zwergschußstrom, an dem alle typischen Erscheinungen sich ausprägen. (Genaue Masse und das Datum kann ich leider nicht mehr finden. Es war vor 35—40 Jahren.)

Die gewaltigen Felsstürze von **Glärnisch-Guppen** und **Glärnisch-Gleiter** und vom **Wiggis** sind in ihren Maßen z. T. schwierig zu erfassen. Wir treten hier nicht mehr näher auf dieselben ein, sondern verweisen auf die klassische Darstellung von J. OBERHOLZER: „Monographie einiger prähistorischer Bergstürze in den Glaneralpen“ in „Beiträge zur Geol. Karte der Schweiz“, neue Folge Nr. 9, mit 4 Tafeln und einer Karte, 1900.

Derartige Betrachtungen könnten wir noch weit ausdehnen und unsere Tabelle S. 114—119 auf das mehrfache vergrössern, denn es hat der Bergstürze noch reichlich genug! Allein nicht der zehnte Teil derselben ist genügend untersucht oder kann genügend untersucht werden, um sie in den wesentlichen Maßen zu vergleichen und ihre Besonderheiten zu verstehen. Es handelt sich mehr darum, die typischen Erscheinungen herauszufinden, um zu weiterer Beobachtung Anregung

zu geben. Ein Register aller bekannten Bergstürze in richtiger Gruppierung wird noch lange nicht möglich sein, und ist von mir nicht angestrebt.

Hier sollen noch einige besondere Erscheinungen der grossen Felsstürze kurz besprochen werden:

Das Leuchten des Felssturzes.

Von einer grossen Zahl von Bergstürzen wird berichtet, dass ein blitzartiges Aufleuchten während des Absturzes im Trümmerstrom beobachtet wurde (Plurs, Goldau, Diablerets, Frank, Langen am Arlberg, Randa, Elm u. a.). Für Goldau wollte man die Erscheinung damit erklären, dass oben im Abrissgebiet ein Kohlenmeiler in Tätigkeit war, der mitgerissen worden ist. Bei anderen sollte der mitgerissene Küchenherd das Leuchten erzeugt haben. Im Zusammenhang mit der furchtbaren Staubbildung wurde meistens ein sonderbarer „stinkender Dampf" genannt, der z. B. in Plurs bis Chiavenna die Luft erfüllte. Auch hier wurde der Schwefel zur Erklärung herbeigezogen, „Schwefelgeruch!". Entzündung des Schwefels? Vielleicht vulkanische Mitwirkung (Sandberg)? und andere Phantasien mehr. Es ist aber nur der bituminöse Geruch, den sehr viele Gesteine beim Zusammenschlagen oder Verpulvern ergeben. Viel gerechtfertigter ist die Frage, ob nicht der so häufige Gehalt der Gesteine an Pyrit das Leuchten durch Zusammenschlagen erzeuge. Allein mir scheint der Pyritgehalt der Gesteine zu gering, um ein solches blitzartiges Aufleuchten durch die Staubwolken hindurch erzeugen zu können. Ich dachte für Bergstürze quarzhaltiger Gesteine eher an das blitzartige Licht beim Zusammenschlagen von Quarz. Allein auch Bergstürze in ganz quarzarmen Gesteinen leuchten. Die Ursache muss also eine allgemeinere sein. Vielleicht leuchten noch viele andere Mineralien, als Quarz und Pyrit, wenn man sie in solcher Masse und Kraft zusammenschlägt? Vielleicht erzeugt der Schlag an sich schon Licht? Mir scheint am ehesten Reibungselektrizität oder Schlagwärme (kaltes oder warmes Licht?) in Frage zu kommen. Eine Erhitzung der Felsen eines eben zum Stillstand geratenen Trümmerstromes ist noch nie beobachtet worden, hingegen ist schon von austretendem Wasserdampf gesprochen worden. Die Reibungselektrizität würde am besten diesem Blitzen entsprechen. Die Antwort auf die Frage nach der Ursache des Bergsturzleuchtens steht also noch offen.

Das Getöse der Felsstürze.

Bei fast allen grossen Felsstürzen hat man schon mehrere Tage vorher oder doch einen halben Tag vor der Katastrophe einen krachenden, knallenden oder knirschenden, kratzenden Ton aus

dem Inneren des Berges gehört — unregelmässig, bald anhaltend, bald unterbrochen. Die Berichte darüber sind etwas spärlich, weil meistens nur eine kleine Zahl Menschen so nahe und in der günstigen Lage waren, es zu hören. Die Älpler am Monte Conto S Plurs haben einige Tage vor dem Absturz das innerbergige Getöse gehört und nach Plurs gemeldet. Solches wurde sehr stark und anhaltend mehrere Tage vor dem grossen Diableretsabbruch auf den dortigen Alpweiden gehört. In Goldau beachtete man es auf Distanz von 2 km vom Berge. In Elm hörte man bei Ruhe im Schieferbruch schon seit einer Reihe von Tagen das geheimnisvolle Knarren. Am 8. IX. wurde es laut und anhaltend gehört. Am 11. IX. hörte man es im ganzen Untertal, sogar in den Häusern. Nähere Beschreibungen über die Art des Tones habe ich keine gefunden.

Ganz anders verhält es sich mit dem Getöse des Absturzes selbst.

Die Ohrenzeugen von Bergstürzen schildern das Getöse mit Ausdrücken wie: Krachen, tosen, rasseln, donnern, knattern, dröhnen, brausen. Viele vergleichen es mit dem Tönen eines grossen Lastwagens, der mit durchgehenden Pferden im Galopp über eine grob gepflasterte Strasse gerissen wird. Meistens war der Eindruck sehr verschieden je nach dem Standpunkt des Empfindenden. Deutlich ist auch beim Bergsturz, wie bei Wasserfällen und Lawinen, dass man aus einiger Entfernung ein dumpfes anhaltendes Donnern, in der Nähe hingegen schärfere, verschiedenere und unruhigere Töne vernimmt. Elm ist es wiederum, das uns die bestimmteste Auskunft gibt, und Elm zeigt uns sogar eine Änderung der Tonart in den verschiedenen Teilen des Sturzes. Die kleineren vorangehenden Stürze hörten sich vom Dorfe aus an wie ein Durcheinander von Flintengeknatter und fernem Geschützdonner, ähnlich dem Getöse einer starken Lawine. Beim Hauptsturz dagegen war das Getöse anders am Anfang, als in der Mitte und als gegen das Ende. Beim Zusammenbrechen und Fallen der Felswände war es ein erschütterndes Krachen, beim Sprung durch die Luft vorzugsweise ein mächtiges Rollen und Donnern, beim Dahinfahren des Trümmerstromes über den Boden ein ohrzerreissendes Knirschen und Kratzen — Folge der Reibung der Steine aneinander und am Boden — aber stets begleitet von einem dumpfen gewaltigen Bass.

Über die Entfernung, bis in welche das Bergsturzgetöse gehört werden kann, findet man nur sehr wenig Notizen. Der Bergsturz von Goldau ist sehr stark gehört worden in Schwyz und auf den Alpen oberhalb Bristen, Uri. Man vernahm dort ein donnerartiges Rollen, durchsetzt

mit harten kurzen Schlägen. In Luzern und im Aargau hörte man das Donnern. Näher in Arth tönte es wie das Knarren eines Lastwagens in scharfem, rasselndem Lauf. Am Abhang der Rigi zitterte der Boden und knallten die vielen Steinschläge, welche von der Erschütterung dort ausgelöst wurden. Der Ton pflanzt sich durch die Luft fort.

Der Windschlag der Felsstürze.

Wie die stürzende Schneelawine einen Windschlag erzeugen kann, der in einer Minute einen ganzen Wald niederlegt, oder leichtere Häuser vor sich herrollt und Menschen wegbläst, so auch die Lawine aus Fels, aus Steinblöcken oder Steinstaub. Es wird das von vielen Bergstürzen berichtet. Den Steintrümmern geht der Windschlag voran. Er hebt den Häusern die Dächer ab, er knickt Baumstämme ab und wirft die abgebrochenen Kronen vor sich her. Er rollt Menschen über den Boden oder wirbelt sie hoch in die Luft hinauf, wie etwa der Herbstwind die gefallenen Blätter. Ganze gutgefügte Häuser können aufgerissen und auf Distanz vertragen und in Trümmern anderswo abgestellt werden.

Die Wirkungen des Windes sind aber ungleich und sehr lokal verteilt. Sehr stark sind sie nur an der Front eines Felssturzes oder Trümmerstromes. In Elm wurden an den Frontstellen des Trümmerstromes, besonders unfern der Häuser von Müsli, ziemlich viele Menschen vom Windschlag gehoben, getragen und geworfen, dann oft ganz sanft wieder abgestellt. Acht Menschen hatten das Glück, dadurch ausserhalb des Gebietes des Trümmerstromes getragen und ohne Schaden an den Boden abgesetzt worden zu sein, darunter zwei Kinder in den Armen ihrer Träger. Nach wenigen Minuten kamen diese Geworfenen ohne weitere Folgen wieder zu gesundem Bewusstsein. Sie wussten aber nichts mehr von ihrer Luftfahrt. Im Gebiete zwischen Sernftbrücke, Aeschen und Müsli und im Untertal wurden gut „gestrickte" Holzhäuser vor der Ankunft des Trümmerstromes in die Luft geblasen und zerschellten erst beim Absturz. Menschen sah man emporgewirbelt und dann zurückfallen, meistens in den Schuttstrom. Einer Frau, fliehend im Gebiet von Müsli, an jeder Hand eines ihrer Kinder, wurde durch den Windschlag eines der Kinder aus der Hand gerissen, hoch gehoben und in den Trümmerstrom geworfen, wo es spurlos verschwunden ist; die Frau mit dem andern Kinde konnte sich ausser Schuttstromgrenze retten. An der andern Stromfront, der Aufbrandung am Düniberg, lagen etwa 50 Schritte oberhalb der Brandungswelle zwei Menschen, die wohl durch den Windschlag dorthin geschleudert worden sind. Sie wurden im Walde, erst am Tage nach

der Katastrophe aufgefunden. Der Knabe M. R., noch halb besinnungslos, war ohne Verletzungen; der andere tot. In Matt, das in der Richtung des Tales und der Schuttstrombewegung 4 km entfernt von der Schuttfront liegt, bogen sich die Bäume und klirrten die Fenster, und der bituminöse Geruch und der Staub wurden über Engi (Distanz 7 km) hinausgetragen.

In Goldau sah man einen Geissbuben mit seinen Geissen hoch in die Luft aufgewirbelt und dann in den Trümmerstrom zurückfallen. Das gleiche Schicksal wird im ganzen von vier Kindern berichtet.

Dagegen scheint es, dass der ungeheure Windschlag nicht weit seitlich über den Rand eines Trümmerstromes reicht. Schon 100 m seitlich von den Häusern „Müsli", die vom Winde geworfen oder doch abgedeckt worden waren, blieb das Schindeldach des „Sandhauses", das vom Trümmerstrom noch verschoben und schief gestellt worden ist, unverletzt. Ebenso zeigten die Dächer der Häuser von Elm-Unterdorf, z. B. das Haus von Lehrer Wyss, nicht die geringste Beschädigung in nur 30 bis 100 m Entfernung vom Trümmerstromrande. Heuhaufen auf den Wiesen beiderseits des flachen Trümmerstromes blieben bis hart an dessen Rand unverblasen liegen, und Menschen verspürten auch an solchen Stellen wenig Wind.

Der Bergsturzwindschlag kann furchtbar sein und nahe daneben fast nicht gespürt werden. Er ist eine launige und im einzelnen unberechenbare Erscheinung. Nicht selten werden ihm auch Dinge zugeschrieben, an denen er nicht Schuld ist (Überwerfen der Eisenbrücke in Elm etc.).

Physikalische Betrachtung der grossen Felsstürze mit Schußstrom.

Könnte man nicht zum Verständnis der grossen Bergsturzbewegungen noch mit etwas mehr physikalischer Ueberlegung und vielleicht auch Rechnung eindringen? So oft dieser Gedanke mich beschäftigte, ich kam nicht vorwärts, weil meine einst eingehende mathematische und physikalisch-mechanische Schulung mir grösstenteils entschwunden ist. Ich fand Hülfe bei meinem Freunde Dr. EUGEN MÜLLER-BERNET in Männedorf. Nach wiederholten gemeinsamen Besprechungen bat ich ihn, die gewonnene Einsicht selber als einen kleinen Abschnitt in meiner Bergsturzarbeit niederzuschreiben. Ich verdanke seinen eindringlichen Ueberlegungen die folgenden paar Seiten. Dr. MÜLLER schreibt mir am 17. VIII. 1932 wie folgt:

Die mechanischen Vorgänge bei einem Bergsturz sind in Wirklichkeit äusserst kompliziert. Sowohl die bewegten Körper als auch die Bewegungswiderstände sind höchst vielgestaltig und von Punkt zu Punkt regellos wechselnd; dementsprechend wird die Bewegung je nach den Umständen zum reinen Gleiten, zum Rollen, freien Fallen, „Fliessen", „Schiessen" u. drgl. Gegebenenfalls findet auch ein „Aufpflügen" und Beiseite- oder Vorweg-Schieben des weichen Grundes der Sturzbahn, eine mehr oder weniger starke Desintegration bewegter oder feststehender Teile, ein Austausch kinetischer Energie durch Stösse statt.

Alle diese und ähnliche Faktoren sind im einzelnen meistens nicht beobachtbar, geschweige zahlenmässig erfassbar. Messender Beobachtung zugänglich ist bisher nur das Gesamtendresultat des Zusammenwirkens jener Faktoren, wie es im zur Ruhe gekommenen Trümmerstrom vorliegt.

Eine rechnende Behandlung der Bergstürze muss daher von vereinfachenden Annahmen ausgehen, die so zu treffen sind, dass aus den ursprünglich gegebenen Grössen: Lage, Gestalt und Gewicht der Sturzmasse vor dem Absturz, sowie voraussichtliches Tracé und Profil der Sturzbahn namentlich die praktisch wichtigen äussersten Grenzen des Trümmerstromes annähernd vorausbestimmt werden können. Die Zuverlässigkeit dieser Annahmen ist am vorliegenden Beobachtungsmaterial zu prüfen; die Rechnung muss — trotz der im einzelnen nicht zutreffenden Annahmen — zum gleichen Endergebnis führen wie der Naturvorgang.

In solcherweise bewusster Abstraktion vom wirklichen Bewegungsvorgang ist im Nachstehenden angenommen, die Bewegung der Sturzmasse dürfe zu gedachtem Zwecke als ein Gleiten mit konstantem Reibungskoeffizienten aufgefasst werden. Bei der Annahme des Reibungskoeffizienten darf nicht schematisch vorgegangen werden. Sämtliche Bewegungswiderstände wie z. B. Richtungsänderungen und Verengerungen des Trümmerstromes, Ausscheuern der Sturzbahn müssen berücksichtigt werden. Bei der Vorausbestimmung der Gefahrzone bevorstehender Bergstürze wird man namentlich auch die Grösse der Gesamtsturzmasse, die Wahrscheinlichkeit ihrer Ablagerung in Mulden oder Flussrinnen, sowie den Umstand mitsprechen lassen, ob die Sturzmasse vermutlich als Ganzes auf einmal oder in kleinen einzelnen Schüben abstürzen wird.

Bezeichne in Figur 28: G = Gewicht des gleitenden Körpers, und β die Neigung des Bahnelementes gegen die Horizontale.

Der Reibungswiderstand R ist
= Normaldruck N × Reibungskoeffizient
= $\mathbf{G \cdot \cos \beta \cdot \mu}$

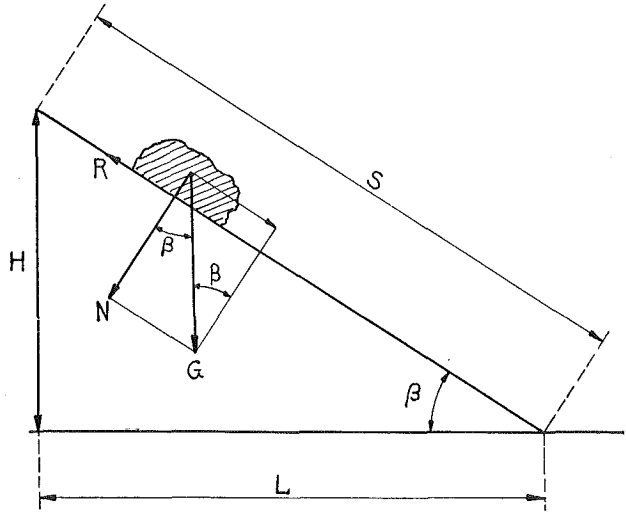


Fig. 28.

Die Reibungsarbeit A bei Bewegung über die Bahnstrecke S ist
= Reibungswiderstand mal Weg
= $\mu \cdot G \cdot \cos \beta \cdot S = \mu\, \mathbf{G\, L}$

Bewegung tritt ein, wenn $G \cdot \sin \beta > \mu\, G \cos \beta$, d. h. wenn $\mathbf{tg}\ \beta > \mu$.

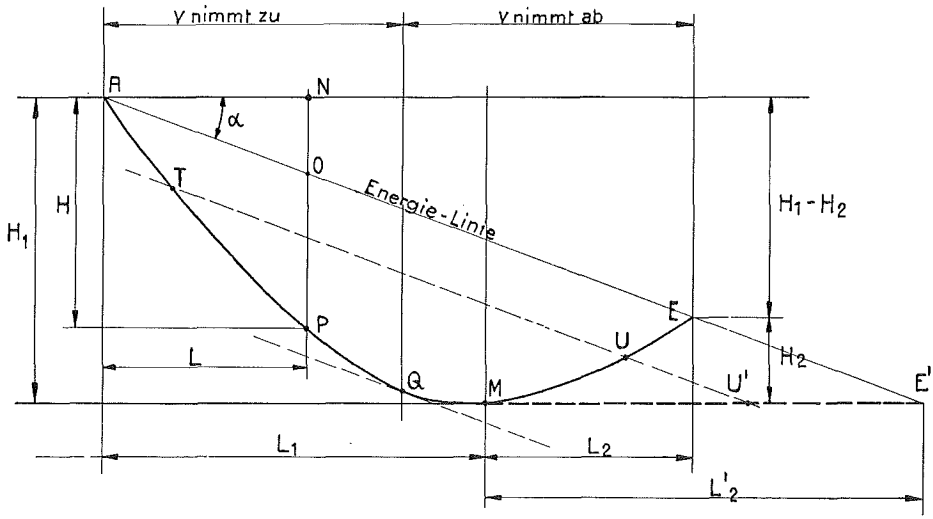


Fig. 29.

Stellt Fig. 29 APME im Stromstrich das Längenprofil einer Bergsturz-Bahn mit „Aufbranden" am Ende der Bahn dar und betrachtet man einen von A bis E sich bewegenden Körper, der einzig unter dem Einfluss seines Gewichtes G und der Reibung steht und dessen Bewegung in A beginnt und in E aufhört, im tiefsten Bahnpunkt M, so lautet die Energiegleichung:

$$GH_1 \quad - \quad \mu\, GL_1 \quad = \quad G \cdot H_2 \quad + \quad \mu\, GL_2$$

Fallarbeit — Reibungsarbeit = Hubarbeit + Reibungsarbeit

woraus:

$$\mu = \frac{H_1 - H_2}{L_1 + L_2} = \operatorname{tg} \alpha$$

Verliefe die Bahn vom Punkte M hinweg horizontal, so käme die Bewegung erst im Punkt E′ zum Stillstand und es gälte:
$G \cdot H_1 - \mu\, GL_1 = \mu\, GL_2'$, woraus wieder $\mu = H_1 : (L_1 + L_2') = \operatorname{tg} \alpha$.

Die Neigung der Geraden AE zwischen dem obersten Abrissrand und der Zungenspitze des zur Ruhe gekommenen Trümmerstromes hat Prof. Heim seit langem als für Bergstürze kennzeichnende Grösse gegolten. Sie steht mit dem Reibungskoeffizienten in der angegebenen einfachen Beziehung. Der Winkel α beträgt erfahrungsgemäss 8 bis 20°, der Reibungskoeffizient somit $\operatorname{tg} 8° = 0{,}140$ bis $\operatorname{tg} 20° = 0{,}360$.

Für einen beliebigen Bahnpunkt P stellt $NO = \operatorname{tg}\alpha \cdot L = \mu L$ die Reibungsarbeit auf der Bahnstrecke AP dar (bezogen auf das Gewicht 1 des gleitenden Körpers); NP die gesamte Fallarbeit (Aenderung der potentiellen Energie), von welcher der Teil NO durch Reibung aufgezehrt ist, sodass in Form von lebendiger Kraft nur mehr die Differenz OP in P vorhanden ist ($= \text{Masse} \cdot \frac{v^2}{2} = \frac{1}{g} \cdot \frac{v^2}{2}$, wo v die Geschwindigkeit des Körpers in Richtung der Bahntangente in P bezeichnet). Im Punkt E ist die Fallarbeit durch Reibung restlos aufgezehrt, die Bewegung hört dort auf.

Die Gerade AE ist hier, wie gelegentlich in der Hydraulik, als „Energie-Linie" bezeichnet, weil ihre Lage zur Sturzbahn ein Mass für die Grösse der kinetischen Energie darstellt.

Im Bahnpunkt Q, wo die Bahntangente mit der Energie-Linie parallel läuft, ist die lebendige Kraft und damit die Geschwindigkeit ein Maximum. In Punkten wie T und U (sowie U′), die auf einer Parallelen zu A E E′ liegen, sind die Geschwindigkeiten gleich gross.

Da es sich praktisch darum handelt, die äussersten Grenzen der Gefahrzone eines bevorstehenden Bergsturzes vorauszubestimmen, ist die Energielinie vom höchsten Punkt der voraussichtlichen Sturz-

masse aus zu ziehen. Das will nicht besagen, dass es Trümmer von jenem Ursprungsort seien, die am weitesten vorprellen; sie können an Steine aus tieferen Partien durch Stoss ihre Energie abgeben und dadurch gegenüber diesen zurückbleiben.

Zwecks einfacher, angenäherter Bestimmung der **Sturzdauer** ersetzen wir das Sturzbahn-Längenprofil durch eine Folge ihm möglichst eng angepasster schiefer Ebenen. Es bezeichnen:

v_0 = die Geschwindigkeit am Anfang einer solchen schiefen Ebene (am Abrissrand $v_0 = 0$).
c = die Beschleunigung.
t = die Zeit, gezählt vom Moment des Passierens des Anfangspunktes der betreffenden schiefen Ebene.
s = den Weg, gemessen vom Anfangspunkt der betr. schiefen Ebene.
g = die Erdbeschleunigung.

Aus der Beziehung:
Kraft = Masse mal Beschleunigung gilt nach Figur 28:

$$G \cdot \sin \beta - \mu G \cos \beta = \frac{G}{g} \cdot c; \text{ woraus}$$

$$\underline{c = g\ (\sin\ \beta\ -\ \mu\ \cos\ \beta)}$$

Da μ als konstant angenommen ist, wird die Bewegung eine gleichförmig beschleunigte bezw. verzögerte, sodass gilt:

$$v = v_0 + c\,t$$

$$s = v_0 t + \frac{c t^2}{2} = \left(\frac{v_0 + v}{2}\right) \cdot t = \frac{v^2 - v_0^2}{2c}$$

$$t = \frac{2s}{v_0 + v}$$

Das Weg-Geschwindigkeits-Diagramm ist also parabolisch. Fig. 30 stellt es dar für den Bergsturz von Elm.

13 m vor dem Stillstandspunkte ist die Geschwindigkeit immer noch 7,69 m pro Sekunde (rd. 27,6 km/Std.).

Man erkennt das rasche Abnehmen der Geschwindigkeit vor dem Stillstand, das allen Augenzeugen auffiel. Wenn das Zum-Stillstand-Kommen als fast ruckweise geschildert wird, so beruht dies auf der von ALB. HEIM schon 1881 überlegungsmässig erkannten Tatsache, dass der Reibungskoeffizient mit abnehmender Geschwindigkeit stark zunimmt.

Ueber die Veränderung des Reibungskoeffizienten mit der Geschwindigkeit sind Versuche, die man auf Bergstürze anwenden könnte, noch nicht gemacht worden; dagegen darf erwähnt werden, dass die WICHERT'schen Untersuchungen an Eisenbahnfahrzeugen (vgl. „Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens", Jahrg. 1889) eine

Veränderlichkeit des Reibungkoeffizienten in dem von ALB. HEIM vorausgesehenen Sinne ergeben haben.

Da der Bergsturz von Elm der einzige ist, für den von Augenzeugen brauchbare Beobachtungen über die Dauer der ganzen Bewegung vorliegen, seien die vorstehenden Überlegungen auf diesen Fall angewendet.

Der Winkel β_1 ist so gross angenommen, um der Tatsache Rechnung zu tragen, dass die ganze Sturzmasse auf dem Vorplatz des Schieferbruches abprallte und die untere Hälfte des Steilhanges in freiem Fall durch die Luft zurücklegte.

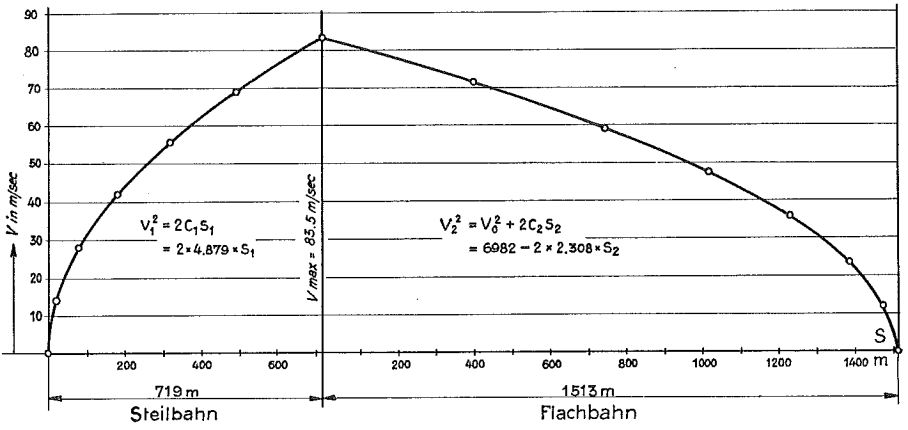


Fig. 30.

Das schiefe „Anbranden" am Düniberg konnte die Bewegung nicht zum Stillstand bringen, denn auch am höchsten Punkt der Brandung war die lebendige Kraft der sich bewegenden Masse nicht aufgebraucht (der fragliche Punkt bleibt beträchtlich unter der Energie-Linie).

Bezeichne:

v_1 = Geschwindigkeit am Fusse des Steilhanges.

t_1 = Zeitdauer der Bewegung über 719 m Steilhang.

t_2 = „ „ „ „ 1513 m Flachhang.

c_2 = Beschleunigung auf dem Flachhang.

$$\frac{v_1^2}{2g} = 510 - 0{,}304 \cdot 507 = 510 - 154 = 356 \text{ mkg}$$

Fallarbeit − Reibungsarbeit = Lebendige Kraft

$$v_1^2 = 2 \cdot 9{,}81 \cdot 356 = 6982.$$

$$v_1 = \mathbf{83{,}5\ m/sec} \text{ (ca. 300 km/h).}$$

$$t_1 = \frac{2 \cdot 719}{83{,}5} = \mathbf{17{,}2\ sec.}$$

$$c_2 = 9{,}81\ (\sin 3°54' - 0{,}304 \cdot \cos 3°54') = \mathbf{-\ 2{,}308\ m/sec^2.}$$

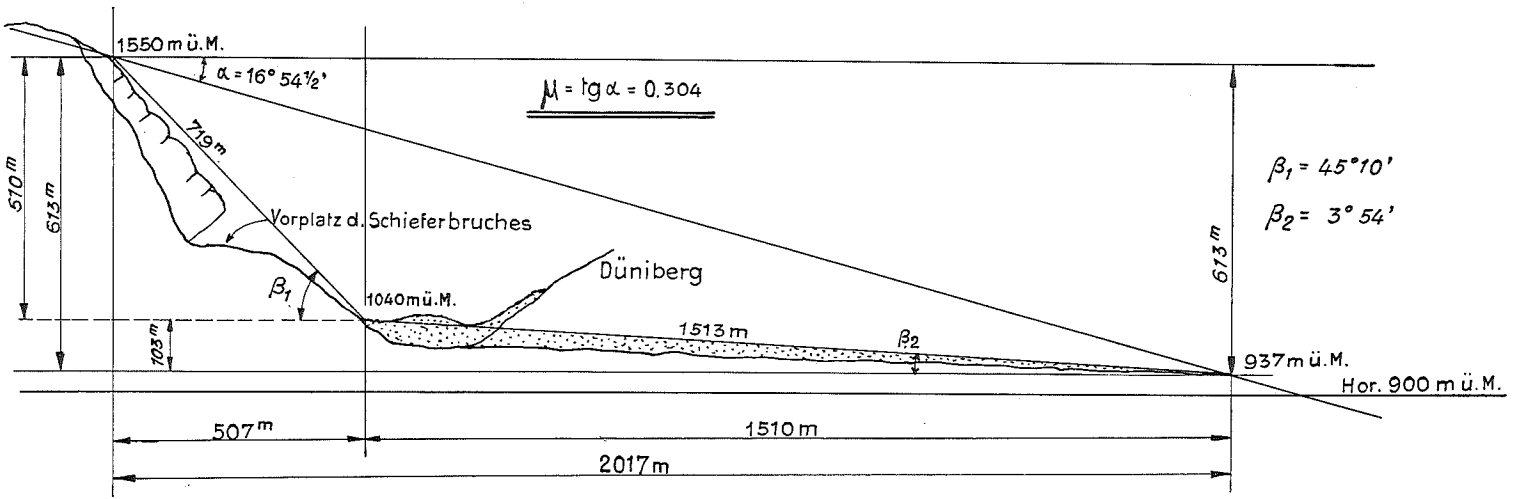

1550 m ü.M.
α = 16° 54½'
μ = tg α = 0.304
719 m
570 m
613 m
Vorplatz d. Schieferbruches
β1
1040 m ü.M.
Düniberg
1513 m
β2
103 m
613 m
β1 = 45°10'
β2 = 3° 54'
937 m ü.M.
Hor. 900 m ü.M.
507 m
1510 m
2017 m

Fig. 31.

$t_2 = 83{,}5 : 2{,}308 = \mathbf{36{,}2\ sec.}$

$T = t_1 + t_2 = 17{,}2 + 36{,}2 = \mathbf{53{,}4\ sec,}$ welches Ergebnis mit dem direkt beobachteten (S. 93) sehr gut übereinstimmt.

Die mittlere Geschwindigkeit, bezogen auf die schiefe Länge der ganzen Sturzbahn, betrug: $(719 + 1513) : 53{,}4 = \mathbf{41{,}8\ m/sec}$ oder rd. 150,5 km/h.

Würde es sich darum handeln, bei gegebener Geschwindigkeit v_1 und angenommenem Wert von μ die Länge der Flachbahn über einen um $\beta_2{}^\circ$ geneigten Talboden zu bestimmen, so wäre im vorstehenden Fall die Arbeitsgleichung anzuschreiben wie folgt:

$$\underset{\text{am Anfang der Flachbahn}}{356\ \text{mkg lebendige Kraft}} + \underset{\text{Fallarbeit auf der Flachbahn}}{L \sin \beta_2\ \text{mkg}} = \underset{\text{Reibungsarbeit auf der Flachbahn}}{\mu L\ \text{mkg}}$$

woraus:

$$L = \frac{356}{\mu - \sin \beta_2} = \frac{356}{0{,}304 - 0{,}068} = 1510\,\text{m} = \text{Länge des Schuttstromes auf der Flachbahn.}$$

Dr. E. Müller.

Aus den mathematischen Überlegungen von Dr. Müller scheinen mir im besonderen die folgenden Resultate der Hervorhebung wert zu sein:

1. Die Zunahme der Geschwindigkeit in der Abfahrt der Masse ist uns allen selbstverständlich, und die von der Rechnung gegebenen Geschwindigkeiten am Fuss der Steilfahrt (in Elm z. B. = 83 sec. m) verständlich. Etwas anders verhält es sich mit dem Gegenstück, der Abnahme der Geschwindigkeit bis zum Stillstand. Nun ergibt auch die physikalische Betrachtung, dass der Trümmerstrom erst mit einer ungeheuren Geschwindigkeit über die Flachbahn hinausschiesst, dann aber von einer rasch beschleunigten Bremsung fast plötzlich zum Stillstand gebracht wird. Dieser relativ plötzliche Stillstand ist also eine allgemeine physikalische Notwendigkeit.

2. Wir hatten längst erkannt, dass Geschwindigkeit und Schussweite auf flacher Bahn oder Brandungshöhe an Widerständen, und überhaupt alle Gewalttätigkeiten eines Bergsturzes mit der Grösse (Masse, Gewicht, Volumen) rasch zunehmen. In den Formeln zur Berechnung der Geschwindigkeiten (v = Sekundenmeter), der Schussweite (L_2) etc. fällt aber merkwürdigerweise der Faktor der Masse ganz aus. Er stellt sich in den Rechnungen gleichzeitig im Zähler wie im Nenner oder als + und als — ein. Die Erklärung dafür besteht darin, dass der Reibungskoeffizient μ, der alle Bremsen in Händen hat, mit der Grösse der gleichzeitig sich bewegenden Masse sehr stark sich ändert.

Indirekt durch das μ bringt sich die Masse überall zur Geltung. Mit zunehmender Masse nimmt der Reibungskoeffizient sehr stark ab. Die grosse Masse bewegt sich flüssiger. Mit der Abnahme des Reibungskoeffizienten nimmt die Geschwindigkeit (v) sehr rasch zu. Und da $\mu = \text{tg } \alpha$ (α die Fahrbahnböschung) wird auch die Böschung des Trümmerstromes mit μ kleiner. Je kleiner μ, desto weniger wird der Schuttstrom gebremst. Mit Zunehmen der Masse nimmt also die Reibung stark ab, die Geschwindigkeit der Bewegung stark zu, das Gefälle (α) ab. Auf diesen Wegen macht sich die Masse geltend.

Eine direkte Bewertung von μ nach der Masse wird vielleicht möglich, wenn man einen kleineren und einen grossen Bergsturz zu vergleichen bekommt, die in allen Nebenumständen gleich sind!

3. Dass die Reibung in der Trümmerstrommasse und an ihrer Unterlage mit grosser Geschwindigkeit nicht zu, sondern abnimmt, wird auch von den physikalischen Ableitungen bestätigt.

4. Die berechneten Geschwindigkeiten halten sich alle ganz in den aus Beobachtungen und Aussagen der Augenzeugen abgeleiteten Grössenordnungen. Die beiden bestätigen sich gegenseitig. Aus einer Besprechung mit Dr. MÜLLER habe ich folgende Zahlenreihe, die sehr lehrreich ist, notiert:

Bei Sturzhöhe 900 m, Steilsturzgefälle 45° (ungefähr Kilchenstock Linthal), werden:

μ	L in m	V_1 in Sec. m	t_1 in Sec.	t_2	T $= t_1 + t_2$	Vm in Sec. m
0,5	900	93,96	27,09	19,16	46,25	47
0,4	1350	103	24,8	26,2	51,0	51,4
0,3	2100	111	22,9	37,8	60,7	55,5
0,2	3600	118	21,4	60,5	81,9	59,5

Dabei bedeuten: μ = Reibungscoeffizent; L = Länge des Herausschiessens vom Fuss der Steilbahn an gerechnet in Metern; V_1 = Geschwindigkeit am Fuss des Steilsturzes — ungefähr die maximale; t_1 = Sturzdauer in Sekunden; t_2 = Schiessdauer über horizontalem Grund; $T = t_1 + t_2$ = Ganze Dauer der Bewegung vom Abbruch bis zum Stillstand; Vm = Mittlere Geschwindigkeit der Bewegung von der Abbruchstelle bis Ort des Stillstandes (wobei die schief gemessene Länge der Sturzbahn = 1273 m sich zu L addiert) in Sekundenmetern.

5. Auch die physikalischen Betrachtungen ergeben, dass die Neigung der Verbindungslinie vom obersten Anriss senkrecht über dem Strom-

strich bis an das Stromende, unsere „Fahrböschung", einen Bergsturz am treffendsten charakterisiert. Sie kann auch als die Energielinie betrachtet werden und in % von Gefälle, oder noch besser in Winkelgraden, Abweichung von der Horizontalen, angegeben werden. Fahrböschungen von 10° bis 20° sind bei grossen Bergstürzen am gewöhnlichsten. Steilere Energielinien bis 30° oder darüber finden sich nur bei kleineren Bergstürzen. Dieser Fahrböschungswinkel, das Gefälle der Energielinie, ist zugleich der Winkel α der obigen Ableitungen.

6. Angewendet auf den drohenden Bergsturz vom Kilchenstock über Linthal wird durch die physikalisch rechnende Prüfung meine Voraussicht bestätigt, dass im Falle der jetzt vorbereiteten gleichzeitigen Ablösung der unteren Hälfte der Felskappe, ein Schußstrom aus der Hochätschrinne das Dorf durchschlagen, die Linth überqueren, wahrscheinlich Ober-Ennetlinth treffen, und am Fuss des entgegenstehenden Gehänges anbranden werde. Vielleicht wird er dort stehen bleiben, vielleicht aber von dort nach rechts um 75° abgelenkt und noch ein Stück weit den Fuss des Talabhanges entlang gegen den Bahnhof fahren. Die genaue Länge des Schuttstromes lässt sich nicht voraussehen, weil wir die bremsenden Widerstände auf diesem Talbodenwege nicht zahlenmässig erfassen und in Rechnung bringen können, und weil wir noch nicht wissen, welche Masse von Fels sich im gleichen Momente auf den Absturzweg machen wird. Nur soviel können wir sagen: Es wird nur ein Teil der Kappe des Kilchenstockes sein. Vielleicht zerteilt sie sich noch weiter. Das wäre unser Wunsch.

Die Grundzahlen für den Absturz vom Kilchenstock, so weit man sie beurteilen kann, sind folgende:

Abstürzendes Felsvolumen in einem Mal wahrscheinlich weniger als $^1/_2$ Million m^3 — höchstens $1^1/_2$ Millionen. Gleitböschung im oberen Teil des Abrisses 20° bis 30° gegen N, im unteren 30° bis 45° gegen NW fallend. Sturzhöhe 900 m, Böschung der Steilbahn 41° bis 43°. Flachbahn bis an das gegenüberliegende Gehänge 650 m weit mit 50 m Gefälle. Aufbranden mit Ablenkung talauswärts um 75°.

Typus XVI. Dauernder Felssturz, chronischer Felssturz.

Im allgemeinen denkt man sich unter einem Bergsturz ein plötzliches, rasch und ein für allemal ablaufendes katastrophales Ereignis. Es gibt viele Fälle, wo dies nicht zutrifft. Es gibt Bergstürze in Menge unter den Schuttrutschungen und Schuttströmen, die sich Jahrzehnte lang bald langsamer, bald rascher bewegen, hie und da für einige Zeit stillstehen. Und es gibt auch Felsstürze, die sich in tausende von kleinen Steinschlägen auflösen. Wenn z. B. bei einem sich vorbe-

reitenden grossen Felsschlipf die Böschung der Schichten so gross ist, dass ein ziemlich ringsum abgelöstes Felsstück sich nicht durch die Reibung auf der Unterlage halten kann, sondern abrutschen muss — das heisst also, wenn die Böschung der Unterlage etwas steiler ist als die trockene Schutthalde aus trockenem Gestein — 30 bis 37° — dann ist keine Zeit da, um einen grossen Felsschlipf vorzubereiten. Vorweg fällt Stück um Stück ab. Bald geht dies langsam, bald knallt es beständiger. Sobald die Fahrbahn flacher (unter 30°) wird, bleibt der Felsschutt grösstenteils liegen, es häuft sich eine Schutthalde oder ein Schuttkegel an. Ein Trümmerstrom entsteht aber nicht.

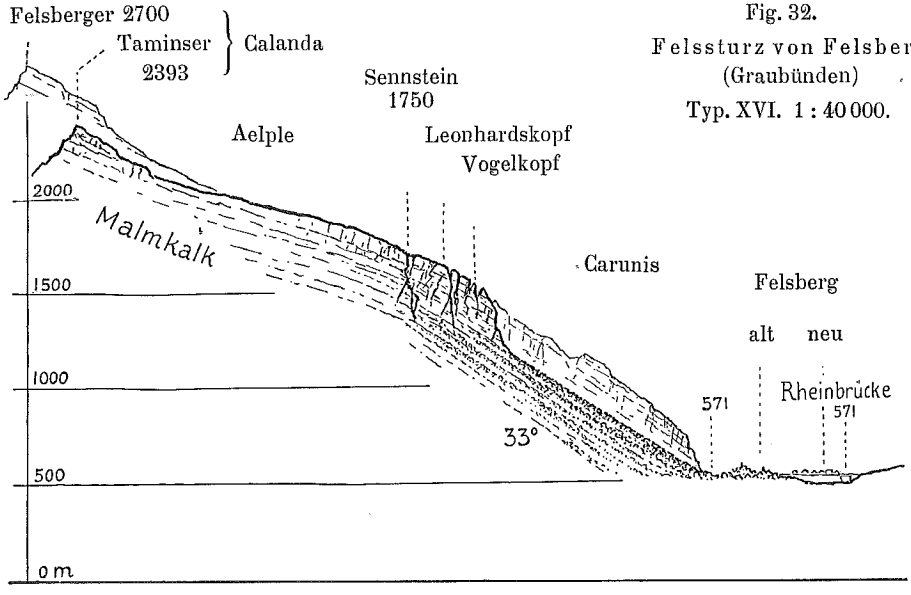


Fig. 32.
Felssturz von Felsberg (Graubünden)
Typ. XVI. 1 : 40000.

Mit dem ständigen Abbrechen vom Rande der Abrissnische rückt diese rückwärts bergaufwärts — bis sie, angelangt am oberen Berggrate, in demselben dort eine Bresche ausbricht. Das kann oft ziemlich rasch geschehen. Ich kenne Felsausbrüche, deren Abrissnischen jedes Jahr 5 bis 15 m hangaufwärts gegriffen haben; bei anderen geht es viel langsamer, so dass schon eine Reihe von Jahren oder Jahrzehnten vergehen muss, bis man einen kräftigen Aufstieg bemessen kann. Selbstverständlich ist diese Erscheinung nahe verwandt mit dem Rückwärtsgreifen der Schluchten der Wildbäche.

Ein sehr typisches Beispiel für einen dauernden Felsrutsch ist derjenige bei Felsberg am Calanda. Er wird wahrschein-

lich nie eine katastrophale Tat begehen, aber er wird auch nie fertig und hält die Bewohner immer in Unsicherheit. Die Malmkalkschichten steigen mit dem Abhang mit ca. 35° bis 40° gegen NNW auf. Ein Schichtenkomplex von ca. 165 m ist durch streichende und quere senkrechte Kluftflächen zu einem Abriss geöffnet, dessen oberer Rand beim Dorfe Felsberg, 1160 m über dem Talboden, liegt. Block um Block, der sich ablöst, stürzt die 30° steile Schutthalde hinab, oft bis in oder an das Dorf. Das wird noch Jahrhunderte, vielleicht Jahrtausende so gehen, wenn nicht weiter oben die Neigung der Malmkalkfelsen etwas abnimmt. Da wird ein schwerer Felsschlipf ständig in Steinschläge aufgelöst. Es ist nichts zu machen, als den Ort zu verlassen, was teilweise geschehen ist. 1834—1867 waren die Abstürze lebhaft und beträchtlich. Seither ist das Tempo ruhiger geblieben.

Manche anhaltende Steinschlagstellen könnten auch unter Typus XVI gestellt werden. So z. B.:

Gleich oberhalb des oberen Endes des Brienzersees, am S-Abhang des Tales, besteht ein dauernder Felssturz, die **Rieseten**. Der Felsabbruch findet quer zur Schichtung statt. Der Oberrand des Abrisses liegt bei 1500 m. In ziemlich gleichmässiger, nach unten nur wenig abnehmender Böschung schliesst die schuttbedeckte Fahrbahn an die Abrutschnische an. Ihr Schutthaldenfuss steht am Aaretalboden bei 600 m Meereshöhe an; gesamte Sturzhöhe 900 m, gesamtes Gefälle $32^1/_2°$, Gefälle der Schutthalde im untersten Teil 22°. Ich habe die Rieseten im Jahre 1872 schon gesehen, und damals und spätere Male wieder ihrem Geriesel gehorcht. Sie ist sich immer fast gleich geblieben. In den letzten 20 Jahren ist sie etwas ruhiger geworden und ist stellenweise etwas bewachsen. Ob man am oberen Rande, dem Boden Bidmer, etwelches Rückgreifen bemerken konnte, weiss ich nicht. Gefahr bringt die „Risi" keine.

IV. Hauptgruppe: Oben nicht einzuordnende Typen.

Typus XVII. Zusammengesetzter Bergsturz.

Ein Bergsturz kann einen weiteren veranlassen, sie können nacheinander oder gemischt sich abwickeln, oder ein Bergsturz kann der Reihe nach verschiedene Typen aufweisen. Sehr oft erzeugt ein Bergsturz noch weitere Katastrophen, die sich an ihn anschliessen. Häufig ist der Fall, dass ein Ablagerungsgebiet ein Seeufer erreicht und

durch die Belastung einen Ufereinbruch mit Schuttrutschung unter See zur Folge hat.

Die SW-Seite der **Tour d'Aï** im waadtländischen Rhonetal entblösst einen Gewölberücken, der in einem grossen nach SW geöffneten Halbzirkus von ca. 2750 m Sehne endigt. Die Zirkuswand ist Hettangien. Am 1. III. 1584 vormittags zwischen 9 und 10 Uhr löste sich am obersten Teil bis an den Gipfel von 2019 bis 2182 m Höhe vom Gewölbescheitelrand eine bedeutende Felsmasse ab, und stürzte als Felssturz, Typ. XV, ab bis auf die Moränenterrasse von En-Luan 1200 m. Ein Erdbeben soll an diesem Sturze schuld sein — ein solches kann aber höchstens der letzte Auslöser eines längst vorbereiteten Abbruches gewesen sein. Vom 2. bis 4. III. fiel beständig Schnee und Regen. Kurz vor Mittagszeit bildeten sich im Moräneboden unter En-Luan grosse Spalten. Der Boden wich unter der Belastung des Felssturzes vom 1. III. und dem Einfluss der Nässe. Erst entstund eine langsame Schuttströmung Typ. II. Die grosse Grundmoräne wurde ausgepflügt und miteinbezogen. Die Bewegung nahm rasch zu, während der Trümmerstrom 675 m Breite erreichte. Bald trifft er schief — erst rechts, dann links, in die Rinne des Torrent d'Yvorne und folgt derselben, sie aber reichlich überbrandend. Die Fahrbahn ist enger geworden, das Gefälle grösser, der als l'Ovaille benannte Schuttstrom muss zur reissenden Schuttstromschnelle (Typ. V) geworden sein, und als solche das Dorf **Corbeyrier** überfallen und seine Trümmer fortgerissen haben. Unter etwas Wendung links und bis über 500 m Strombreite überschüttete er bei 450 m Höhe einen Teil des Dorfes **Yvorne**. Der untere Rand ist jetzt eingehüllt in den Bachschuttkegel, den dann die Yvorne aus dem Trümmerstrom entwickelte. Die gesamte Fahrbahnhöhe beträgt ca. 1700 m. Die Grundrisslänge mit Berücksichtigung der Krümmungen gemessen misst 5250 m, die Böschung senkrecht über der Stromstrichlinie misst $18^1/_2$ °.

Man hatte Vorzeichen beobachtet, besonders schon vor dem 1. III. die Spalten im Fels und nach dessen Absturz die zunehmenden Spalten unter der Terrasse von En-Luan, aber man würdigte sie nicht. Genauer nachzusehen oder gar zu fliehen, fiel niemandem ein! Sie berichten später, der Absturz kam „unerwartet plötzlich". Die Geschwindigkeit war so gross, dass der Sturzstrom „etliche Juchart Acker und Weinreben überhupfet, denen nichts geschehen." 122 Einwohner der beiden Dörfer und 206 in den Weinbergen arbeitende Italiener, 240 Haupt Vieh, 69 Steinhäuser, 126 Ställe und Scheunen wurden überschüttet (Näheres in A. JEANNET, Monogr. géol. des tours d'Aï, Matér. carte géol. Suisse, 1912 und 1918, Geol. Spezialkarte Nr. 68 in 1 : 25,000.)

Beim Bergsturze Corbeyrier-Yvorne hat ein Felssturz Moränenschutt mitgerissen. Es ist ein rascher Schuttstrom entstanden; es war, als ob ein Sturz Typ. XV sich mit Typ. II und V „verbastardiert" hätte.

In kleineren Dimensionen stürzte im V. 1885 eine Felsmasse in Nünig-Saunwald, S ob der Kuranstalt **Schönegg bei Beckenried** (am Vierwaldstättersee) ab. Der Anriss begann bei 1000 m Meerhöhe, wo unvorsichtigerweise 1884 der Wald geschlagen worden war. Er durchsetzte eine verkehrte Schichtfolge: zu oberst etwas Schrattenkalk, dann den ganzen Gault, am Fusse des Abrisses den ausgedünnten Seewerkalk und noch etwas Flysch. Abrisshöhe etwa 100 m, Schichtlage schief, südlich bergeinwärts fallend, Breite des Abrisses ca. 100 m. Die nach Typ. XV abgestürzte Masse blieb zuerst ruhig auf dem unterhalb folgenden alten Schuttgehänge von ca. 850 m bis 760 m Meerhöhe als rundlich umrandeter Haufe liegen. Aber nach wenigen

Tagen wich der unterliegende Schutt unter der neuen Last, und es entstund unter 850 m eine ziemlich breite tiefe Ausbruchsnische, aus welcher der Schutt, alt und jung sich mengend nach Typ. II, als Schleichstrom wegfloss. Dabei konnte er von 750 m an abwärts eine kleine Bachrinne benützen. Er verbreitete sich im Garten des Kurhauses Schönegg zu einem runden breiigen Schuttkuchen von etwa 120 bis 150 m Durchmesser und fand dann, unter der Strassenbrücke durch, den Ausweg über erst steiles hohes Felsgehänge (Typ. V), dann über Moräne, der Rinne des Bächleins treu bleibend, den See. Das abgestürzte Volumen schätzte ich auf etwa 100,000 bis 150,000 m³. Die Abrissnische hat die Tendenz, weiter bergeinwärts zu greifen. Ihr Fels ist klüftig.

Es ist das ein Beispiel im kleinen für Zusammensetzung von Bergsturzbewegungen: Ein reiner Felssturz löst durch seine Ablagerung eine Schuttrutschung aus. Aus dieser wurde ein Schuttsturz und mehr und mehr ein Murgang, der im See endete.

Gegen Ende XII. 1879 stürzte am N-Abhang des Vitznauerstockes aus einer Meerhöhe von etwa 1050 bis hinauf zu 1300 bis 1350 m eine tüchtige Scherbe von vorherrschend Kieselkalk und Valangienkalk gegen NNW ab, Schichtung bergeinwärts gegen SSE fallend, Abtrennung hauptsächlich auf, der Aussenfläche der steilen Felswand parallelen, Klüften. Absturzmasse ca. 1,000,000 m³. In Vitznau hörte man das furchtbare Krachen, aber es war dichter Nebel und man sah nicht woher und wohin der Sturz gehen will. Einige Monate später beging ich das Gebiet. Alle Spuren waren noch frisch. Man konnte den Hergang verfolgen.

Der erste Akt des Bergsturzes bestund in Ablösung und Absturz einer grossen Scherbe von der steilen Felswand, die auf eine kleine sumpfige Flyschterrasse fiel und deren prächtigen Wald eindeckte. Das war ein reiner Felssturz. Akt 2: Die grosse neue Last der ungeheuren Trümmer war dem schlüpfrigen Boden zuviel. Er geriet in Rutschung, und die Felsblöcke sanken mehr und mehr in den weichen Boden ein. Der zweite Akt war also eine Schuttrutschung. Im Akt 3 stürzte der alte weiche Schutt mit einem Teil der Blöcke über eine Nagelfluhwand in die Schluchtrinne des Vitznauerbaches — das war ein kleiner Schuttsturz. Der Bach wurde nur wenig gestaut. Er brach sich rasch durch. Akt 4 war ein vollständiger Wildbach-Murgang. Zwei Brücken wurden weggerissen. Es gelang der kräftigen Arbeit der Vitznauer, den Bach an einem Ausbruch zu verhindern und in seiner Rinne zu halten bis in den See hinaus. Dort häufte er rasch ein kleines Neudelta an und trübte den See weit hinaus. Akt 5: eine Abrutschung des neuen Deltas im See bildete den Schluss der Geschichte dieses zusammengesetzten Bergsturzes.

Gewiss wird es noch öfter komplizierte Zusammensetzungen geben. Im Fall Vitznau war die Folge der Typen: Akt 1 = Typ. XV, Akt 2 = Typ. II, Akt 3 = Typ. V, Akt 4 = Wildbachmurgang, Akt 5 = Typ. VIII.

Typus XVIII. Unvollständige oder unterbrochene Bergstürze.

Allgemeine Erscheinungen über solche Bergstürze sind nicht zu nennen. Vielmehr will ich nur die Aufstellung dieses Typus durch je ein Beispiel rechtfertigen.

Ein zur Zeit noch unvollständiger, unfertiger Bergsturz ist derjenige vom **Monte d'Arbino** östlich Bellinzona. So heisst

ein 1700 m hoher Gipfelpunkt in einem stumpfen W-E laufenden Bergrücken. Gneisse, Amphibolgneisse, Einlagerungen von Marmor in fast senkrecht gestellten Schichten und Platten, mit dem Rücken W-E streichend, bauen ihn auf. Die N-Seite ist das Gehänge zum Tal von Arbedo, das von S-N laufenden, kurzen, steilen Nebentälern zerschnitten ist. Etwas westlich vom Arbino liegt das steile Val Piume; $1^1/_2$ km weiter östlich Val Taglio. Der plumpe Bergklotz zwischen diesen zwei Nebentälchen ist das bewegte Stück, und die Bewegungsrichtung geht gegen N.

Es war schon lange bekannt, dass der Monte d'Arbino sich bewege. Man nannte ihn den „wandernden Berg". 1925 stellte ein Grundbuchgeometer fest, dass das Signal auf dem Gipfel seit 1915, da es errichtet worden war, sich um $^1/_2$ m nach N verschoben hatte. Nun wurde 1927 in allseitigem Einverständnis ein trigonometrisches Punktnetz über das fragliche Gebiet gelegt, und später auf Wunsch der Geologen (Prof. STAUB und Prof. KNOBLAUCH) nach kleineren Intervallen immer wieder nachgemessen. Da ergab sich, dass alle Punkte vorherrschend nach N wanderten und dass die Geschwindigkeit der Bewegung vom Spätsommer 1927 bis in den Frühling 1928 von 4 bis 5 mm pro Tag sich auf 10 bis 15 mm gesteigert hatte. Eine Bergmasse von etwa 1,9 km^2 Grundfläche und etwa 170 Millionen m^3 erwies sich in N gerichteter, langsam gleitender Bewegung.

Wir haben es hier mit einem Fall zu tun, wo, entgegen bisheriger Gewohnheit, die Behörden rechtzeitig zum Schutze der Menschen eingegriffen haben. Ende Juli 1928 machte die Regierung das Volk auf die Gefahr aufmerksam und ordnete die Räumung der Alpen Chiara, Ruscada und Arbino an. Sie organisierte einen Überwachungs- und Signaldienst und sah für den äussersten Fall sogar die Evakuierung von Arbedo und Molinazzo vor.

1913 und 1915 gingen vom Monte d'Arbino Steinlawinen ab. Aus der Zunahme der Bewegung schloss man auf einen grossen baldigen Bergsturz. Die menschenarme Gegend war vorbereitet, jetzt fast menschenleer. Als am 2. X. 1928 das Geknatter der Steinschläge stark zunahm, flohen auch die wenigen Menschen, die dort beschäftigt waren. 14^{30} Uhr fand ein Hauptsturz statt. Die dichte Staubwolke verhüllte alle Sicht. Stetige kleinere Nachstürze verhinderten die Säuberung der Luft. Die Hauptsturzmasse war nicht schon vom Gipfel, sondern erst nördlich davon bei etwa 1400 m Höhe abgebrochen. 15^{15} Uhr sah man den Gipfel seitlich gegen Val Taglio stürzen. Noch erfolgten kleinere Abstürze, Stück um Stück.

Die abgestürzte Masse schlug in den engen Grund des Valle d'Arbedo fast senkrecht zum entgegenstehenden Abhang unter dem

Weiler von Orbello, und häufte sich dort sofort zu einer kräftigen Talsperre an. Erst wurde diese Schwelle auf ca. 80 m Höhe angegeben, dann auf 100, auf 120 bei 1600 m Breite. Sie wuchs stets fort, denn die kleinen Nachstürze und das Steingeriesel hielten an. Man hatte eine, wie mir scheint, sehr übertriebene Angst vor dieser Barrière — sie könnte plötzlich brechen. Das halte ich zur Zeit für ganz unbegründet. Die Schwelle ist zu stark, zu lang in der Talrichtung, zu kurz in der Querrichtung zum Tal. Es wird sich hier ein ganz kleiner Bergsturzsee ansiedeln, wie wir so viele kennen, die ihren Riegel seit Jahrhunderten ruhig haben stehen lassen.

Wichtig ist nun die Feststellung, dass von den bewegten 170 Millionen m^3 Felsmaterial nur etwa 30 bis 40 Millionen m^3 abgestürzt sind, und dass im oberen Teil des Gehänges über dem Abrissrande die noch stehengebliebenen Signale auf Fels nach der Absturzbewegung täglich etwa 2 cm gegen N rückten mit gleichzeitiger Senkung um 1 cm. Der dort stehende Wald wandert mit, die Bäume aufrecht stehend. Der Bergsturz vom Monte d'Arbino ist also noch nicht fertig. Die geologischen Verhältnisse sind dort nach den verschiedenen Berichten etwas unklar. Ich selbst war nie dort, und kann mir kein Urteil erlauben und keine Diagnose stellen. Wir halten nur an dem Resultate fest: Es gibt Bergstürze, die man in einen der früher behandelten Typen nicht, oder noch nicht einreihen kann, weil man noch nicht weiss, wie sie sich weiter halten werden, sie sind unfertig, unvollständig. Es gibt noch viele unfertige Bergstürze, aber ich habe zur Besprechung derselben den aktuellsten benutzt, der zugleich unter steter vermessender Beobachtung sich befindet.

Aegerti bei Brienz ist ein vorbereiteter, aber **wieder unterbrochener Felssturz.**

Am S-Abhang von Rothorn und Arnihacken, nahe östlich Brienz (am Brienzersee), durchfurchen zwei gefährliche Wildbäche das Gehänge, der westlichere der Schwandenbach; der östlichere der Lammbach. Der Bergrücken, den die beiden Bäche noch zwischen sich haben stehen lassen, trägt an seinem südlichen Fuss und Ende die Häusergruppe Oberschwanden bei 720 m und bildet etwa 1 km nördlich von Oberschwanden, bei 1050 bis 1200 m Höhe, einen schönen breiten Rücken mit schöner Weide, besetzt mit einer Anzahl von Ställen und Hütten. Dieser Platz heisst auf der Karte „Auf der Dürr", im Volksmunde aber habe ich für diese schöne Bergfläche nur den Namen Aegerti gehört. Höher oben ist der Bergrücken bewaldet, und ebenso steht auch etwas Wald zwischen Oberschwendi und Aegerti. Am Abhang von Aegerti zum Schwandenbach, welche Stelle „In den Brüchen" heisst, geht seit 1891 viel Steingeriesel von kahlen Felsnischen ab. Ich wurde in den 90er Jahren des letzten Jahrhunderts veranlasst, dieses Gebiet auf die Gefahren, die es bietet, zu untersuchen. Es geschah dies in Verbindung mit dem eidgen. Oberbauinspektorat.

Der Lammbach ist ein ungeheurer Wildbach mit gewaltigen Abrutschungen und mit raschem, starkem Rückwärtsgreifen und grossem Schuttkegel. Sein oberster Anriss lag damals genau (im Grundriss) 2750 m nördlich der Wegbrücke zwischen Unterschwanden und Oberschwanden in 1980 m Höhe. Im oberen Teil seines gefährlichen, wüsten Schuttkegels von Kienholz war er damals gegen 10 m tief eingeschnitten. Der Schwandenbach ist viel weniger gefährlich und trotz Wasserfällen stabiler. Er liegt in festerem Gestein, Oberjurakalk, während Lammbachsammelgebiet und Aegerti in Schiefer und Mergelkalk der Berriasstufe liegen.

Was uns nun besonders interessiert, ist der zwischenliegende Bergrücken der Aegerti.

In der Mitte des vorigen Jahrhunderts begann hier die Bildung einer W-E gerichteten Bodenspalte, die mitten durch die Wiesen und die Ställe sich zog. Der abwärts gelegene Teil des Berges senkte sich langsam als ein zusammenhängendes, in sich ganzes Bergstück. Die Spalte griff im Laufe der Jahre und Jahrzehnte beidseitig immer weiter und bog dann an beiden Enden immer stärker nach S um. Zu Ende des letzten Jahrhunderts war sie ohne Unterbruch 900 m lang und umfing eine Grundrissfläche von etwa 60 ha. An der Ostseite griff sie 1901 bis etwa auf 860 m hinab, den zickzackläufigen Fussweg von Aegerti nach Oberschwanden mehrmals schneidend. An der Westseite war die Spalte nur bis etwa 990 m zu verfolgen. Ganz nahe östlich Brunni zeigten sich aber parallele N-S laufende Risse, wohl die etwas verschobene Fortsetzung vom Westzweig des grossen Aegertiabrisses und zugleich den Westrand der „Brüche" bedeutend. Die gesamte Aegertibewegung ist offen gegen SSW, ihre Mittellinie ist schief gegen den Schwandenbach gerichtet; aber der Fuss der Aegertibewegung liegt nicht am Schwandenbach, sondern bedeutend höher, ungefähr am Wege von Brunni unter den Brüchen durch.

Im Laufe weniger Jahre, um die Jahrhundertwende, sah ich den Boden innerhalb des Spaltenbogens auf Aegerti von etwa 1 bis 2 m Absenkung auf 4 bis 6 m zunehmen, und die Spalte wurde auch weiter, war aber stets mit Randschutt gefüllt. Sehr bemerkenswert ist die Erscheinung, dass sich in der ganzen Aegertifläche innerhalb des Spaltenbogens gar keine kleineren Spalten sekundärer Ordnung einstellten, und dass auch oberhalb des Spaltenbogens keine solchen sich öffneten. Hieraus musste jeder Beobachter, der ein Gefühl für solche Erscheinungen hat, den Schluss ziehen: Hier handelt es sich um die Vorbereitung eines grossen Bergsturzes nach Typus XV durch eine einheitliche, tiefgründig in den Fels greifende Abtrennung. Das Felsvolumen, das hier in Ablösung steht, schätzte ich auf 6 bis 8 Millionen m^3, die maximale Sturzhöhe auf 460 m. Die Angelegenheit der Aegertispalte

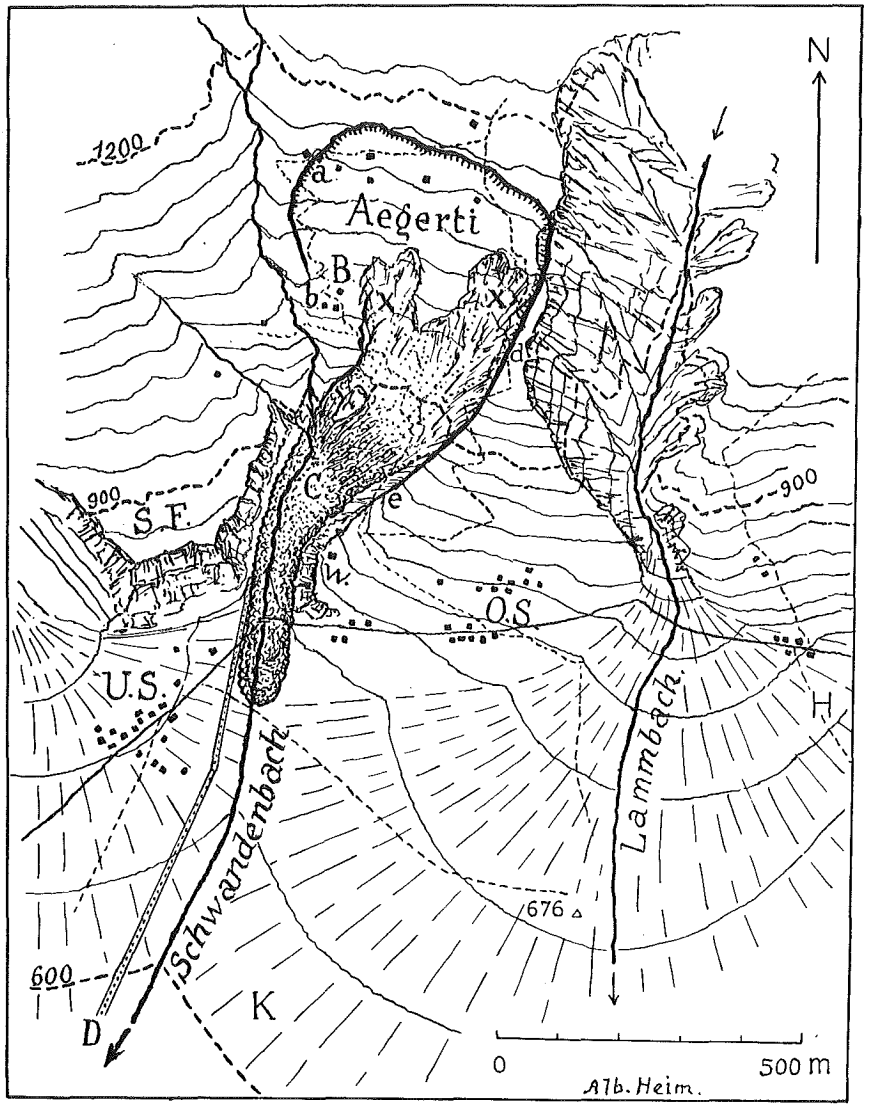


Fig. 33. Kartenskizze der Aegerti (Brienz, Kt. Bern).
S.F. = Schwandenfluh. U.S. = Unterschwanden. O.S. = Oberschwanden.
K = Schuttkegel von Kienholz (Lambachschutt). D = Schutzdamm.
H = Hofstetten. w = Wächterhütte. B = Brunni.
Grosse Aegertiabrißspalte mit Absenkung. geschlossene randliche Scherspalten, von a bis b entstanden 1890—1901. xx = „in den Brüchen", von dort Ausbruch am 13. IV. 1901, mit Trümmerstrom C über 500 m lang.

hat gar keinen Zusammenhang mit dem benachbarten Lammbach. Weder der Lammbach noch der Schwandenbach benehmen sich als Untergraber der Aegerti. Die Aegertifrage steht ganz für sich da.

Im Sommer 1897 hatte sich die nationalrätliche und die ständerätliche Kommission für die Lammbachsubvention auf Aegerti die Erscheinungen durch mich erläutern lassen, im Sinne, dass man wahrscheinlich nichts Wirksames tun könne. Zur Beruhigung des Gewissens wollte man doch alles tun, was vielleicht etwas nützen könnte und beschloss, nur wenige Meter oberhalb der Aegertispalte eine Drainage einzulegen, die alles aus dem oberen Lande kommende Wasser vor der Einsickerung in die Spalte abfangen und seitlich in die Wildbäche leiten solle. Die Arbeit wurde 1898 durch das eidg. Oberbauinspektorat angeordnet und vollendet. In den Erfolg hatten zwar wir alle nicht viel Vertrauen, weil das Gebiet an sich schon trocken war. Vom Herbst 1900 bis Frühling 1901 machte die Bewegung wesentliche Fortschritte in Verlängerung des Abrissbogens und Absenkung von dessen Unterseite. Am 14. April 1901, morgens 2 Uhr, erfolgte „In den Brüchen" ein Felsabsturz von fast 1 Million m^3. Derselbe schoss in Form eines Trümmerstromes in die Schwandenbachschlucht hinab und durch dieselbe hinaus bis über den Weg zwischen Schwanden-Unterdorf und -Oberdorf. Man hatte das Ereignis fast zwei Tage vorausgesehen. Die Nachtwache oben am Berge gab Signale.

Der Abbruch vom 14. IV. war aber nicht der befürchtete Bergsturz, nur ein Vorbote desselben. Er schien die Situation zu verschlimmern, indem die Verspannung der hinterliegenden grösseren Bergmasse dadurch geschwächt worden ist und diese nun rascher nachfolgen konnte. In der Zeit vom 21. auf den 28. April allein mass ich längs der ganzen nun 1 km langen Aegertispalte eine Vorbewegung des Abgetrennten um im Mittel einen Dezimeter, das ist 14 mm pro Tag. Wir mussten den Bergsturz auf kurze Zeit vorsehen!

Glücklicherweise führten meine Vergleichungen mit andern Bergstürzen zu dem beruhigenden Resultate, dass sehr wahrscheinlich die Trümmermasse, auch bei ganzem Ausbruch bis an die Aegertispalte, doch den Brienzersee nicht erreichen würde, sondern auf der schon verwüsteten Fläche des Schuttkegels von Kienholz, etwas verbreitert, liegen bleiben werde. Freilich ein Teil von Unterschwanden ragte in die Gefahrzone hinein. Aber die Ufer des Brienzersees durften nun als ungefährdet betrachtet werden.

Wir warteten mit Spannung der Dinge, die da kommen würden.

Kein Bericht! Dann endlich ein Bericht, es sei an der Aegertispalte nichts von weiterer Bewegung seit Sommer 1901 beobachtet worden. Im Sommer 1910 ging ich wieder einmal zur Nachschau in das Lammbachtobel, an die Brüche und auf Aegerti. Glückliches Erstaunen erfüllte mich beim Anblick der Aegertispalte! Sie war bereits, wie aus dem Altertum stammend, grösstenteils grün überwachsen. Nirgends eine Spur von Aufreissen. Ruhe und fester Stillstand in dem vor 10 Jahren noch so drohenden und uns mit Angst erfüllenden Gelände. Hatten wir den Leuten vergebliche Angst gemacht? Vielleicht bleibt es wieder Jahrzehnte lang unverändert so? Wir stehen vor der unerwarteten Erfahrung, dass ein seit 60 Jahren gründlich vorbereiteter, einheitlich tief abgelöster Felssturz, der eben in beschleunigter Bewegung und Vorbrüchen den nahen Absturz verkündete, wieder stille steht und seine langsam aber nachdrücklich begonnene Talfahrt **unterbricht!** Fig. 33.

Dass unsere „Entwässerung ohne Wasser" die verdankenswerte Ursache des Stillstandes sei, kann ich mir bei den vorhandenen örtlichen Bedingungen nicht denken. Die Ursache des Stillstandes muss in der Gestaltung des Abtrennungsrisses im Felsgrund liegen. Vielleicht ist der geschichtete Fels treppenförmig gebrochen und haben sich beim Absinken obere Treppen fest auf die unteren gesetzt. Endlich aber bin ich zu einer einleuchtenderen und in der Gestalt des Abrisses ersichtlichen Erklärung gelangt:

Die seitlichen Abrissflächen, welche sich an die Enden des Spaltenbogens angesetzt haben, gehen mehr und mehr aus Aufrißspalten mit Absenkung über in scherende Randrisse. Diese beiden Abtrennungsrisse, der westliche kürzere und der östliche längere konvergieren nach vorn und unten. Die bewegte Bergmasse hat sich bei weiterer Bewegung im Frühling 1901 eingekeilt zwischen diese beiden gegen einander in einem Winkel von 40° gestellten Seitenwände. Die Abbrüche vom 14. IV. 1901 waren die vordersten, eben noch entwischten Späne der nun festgeklemmten Bergmasse. So erklärt sich auch diese fast „Plötzlichkeit" des Stillstandes.

Aegerti-Brienz ist der erste uns bekannte Fall des Stillstandes eines schon beinahe fertig ausgereiften Bergsturzes. Im Beginn der Vorbereitung zu Felsstürzen oder Felsrutschungen kommen hie und da wieder Bewegungsverzögerungen vor — nicht aber so wie hier. Das Benehmen der Aegerti ist für uns vorläufig einzig in seiner Art. Wir freuen uns dieser glücklichen Eigenart!

Typus XIX. Nachstürze.

Wir haben unter den Vorboten der grossen Bergstürze die Vorstürze kennengelernt. Bald kleiner, bald grösser, bald spärlich, bald massenhaft niederknallend, fehlen sie in den letzten Tagen, Stunden oder Minuten vor grossen Katastrophen wohl niemals. Ebenso häufig sind auch nach dem Hauptereignis die **Nachstürze.** Die Rück- und Seitenwände einer neuen Ausbruchsnische reissen selten so glatt ab, dass nicht noch Fetzen, die zum Hauptabsturz gehört hätten, sitzen geblieben wären, oder die oberhalb liegenden Gesteinsmassen haben so viel Rückhalt verloren, dass das Abbrechen in Schalen und Platten bergrückwärts wandert, — Tage lang, Monate lang, Jahre lang. Man achtet meistens auf diese Nachstürze kaum mehr. Sie sind meistens nicht von gefährlicher Grösse und sie werfen sich in die bestehende Fahrbahn oder auf den schon vorhandenen Trümmerhaufen. Staubwolken laufen ihnen nach. Neuen Schaden bringen sie fast niemals. So kommt es, dass man sie meistens nicht erwähnt findet.

Die Nachstürze füllen die Sturzbahn auf und bilden oft in derselben eine Art Schuttkegel, dessen Fuss an der Ablagerung des Hauptsturzes ansetzt, als ob er der „Schwanz" des Hauptsturzes wäre. Sie verwischen manchmal die Grenze zwischen Fahrbahn und Ablagerungsgebiet und täuschen den Beginn der Ablagerung schon an Stellen vor, wo die Schusskraft noch kein Stillstehen gestatten konnte (so Goldau, Voralpsee, Elm u. a.).

In Elm drohte ein gefährlicher grösserer Nachsturz. Unsere Begehung des Gebietes am zweiten Tage nach dem grossen Unglück zeigte, dass ein grösserer Felskopf, der **„Risikopf"**, obschon abgetrennt durch die grosse Spalte („grosser Chlagg"), noch stehen geblieben war — im W und S umfasst von der Spalte, gegen E begrenzt durch die Abrisswand des grossen Sturzes, nach N sehr steil und im oberen Teil zerrüttet, von Spalten durchsetzt. An der Westseite des Risikopfes, am nach N umgebogenen Ende der Hauptspalte, beginnt eine steile Bach- und Steinschlagrinne, die Erlenroos. Schnurgerade zielt sie auf das Dorf Elm. Mit 36° fällt sie 600 m tief zum Talboden hinab und 28° steil ist die Linie von Anfang Erlenroos bis Kirche Elm. Ein Absturz des Risikopfes durch die Erlenroos würde das ganze Dorf Elm verschütten. Wendet er sich aber im Sturze eher rechts (gegen E), so fällt er nur in die schon vorhandene Verwüstung. Die Zerrüttung des Felsens reichte an der Ostseite tiefer hinab als an der Westseite. Der noch tiefer folgende Fuss des Risikopfes blieb kompakter Fels. Die messenden Beobachtungen zeigten eine langsame Senkung und Bewegung gegen N. Das Volumen des durchrissenen Teiles des Risikopfes schätzten wir auf 1 bis 1½ Millionen m³. Vom 12. bis 16. Nov. 1881 riss der grosse Chlagg, der nun hinter dem Risikopf schon 20 m Weite und 10 m Absenkung zeigte, auf über 200 m Länge um den Risikopf herum aufs neue um einige Centimeter auf. Die Situation fassten wir damals zusammen etwa in die Worte: Der Risikopf wird bald nachbrechen; geschieht das gegen E, so ist es gefahrlos, geschieht es mit Wendung mehr gegen W, so ist Elm sehr gefährdet. Das

Wahrscheinliche ist ein Abbröckeln in kleinen Stücken; aber auch der Absturz in grösseren Fetzen oder auf einmal durch die Erlenruns ist möglich. Menschlicher Eingriff könnte nur darin bestehen, dass der Fuss des Risikopfes an seiner Ostseite über dem guten Fels, im untersten Teil des Zerrütteten, ausgesprengt würde. Ein Absturz nach der geschwächten Seite hin würde dadurch bewirkt, und Elm wäre gerettet. Der ständige Steinhagel um den Risikopf herum und besonders an seiner Ostseite machte jede Annäherung unmöglich. Es kann sich nur um Angriff aus der Entfernung, um Beschiessung mit Granaten handeln. Herr Artillerieoberst Bleuler unterstützte diesen Plan. Es folgten die Verhandlungen mit den eidgenössischen und kantonalen Behörden, Gemeinderat und Gemeinde Elm, die alle Möglichkeiten bedenken und ordnen mussten. Endlich wurde das Experiment der Beschiessung unter der Devise: „Der Versuch scheint uns Pflicht" unternommen. Am 29. XI. hatten die behördlichen Kommissionen den notwendigen einstimmigen Beschluss gefasst. Am gleichen Tage noch traf Geschütz und Munition in Schwanden ein. Dicker Nebel und Neuschnee waren hinderlich. Geschützkaliber 8 cm. Schussweite 900 bis 950 m mit 250 m Steigung. Am 2. XII. gelang es, das Geschütz zu richten und 40 Granaten an den einstimmig als richtig anerkannten Zielpunkt abzufeuern. Bei Beginn der Dunkelheit am 3. XII. fiel als letzter der 160ste Schuss. Das Resultat war folgendes: Die Granaten, die auf einen kleinen Riss trafen, erzeugten tüchtige Trichter von etwa $^1/_2$ m Tiefe, diejenigen, die auf glatte ganze Felsfläche schlugen, explodierten ohne einzudringen. Es wurden eine Anzahl Löcher, aber kein zusammenhängender tiefer Einschnitt erzeugt. Einen solchen zu erhalten müsste man nach Erfahrung des Experimentes 500 bis 1000 Granaten aus 15 cm-Geschütz werfen. So berechnete nun Herr Oberst Bleuler die Sache.

Wir prüften noch die Möglichkeit eines Stollens durch das Gebirge, ansetzend an sicherer Zugangsstelle, und aus dem Berginneren endigend in den östlichen Fuss des Risikopfes hinaus, mit grosser Sprengladung im Innern der Ostseite des zu stürzenden Berges. Das hätte sehr lange Zeit und grosse Kosten verlangt, und man würde damit schliesslich zu spät ans Ziel gekommen sein.

Es kam der tiefe Frost, der Berg verfiel in Winterschlaf, das Steingeriesel hörte für etwa 3 Monate auf, dann begann es wieder und arbeitete fortan fast immer nur an der Ostseite. Es wurde so lebhaft, dass man den Risikopf völlig vergehen sah. Im Spätherbst 1882 konnte man sagen, dass für Elm keine Gefahr mehr bestehe. Der Risikopf hatte sich in Steinregen gegen Osten bis auf seinen festen tieferen Kern aufgelöst, er war verschwunden.

Ich meinerseits bin der Überzeugung, dass das Bombardement von Anfangs Dezember nicht nutzlos gewesen ist. Es erzeugte doch eine beträchtliche Schwächung des Ostfusses und der Ostseite und beförderte dadurch hier viel stärkere Abstürze.

Es gibt keine Grenze zwischen Nachstürzen und periodisch sich wiederholenden Bergstürzen. Dies gilt für die Mehrzahl der von uns unterschiedenen Typen. Bergstürze haben oft ihre Vorfahren gehabt, und Nachkommen werden folgen.

Typus XX

reserviere ich für Bergstürze **besonderer und bisher noch nie von uns untersuchter Art.** Was sollte es nicht solche geben, die vielleicht plötzlich erkannt werden? Unsere Arbeit bleibt in Sachen bisher nicht nur

Stückwerk, sie ist erst ein Versuch, uns auf klare Unterschiede der verschiedenen Arten von Bergstürzen einzustellen. Absichtlich habe ich Ereignisse wie die Murgänge und die Gletscherstürze in unsere Typen nicht eingeschlossen. Dass sich diese mit Bergstürzen kombinieren können, ist ja bekannt genug. Allein diese allein erforderten zur Behandlung ein ganzes Buch.

V. Weitere Erscheinungen verschiedener Bergstürze.

Bergstürze und Quellen.

Bergstürze und Quellen stehen oft in inniger Verbindung. Es sind zu unterscheiden:

1. Quellen erzeugen Bergstürze. (Fig. 3, 6, 7 etc.)

Quellen, deren Sammelgebiet ausserhalb des Bergsturzes liegt, die aber in den Bergsturz, Bewegung befördernd, eindringen, oft geradezu die Ursache der Bodenbewegung sind, das ist z. B. der Fall in:

Campo Valle Maggia, zahlreiche starke Quellen brechen am Rande des Bergsturzes hervor und versickern zu einem grossen Teil im Trümmerstrom (s. Seite 52).

Kellenholz (Hirzel, Kt. Zürich). Eine starke Quelle aus dem Deckenschotter durchweichte die unterliegende Grundmoräne, beförderte das Abbrechen im Hintergrund der Nische und das Gleiten der Deckenschotterblöcke bis zur Ausbildung eines Schuttstromes gegen die Sihl hinab (s. Seite 36).

Am Rossberg haben wir mehrere Bergsturz (Schuttschleichstrom) veranlassende Quellen genannt. Solche sind am S-Abhang von Rigi-Scheidegg vorhanden. Mächtige Quellen aus den Klippenkalken von Mythen und Rotenfluh erzeugen die Schuttrutschungen im Flysch und Schuttboden, die ihre wulstigen Ströme bis in den ebenen Talboden von Rickenbach senden (s. Seite 18 u. 35).

Hunderte von Quellen, die Schuttrutschungen verursacht haben, könnten genannt werden, und Hunderte von Rutschungen sind durch Quellen verursacht und haben Quellen verraten.

Wie nahe liegt da nicht auch die Abhülfe: Richtiges gründliches Fassen der Quellen, geschlossenes Ableiten an einen wasserbedürftigen Ort. Dann hören die Rutschungen auf! Es ist ein — leider sehr häufiger — stumpfsinniger Widerspruch, wenn das Dorf unten über Wassermangel jammert und oberhalb desselben über die nassen Rutschungen geklagt wird.

2. Bergstürze erzeugen Quellen.

Die Ablagerungsgebiete von Bergstürzen können selbst als treffliche Sammelgebiete für Quellen wirken. Viele Bergstürze sind gute Quellenbildner.

Dazu sind sie befähigt durch die höckrige und zugleich löcherige Beschaffenheit der Oberfläche ihrer Ablagerungen und die oft ausgedehnte Bewaldung dieser Oberflächen. Regenwasser und Schneewasser können nicht rasch und glatt abfliessen; sie haben Zeit, in den Boden einzudringen und finden in diesem Trümmerwerk einen Reichtum feiner offener Wege oder zwischen den Blöcken feines filtrierendes Gesteinspulver. Manchmal brechen mitten in Bergstürzen herrliche Quellen hervor, oder wir finden solche in den unteren Teilen der Trümmerströme gegen ihren Rand oder demselben entlang. Bergstürze können auch den Wildbach, der sich aus ihrer Ausbruchsnische entwickelt hat, verschlucken und filtrieren. Da geht kein Wasser der Quellbildung verloren.

Das Juragebirge ist zwar reich an merkwürdigen Felsquellen. Aber die Schichten, aus denen die meisten derselben hervorbrechen, sind für Wasseraufnahme und Wasserleitung zu leicht durchlässig. Was ursprünglich feines Spältchen war, ist im Laufe der Zeit durch Auflösung des Kalkes zu einem weiten Rohr geworden. So kommt es, dass die Wasser der meisten grossen Felsquellen im Juragebirge erstens unfiltriert sind, schmutzig wie sie als Oberflächenwasser eingedrungen sind, und zweitens, dass diese Quellen in ihrem Ertrage sehr rasch und stark schwanken (siehe HEIM: Geologie der Schweiz, Bd. I, S. 692—702). Kleine gute Schuttquellen gibt es etwa am Fuss der Ketten. — Grosse, gute, filtrierte und ausgeglichene Quellen sind im Juragebirge eine Seltenheit.

Es gibt aber einige wenige solche: die besten sind grossen Bergsturzablagerungen zu verdanken. Am Nordfuss der Weissensteinkette gibt es von Welschenrohr bis Hammer (Herbetswil) reichliche Bergsturzmassen. Sie endigen gegen Osten bei Hammer, ca. 11 km W Balsthal, und hier brechen unter den Sturzmassen zwei grosse Quellen hervor, die im Ertrag nur etwa zwischen 1 : 3 (die Jurakalkfelsquellen zwischen 1 : 50 oder 1 : 100) schwanken, und die gut filtriertes Wasser liefern. Wir erörterten vor vielen Jahren die Benutzung dieser zwei Quellen zur Wasserversorgung von Olten.

Im altkristallinen Gebiete der Alpen sind grössere Felsquellen eine Seltenheit. Man ist für die Dorfversorgung meistens auf Talgrundwasser oder auf kleine Schuttquellen angewiesen. Schöne grosse, gut ausgeglichene und gut filtrierte Quellen liefern auch hier nur die grossen Schuttmassen — am besten die Ablagerungsgebiete der Bergstürze. Aber auch im Gebiete der in ihrer Wasseraufnahme und Abgabefähigkeit besser bestellten Sedimentgesteine sind oft die Bergstürze die besten Quellenspender. Beispiele:

Grosse Quellbäche in Engelberg. Am Rande und im Innern der Flimserbreccie im L. Cresta, L. Cauma, unter Con, im Lai Tiert, in Tuora und noch an anderen Stellen finden sich Quellen. GSELL zählte deren über 50, wovon etwa 20 am Grunde der Rheinschlucht, der Bahn entlang, austreten. Die grössten freilich

zeigen sich nicht. Sie liegen zu tief und münden in den Untergrund der Kiesauffüllungen des Rheintales, Reichenau abwärts. Der Trümmerstrom von Saoseo speist seine Seen mit seinen Quellen. Der junge Einschnitt der Klöntaler Löntsch in den Sackberg (Glärnisch-Gleiter und Deyenstock-Sturz) hat, verteilt auf seiner Länge, zahlreichen prächtigen Quellen den Austritt geöffnet. Mehrere derselben sind für die Wasserversorgungen, zuerst Netstal, dann seit 1878 Glarus, gefasst und benützt. Die eine liefert 2000, die andere 2500 Ml., und sie erweisen sich im Ertrag relativ sehr konstant. Diese „Löntschbordquellen" schwanken in ihrer Temperatur nach unseren Messungen das ganze Jahr nur innerhalb 7,1° C ± 0,2, während der Löntschbach um 11,2° schwankt. Diese Temperaturbeobachtungen waren 1897 das Hülfsmittel, mit welchem wir die Behauptungen bekämpften, die Löntschbbordquellen seien nur Nebenwege des Löntschbaches. Sie sind tiefgründige Quellen des gewaltigen Bergsturzhaufens. Ein Stollen, vom Löntsch weg einige 100 m unterhalb des Klönseeendes gegen S in den Bergsturzhaufen getrieben, liefert 18,000 Ml. Ob die gewaltige, den Strengerbach in Glarus speisende, Sackbergquelle (ca. 20,000 Ml) noch als Bergsturzrandquelle bezeichnet werden darf, oder ob sie Felsquelle des Vorderglärnisch ist, weiss ich nicht. Ihre Temperatur ist 7,5°.

Der kleine Bergsturz, der vor der Ostkante der Braunwaldberge zwischen Rüti und Betschwanden bis an die Linth getreten ist, bietet eine sehr schöne Quelle (Wasserversorgung Rüti). Selbst die Steinlawinen, welche an der Ostseite des Mürtschenstockes bis in die Meerenalp niedergegangen sind, speisen an ihrem östlichen Rande einen schönen Quellbach. Der Trümmerstrom von Brienz (Graubünden) ist an seinem unterm Teile mit einem Kranz von wenigsten 6 Quellen umgeben, die nur wenig ausserhalb seines Randes hervorbrechen. Der jetzige Brienzerbergsturz verbindet sich gewissermassen mit dem viel älteren und grösseren, der unfern ob und unter der Eisenbahnlinie südlich des Dorfes Brienz auch wenigstens 6 grosse Quellen ausfliessen lässt. Am Rande des Goldauer Bergsturzes sind die Verhältnisse für Quellenaustritt ungünstig. Solcher ist gegen Westen nicht möglich, weil in jener Richtung die Felsunterlage ansteigt, und gegen Osten nicht, weil sie zu tief liegt, um das eingesickerte Wasser zum Austritt zu führen. Dagegen werden einige der kleinen Seen im Trümmerfeld von Quellaufstössen im Bergsturz gespiesen und haben einen dauernden Auslauf, der dann, wenigstens in 2 Fällen, wieder versiegt. Die Quellen im Oeschinenholz westlich des Oeschinensees darf man nicht für echte Bergsturzquellen rechnen. Sie sind nur Durchflüsse vom Wasser des Oeschinensees. Dagegen ist der herrlichen Quellen noch zu gedenken, die ganz im grossen Kandertalerbergsturz erscheinen und das unvergleichliche Blauseeli speisen. Andere Bergsturzquellen in diesem Gebiete liegen zu tief, um sich zeigen zu können. Das gleiche gilt von den Quellen, die man am Rande des Bergsturzes Glärnisch-Guppen erwarten möchte — sie mischen sich in das allgemeine noch viel tiefere Talgrundwasser.

Über den Bergsturz Mai 1907 im Kiental (Berneroberland) kann ich nicht aus eigener Anschauung reden, und was darüber berichtet worden ist, ist zu dürftig. Das aber scheint mir aus den Berichten hervorzugehen, dass Quellen im Hintergrund der jetzigen Ausbruchsnische den Ausbruch verschuldet haben, und dass starke Quellen jetzt unter dem Bergsturzschutte heraus über Moränen zutage treten. Die Länge der Fahrbahn dieses Bergsturzes wird auf 1475 m, die Sturzhöhe auf 328 m, das abgestürzte Volumen auf ca. 320,000 m³ angegeben.

Ein Zusammenhang von Bergsturz und Quellen fehlt fast niemals.

Die Bergsturzlandschaft.

Wir werfen einen Blick auf die Gebiete alter Bergstürze, die z. T. von Flüssen und Bächen angegriffen, z. T. überschüttet worden sind, die, von Wald bedeckt, ruhen. Alle Schrecken sind vergessen, die Trümmerflächen und Trümmerhaufen sind zu freundlichen Landschaften geworden. Der Typus der Bergsturzlandschaft bleibt undenkliche Zeiten erhalten. Bezeichnende Erscheinungen bleiben auch da, wo energische Kultur eingegriffen hat. Die Oberfläche der Ablagerungsgebiete zeigt gewissermassen die plötzlich erstarrten Wellen des brausenden Felsstromes. Zwischen grösseren Formen erscheinen Hügelchen, Löcher. Wo das Material grobblockig ist, sind die Hügel bewaldet. Die Ablagerungsfläche von Plurs ist mit Kastanienwald bedeckt. Kulturboden hat sich nur gebildet und ist — natürlich und künstlich — in den Vertiefungen angereichert worden. Zwischen den Blockhügeln treffen wir kleine gut bebaute ebene Flächen, Wiesenflecken im Wald, Waldinseln in den Wiesen. In Bergsturzgebieten gibt es genug Steine, und die Benützung solcher ist zugleich Verbesserung des Bodens. So trifft man hier die Parzellen des Grundeigentums durch Steinmäuerchen, Trockenmauern begrenzt — solche schliessen die Strassen ein. Der Boden dazwischen ist von Steinen befreit. In alten Flussböden, in Alpweiden ohne Steinblöcke, müssen die Zäune aus Holz erstellt werden. In Bergsturzgebieten ist diese Holzverschwendung unnötig und der Unterhalt der Steinmäuerchen viel leichter. Im Bergsturzgebiete sind mehr Steinhäuser, weniger Holzhäuser gebaut.

Bergsturzseen.

Wenn ein grösserer Bergsturz einen tüchtigen Trümmerhaufen in ein Tal wirft, so können sich daraus weitgreifende, dauernde Veränderungen in der Landschaft einstellen. Der Schutthaufe kann den Fluss zu einem See stauen. Der See kann nach kurzer Zeit durchbrechen, der Trümmerhaufe wird von einer Schlucht durchschnitten (Biasca, Disentis). Oder die Seestauung bleibt bestehen. Der Fluss aus dem oberen Tal spült seine Geschiebe hinein und legt ein Delta an: Der eingeschwemmte Sand und Schlamm dichtet die Bergsturzschwelle. Es entsteht eine Talstufe hinter der Bergsturzschwelle (Türlersee, Poschiavosee). Der See wird nach und nach kleiner und kann schliesslich ganz ausgefüllt werden.

Aber das Einschneiden einer Schlucht in den Bergsturzriegel kann auch durch Rückwärtserosion von unten nach oben austiefend geschehen. Dann wird der Fluss auf der Talstufe allmählich neues Gefälle zugeführt erhalten. Wenn der See sinkt, so schneidet der Fluss sich in Terrassen

in seine eigenen auffüllenden Ablagerungen wieder ein. Es bleibt ein terrassiertes Tal hinter dem Riegel (Schwanden aufwärts, Ilanz).

In andern Fällen schliesst der Bergsturz einen Flusslauf nicht völlig ab, sondern er verlegt ihn nur, und der verlegte Fluss muss sich nun den neuen Weg gerechter machen, eintiefen (Bormio).

Eine Menge von Kombinationen kommen vor. Die Natur ist auch da, wie immer, unendlich erfinderisch.

Die Seen, die durch Bergstürze entstanden und dann lange dauernd geblieben sind, nennen wir **Bergsturzseen.** Sie sind in manchen Gebirgen, so im besondern in unsern Alpen häufig. Manche der schönsten alpinen Landschaftsbilder verdanken ihren Reiz einem Bergsturzsee (Fig. 34).

Freilich sind jetzt einige der schönsten Bergsturzseen (Klöntalersee, Davosersee, See von Poschiavo) bereits dem Mammon geopfert und ästhetisch verdorben worden; denn, so heisst es, „Kraft ist Geld", einem Kraftwerk opfert man sogar ganze schöne Bergtäler, samt Dörfern und Einwohnern! Bei Niederstand sind die klein gewordenen Seen umgeben von einer unbetretbaren breiten Zone von Schlamm, und das gleiche gilt auch von den künstlichen Kraftwerkstauseen. Überdies müssen wir das Licht, die Wärme und die Kraft im eigenen Lande teuer bezahlen, während gewaltiger Kraftüberschuss wohlfeil ins Ausland verkauft wird! Man sollte denken, dass der Kraftwerke in der Schweiz nun genug wären und mit den Übertreibungen abbrechen.

Man kann folgende Arten von Bergsturzseen unterscheiden:

1. Der Stauriegel und der See liegen im Tal, der Bergsturz kam von einer Talseite oder aus einem hier mündenden Nebental. Das sind die häufigsten und meistens auch die grössten Seen. See im Haupttal, Trümmerstrom aus dem Seitental.

Beispiele:

Lago di Poschiavo bedingt eine grosse Talstufe. (Maße in der Tabelle und ihrer Besprechung.)

Klönsee im Klöntal ist gestaut durch den Glärnisch-Gleiter-Felssturz und den späteren Deyenstock-Sturz. Der Riegel, Sackberg genannt, ragt jetzt 276 m über den natürlichen Seespiegel von 828 m und 311 m über den Seegrund. Nach J. OBERHOLZER war er ursprünglich, wie Erosionsterrassen, eingeschnitten im Bergsturzhügel, beweisen, noch 60 m höher gestaut und hatte 7 km Länge. Er ist der bedeutendste Bergsturzsee der Schweiz. Fig. 34.

Obersee bei Näfels, 983 m, in breitem Muldental, ist gestaut durch Felsschlipf (Typ XIV) aus S vom Rautispitz, S. 88. Der Hauptsturzhaufe liegt N und NE des Sees. In trockener Zeit versiegt der See in Trichtern; in nasser quillt das Wasser aus den Trichtern auf; Zufluss ist ständig, oberflächlicher Abfluss fehlt. Etwa die Hälfte des Sees liegt auf dem Schrattenkalkschutt. Die Oberseealp, ganz flach westlich des Sees, zeigt, dass der See ursprünglich wohl doppelt so gross war. Bachdelta hat ausgefüllt.

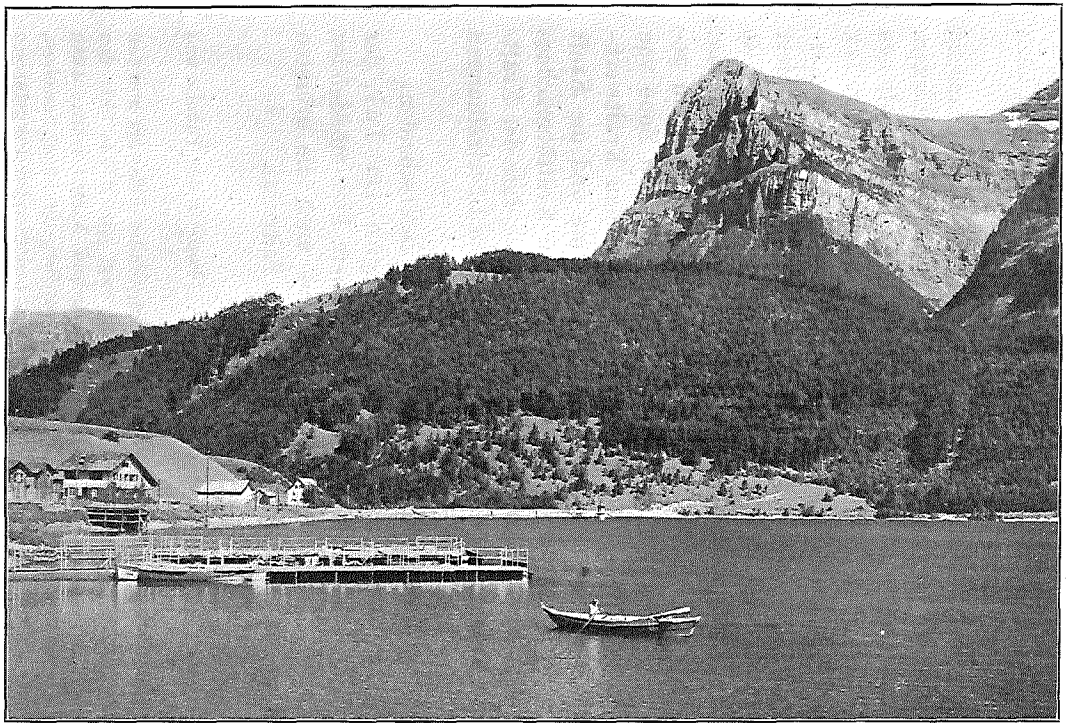


Fig. 34. Der Klöntalersee, talauswärts gesehen.

Links Seerüti und Löntschschlucht. Durch das ganze Bild der bewaldete Sackberg (Schwamm 1104 m), der Stauwall des Sees, zusammengesetzt aus dem Bergsturz vom Glärnisch-Gleiter, Ausbruchsnische rechts im Bilde, und vom Deyenstock (links ausser Bild). Über dem Sackberg der Vorderglärnisch 2331 m.

Phot.: H. Schönwetter-Elmer, Glarus.

Davosersee. Ein mächtiger Serpentinbergsturz aus NW warf sich in den obersten Talboden des Landwasser(-Davoser-)Tales und versetzte dadurch die Wasserscheide zwischen Landquart und Landwasser zu ungunsten des letzteren um etwa 2 km gegen SW. Unter Laret war der oberste Rest des Talbodens des Landwassers bei 1507 m. Die jetzige Wasserscheide liegt bei 1633 m (Wolfgang). Talaus gegen SW sind alle Talböden seit dem Ereignis stark aufgeschüttet worden. Wildbäche mit ihren Schuttkegeln haben sich an den Bergsturz angelehnt. Der Davosersee ist zwischen dem Serpentinsturz im N und dem Flüelabachschuttkegel im S eingeschlossen. Er ist also nicht reiner Bergsturzsee.

Der Türlersee im Reppischtal S Albis ist durch eine Sackung der Molassefelsen gestaut.

Der Oeschinensee, östlich des Tales der Kander, ist durch einen Bergsturz aus dem N-Fuss des Doldenhorn gestaut, und erfüllt den gewaltigen Felskessel. Oberflächlicher Abfluss fehlt meistens. Das Wasser des Sees ist im Sommer trübes Gletscherwasser. Wenig unter dem Seeniveau tritt es als Quellen heraus. Fig. 11.

Der „Schwarzer See" im Sensetal ist zum grossen Teil von rutschigen Flyschgehängen umgeben. Bewegungen vom Typus III und X herrschen vor, und solche langsame Schuttströme haben auch die Sense zum See gestaut.

Daubensee und Schwarzenbachsee sind von Felsschlipfen aus SE gegen NW, herab von den Rinderhörnern, gestaut worden im Hochtal des Gemmipasses.

Der Voralpsee oberhalb Grabs im Rheintal, nördlich des Gamsberg gelegen ist rechteckig, etwa 500 × 300 m. Er liegt bei 1116 m Meereshöhe. Mehrere kleine Bäche laufen ihm zu, ein Ablauf fehlt. das Seewasser durchsickert den Bergsturzwall, der den See um 84 m überragt. Die Abrissnische ist ein weiter Felswandbogen, nordwestlich unter dem Margelkopf mit Oberrand bei 1970 m, Absturzrichtung (Typ. XV) nach NW (S. 133.).

Der Sarnersee, 473 m ü. M., ist wahrscheinlich ein Bergsturzsee. Von der S-Seite des Stanserhornes stammt die grosse Blockfläche des Kernwaldes, und diese ist auf eine Tallänge von beinahe 3 km über den 500 bis 600 m hoch liegenden Felsrand der Kernwaldstufe westlich hinaus ins Sarneraatal gesprungen. Damals reichte der Vierwaldstättersee vielleicht noch bis hieher mit einer vermutlichen Seebodenhöhe von ca. 400 m. Jetzt ist dort der Bergsturz grösstenteils in den stets wachsenden Schuttkegel der grossen Schliere eingehüllt; aber viele seiner grossblockigen Wellen ragen noch aus dem Schuttkegel heraus und erreichen über 480 m. Der Bergsturz ist der ältere Kern der Talschwelle, die den Sarnersee vom Vierwaldstättersee getrennt und höher gestaut hat. Der Wildbachschuttkegel hat ihn erst später mit einem Mantel umhüllt und setzt diese Arbeit auch jetzt noch eifrig fort. Die Bachkegel haben die Bergsturzbarriere gedichtet und verstärkt. (Gute geologische Kartierung in Spezialkarte Nr. 66a der Geolog. Kommission durch A. BUXTORF.)

Die Bergsturzseen, welche in einem Tal durch seitlich eingeworfenen Bergsturz entstanden sind (1. und 2. unserer Gruppierung), sind alle dicht vor der Stauwelle am tiefsten, wenn nicht stärkere Einspülungen die Tiefen verändert haben.

2. Der See ist durch den Trümmerstrom des Haupttales in einem Nebental gestaut worden. Trümmerstrom im Haupttal, See im Nebental.

Dieser Fall ist nicht häufig. Beispiele:

Lac de Derborence und Lac de Gode beiderseits des Diableretstrümmerstromes.
Lago di Val Viola, durch den Bergsturz von der Cima di Saoseo gestaut.
Laaxersee am Rand der Flimserbreccie.

3. Der See liegt im Innern des Ablagerungsgebietes.

Im Flimserbergsturz: Lai Cresta, Lai Cauma und noch einige kleinere.
10 kleine Seen zwischen Gode und Derborence im Trümmerstrom vom Diablerets.
Etwas über 12 kleine Seen im Trümmerstrom von Goldau.
Lago di Saoseo (mehrere) Valle di Campo östlich Berninapass.
Eibsee bei Garmisch (Bayern), Seen bei Mittenwald.
Blauseeli im Kandertal.
Lenzerheidesee.

4. Der See liegt als **„Nackensee"** an der Konkavseite des Abrisses über der gesackten Bergmasse.

Die schönste Gruppe dieser Seen, die ich kenne, sind die zahlreichen Seen von Arosa. Arosa liegt in einem komplizierten altverrutschten Talkessel. Ostalpine Deckenfetzen bewegten sich z. T. auf tektonischen Rutschflächen über dem penninischen tonschieferigen Flysch. Rutschungen vom Typus IX und X tragen auf ihrem Nacken Seen. Zur Zeit herrscht Ruhe; aber es ist sehr wichtig, dass man weiteres Einschneiden der Plessur östlich und nördlich Arosa durch Sohlenversicherungen verhindert.

Zu den Nackenseen zählen die kleinen Seen oben auf dem Heinzenberg über Tschappina (Lüschersee 1950 m), ferner Glunersee am Mattlishorn N-Seite (Prättigau), und noch eine Anzahl kleiner Seen auf den Absenkungsterrassen in den Schiefergebieten von Flysch und Bündnerschiefer.

Die Nackenseen sind nicht häufig und meistens sehr klein, auch unbeständig. Ein ausgedehntes grosses, zum Stillstand gekommenes Rutschgebiet, wie Arosa, ist ihnen am günstigsten.

Vorübergehende Bergsturz-Stauseen.

Die Tatsache, dass ein Bergsturz einen See nur vorübergehend staut, der Ausfluss sich allmählich bis zum Verschwinden der Stauung einschneidet oder gar die Stauschwelle plötzlich vom Wasser weggeschwemmt wird, kennen wir nicht nur aus Beobachtung alter Bergstürze. In historischer Zeit haben Menschen solche erlebt und beschrieben.

Der schwerste Fall der Art betrifft die **Buzza di Biasca.** Im September 1512 warf sich ein Bergsturz aus der W-Flanke des Pizzo Magno, 2298 m, etwa 1 km oberhalb des grossen Dorfes Biasca, in das Bleniotal und staute den Brennofluss des Tales auf. Der Bergsturzhaufe, der noch heute das Bleniotal nach unten abschliesst, heisst Buzza di Biasca. Der Abriss bildet in Altkristallin nach Typ. XV eine mächtige Nische, beginnend am Gipfel. Der Talboden liegt bei ca. 300 m, die maximale Sturzhöhe war ca. 1990 m, die Stauschwelle reicht auf 364 m. Viele Häuser wurden zerstört. Es bildete sich ein

See, der allmählich tiefer und grösser wurde. Er reichte 3 bis 5 km talaufwärts, brachte die Häuser von Malvaglia ganz, von Semione teilweise unter Wasser, so dass nur noch die Kirchturmspitze von Malvaglia aus dem Wasser ragte. Der See erreichte etwas über 400 m Niveauhöhe und war nahe hinter dem Riegel über 50 m tief und 1 km breit. Seeinhalt gegen 200,000,000 m³. Die Bewohner waren an die Berghänge geflohen. Dann im Juni 1514, nach 21 Monaten Bestand des Sees, brach das Wasser „plötzlich" den Riegel durch. Die Flut zerstörte Biasca, wälzte Schutt auf die Flächen und richtete ungeheuren Schaden an bis in den Langensee hinunter. Ca. 400 Häuser, dann viele Brücken, Dämme, alle Kulturen wurden demoliert. 600 Menschen verloren das Leben. Der Wellenschlag schädigte die Ufer des Langensees noch weit hinab.

Leider sind die Nachrichten über diese Ausbruchskatastrophe nur sehr dürftig. Man kann sich keine rechte Vorstellung machen. Über verdächtige vorangehende Erscheinungen „schweigt die Geschichte". „Plötzlich" geschah der Durchbruch wohl nicht! Es werden ihm Senkungen in der Buzza, Risse, vielleicht auch starke Erosionen des Seeüberlaufes vorangegangen sein. Was heute von dem Stauhaufen noch fest liegt, mag etwas über 150,000,000 m³ sein. Seine Form ist nicht ganz verständlich.

Zahlreich sind die Bergstürze, die nur vorübergehende Seestauung erzeugt haben. Hieher gehört Disentis, 1683, mit Stauung des Rheines während 3 Stunden, dann Überlauf und allmähliches Einschneiden. Spitzensturz bei Spiringen, Schächental, 1887, noch im gleichen Jahre durch den Schächenbach zugeschüttet, durch Nachstürze hie und da etwas gestaut. Bei Rädlisau, 2 km talaufwärts von Bischofszell, staute ein „Schuttsturz" am 25. XI. 1535 die Sitter zu einem See. Am 3. VII. 1816 ging in Goldingen (Kt. St. Gallen) ein Bergsturz nieder, der mehrere Häuser zerstörte, einige Personen und mehrere Stück Vieh verschüttete und den Goldingerbach zu einem kleinen See staute — heute ist der See verschwunden. 1816, Fluhalp Eutal (Sihltal): Bergsturz, der mehrere Häuser verschüttete, und einen See staute, den Krötensee. Er ist wieder verschwunden.

Am häufigsten werden diese kleinen Stauseen von nur einigen Stunden bis Wochen oder Monaten durch Rückwärtseinschneiden des Seeüberlaufes von unten nach oben wieder geleert, oder der Talbach schüttet sie mit seinen Geschieben von oben nach unten zu.

Viele Bergstürze haben Stauseen erzeugt. Sie sind bald verschwunden; teils durch das normale Talwasser (Bach, Fluss), teils sind sie abgelaufen durch Einschneiden ihres Überlaufes in den Schutt-

riegel. In der Fortsetzung des ersteren Falles folgt talaufwärts dann Einschneiden des Talgewässers in seine frühere Auffüllung — oft unter schönen Terrassenbildungen.

Das letztere Stadium — Wiederausspülen der Seeauffüllung tritt uns bei den alten grossen Bergstürzen in ausgeprägter Gestalt entgegen, so:

Bergsturz von Flims, Stausee anfangs auf etwa 950 m Meereshöhe, über altem Talboden von 600 bis 650 m. Längere Zeit Seeniveau konstant auf 785 m mit Deltas der Seitenflüsse. — Seither allmählicher Einschnitt und Eintiefung des Talweges des Rheins um weitere 110 bis 130 m.

Bergsturz Glärnisch-Guppen. Stausee anfangs auf etwa 675 m, dann lange Zeit Seeniveau 580 bis 600 m mit 6 km Länge talaufwärts. Teilweise Auffüllung, nachher weiteres Einschneiden der Linth um etwa 100 m, unter terrassenförmiger Eintiefung des Tales von unten nach oben. Der See ist verschwunden. Die Linth hat bei Schwanden den Talboden auf 512 bis 515 m ausgearbeitet.

Selbstverständlich treffen wir noch heute Zwischenstadien von der Stauung bis zur Füllung oder Entleerung an verschiedenen Stellen. Beispielsweise reichte der Poschiavosee anfänglich etwa 5 km weiter talaufwärts. Etwa $^2/_3$ sind heute durch Delta des Poschiavino zugeschüttet.

Bei allen diesen Betrachtungen habe ich mich vorherrschend der Beispiele aus dem Schweizerlande bedient. Es versteht sich aber von selbst, dass gleiche Erscheinungen in allen Gebirgen vorkommen.

Zum Schlusse dieser Besprechung der Bergsturzseen sei aus dem **Himalajagebirge** noch folgender Fall berichtet:

Ein 8 km langer Stausee entstand im August 1893 durch einen Bergsturz bei Gohna, Provinz Garhwal. Er bestund über ein Jahr, bis die ihn speisenden Wasser die Höhe des sperrenden Dammes erreicht hatten und der See überzufliessen begann. Dann schnitten sich die abfliessenden Wasser so rasch ein, dass der See in einem Tage die Hälfte seiner Wassermasse verlor und jetzt nur noch 4 km lang ist. Die bei dem plötzlichen Abfluss entstehende Hochflut richtete ungeheure Verheerungen an. (E. KAYSER, Lehrbuch der Geologie I, 5. Auflage, S. 499, 1918.)

Die Ursachen der Bergstürze.

Die allgemeinen Ursachen der Bergstürze haben wir schon auf den ersten Seiten dieser Schrift dargetan. Es gilt nun aber, einige Gesichtspunkte noch etwas schärfer zu fassen. Als Ursachen der Bergstürze können wir angeben:

1. Existenz von Gebirgen mit Gehängen. Ur-Ursache davon ist die Stauung in der Erdrinde, die Tektonik des Gebirgsbaues, die vulkanische Tätigkeit.

2. Das Fortschreiten in der Umformung durch: Unterschneiden, Belasten und Verwitterung (Lockerungszustand der Gesteine), fortwährend neu abdeckende Vorgänge, Denudation.

3. Fortgang in den gebirgsbildenden Bewegungen der Erdrinde.

Beim Absturz handelt es sich um eine Gleichgewichtsfrage zwischen Gewicht einerseits und Reibung (inklusive Adhäsion und Kohäsion) anderseits.

Ein Gleichgewicht kann niemals dauernd erreicht werden, weil, so lange noch Gefälle existiert, manche Faktoren in diesem Gleichgewicht **ständige Veränderungen erleiden.** So:

Das **Flussgefälle** durch Einschneiden (Vertiefen)

Die **mögliche Seitenböschung** durch Verwitterung

Die **innere Reibung** und die Reibung auf der Unterlage durch Wechsel von Nässe oder Trockenheit. Dazu kommen noch nebensächlichere, geringere Gleichgewichtsstörer wie Belastung oder Abtrag, Wärme oder Frost, Bewachsung oder Kahlschlag etc.

Als Schuld am Niedergang eines Bergsturzes sind zu unterscheiden: **Ursache** und **Auslösung.** Eine Auslösung allein genügt nicht, es muss eine viel mächtigere Ursache vorangehen. Sehr häufig übersieht man die Ursachen oder lässt sie in der Besprechung als selbstverständlich unerwähnt, während man die Auslösung überschätzt und allein beschuldigt — oft zu vollem Unrecht. Die Ursache hat bei grösseren Bergstürzen oft nicht nur Wochen, sondern noch viel länger gearbeitet, um den Bergsturz vorzubereiten; ihre Bedingungen waren zum Teil dem Berge angeboren. Die Auslösung aus den letzten Hemmnissen ist ein Kind des Augenblickes, das man erst kurze Zeit vor der Katastrophe an der Arbeit findet. Praktisch kann man sagen, dass die Ursache das Ereignis fordert und seine Zeit im grossen ganzen bestimmt. Die Auslösung dagegen bestimmt, innerhalb vielleicht eines Jahrzehntes oder einer Jahreszeit, nur den Tag. Und wenn der Bergsturz innerhalb der betreffenden Jahreszeit doch nicht erfolgt, so wartet er eben nur noch auf die nächste Veranlassung zur Auslösung, die nicht ausbleiben kann. Die Auslösung regiert also nicht das Geschehen eines Bergsturzes, das besorgt die Ursache, die Auslösung entscheidet nur den Tag innerhalb eines kleineren Zeitraumes.

Man kann das Verhältnis von Ursache und Auslösung auch so ansehen: Die Ursache ist oft eine durch lange Zeit angehäufte Wirkung der gleichen kleineren Ursachen, welche zuletzt als Auslösung eingreifen können. Erreichen sie noch keinen Absturz, so sind sie

noch verfrüht und gehören in den grossen Sammelkasten der Ursache. Hat die Ursache den Bergsturz schon ausgereift, so besorgt ein ursächliches Moment die Auslösung. Ursache ist lange gehäufte Veranlassung, Auslösung ist ein letzter Ausläufer der Ursache. Es gibt aber auch Fälle, wo Ursache und Auslösung sich ganz unterscheiden: z. B. eine Unterschneidung des Gehänges ist Ursache; ohne diese wäre der Bergsturz nicht entstanden. Grosse Nässe bringt Auslösung, so dass der Absturz schon jetzt und nicht erst nach einigen Wochen eintritt.

Veranlassungen zu Auslösungen sind **Witterung**, störende Eingriffe des Menschen, Erdbeben.

Wenn man z. B. sagt: Die Ursache des Bergsturzes von Goldau war gegeben durch die starken Regenfälle im vorhergehenden August, so ist hier eben das Auslösungswerk für die Ursache gesetzt. Der Bergschlipf Goldau hatte sich langsam schon seit mehr als 30 Jahren vorbereitet — immer öffneten sich mehr Spalten; in den Nagelfluhbänken erweiterten sich die schon vorhandenen; und solche Vorbereitungen zeigen immer eine Beschleunigung oder Verstärkung, wenn sich die Katastrophe nähert. Ohne die starken Augustregen des Jahres 1806, also im Falle eines trockenen August, hätte die Felsmasse ruhig gewartet, bis zu der nächsten nassen Periode, vielleicht nur noch einen Monat, vielleicht ein Jahr. Die tiefliegende Ursache beherrscht das Geschehen, die Auslösung veranlasst nur den Zeitpunkt in kleinem Ausmass.

Die Witterungserscheinungen unterliegen einer gewissen Periodizität, die sich dann auch in der Statistik der Bergstürze abbildet: Viele Schuttrutschungen finden bei uns im Monat Juni statt, grosse Bergstürze fallen meistens auf September oder Oktober — eventuell noch etwas später. In den Alpen gelangen alle Bergsturzbewegungen im Januar, Februar und März in eine Art Winterschlaf, sie stehen vielfach ganz still. Wenn der Frühling in die Berge steigt (Tauwetter), so erscheinen am zahlreichsten die Steinschläge und Steinlawinen und kleineren Bergstürze. Dazwischen fällt noch mancher zu „unrechter Zeit"; die Regeln sind nicht ohne viele Ausnahmen. Auch bei Veranlassungen folgt die Wirkung immer erst mit etwelcher Verspätung, und die Veranlassungen zur Auslösung sind launenhaft wie das Wetter.

Sehr auffallend ist die Häufung der ganz grossen Bergstürze auf den September:

Elm (Kt. Glarus) .	11. September	1881
Bodio (Tessin) .	27./28. September	1868
Goldau (Schwyz)	2. „	1806
Diablerets (Wallis)	24. „	1714
Plurs (Bergell) .	25. VIII. oder 4. IX. (?)	1618
Biasca (Tessin) .	? September	1512

Die Erdbeben als Ursache und Auslösung.

Bei unserer prinzipiellen Aufstellung der Ursachen der Bergstürze haben wir als Nr. 3 den Fortgang in den gebirgsbildenden Bewegungen der Erdrinde aufgeführt. Eine Erscheinung dieses Vorganges sind die Erdbeben, eine andere der Fortgang der Faltungen und Verschiebungen in der Erdrinde, die freilich selbst sich in Erdbeben auslösen.

Erdbeben werden mit Vorliebe als die Schuldigen für Bergstürze angeklagt. In den Bergsturzaufzählungen der Schriftsteller von 1600 bis 1850 wird von den meisten der Bergstürze kurz erzählt: „in Folge eines Erdbebens". Man wusste noch nicht, dass es täglich viele Erdbeben gibt. Wenn ein Bergsturz sich ereignete, gelang es meist dem ersten Versuche, ein vorangegangenes Erdbeben zu finden. Wenn es auch 3 oder mehr Tage früher als der Bergsturz stattfand, so fand man doch in diesem zeitlichen Zusammentreffen von vermeintlich so seltenen Naturereignissen einen „schlagenden Beweis". Es gibt aber wohl keinen Bergsturz, zu welchem nicht ein passendes Erdbeben zu finden wäre! Wenn Erdbeben wirklich unter den Bergstürzen die Rolle häufiger Ursache spielten, so müsste man sehr oft — vom gleichen Erdbeben erzeugt — im gleichen Gebiete mehrere Bergstürze gleichzeitig erhalten. Ein solches zeitliches Zusammentreffen ist aber nicht vorhanden; es ist eine grosse Seltenheit, dass zwei Bergstürze zeitlich sehr nahe zusammenfallen, so dass man das nur als Zufall bezeichnen kann, was die Regel sein sollte.

Nun aber, da wir wissen, dass alle Bergstürze die Folge einer langen Vorbereitung im Boden sind, dass sie erst im Laufe von Wochen, meistens erst im Laufe von Jahren und Jahrzehnten zur Absturzfähigkeit ausreifen, so können wir doch nicht einen einzelnen momentanen Ruck nun für die Ursache nehmen — ebensowenig wie einen einzigen Regentag oder eine Regenperiode. Der in Vorbereitung gewesene Bergsturz hat sicherlich schon im Laufe der Zeit hunderte von Erdbebenstössen erfahren, ohne ihnen irgendeine Folge zu leisten, und hunderte von Regentagen unbeweglich ertragen. In diesen vermeintlichen „Ursachen" wie nasse Zeit, Erdbeben, haben wir es

nur zu tun mit dem Fortgang der Dinge, die seit Jahren an der Ablösung mitarbeiteten. Der kleine Stoss, der zufällig der letzte vor dem Abbruche war, war gewiss oft ganz bedeutungslos. Ohne ihn wäre der Bergsturz nur einige Minuten, vielleicht einige Tage, höchstens noch etwas später losgebrochen. Von allen den Bindungen und Hemmnissen im Boden musste erst eines nach dem andern allmählich gelöst werden. Das Tempo steigert sich. Einige Tage vor der Katastrophe hört man im Walde das Knallen der spaltenüberspannenden Wurzeln, im Berge das Knirschen und Krachen des Abquetschens von hindernden Steinecken. Notwendigerweise kommt auch einmal eine letzte Faser, die die Sturzmasse noch mit dem Mutterberg verband, zum Bruch. Das ist der Moment der Auslösung der Katastrophe. Der Berg fällt.

Dass es in Wirklichkeit Bergstürze gibt, die durch Erdbeben veranlasst sind, ist sicher. Aber das können nur katastrophale Erdbeben leisten, wie sie z. B. in den Schweizeralpen bisher noch nie erlebt worden sind. Das grosse Erdbeben 1906 in Californien löste gleichzeitig mehrere Bergstürze aus. In Calabrien ging bei dem Erdbeben von 1783 mancher Bergsturz zur Tiefe, „die Berge schüttelten ihre gelockerten Rinden ab". Am 25. I. 1348 gingen in Dobratsch unweit Villach in Kärnten Bergstürze von Erdbeben begleitet nieder, die 2 Flecken und 17 Dörfer verschütteten und durch Stauung mit den Trümmermassen das Gailtal in einen langen See verwandelten. Im Jahre 1227 sollen im Gebiete von Aix so gewaltige Erdbeben stattgefunden haben, dass 5000 Menschen unter den Trümmern der Gebäude zugrunde gingen, „weil von den Seiten der Berge sich ganze Massen losrissen und zum Unheil für Menschen und Vieh in die gut bevölkerten und bebauten Täler hinabstürzten".

Die Erschütterungen unserer alpinen Regionen sind zwar sehr häufig, aber so gering, dass sie nur in kleinem Masse etwa den Absturz einer schon fast abgetrennten Felsecke erzeugen könnten. Das feine Zittern, der kurze Stoss, oder schwaches Schwanken dieser Erdbeben kann nach meinem Empfinden nicht wesentliche Ursache, sogar kaum Auslösung eines Bergsturzes sein. Auf blosse Steinschläge können wohl Erdbeben viel eher veranlassend wirken, als auf grosse Bergmassen, die für eine so kleine Stossbewegung zu fest und breit im Sattel sitzen. Selbst für den Bergsturz von Corveyrier-Yvorne vom 4. III. 1584, welchen ein Erdbeben vom 1. III. 1584 veranlasst haben soll, glaube ich nicht an die Erdbebenursache. Risse beginnender Schuttbewegung hat man für Erdbebenrisse gehalten. Die einzigen Felsstürze in der Schweiz, bei welchen ich nach den Be-

richten der Geschehnisse ein Erdbeben als Veranlassung annehmen kann, sind die Abstürze vom 11. XI. 1593 an der N-Kante des Vorderglärnisch und Ähnliches, das sich im Kanton Glarus in einer Erdbebenperiode vom 29. VIII. 1701 bis zum 10. II. 1703 ereignet hat. TSCHUDI berichtet darüber, dass bei den über 40 starken Stössen man immer zuerst einen „Klapf" unter den Füssen spürte, dann Zittern und Erschütterung der Erde, „wobei nach Aussage der Alpknechten an vielen Orten grosse Steine von ihrem Orte bewegt wurden, dass sie mit grossem Prascheln herabgefallen". Am stärksten wurden damals die Erdbeben in Linthal und Betschwanden empfunden. Auch damals halfen die Erdbeben den Steinschlägen zum Abgang, aber kein wirklicher Bergsturz, nicht einmal eine starke Steinlawine ist in jener Erdbebenperiode gefallen.

Es kommt also vor, dass Erdbeben Auslöser, sogar Verursacher von Bergstürzen sind. Andererseits aber ist viel zu oft grundlos und leichthin in einer Art Gedankenmode das Erdbeben als Ursache angenommen worden!

Und noch eine besondere, unbewusst wirkende, Einfühlung beförderte die Beschuldigung der Erdbeben. Das schlechte Gewissen über die menschliche Unachtsamkeit, die Nachlässigkeit und den Stumpfsinn, mit denen man die so deutlichen Ankündigungen durch Vorzeichen missachtete, war damit zum Schweigen gebracht. Der Missetäter war nun erkannt, der unberechenbar und plötzlich ohne Ankündigung einsetzt und den Menschen jeder Mitschuld am Unglück entlastet. So waren die Worte „durch ein Erdbeben" geradezu eine erlösende Ausrede geworden.

In unserem Lande sind bisher die Erdbeben meistens ganz unschuldig an den Bergstürzen gewesen.

Der Fortgang der Erdbewegungen, welche die Gebirge erzeugt haben, unterliegt keinem Zweifel mehr, dagegen werden Auswirkungen davon, wie Bergstürze, nicht so leicht als solche nachweisbar sein.

Am **Nordrande der Alpen** finden wir an vielen Stellen die Stirn der liegenden Falten als steile Felswand abgebrochen. Die Falten oder Decken sind über die Gesteine des Vorlandes, die aufgerichtete oder gefaltete und uneben erodierte Flysch- und Molassezone hinauf und noch um bedeutende Strecken gegen N überschoben worden. Dass diese Nordrandüberschiebung zu den jüngsten Dislokationen der alpinen Bewegung gehört, geht aus zahlreichen Erscheinungen hervor und wird von allen alpinen Tektonikern anerkannt.

Der Gedanke liegt nahe, dass die Überschiebung der alpinen Deckenstirnen über Molassetäler zu grossen Abstürzen geführt hat. Dass die Überschiebung des Alpenrandes gegen NW tatsächlich auch jetzt noch fortschreitet, haben die von der bayerischen Landesvermessung (Leiter MAX SCHMID, München) mit äusserster Sorgfalt

durchgeführten Messungen bewiesen. Von 1801 bis 1905 hat das Vorrücken der nördlichsten Alpenkette (Wendelstein etc.) in 100 Jahren ca. $^1/_4$ m (1801—1855 14 cm, 1855—1905 12 cm) betragen. Das Vorland zeigt Senkung und Bewegung nach W.

Vor dem schroffen Nordabsturz der Alpen liegen in der Tat in den offenen Molassetälern oder Flyschtälern oft noch heute grosse Bergstürze, aus Trümmern der vorgeschobenen Deckenstirnen bestehend. Diese Bergstürze sind noch nicht näher im Zusammenhange untersucht worden. An den meisten Orten sind solche Bergstürze schon wieder bis auf kleine Reste aufgezehrt, an anderen können sie sich erhalten haben. Grosse Felsstürze vom Nordrand des alpinen Deckschubes finden sich z. B. am Nordfuss des Aubrig, Küpfenstock. Vor dem Säntisgebirge folgen die grossen Trümmerfelder am Säntisnordrand, Waldzimmer und Schwegalp. Ganz besonders erweckte mir das Verhältnis der Nordwand der Zugspitze zu den Bergsturzlandschaften von Garmisch und Mittelwald mit ihren vielen Bergsturzseen den Gedanken, dass hier Abbruch infolge Überschiebung über Berg und Tal mit im Spiele sein könnte. Der Bergsturz von Eibsee-Garmisch ist zwar vorhistorisch aber postglazial, recht jung. Ich deute dies nur an im Sinne einer fragenden Vermutung. Es wäre aber wünschenswert, dass die aufnehmenden Geologen den Bergstürzen etwas mehr Interesse angedeihen liessen, als meistens bisher.

Über andere durch tektonischen Schub veranlasste Bergstürze können wir heute etwas Bestimmtes noch nicht sagen. Es muss wohl solche geben — wenn nicht in den Alpen, doch in anderen noch heute stark bewegten Gebirgen wie z. B. im Himalaja, im tibetanischen China. Die Gesteinsbewegung erzeugt primär übersteile Gehänge.

Das Abschälen von Gesteinsplatten an steilen Wänden durch den Druck des Überliegenden ist keine direkt tektonische Erscheinung. Aber sie ist im Leben, besonders in der Vorbereitung der Bergstürze, im Fortgang des Ausbrechens von Nischen u. a. m. stets in Tätigkeit begriffen.

Bergstürze durch Menschen verursacht.

Fälle von Unkenntnis, Unvorsichtigkeit haben zu vielen Bergsturzbewegungen geführt. **Plurs** war gross und reich geworden durch seine grosse Lavezsteinindustrie. Ofenstein, pierre ollaire, Chlorit-Steatit, Talkschiefer oder Lavezstein genannt, wurde an vielen Stellen gewonnen und zu allerlei Gegenständen und Geräten (Töpfen, Ofensteinen, Schalen, Pfannen, feuerfesten Gefässen, Röhren u. a. m.) verarbeitet. Die Ausbeutelöcher — Bergwerk genannt — befanden sich besonders am Monte Conto südlich etwa 500 m hoch über

Plurs. Dort erstreckt sich eine Zone der vorzüglichsten Lavezsteine von W nach E mit Einfallen der Schichten bergeinwärts. Es gibt ein Bild von Plurs gegen S gesehen, wo man hoch, gerade über dem Flecken, eine lange E—W gerichtete Reihe nahe nebeneinander gesetzter künstlicher Höhlen zur Lavezgewinnung sieht. Auch noch an anderen Stellen in tieferer Lage weiter gegen Chiavenna etc. finden sich Reihen solcher Bergwerkslöcher. Wie in diesen Bergwerken vorgegangen wurde, wissen wir freilich nicht. Von Bergversatz war sicherlich keine Rede. Das Bergwerk über Plurs wird als sehr alt bezeichnet, es war „schon immer da". Von der Umgebung der Ausbeutungsstellen am „Berg del Cont" heisst es in den Erzählungen von 1618: „der Berg reisst immerzu, und ist gar offen und vor 10 Jahren gespalten gewesen". Über den Vorsturz am Tage vor der Unglücksnacht wird von ANHORN berichtet: „Um 4 Uhren Nachmittags hat ein Rufi aus dem Berg del Cont angefangen herein gehen auf der Seiten, da man die Lavezzi macht." Das war ein Vorsturz vom Ostrande des Abrisses am Ostende des Bergwerkes. Nach meiner Überzeugung ist der Bergsturz von Plurs durch diese Durchlöcherung innerhalb einer Schicht auf grosser Breite verursacht worden. Alles was man davon weiss, spricht dafür, nichts dagegen. Aber die Zeitgenossen blieben blind für diese Gefahr und dachten auch nachher kaum an diese Ursache (siehe auch S. 186/187.)

Leider hat noch nie eine Untersuchung des Monte Conto durch einen in Bergsturzsachen geübten Geologen stattgefunden. Genaue Karten fehlen. Wir kennen nicht die Anrisshöhe, die Böschungen, die Form der Fahrbahn. Und noch mehr Unsicherheiten begleiten unsere Kenntnis: Sowohl die alten Schriftsteller als die neueren — die nur den alten abschreiben konnten, berichten nicht übereinstimmend über das Datum. Die einen geben den 25. VIII., die andern den 4. IX. an. Es sei der Absturz in heller Vollmondnacht erfolgt, — das würde für den 4. IX. sprechen. Die einen berichten von 930 Toten, die anderen von über 2500, und mit Nachdruck wird die Zahl 2430 angegeben.

Ein zweites furchtbares Bergsturzereignis in unsern Alpen, das durch unvorsichtigen Bergbau entstanden ist, ist der Bergsturz von Elm 1881. Wir kommen auf diese beiden Fälle noch zurück, wenn wir von dem Benehmen der Menschen gegenüber den Bergsturzgefahren berichten wollen.

In weniger grossem Umfange gibt es noch viele Beispiele für Bergstürze, verursacht durch unvorsichtiges Vorgehen der Menschen. Ich nenne noch:

Zusammenbruch und Absturz am alten „Landesplattenberg", dem Schieferbruch zwischen Engi und Matt im Sernftal. Er war vorausgesehen, beobachtet und Gefährdetes geräumt. Ein Vorsturz fiel am 9. IX. 1926, der Hauptsturz am 10. IX. morgens 5¼ Uhr.

Felssturz über die Eisenbahn am Gehänge des Walensees zwischen Mühletal und Mühlehorn 6. XI. 1924, verursacht durch Unterhöhlung durch ausgedehnte Ausbeute von Zementsteinen, die mit flachem Nordfallen 25 bis 35 m hoch südlich über der Bahn, streichend wie die Bahnlinie, sich finden. Die Ausbeute geschah zuerst durch einige Stollen etwa 5 m hoch und 5 m breit bergeinwärts. Man war schon lange misstrauisch und Dr. A. BÜRKLI zusammen mit Prof. ALB. HEIM erhielten in den 80er Jahren des vorigen Jahrhunderts den Auftrag zur Prüfung. Wir erklärten den betriebenen Abbau für einen unverantwortlichen Raubbau, und gaben Vorschriften für die Lage und Dimensionen der Ausbeutungsstollen, für Belassen von Stützpfeilern und Rippen und für Bergversatz, und wir verlangten Kontrolle. Der Kanton Glarus und die Bahn hielten an unsern Bedingungen fest. Indessen hatte nun etwa in Mitte der 90 er Jahre der Bundesrat die Stelle eines eidgen. Bergwerksinspektor geschaffen und dieselbe einem Herrn ESCHER anvertraut, der als Überseer in ungeregelten Bergwerken sich betätigt hatte. Von Bergwerksbetrieb in einem zivilisierten Lande schien er mir keinen Begriff zu haben. Er verlachte unsere Vorsichtsmassregeln. Man beutete allmählich fünfmal mehr aus, als wir für statthaft angegeben hatten, und unterwühlte das Felsgehänge rücksichtslos. Aber er war eben der „höchste amtliche Sachverständige", unser 10 Jahre älteres Gutachten galt nicht mehr. So kam es dann zu der von uns erwarteten Katastrophe. Der Berg über Bahn und Bergwerk brach bis auf 530—540 m Meerhöhe, das ist ca. 110 m über dem See, ab und fuhr in den See. Die Bahnlinie wurde auf ca. 150 m Länge teils in den See hinausgestossen, teils überschüttet. Ein Teil des Zementbergwerkes wurde eingeschüttet, ein anderer tieferer blieb unter der Abrutschfläche erhalten. Der gleiche Zementraubbau reicht noch etwa 100 m weiter gegen Osten als der Abbruch von 1924. Nur ist er dort etwa 20 Jahre jünger. Dementsprechend ist die Lockerung des überliegenden Felsens noch nicht so arg. Aber dass der Sturz von 1924 sich wenigstens 100 m weiter nach Osten ausdehnen wird, ist unausweichlich, die Abwehr durch Bergversatz etc. in keinem Verhältnis zum Schaden. Mein Sohn und ich, als Experten der Bundesbahnen, empfahlen, die Bahnlinie als Tunnel südlich in den Berg hinein zu verlegen. Leider erwies sich dies als zu kostspielig.

Bei diesem Bergsturz zwischen Mühletal und Mühlehorn ist kein Mensch verletzt oder getötet worden. Einige Zeit lang schon wurde die beginnende Bewegung bemerkt, die Felsbewegungen messend kontrolliert, der Steinschlag überwacht und die Arbeit im Zementbruch eingestellt. Zur rechten Zeit war der Bahnbetrieb über die gefährdete Stelle durch ein grosses Schiff zu Wasser oder durch Auto über den Kerenzenberg ersetzt worden.

Felssturz von **Arvel bei Villeneuve** durch Ausbeutung der schönen Echinodermenbreccie des Lias verursacht, gestürzt am 14. III. 1922. Das Volumen des abgestürzten Felsens wird auf 600,000 m³ berechnet. Der Fels stürzte in weichen Moorboden, der vor der vorstossenden Felstrümmerfront sich faltete auf eine Ausdehnung von ca. 18 ha. Die Abbruchfelswand war 120 m hoch und stund etwa 60 m bergeinwärts vom Fuss des ursprünglichen Steilabhanges der Felswand. Ich verweise auf die treffliche Untersuchung und Darstellung: PH. CHOFFAT, „l'éboulement d'Arvel", Bullet. Soc. Vaudoise Sc. nat., Vol. 57, No. 223, 1929.

7. VIII. 1915 Felsschlipf am Riedgartensteinbruch, Lötschbergbahn, Wallis, oberalb German-Raron. In der Hauptsache Felsschlipf von dick-

bankigen Kalksteinen mit 40 bis 43° Fallen nach S; Bewegung von im ganzen etwa 95,000 m³. Ursache: Anschnitt des Fusses der Schichten. Höhe des Steinbruchbodens etwa 973 m üb. Meer, Höhe des oberen Abrissrandes 1070 m, Höhe des Bruches ca. 100 m.

Nach unten Teilung in zwei Schuttströme, von denen der östliche mit ca. 20,000 m³ schön geschlossen bis 760 m, der westliche mehr zerstreut mit etwa 10,000 m³ in das Kulturland von Raron und German bis 710 m hinab vordrang und einige Häuser zusammenschlug. Immer noch wollen Steinbruchbeflissene nicht fassen, dass steil (d. h. über 20°) geneigte Schichten nicht von unten nach oben, sondern von oben nach unten vorschreitend gebrochen und abgetragen werden müssen. Der vorliegende Felsschlipf zeigt uns, dass die Grenze zwischen zerstreuter Ablagerung und stromförmiger zusammengebundener Bewegung zwischen 10,000 und 20,000 m³ Absturzvolumen liegt. Das wäre zugleich **die Grenze zwischen Steinlawine und Felssturz.** Es ist indessen zu beachten, dass wahrscheinlich diese Grenze für die verschiedenen Bewegungsarten auch noch von anderen Umständen als bloss der Masse, namentlich von den Eigenschaften des Gesteines, der Blockgrösse u. a. abhängt.

Felssturz in Noiraigue (Jura neuchâtelois) infolge Bergbau auf Zementsteine schon früher, wiederholte sich 1901.

Durch Steinbrechen verursachte, z. T. sehr gefährliche Felslawinen, von Strassenbau und Eisenbahnbau veranlasste Abrutschungen aller Dimensionen, von Häuserbau an Abhängen, von Uferbelastung entstandenen Ufereinbrüchen und anderem mehr, könnte man viele hunderte anführen. Sehr oft gehen die Menschen sehr unvorsichtig vor und stören das Gleichgewicht an Abhängen. Die Fehler, die dabei am häufigsten gemacht werden, sind zu starkes Unterschneiden des Bodens, Schwächung stützender Massen, oder zu starke Belastung des Bodens oder unvorsichtige Bewässerung desselben. Die obigen wenigen Beispiele mögen genügen, um die Fehler menschlicher Eingriffe zu bezeichnen.

Die eiszeitlichen Bergstürze.

Bei Betrachtung der vorhistorischen Bergstürze ist uns schon lange aufgefallen, dass die gewaltigsten fast alle gleich nach Rückzug der grossen Gletscher oder in einer Zwischeneiszeit gefallen sind. Bei einigen (z. B. Glärnisch-Guppen) gibt es sogar Erscheinungen, die darauf hindeuten, dass noch etwas Eis im Tale lag, auf welches der Schutt sich häufte, und dann durch allmähliches Schmelzen eigentümliche Einsenkungsfelder im Trümmerhaufen entstunden. Zu den „interstadialen“ oder „interglazialen“ Berg-

Übersicht der Typen der Bergstürze.

		Bewegung	Umstände	Typus Nr.				
Gruppe I	Schuttbewegungen	langsam schleichende Bewegung	durch Wasser befördert, tiefer	II	Akute, vorübergehende Schuttrutschung			Böschungen meist unter 25°
				III	Periodische, zeitweise sich wiederholende Schuttrutschung			
				IV	Chronische, anhaltende langsame Schuttbewegung			
				V	Schuttstürze durch ausnahmsweise steile Stelle in der Fahrbahn von II, III oder IV			über 35°
			durch Wasser befördert, untief	I	Gekrieche (Solifluction)			
			trocken	VI	Trockene Schuttzüge, Bewegung besonders zeitweise, Böschung 30° bis 45°			
			unter Wasser	VII	Ufereinbruch. Anfangsbewegung am Ufer, steiles, fast vertikales Absinken			
				VIII	Uferabrutschung. Schiefes Abgleiten Unterseeische Schuttrutschung			
Gruppe II	Felsbewegungen		durch Wasser befördert	IX	Sackungen, steil sinkend			Grosse zusammenhaltende Felsmassen mit langsamer Bewegung
				X	Felsschlipfe, schief abrutschend			
					Bezeichnung	Ablösungsart	Laufbeginn	Laufentwicklung
				XI	Typus Campo	Schicht a. Schicht gleitend	gleitend	Kriechender Trümmerstrom wasserreich
				XII	Typus Brienz	brechend	absinkend	do.
Gruppe III		stürzende u. schiessende Bewegung	trocken oder nass	XIII	Steinschlag	Stück n. Stück	springend	Schutthalden
				XIV	Schlipfsturz nass	Gr. Masse gleit.	beschleunigt gleitend	Sturz-Schussstrom
				XV	Fallsturz trocken	Gr. Masse brech.	fallend	do.
				XVI	Stetige Steinrisi	brechend Stück um Stück	fallend	Schutthalden u. Schuttkegel
Gruppe IV		oben nicht einzureihende	wechselnd	XVII	Zusammengesetzter Bergsturz			
				XVIII	Unvollendeter Bergsturz			
				XIX	Nachsturz			
				XX	Noch unbekannte Bergsturzarten			

V. 1932. Alb. Heim

stürzen gehören Glärnisch-Guppen, Glärnisch-Gleiter, Flims, Sierre, Engelberg, Sackung Mollis. Zu den unmittelbar am Schlusse der Eiszeit gestürzten gehören Bergsturz Wiggis (Deyenstock)-Netstal, Kandertal, Parpan, Salez etc. Am Glärnisch-Guppen, Glärnisch-Gleiter und Flimser findet man Grundmoränen unter dem Breccienhaufen, die z. T. aufgeschürft worden sind, und Grundmoränen und erratische Blöcke oben auf dem Bergsturzhaufen oder den anschliessenden Schotterterrassen. Dazwischen gibt es auch grosse Bergsturzblöcke, die auf ihrer Oberseite sehr schön nach Gletscherart angeschliffen und geschrammt, aber nicht herausgerissen sind, während Grundmoränenmaterial von einem Block zum andern ausebnet.

Ob interglazial oder bloss interstadial ist eine noch unentschiedene Streitfrage. Ich neige mich zum interglazialen. Auf den Gedanken bloss interstadialen Alters ist man eigentlich nur deshalb gekommen, weil 1. die Moränen und erratischen Blöcke auf manchen der Bergsturzhaufen etwas spärlich ausgebreitet sind, und 2. weil der Bergsturzhaufe noch vorhanden ist, während er nach der Meinung gewisser Theoretiker von einer ganzen Eiszeit hätte vollständig weggeräumt werden müssen, was ich für unrichtig halte.

Die Erklärung scheint mir auf der Hand zu liegen. Die Erfüllung der Täler mit viel hundert Meter mächtigen Eisströmen schaltete die immer tiefer greifende Gesteinsverwitterung an den Berggehängen nicht aus. Wasser war immer gegenwärtig. Gegenwärtig war aber auch der „hydrostatische" Druck der Eisflut an die Uferwand. Er hielt grosse Abstürze zurück. Die gelockerte Felsrinde blieb an den Berg gedrückt. Mit dem Wegschmelzen der Gletscher wurden die Bergflanken vom Gegendruck des Eises befreit, und die seit Jahrhunderten oder -tausenden gelockerten Felsmassen brachen in besonders grossen Fetzen nach.

Darin liegt wohl die Ursache für die ungeheuren, den Eiszeiten sich anschmiegenden Bergstürze.

Zweiter Teil:
Das Verhalten der Menschen zum Bergsturz.

Vorboten von den Menschen beobachtet, aber nicht gewürdigt.

Die älteren Berichte über Bergstürze schildern das Entsetzen und den Schrecken der Menschen. Sie nennen die Zahl der Verschütteten, der zerstörten Häuser und Kulturen, oft noch die Zahl der Tiere, die getötet worden sind. Aber meistens berichten sie gar nicht oder nur sehr dürftig über die Art des Vorganges und seine besonderen Erscheinungen und meistens nichts, oder nur eine wertlose Vermutung über die Ursachen.

In einigen Berichten finden sich aber doch einige Andeutungen über die **Vorboten der Katastrophe.** Ich nenne dieselben:

1584 Bergsturz am 1. III. und 4. III. von **Corbeyrier und Yvorne,** W-Abhang der Tour d'Aï.

Ein Erdbeben soll Abbrüche am obersten Rande des Felszirkus veranlasst haben und diese dann das andere Gestein zerspalten haben. Diese Angaben sind unklar und für uns nicht verwendbar. Dann aber heisst es vom 1. III. aus Corbeyrier, dass grosse Felsmassen auf die Terrasse von Luan stürzten, dann dass dort grosse Bodenspalten entstunden und alles in Bewegung geriet. In der Nähe des Dorfes Corbeyrier entstunden nun auch grosse Erdspalten, aus denen Schlamm hervorquoll. „Der Boden war seit dem Erdbeben in beständigem Zittern begriffen". Die Bewegung unter Luan griff den Wald an, der krachend immer weiter zusammenbrach. Trotzdem 3 Tage lang diese Vorzeichen in vollem Gange waren, **dachte kein Mensch an Flucht.** Man blieb — ich weiss nicht ob ruhig oder beängstigt — in den Häusern oder an der Arbeit in den Weinbergen und Äckern den ganzen Tag, auch noch am 4. III., da die Bewegung sichtlich gewaltigen Charakter annahm. Schliesslich wurde die Schuttrutschung zum rasenden Schuttsturz. 122 Bewohner, 206 italienische Arbeiter in den Weinbergen wurden eingedeckt, 69 steinerne Häuser, 126 Ställe, viele geringere Gebäude, 5 Mühlen, Ackerfeld, Weingärten, Obstgärten etc. liegen zerstört unter dem Schutte begraben.

Im ganzen hatte man 5 Tage lang die Vorzeichen einer gefährlichen Katastrophe in ständiger Steigerung gesehen und gehört. Aber nichts ist gerettet worden, kein Mensch ist geflohen, und doch hätten alle, die verschüttet worden sind, sich retten können. Die Überlebenden und die Chronisten erzählen nun gar: dass die Katastrophe ganz urplötzlich und unerwartet eingebrochen sei! Hier handelt es sich sichtlich um eine verschiedene Auffassung zwischen Mensch und Natur. Es muss erst das gegenseitige Verständnis gefunden werden!

1618 VIII./IX.: **Plurs im Bergell.** Fortunat Sprecher (Commissär zu Claven), aus Chiavenna berichtet: „An dem Berge Conto S. Plurs, wo früher ausgezeichnete Lavezsteine gebrochen zu werden pflegten, und schon seit 10 Jahren Risse und Spalten sich zeigten, begannen am 25. VIII. nach dem Mittagessen Rüfen und Schlipfe herunterzubrechen, welche einige Weinberge bei Schilano (Aussendorf etwas SE über Plurs) verschütteten. Da aber früher schon am nämlichen Orte dergleichen öfters vorgekommen waren, gaben die Plurser nicht acht darauf. Wer dort oben zu jener Stunde mit Heuen beschäftigt war, fühlte die Erde unter seinen Füssen zittern. Zudem mahnten einige Bauern von Roncaglia (Nordseite der Maira etwas höher) die Plurser dringend, ihre Stadt zu verlassen, da ein grosses Unheil bevorstehe. Einer, der von Plurs mit Lavezsteinen kam (nach Chiavenna), zeigte mir das nämlich an."

Weitere Berichte meldeten: „Man hörte einen starken Ton im Inneren des Berges Monte Conto noch bei ziemlicher Distanz, ein Krachen oder Knirschen, oft sogar ein Knallen; dasselbe wurde 6 bis 10 Stunden vor dem Bergsturz gehört. Am Monte Conto und noch weiter herum (Castasegna) verliessen die Bienen schon 2 Tage vorher in Schwärmen und sichtlicher Verwirrung

ihre Stöcke. Die Kühe auf den Weiden am Abhange des Monte Conto waren sehr unruhig geworden und flohen zum Teil. Manche Älpler kamen herunter und meldeten in Plurs die Gefahr. Ein Bauer, der hoch über Plurs am Monte Conto eine Tanne fällen sollte, spürte plötzlich, dass der Boden unter seinen Füssen wich. Er erschrak und lief nach Plurs, um zur Flucht zu ermahnen. Er wurde verlacht und gar noch geschlagen, und man floh nicht.

Gegen Mitternacht erfolgte der grosse Absturz, dem niemand entging. Die Mera wurde während $1^1/_2$ Stunden gestaut, bis sie wieder überfloss. Der Schutthaufe war eine gute halbe Wegstunde breit (in der Talrichtung) und „5 Spiess" hoch. Es sind „über 2000 Einwohner von Plurs verschüttet worden, nicht gerechnet die Ortsfremden, die gerade in Plurs nächtigten".

Die warnenden Aussagen der Beobachter von den Vorzeichen am Mont del Cont unterscheiden sich sehr wesentlich von den Vorboten — Beobachtungen in den anderen Fällen. Sie erzählten nicht nur die beobachteten Erscheinungen ohne Einsicht auf ihre Bedeutung, sondern sie erkannten darin gleichzeitig die furchtbare Gefahr im besonderen für Plurs. Es muss also wohl alles schon so weit ausgereift gewesen sein, dass die baldige Verschüttung von Plurs klar vor Augen lag. Aber nur die Älpler, nicht die Plurser selbst begriffen die Sachlage, und diese Bergleute haben rechtzeitig ihre gefährlichen Aufenthaltsorte am Berge verlassen, die Städter sind verschüttet.

1714 Diablerets: Nach mehreren Tagen anhaltenden unterirdischen Getöses stürzten die Gesteinsmassen am 28. IX. Nachmittag zwischen 2—3 Uhr zu Tal, verschütteten ausgedehnte Weiden, 120 Hütten, und töteten 18 Menschen und 100 Stück Vieh. 1749, da die Vorzeichen wie 1714 sich wiederholten, hatten sich die Menschen rechtzeitig mit ihrem Vieh geflüchtet mit Ausnahme von 5 in der Säge beschäftigten Männern. 40 Alphütten wurden zerstört. Der Absturz war viel grösser als 1714. Aber die vernünftige Einsicht und rechtzeitige Flucht hat Menschen und Vieh gerettet.

1806 Goldau. Die Bewohner des Gebietes waren von der Gefahr längst überzeugt. Seit 30 Jahren sagte man sich schon „der Berg stürzt dann einmal zu Tale". Die Vorzeichen mehrten sich in den Jahren 1799, 1804 und 1805, die alle sehr nass waren. Ebenso nass war der Anfang von 1806 und wieder die zweite Hälfte August. Die Holzhauer am Berge beobachteten zunehmende Risse, die sich stets erweiterten und mit Wasser gefüllt waren. Im Walde hörte man sehr oft Knallen vom Zerreissen der über den Spalten gespannten Wurzeln. An der Steinenbergerfluh zog sich eine lange tiefe Felsspalte hin, genannt die „lange Kehle" — wahrscheinlich

war dies der östliche Abrissrand des ganzen Bergschlipfes. Knaben belustigten sich oft damit, Baumstammstücke, die im Walde faulend lagen, hinabzuwerfen. Auf das Gepolter folgte zuletzt ein grosser Platsch, indem die Spalte unten mit Wasser erfüllt war. Häufig hörte man Felsblöcke stürzen, sah Tannen sich schief stellen und fallen. Das alles nahm im Verlaufe des Sommers 1806 beständig zu. Am 1. September war strömender Regen, am Morgen des 2. September sah man von unten an der Gnippe oben Erdabrisse, neue Spalten, und das Steinrollen nahm zu. Am Nachmittag tönte das Abstürzen der Steine wie das Feuerknattern im Kriege. Einigemale sah man grosse Felsstücke unter mächtigem Knallen in den Wald abrollen, dort die Bäume brechend. Abends 4 Uhr zeigte sich eine besonders bedrohliche Querspalte hoch oben. Nahe ob Rothen im unteren Teil des Gehänges öffnete sich ein grosser Riss, 4½ Uhr stürzte eine Felsmasse aus der Steinenbergerfluh. Das war offenbar die Auslösung im untersten Teil des Abrissgebietes, denn jetzt setzte sich alles in Bewegung zu dem entsetzlichen überflutenden Trümmerstrom.

Wichtig ist die Tatsache, dass der Goldauerbergsturz von der ganzen Bevölkerung erwartet war, und dass diese Bevölkerung reichlich die immer zunehmenden Vorboten vor Augen und Ohren hatte und die bösen Veränderungen vom 2. IX. sah. Zum Fliehen wäre Zeit genug gewesen. Nur ganz wenige sind rechtzeitig geflohen, die meisten wollten erst fliehen, als es zu spät war. Alle hätten sich retten können! Warum ist das nicht geschehen? — Kein Bergsturz kommt plötzlich. Alle senden ihre **Vorboten** und bei allen bedeutet eine zunehmende Steigerung der Vorboten die Annäherung der Katastrophe!

1881 Elm. Auch der Bergsturz von Elm hatte reichlich seine Vorboten gesendet. Sie sind wohl beachtet aber nicht verwertet worden. Die Umstände in Elm waren noch sonderbarer und noch unbegreiflicher. Wir müssen darauf demnächst eintreten.

Die Vorbereitung der Bergstürze.

Kein Bergsturz löst sich von seinem Mutterfels von einer Minute zur anderen ab. Eine solche Art plötzlichen inneren Entschlusses zum Absturz ist dem Berge unmöglich. Jeder Bergsturz muss infolge einer Gleichgewichtsstörung mit einer angestrengten Ablösung irgendwo langsam beginnen. Die Schwere ist Antrieb und Ursache. Innerer Zusammenhang der Gesteine (Kohäsion) und Reibung zwischen sich Bewegendem und Festsitzendem setzen der Schwerebewegung Wider-

stände entgegen. Die Trennungen, Pressungen und Zerrungen müssen zunehmen, sich ausbreiten, weitertasten. Je grösser die Masse, die stürzen möchte, desto längere Zeit und mehr innere Arbeit erfordert das Ausreifen. Beim grösseren Bergsturz dauert die Vorbereitung nicht nur Wochen, sondern Monate, Jahre und Jahrzehnte, sogar Jahrhunderte! Erst muss das Gleichgewicht zwischen abwärts zerrendem und drängendem Gewicht einerseits und Widerständen (Reibung, Verklemmung und anderen Hemmnissen) andererseits gerade genau erreicht sein, dann ist „noch mancher Faden zu zerreissen", um der Schwere das Übergewicht zu geben und ihr die Bahn zum Siege zu öffnen. Das ist aber noch nicht der Moment zum Absprung. Es geht noch einige Zeit. Nun entstehen die Vorboten zum Beginn des Absturzes. Innerhalb nur weniger Tage, vielleicht nur weniger Stunden, durchreissen knarrend, rasch einer nach dem anderen, die noch gebliebenen „Fäden", bis dann endlich nach noch einigen Minuten grösster Beschleunigung und Anstrengung krachend die rasende Talfahrt geschieht — die Sturzmasse schiesst befreit einher.

Diese Vorgänge sind sehr verwickelter Natur. Eine genaue Grenze zwischen den verschiedenen Stadien der Absturzvorbereitung ist nicht anzugeben. Alles entwickelt sich in unmerklichen Übergängen. Die schwierige Loslösung der ganzen Sturzmasse musste eben auf der ganzen weiten, vielleicht unregelmässig gestalteten Abrissfläche sich Schritt um Schritt erzwingen. Beschleunigung beherrscht die Vorgänge bis in den Absturz hinein.

Ich will nur die Haupterscheinungen der Vorbereitung und Vorboten der Bergstürze hier andeuten:

Bei Schuttbewegungen wie bei Felsbewegungen ist meistens die erste sichtbare Erscheinung die Spaltenbildung im Abrissgebiete, und weiter unten manchmal fast gleichzeitig die aufgestauten Wülste. Die klaffenden Spalten verlaufen mehr oder weniger quer zur Bewegungsrichtung, die Scherklüfte an den Flanken parallel mit der Bewegungsrichtung. Neue Spalten und neue Bewegung ist meistens gekennzeichnet durch die Spannung oder die Abrisse von Pflanzenwurzeln, welche obere und untere Seite der Spalte verbunden hatten. Im inneren Teil des Abrissgebietes können die Spalten ziemlich kurz und zahlreich sein, während bei Felsbewegungen wie bei Schuttbewegungen immer deutlicher und zusammenhängender der obere Randabrissbogen sich ausbildet, der den oberen Anrissrand der ganzen Massenbewegung bedeutet — entsprechend der Randkluft der Firnmulden in der Eiswelt. Wir kennen Fälle, wo ein halbkreisförmiger

Abriss von Jahr zu Jahr vorschreitend, bald an einer Flanke, bald in der Mitte beginnend auf eine Länge von einigen 100 bis auf 1000 m sich im Verlauf von 30 bis 50 oder mehr Jahren, ausgebildet hat, unter gleichzeitiger Absenkung der unteren Seite, erst vielleicht 1 dm im Jahr, dann mehr und mehr bis auf Beträge von mehreren — von über 10 m. Aus der Gestalt solcher Abrisse kann man den Charakter des bevorstehenden Ereignisses erkennen (Dimensionen, Tiefgründigkeit, nur ein Sturz oder geteilt in mehrere etc.). Sehr oft habe ich als einfachstes Mittel zur Kontrolle der Bewegung einen guten Pfahl auf jeder Seite der Spalte eingeschlagen. Am oberen Pfahl wurde ein guter Draht angebunden und derselbe über die Spalte zum unteren etwas höheren Pfahl geführt und dort überhängt am Ende mit einem schweren Stein gespannt. Die Höhenlage des Steines kann am Pfahl von Zeit zu Zeit markiert werden und so wird die Bewegung kontrolliert und gemessen. Sehr oft haben wir auf diese einfache Art nach einigen Jahren ein Emporziehen des Steines um 2, 3, 4 m als Ausmass für Erweiterung der Spalte und Absenkung des Abgetrennten gewonnen. Manchmal habe ich auch nur mit eingeschlagenem Nagel den Stirnpunkt der Pfähle fixiert und dann bei jedem Besuch durch mich, oder durch Mithelfer (Wegmacher, Förster etc.) mit Messband die jeweilige Distanz der 2 Fixpunkte gemessen. Je nach den lokalen Verhältnissen kann man auch noch anders verfahren. Oft nützt es uns schon, einen Stein in die Spalte zu klemmen und später nachzusehen. Immer hat die wirkliche Messung grossen Vorteil gegenüber der blossen Schätzung nach Erinnerung.

In schwierigen Fällen haben wir auch schon oft feine Messinstrumente und Messmethoden zu Hilfe gezogen, so z. B. zur Kontrolle der Ufereinsenkungen in Horgen 1875, in Zug 1887. Später sind genaue trigonometrische Vermessungen zur Bestimmung des Fortschreitens von Bergsturzbewegungen durch das eidgenössische topographische Amt ausgeführt worden, so an der Walliser Pointe de Rosa Blanche (Entremont und Hérens) 3348 m. Dann 1926 beim Schieferbruch in Engi westlich des Sernft, seit 1828 am Monte Arbino im Tessin, dessen Hauptabsturz am 2. X. 1928 stattfand, und nun seit 1928 regelmässig am Kilchenstock ob Linthal. Von dem letzteren ist hier Näheres zu berichten.

Vom Kilchenstock ob Linthal und den dortigen Vermessungen.

Der **Kilchenstock**, das nordwestliche Ende eines Ausläufergrates der Hausstockgruppe, östlich 1000 m über dem Dorf Linthal gelegen, gehört zu den Bergen, die durch einzelne Steinschläge seit wohl

100 Jahren die Bewohner — nicht aufgeregt, sondern abgestumpft — haben (Fig. 35 und T Fig. 36 und 37).

Der ganze Berg ist aus gefalteten Flyschgesteinen (Tonschiefer mit Einlagerungen von Bänken aus Sandstein, Quarzit, Taveyannazsandsteinen) aufgebaut. Die Schichtlage ist verworren, vorherrschend gegen SSE geneigt, hie und da scharf gefaltet. Auf seinem Kopfe trägt der Kilchenstock eine 35° gegen NW geneigte Mütze von dem quarzitischen, dem Taveyannazgestein sich annähernden Sandstein, von etwa 15 bis 25 m Mächtigkeit. Dieses Gesteinsdach ist in rutschender Bewegung. In Richtung NW ist es etwa 350 m lang, in der Querrichtung 75 bis 125 m breit. Der höchste Abriss ist in 1695 m Meereshöhe. Von da reicht der Quarzitsandstein bis etwa 1500 m Höhe hinab, wo er mit steiler Wand abgebrochen endigt (Fig. 35 u. T Fig. 37). Darunter folgt die Steinschlagrinne Hochätsch. Sie hat nur wenig leichte Krümmungen und bei 1250 m Höhe eine besonders steile Stufe. Im Mittel beträgt, von 1500 m bis 950 m hinab, der Fallwinkel 44°, von 950 bis 750 m 34°, dann noch von 750 bis 700 m 28°, bis sie auf dem fast horizontalen Talboden ausläuft. Im gesamten Mittel bis auf den Schuttkegel hinab beträgt das Gefälle dieser Steinschlagrinne, welche die Hauptsturzfurche des drohenden Bergsturzes sein wird, 40°. Sie ist also steiler als die meisten trockenen Schutthalden. Kein Trümmerwerk kann in ihr liegen bleiben. Ihr Grund ist der anstehende Fels. Schon oft sind einzelne Blöcke von der Kilchenstockmütze weg bis dicht an die Häuser von Linthal-Dorf gesprungen. Die alte katholische Kirche musste wegen den Steinschlägen aufgegeben werden.

Im Herbst 1926 wurde man darauf aufmerksam, dass die oberste gegen Linthal geneigte Kappe des Kilchenstockes reichlich neue Risse zeigt. Im Sommer 1928 wurde durch die Geologen die Zunahme der Bewegung an der Erweiterung und Zunahme der Risse festgestellt. Auf unsere Anregung hin berief der Regierungsrat von Glarus im November 1928 eine beratende Versammlung, zusammen mit den Geologen, dem Kantonsingenieur, Kantonsförster, Sprengstofftechniker, Topographen nach Linthal. Es wurde eine kartographische Aufnahme des ganzen Gebietes und eine genaue trigonometrische Vermessung des Abrissgebietes mit regelmässiger Kontrollmessung einer grösseren Anzahl von Punkten verlangt. Das alles ist einstimmig beschlossen und durchgeführt worden. Herr H. HÄRRY von der eidgenössischen Landestopographie hat im Abrissgebiete etwa 25 Punkte fixiert und markiert, derart, dass man nun von Halbjahr zu Halbjahr die Bewegung derselben samt ihrer Richtung im Raume in Millimetern genau bestimmen kann. Wir besitzen bis jetzt (1. VIII. 1932) schon zehn solcher Messungsberichte mit je einem halben Jahr Zwischenraum. Ausserdem wurde noch, wenigstens für einige der Fixpunkte auf dem Scheitel des Kilchenstockes, eine zwei- bis viermalige Vermessung per Monat von der gegenüberliegenden Talseite (Rämis) aus eingerichtet, und im Abrissgebiet noch einige besondere Messungsgelegenheiten geschaffen (Fisur gegen horizontale Messlatte).

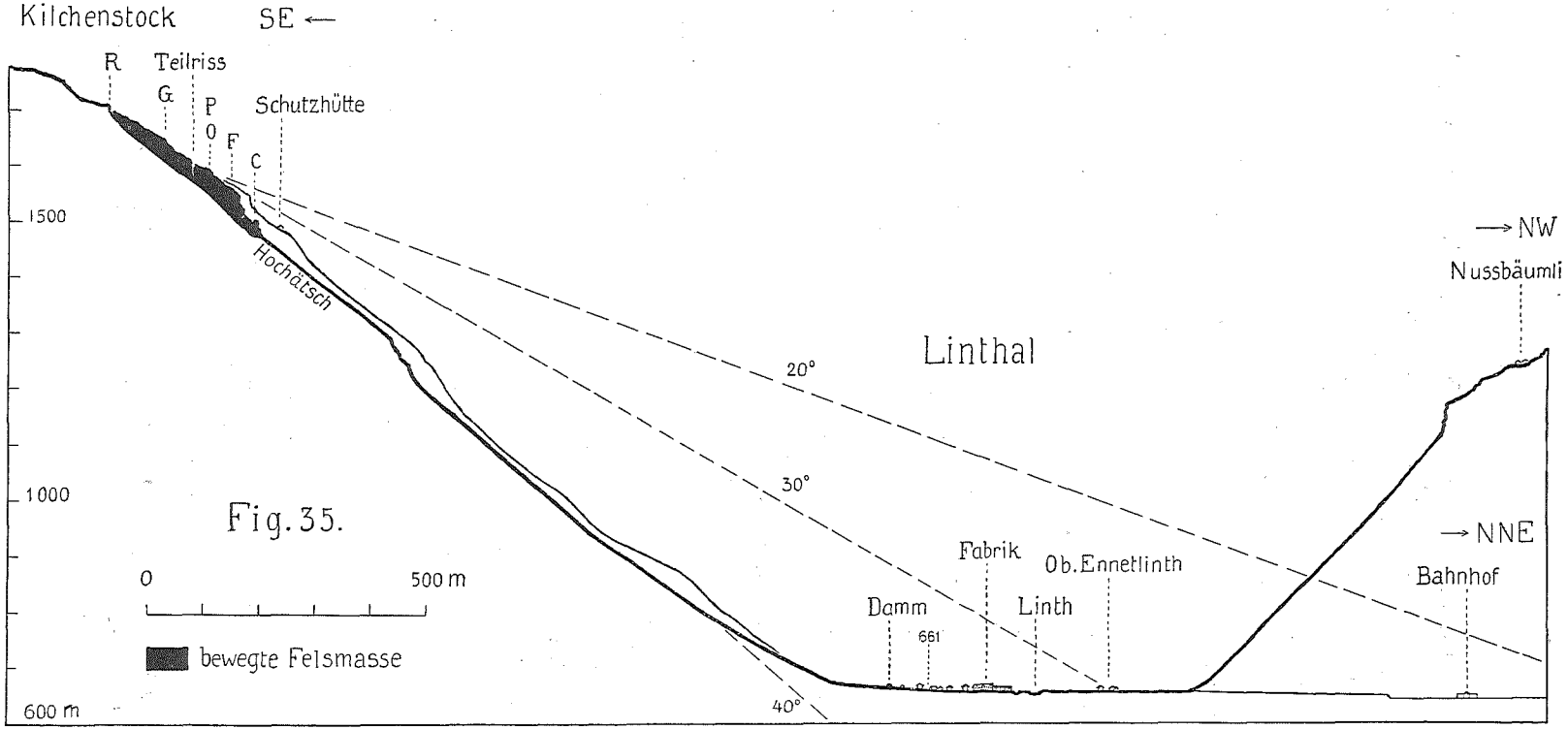

Kilchenstock
SE ←
R
Teilriss
G
P
O
F
C
Schutzhütte
1500
1000
600 m
Hochätsch
20°
30°
40°
Linthal
→ NW
Nussbäumli
→ NNE
Bahnhof
Fabrik
Ob. Ennetlinth
Linth
Damm
661
0
500 m
bewegte Felsmasse

Fig. 35.

Diese Messungen haben ergeben, dass die ganze Quarzitkappe des Kilchenstockes sich in der Gefällsrichtung langsam gleitend bewegt.

Die Messungen 1928 bis 1932 haben folgende Tatsachen festgestellt:

1. Die Bewegung steht in den Monaten Januar, Februar und März still. Wir kannten einen „Winterschlaf" der Bergsturzbewegungen schon lange, aber hier am Kilchenstock ist er zum ersten Mal genau messend erfasst worden, verglichen stets T Fig. 36.

2. Alljährlich beginnt die Bewegung langsam im Monat April, sie steigert sich dann langsam, mit steter Beschleunigung bis gegen den Winter hinein. Das Maximum des Vorschubes fällt oft erst tief in den Winter. Im November oder Dezember oder erst im Januar setzt ziemlich rasch der Stillstand ein. Dabei ist auffallend, dass die Geschwindigkeit der Bewegung vor dem Winterschlaf viel rascher abnimmt, als sie nachher im Frühling wieder zunimmt.

3. Am Kilchenstock nimmt regelmässig, ungestört durch die Winterschläfe, die Geschwindigkeit der Gleitbewegung seit Beginn der Messungen von einem Jahr ins folgende zu. 1927 war der mittlere tägliche Vorschub der gemessenen Punkte etwa 1 mm per Tag, im Jahre 1928 1½ bis 2 mm, 1929 2 bis 2½ mm, 1930 mehrere mm, 1931 rückten manche Punkte 10 mm per Tag vor, im Juli 1932 stieg bei vielen Punkten die Bewegung auf 20 bis 30, im August einige Male bis über 40 mm im Tag! Die Fallrichtung der Bewegung war recht gleichmässig, im Mittel 33° gegen NW. (T Fig. 37.)

4. Die Kurven, welche in graphischer Darstellung die Bewegungen innerhalb der Messungsjahre zeigen, verlaufen durchweg glatt, niemals unregelmässig eckig. Die Bewegung geschieht also durchweg in einer höheren Gesetzmässigkeit, und alle Veränderungen vollziehen sich in weichen Übergängen und Abhängigkeiten.

So gesetzmässig — ähnlich der Bewegung des kleinen Zeigers einer Taschenuhr, das ist überraschend! Die Naturmacht, welche eine Felsmasse von etwa 1—2 Millionen Tonnen Gewicht an einem Bergstock jahrelang, lautlos, täglich bis mehrere Millimeter schief abwärts bewegt, weiss was sie will — was sie muss. Sie ist gewaltiger als wir Menschen, und wird der treibenden Schwerkraft gehorchen bis zu ihrem Ziele, auch wo es uns schädigt. Es scheint mir nicht denkbar, dass diese Bewegung wieder aufhöre, dagegen wird sie sich wie bisher beschleunigen bis zur Katastrophe. Beschleunigung bedeutet Warnung! Am Kilchenstock bereitet sich ein Bergsturz mit eiserner Konsequenz vor.

Die Ausdehnung und Grösse der Gefahr hängt aber noch von der Art der Loslösung sehr stark ab. Geht die ganze sich bewegende Bergkappe auf einmal in die Sturzbewegung über, so fährt sie sehr weit auf die gegenüberliegende Talseite und noch ein Stück als abgelenkter Trümmerstrom talauswärts. Es kann aber auch sein, dass die bewegte Felsmasse innerlich schon so zerrissen ist, dass sie in mehrere Fetzen geteilt, ein Stück nach dem andern in Absturz gelangt. Dann bleibt die Ausbreitung der Verschüttung viel enger begrenzt. Darin liegt unsere Hoffnung. Gerade zu dieser Frage soll die konsequente Messung der Bewegung uns die Antwort nähern.

Erst der 7. Vermessungsbericht vom X. 1930 zeigt deutlich eine Trennung in der Bewegungsrichtung von oberem und unterem Teil des Abrissgebietes. Im unteren Teil (Gebiet Messpunkte O, P, M, E) wendet sich alles ausgeprägt nach WNW gegen die Hochätschrinne, und dieser Teil grenzt sich immer zusammenhängender vom oberen ab durch einen nach oben konvexen Abrissbogen, der bis höchstens 1615 m am Ostrande hinaufreicht (T Fig. 37). Der obere Teil (Messpunkte L, F, G, R) gleitet gegen NNW, den unteren mit ca. 30° in die Seite stossend. Das bleibt auch so im 8. bis 10. Bericht nur mit dem Unterschiede, dass die NNW-Bewegung im oberen Teil an Stärke stark abnimmt, als ob da der untere stauend wirkte, während die Bewegung im unteren Teil gegen Hochätsch von Jahr zu Jahr sich beschleunigt.

Kurz ausgedrückt: Die Messungen berechtigen die Hoffnung, dass der Bergsturz sich in wenigstens zwei Stürze teile und dadurch seine bösen Folgen bedeutend mildere.

Die beiliegende T Fig. 36 gibt ein Bild der Bewegungen im Abrissgebiet am Kilchenstock nach Zeit und Betrag. Die Steilheit der Linien zeigt rasche Bewegung, die horizontalen Stücke bedeuten Stillstand (Winterschlaf). T Fig. 37 deutet auch die Bewegungsrichtung an.

Die Deutung der Vermessungsresultate ist freilich für uns eine neue Aufgabe, an welche wir noch fast ohne Erfahrungen herangestellt werden. Der Kilchenstock ist der erste Fall, der in so gründliche Messungskontrolle genommen worden ist, und überdies ist sein Bewegungsspiel ja noch nicht fertig. Wir wissen noch nicht, was wir erst noch an ihm und an weiteren Fällen zu erwarten haben. Die Vermessungsmethode wird uns vielleicht im Laufe der Zeit neue Einsichten eröffnen, von denen wir noch keine Ahnung haben.

Schon am Kilchenstock hat uns der Mangel an Erfahrung einmal getäuscht. Wir wussten, dass die Mehrzahl der grossen Bergstürze im September fällt, und dass im Winter ein Stillstand waltet, dessen Ursache wir im Mangel an Einsickerung durch den Frost bedingt annahmen. Als nun 1930 die regelmässigen Messungen am Kilchenstock eine Beschleunigung der Bewegung für alle Punkte noch vom September in den Oktober, und im November statt einer Abnahme die grösste Bewegung auf-

wies, die bisher jemals hier oder an andern Orten (Arbino, Engi) gemessen worden war, während wir meinten, es wäre schon volle Zeit zum Beginn des Winterschlafes, und derselbe im Jahr 1929 schon anfangs Dezember fertig entwickelt war, als überdies auch die Steinschläge, Geräusche im Berg, neue Risse und Erweiterung vieler der bestehenden gemeldet wurden — da wurde uns bange. In meiner Qual siegte schliesslich die Überlegung: Eine verfrühte Flucht ist das geringere Übel als ein auch nur eine halbe Stunde zu später Ruf zur Flucht. Am 18. XI. telegraphierte ich an den Herrn Landammann: „Absturz scheint nahe, empfehle Anordnung zur Räumung und Flucht." In ähnlicher Art handelte mein Kollege Prof. STAUB unabhängig von mir, da wir uns zu gemeinsamer Beratung nicht treffen konnten.

In der zweiten Hälfte Dezember nahm die Bewegung wieder ab, Mitte Januar 1931 endlich trat der verspätete Winterschlaf ein! Noch heute steht der sich bewegende Fels an seinem Platz.

Aus Fig. 36 ist zu sehen, dass der Winterschlaf am Kilchenstock begonnen hat: Mitte I. 1929, dann wieder Anfang XII. 1929, wieder Anfang I. 1931 und bei einigen Punkten erst Anfang II. Das ist eine Variation von zwei Monaten.

Unverständlich ist für uns heute noch, dass die Bewegung sich noch so weit in den Winter hinein, teilweise beschleunigend zieht, während es auf der Höhe des Kilchenstock in keinem dieser Jahre an anhaltendem Frost schon zwei Monate vorher gefehlt hat. Und unverständlich ist überhaupt diese jetzt von Jahr zu Jahr starke Steigerung der Geschwindigkeit — wie lange kann das noch so fortgehen? Es ist wohl verborgene Ausarbeitung der Gleitfläche.

Die gewöhnlichste Frage ist stets: Wann wird der Bergsturz eintreten. Wann sollen wir fliehen?

Aus den bisherigen Messungen und Vorboten können wir nur sagen: Er wird einschlagen, aber wird sicher nicht im Januar, Februar oder März fallen, am wahrscheinlichsten erst nach August. Wir können auch, solange die Vorboten nicht viel lebhafter als jetzt (Juli 1932) werden, bestimmt sagen: in den nächsten Tagen noch nicht. In welchem Jahre er fallen wird, können wir nicht sagen. Mit Sicherheit ist zu erwarten, dass eine bedeutende Beschleunigung der zu messenden Bewegungen (jetzt allerdings der Fall!) über das bisherige hinaus dem Absturze vorausgehen wird, aber ob nur einige Tage, oder schon einige Wochen voraus, wissen wir nicht. Das sicherste Anzeichen für baldigen Absturz wird sein: Die gleichzeitige Beschleunigung der Bewegung zusammen mit starker Zunahme der Steinschläge und mit hörbarem Knarren im Innern des Berges. Über das letztere kann nur der Wächter am Berge berichten, unten wird man es nicht hören, und es kommt erst wenige Tage oder Stunden vor dem

Absturz. Ich habe die Überzeugung, dass man bei richtiger Beobachtung, wie sie organisiert ist, 4 bis 8 Tage vorher die Katastrophe wird anrücken hören, ein bis zwei Tage vorher wird der Kilchenstock ein eindrückliches Sturmgeläute in Gang setzen — dann fliehet, es ist höchste Zeit!

Auf die Frage: „Sollen wir die gefährdeten Teile des Dorfes mit unseren Häusern schon vor dem Fluchtsignal verlassen", antworte ich: Ja, das ist das vernünftigste. Dann müsst Ihr nicht noch lange in peinlicher Unsicherheit unter den Drohungen des Berges leben; dann habt Ihr die Zeit, in Ruhe und mit Überlegung umzuziehen und alles Bewegliche, das Euch lieb ist, in Sicherheit zu bringen, statt in Todesangst fliehen zu müssen.

Ist denn keine Möglichkeit, dass der Berg von selbst ganz in Ruhe kommt? Weil alle unsere menschliche Einsicht unvollkommen ist, so muss ich antworten: ja vielleicht doch kann er nach unbedeutenden kleinen Abstürzen wieder ganz ruhig werden, für Jahrzehnte. Die Teilblöcke des Bewegten könnten sich untereinander zu einer Barriere verklemmen, Bruchstufen am sich Bewegenden könnten in Stufen der Unterlage eingreifen. Allein das wären alles ganz sonderbare zufällige Dinge. Ehrlich müssen wir sagen: Ein Ende der Bewegung mit Stillstand ist in hohem Grade unwahrscheinlich, fast undenkbar.

Selbstverständlich ist auch betreffend den Kilchenstock die Frage nach künstlichem Eingriff zur Ausschaltung der Gefahr reichlich aufgeworfen und gründlich studiert worden. Künstliches Absprengen, künstliches Annageln durch Eisenstangen in Bohrlöchern, künstliche Bewässerung zum Abtreiben, Stollen von unten an die Rutschfläche zur Entwässerung, überhaupt irgendeine Art der Entwässerung, Stützmauern und Pfeiler am unteren Rand u.a.m. sind empfohlen worden. An unserem Patienten ist nichts von alledem, aber auch gar nichts mit der geringsten Aussicht auf Erfolg anzuwenden, wohl aber sehr gefährlich. Den Schutzwall hinter dem Dorfe verstärken? Und wenn wir diesen auf 3fache Basisbreite und auf 3fache Höhe verstärken würden, und es kommen vom Kilchenstock nur 250,000 m³ Felssturz — 1 bis 1½ Millionen sind bereit — so würde er als lächerliches Kinderspielzeug weggefegt werden. Einzelne Steinschläge oder einen kleinen Muhrgang oder auch blosse Steinlawinen kann er abhalten, aber nicht einen Felssturz.

Doch von der Vermessung und dem besonderen Fall Kilchenstock nochmals zurück zu den ohne weitere Hülfsmittel zu bemerkenden Vorboten, wie sie sich sehr ähnlich bei allen grossen Bergstürzen von Typus XIV und XV einfinden:

Mit der fortschreitenden Ausbildung der Spalten Hand in Hand geht das Ablösen von Felsblöcken, oder grösseren Felsmassen, besonders an den Rändern des Abrissgebietes, wo Bewegung und Stand sich reiben. Meistens sind diese randlichen Steinstürze viel reichlicher als solche aus der Mitte, sogar als solche am Stirnrand. Das Gepolter fallender Steine nimmt stark zu mit dem Herannahen der Katastrophe. Eine bis zwei Wochen vor dem Absturz wird es ungewöhnlich und auf-

fallend. Zwei Tage vorher brechen in der Regel einzelne, ganz grosse Blöcke nieder. Nun hört man, besonders in stiller Nacht, ein Knirschen und Knarren im Innern des Berges und spürt ein Zittern des Bodens, auf dem man steht.

Das ist das Stadium der Vorboten, in welchem die Tiere weit sicherer als wir empfindsam sind. Bienen, Hühner, Katzen, Hunde, Rinder, Pferde werden unruhig und fliehen. Sie retten sich oft dadurch, während die Menschen warten, bis sie getroffen werden.

Nun nähert sich die Katastrophe. Am Tage des Absturzes nimmt der Steinfall zu. Dann folgen meistens einige Steinlawinen, ausbrechend aus dem Rande des bewegten Felskörpers, einige Stunden, oder auch nur Bruchteile einer Stunde vor dem Hauptsturz! Plötzlich wird es zu spät zur Flucht, denn die Hauptmasse schiesst mit der Geschwindigkeit eines Geschosses unter furchtbarem Donnern den Berg hinab und über den Talboden weit hinaus. Der Hauptsturz ab Kilchenstock wird bis ins Dorf keine halbe Minute gebrauchen.

Halten wir als Hauptresultat unserer bisherigen Betrachtung fest:

Die grossen Bergstürze bereiten sich langsam vor und kündigen sich Wochen, jedenfalls Tage vorher an!

(Nachtrag hierzu Seite 214.)

Die Einstellung der Menschen auf die Bergstürze.

In Goldau. Das Durchsuchen aller älteren Berichte über Bergstürze erzählt uns vom Unglück und einiges auch von den Vorboten; aber es sieht dabei aus, als ob die Auswertung des Wahrgenommenen zur Flucht fast niemals geschehen sei. Am schlimmsten ist es da, wo man einen Bergsturz längst vorausgesehen hat. Bezeichnend dafür ist folgender Vorfall: Im Abrissgebiet des Goldauer Bergsturzes, in einem Holzerhäuschen, sitzen drei Männer beim Kartenspiel. Da stürzt ein vierter herein und ruft zur Flucht. Der Älteste geht ruhig vor die Haustür, schaut sich um, stopft sein Pfeifchen und sagt: „Drissg Jahr händ mir jez scho druf gwartet, dass de Berg chömi, er wird wol no warte, bis ich mis Pfifli gstopft ha!“ Plötzlich ein Knall, der Boden schwankt; die jüngeren konnten noch im Sprung den stehenden Boden erreichen, der Alte aber fuhr mit Boden, Wald und Häuschen zu Tale. Ein Bewohner oben am Spitzenbühl brach zwei Tage vor dem Absturz sein Häuschen ab und flüchtete Material und Familie auf sicheren Grund. Das war der einzige Mensch in Goldau, der auf Grundlage von Einsicht vernünftig handelte. Beängstigt durch traumartige Vorgefühle verliessen drei Bewohner von Goldau den Ort, zwei Tage vor dem Absturz. Sonst blieben die Goldauer im Dorf und fast

überall in den Häusern: „Da hat noch viel Platz bis es uns erreicht." Hierin tritt uns der eine grösste Irrtum entgegen: Man meint, die abstürzende Masse bleibe gleich am Fusse des steilen Gehänges liegen! An der Strasse bei Grossweiher ist die Hauptgrenze zwischen Fahrbahn und Ablagerung. Da war der Fuss des Abhanges. Diese Stelle lag ursprünglich bei etwa 490 m und gerade in der Mitte des Stromstriches. Das alte Dorf Goldau lag von hier 1000 bis 1200 m weiter gegen SW und etwa 750 m westlich von der Mittellinie des Trümmerstromes, dazu etwa 30 bis 40 m höher, als der Boden am Fuss der Fahrbahn. Das genügte den unerfahrenen und überlegungslosen Menschen, um sich vollständig gesichert zu fühlen! Man übersieht die Schussenergie, die sich in der Trümmermasse durch Abgleiten um 1000 m Höhe gebildet hat; man übersieht, dass eine so geladene Masse am Bergfuss nicht stille bleiben kann und dass sie auch imstande ist, 100 bis 200 m bergan zu rennen, oder in die Breite auseinander zu fahren, bis sie ausgetobt hat. Kein einziger Dorfbewohner dachte an Flucht, sie sind alle unter dem Trümmerstrom begraben. Der Trümmerstrom breitete sich fächerig gegen SW, S und SE aus und brandete wenigstens 100 m hoch an den Felsen des Rigifusses empor. Der Trümmerstrom ging über die Häuser von Röthen, über ganz Goldau bis Busingen und Lowerz. Verschüttet wurden 457 Menschen, zerstört 111 Wohnhäuser, 2 Kirchen, 220 Scheunen und Ställe mit viel Vieh. Im ausgeschürften Randwulst fand man viele unkenntliche Fetzen von Menschen. Im äussersten Randwulst waren auch einige Menschen gefangen, die man unverletzt — in einem Fall mit einem Beinbruch — retten konnte, und in der äussersten Randregion konnten auch einige in den letzten Sekunden noch entfliehen.

Herr Dettling in Oberbusingen erkannte die Gefahr auch für Busingen, er rettete viele, indem er sie zu sofortiger Flucht in sicherer Richtung aufrief. Er rettete viele Tiere, aber er selbst ist in seinem Haus mit seiner Familie verschüttet worden, zur Rettung von sich und den Seinigen war es zu spät.

Bei richtiger Würdigung der bekannten Vorboten und richtiger Erkenntnis der Erscheinung der grossen Bergstürze überhaupt, hätten sich zwei Tage oder gar noch einen halben Tag vor der Katastrophe leicht alle Menschen in Sicherheit bringen können.

Das klassische Buch von Dr. Zay, aus Arth, aus dem Jahre 1807 ist die Hauptquelle unserer Kenntnis der Vorgänge von Goldau. Am 2. IX. 1920 ist von Herrn Kaplan G. Ott in Goldau ein gutes kleineres Erinnerungsbuch über den Bergsturz herausgegeben worden, auf das hier auch noch verwiesen werden soll, da Zay nicht mehr erhältlich ist. Martin Ulrich erzählt Goldauer Erlebnisse 1836 (Verlag Z'graggen, Altdorf), manches ist gut ergänzend.

Die Einstellung der Menschen in Elm vor dem Bergsturz.

(Fig. 17, T Fig. 19 und Fig. 20).

Die vollständigsten und genauesten Auskünfte über die uns jetzt z. T. unbegreifliche Einstellung der Menschen bei herannahendem Bergsturz liefert uns **Elm** (BUSS und HEIM „Denkschrift"). Dabei liegt es mir ganz ferne, Tadel austeilen zu wollen. Wir wissen nicht, ob wir an gleicher Stelle besser gehandelt hätten, und nach dem Ereignis ist es leicht zu kritisieren. Es gilt aber, die Erfahrungen und Lehren eines solchen Ereignisses zum Wohle der Zukunft nicht in Vergessenheit geraten zu lassen. Es gilt, die Wahrheit festzuhalten, denn nur die Wahrheit ist gut und hilft uns zur Besserung.

Der Bergsturz von Elm ist ganz nur durch die Ausbeute der Schiefertafeln am Abhang des Tschingelberges verursacht worden. Das lag nach dem Ereignis so klar vor Augen, dass selbst von den daran Beteiligten niemals ein Wort für eine entgegenstehende Ansicht gesprochen oder geschrieben worden ist.

Bei uns in der Schweiz bestund ja ausser dem verlassenen Goldbergwerk in Gondo und dem ebenfalls jetzt verlassenen Kohlenbergwerk in Käpfnach (am Zürichsee) kein richtig geführtes Bergwerk, und der Bergwerkbetrieb war etwas allgemein Unbekanntes. Man wusste auch nicht, dass Bergbau eine technische Wissenschaft ist, die man erlernen sollte, bevor man einen Berg in solcher Art angreift. Der „Landesplattenberg" in Engi-Matt, wo schon die Römer Schieferplatten ausgebeutet hatten, wurde auch nicht richtig bergmännisch betrieben, und später war ein Übergang zu richtigem Bergbau nicht mehr befriedigend möglich. Die Hauptsache war Tagebau oder Höhlenabbau ohne Ausbau, Pfeilerbau, und doch entstand dort kein Bergsturz bis 9. und 10. IX. 1926. Die Schichtlage ist freilich dort anders als in Elm.

Dass am Abhange des Tschingelberges ganz besonders für Schreibtafeln vorzügliche Schiefer vorkommen, wusste man seit den 50er Jahren des vorigen Jahrhunderts. Zuerst nahm die Gemeinde Engi den Abbau in die Hand, indem sie 1868 das Vorkommen in fünf Abteilungen auf zehn Jahre zur Ausbeute verpachtete. Es wurde in offenem Tagebruch gearbeitet, die Brüche der verschiedenen Konzessionsinhaber standen in offener Verbindung. Das Schieferlager streicht wie der Abhang E — W und fällt mit ca. 30° bergeinwärts (südlich). Die Mächtigkeit ist schwankend. Die gefertigte Ware fand reissenden Absatz. In den zehn Jahren sind Hunderttausende von Franken an Arbeitslöhnen und Reinertrag gewonnen worden. Der Hauptabnehmer war die Schreibmaterialienfabrik A. W. Faber in Nürnberg. 1878 übernahm nun die Gemeinde Elm selbst den Plattenbergbetrieb.

Der Zufall brachte es mit sich, dass leider in der Zeit 1875 bis zur Katastrophe kein wirklich Sachverständiger das Gebiet besuchte und auf den Schieferbruch

aufmerksam wurde. Ich selbst hatte einige Jahre früher darauf hingewiesen, dass diese Art Schieferbruch in Engi und Elm sehr gefährlich werden könnte, und auf diese Äusserungen hin sandte dann die Regierung von Glarus Herrn Schieferbruchmeister Wyss zum Studium nach den Rheinischen Schieferbrüchen. Der Elmerbruch war damals noch kaum begonnen. Aber nun war doch ein einigermassen Sachverständiger im Schieferbergwerkbetrieb im Lande. Man fragte ihn für Elm nicht um Rat.

Man fuhr in Elm wie bisher weiter, kein Stehenlassen von Tragpfeilern oder gar von Bergversatz. Statt den Abraum zu solchem zu verwenden, wurde er einfach ans Gehänge geschüttet und schädigte die unterliegenden Güter. Als einmal die Frage aufgeworfen wurde, ob man nicht unterirdisch ausbeuten sollte, verlangte der Gemeinderat ein Gutachten von einem „Sachverständigen". Als solcher wurde der damalige Kantonsingenieur gerufen. Er hatte in seinem Leben noch nie ein rechtes Bergwerk gesehen. Der unterirdische Bergbau sei „kostspieliger und gefährlicher" und man solle wie bisher fortfahren, das war seine Antwort. Von 1868 bis 1878 war der Schieferbruch in dem steilen Felsgehänge gerade unter dem darüber vorragenden Plattenbergkopf schon 150 m lang geworden. In der Mitte entstund eine kleine Rinne, welche 1872 eine Lawine brachte, die im Bruch vier Arbeiter tötete. Der Schieferbruch wurde seitlich gegen E noch weiter ausgedehnt. Von 1879 bis zum Absturz war der offene Schieferbruch in Elm 180 m E — W lang, er griff 65 m hinter die ursprüngliche Oberfläche in den steilen Fels hinein. Eine ganze Reihe von Häusern hätte zeitweise unter dem überhängenden Felsen Raum gefunden. Kein Mensch dachte beim Anblick dieser furchtbaren klaffenden Wunde, die man in den steilen Felsabhang gehauen hatte, an eine Gefahr! Schon 1876 sah man, dass gerade über dem Schieferbruch in 1550 m Meereshöhe eine Abrissspalte entstanden war. Dieselbe verlängerte sich von Jahr zu Jahr beidseitig und bildete im Sommer 1881 einen Halbkreisbogen, als Rand für einen Nischenausbruch von 400 m Durchmesser, der den Plattenbergkopf und den Schieferbruch umfing. Die Spalte war 2 bis 3 m weit und der äussere Boden — also die ganze Plattenbergkopfmasse — war 4 bis 5 m gegenüber dem Abrissrand abgesunken. Diese einheitliche Abrißspalte wurde „der grosse Chlagg" genannt. Ein Bächlein vom oberen Berge versank im grossen Chlagg und trat etwa 40 m unterhalb des Schieferbruches wieder zu Tage.

In den letzten paar Jahren geschahen erschreckende Dinge. An der unterhöhlten Decke stürzten oft grosse Felsstücke ab; die Unterhöhlungen blieben nie lange ohne Nachbrüche stehen. Die Rückenwand des Schieferbruches rückte gegen N langsam vor. Die Arbeiter keilten Steine in die frisch, oft in der vorangangenen Nacht, geöffneten Felsspalten ein. An diesen beobachteten sie, dass diese Spalten oft

zuerst ruhig blieben, dann aber sich wieder weiter öffneten. Die Deckenbrüche nahmen deutlich von Jahr zu Jahr zu. Oft wurden dadurch Arbeiter verletzt, auch mehrere getötet. Der niedergestürzte Felsschutt wurde einfach an das Gehänge unterhalb des Bruches geräumt und bildete dort Schutthalden. Manche Arbeiter „setzten einen Stolz darein, sich an Frechheit gegenseitig zu überbieten." Einmal, da zwei zusammen ein Sprengloch bohrten, sass der Meisselführer auf einem Felsabsatz, das Meisseleisen zwischen den Beinen, den Rücken an der Bergwand. Während der Arbeit war die Bergwand soviel vorgerückt, dass er zwischen Bergwand und Bohreisen eingeklemmt wurde und mit kräftiger Hilfe befreit werden musste.

Täglich wurde im Schieferbruch mit Pulver und mit Dynamit gesprengt. Es gab Tage, an denen bis 50 Sprengladungen abgeschossen wurden. Die Sprenglöcher wurden häufig im tiefsten unterhöhlten Teile des Bruches noch bis zu fünf Fuss Tiefe in die zurückliegende Bergwand hineingetrieben! Und so hat man Jahre lang drauflos unterhöhlt, ohne einen Stützpfeiler stehen zu lassen oder gar zu bauen.

Der Boden im Walde vom Plattenberg gegen Stäfeli hinauf „blähte" sich stellenweise hoch auf, er zitterte, wenn im Plattenberg gesprengt wurde. Der Abhang erhielt auf der ganzen Weglänge immer mehr grosse Risse. Am 7. IX. 1881 stürzten vom gelben Kopf (östlicher Rand des Abrisses) häufig grössere Steinmassen in die Liegenschaft Rütiweid hinab. Nicht die Arbeiter im Schieferbruch, welche stets vom Knallen der abstürzenden Blöcke umgeben und gefährdet waren, sondern Beat Rhyner, der Bannwärter und Wirt im Untertal, war der erste, der von Bergsturzgefahr sprach und als erster den Gemeinderat darauf warnend hinwies. Dennoch floh auch er selbst nicht, sondern lief im letzten Moment in den Sturz hinein! Am 7. IX. untersuchte eine Abordnung des Gemeinderates das Gebiet. Am 8. IX. „drückte der Berg im Steinbruch besonders stark", und Steine rollten von oben über den Abhang hinab. Abends 5 Uhr fand ein Felsabbruch unter heftigem Knall im Schieferbruch selbst statt. Die Schieferbrucharbeiter vermochten kaum zu entfliehen. Im Innern des Berges hörte man knistern und knattern. Das war nun doch endlich genug, um die Arbeiten im Schieferbruch durch gemeinderätlichen Befehl einzustellen. Alle Werkzeuge wurden zur vermeintlichen Sicherheit in die Warenlager im Untertal, auf der Talbodenebene direkt unter dem Schieferbruch gelegen, transportiert. Jetzt betraten die Arbeiter fortan den Plattenberg nicht mehr.

Nun gab der Gemeinderat von Elm dem Regierungsrate durch die Polizeikommission des Kantons Glarus Kenntnis von der „gefahr-

drohenden Lage am Plattenberg" und stellte an die Behörde das Gesuch um Abordnung eines „Sachverständigen" zur Prüfung und Beratung.

Aber niemand hatte eine Ahnung, was ein „Sachverständiger" hier sein sollte. Als solchen bezeichnete man den damaligen Kantonsförster Seeli, der ein guter Förster war, aber noch nie Erscheinungen der Bergstürze studiert hatte, ebensowenig einen richtigen Bergbau oder einen grossen Steinbruchbetrieb. Er nahm an, muss sich also doch auch selbst für kompetent gehalten haben. Am 10. IX. — dem Tage vor der Katastrophe — begingen Kantonsförster Seeli, Kreisförster Marti in Matt, sowie zwei Mitglieder des Gemeinderates Elm, der eine davon der berühmte Bergführer Heinrich Elmer, das Gebiet. Herr Seeli vermutete zuerst als Ursache der Situation Untergraben des Gehänges durch den Tschingelbach und berichtet: „Wir konnten aber keine auffallenden Erscheinungen beobachten, weder an den Ufern, noch an den Waldbeständen am Fusse, die Hauptursache des Übels musste oben im Berge gesucht werden" (!). Dann beobachteten sie den Durcheinander von gefallenen Bäumen auf dem Gelben Kopf und dem spaltendurchkreuzten Gehänge des Tschingelberges. „Teils um das schöne Holz nicht verloren gehen zu lassen, teils um den Druck des schweren Holzes auf eine allfällige Terrainbewegung soweit möglich zu mildern" (!), wurde vom Herrn Oberförster, „insofern überhaupt jemand an diese Stellen sich wagt", gänzliche Entfernung des Holzes angeordnet. An Ort und Stelle hatte der Kreisförster Marti sofort mit aller Bestimmtheit erklärt: Dort hinauf gehe er nicht mehr und schicke auch keine Arbeiter hinauf. Er erwarte einen Bergsturz jeden Tag, und wenn er zu befehlen hätte, liesse er sofort alle Häuser im Untertal räumen und die Bewohner müssten fliehen. Aber er wurde vom Kantonsförster und vom Gemeinderat Heinrich Elmer seiner Angstlichkeit halber fast verspottet, und konnte sich nicht durchsetzen. Der berggewohnteste und kundigste Mann von Elm sah die Gefahr am wenigsten ein! Das noch am gleichen 10. IX., dem Vortag der Katastrophe, abgegebene Gutachten des Kantonsförsters endigt mit folgendem Satz:

„Weder an der Plattenbergwand, noch am übrigen Terrain konnten Veränderungen wahrgenommen werden, die einigermassen auf grosse Gefahr hätten schliessen lassen, wenngleich über die Felswand hinunter von Minute zu Minute grössere und kleinere Geröllmassen fielen" (Seeli).

Dieser Satz ist bezeichnend für die ganze Einstellung der beteiligten Menschen. Sie sahen die gefährlichen, in steter Steigerung be-

findlichen Erscheinungen, und dennoch glaubten sie nicht an grosse Gefahr! Was für Vorboten oder Zeichen verlangten sie noch? Sie durchforschten unten die Bachufer, und gingen beruhigt weiter, als sich dort kein Schaden zeigte; sie wollten oben die Bergköpfe durch Wegnahme des Holzes entlasten. **Aber die entsetzliche klaffende Wunde, die dem Steilgehänge in seiner Mitte durch den wahnsinnigen Betrieb des Schieferbruches beigebracht worden war, blieb unbeachtet!!**

Der Herr Kantonsförster meldete dem Herrn Gemeindepräsidenten: „dass im Verlaufe dieses Jahres im Plattenberg nicht gearbeitet werden „dürfe bis nach der nächstjährigen Schneeschmelze". Der Herr Gemeindepräsident „war aber darüber sehr erstaunt, die lange verdienstlose „Zeit für 80 bis 100 Arbeiter betonend". Der sonst so kluge und einsichtige Gemeindepräsident war vor der furchtbaren Erfahrung noch geneigt, ob dem finanziellen Interesse seiner Gemeindegenossen die Gefahr zu übersehen.

Am Sonntag, den 11. IX. 1881 wurde beim Gottesdienst in der Kirche Elm das Gepolter der Abstürze störend. Von den Abrissrändern rollten, mit Zwischenpausen von nur $^1/_4$ bis $^1/_2$ Stunde, grosse Blöcke, Staubwolken nach sich ziehend, auf den Talboden von Untertal. Diese Erscheinung nahm sichtlich zu. Nachmittags hörte man, auch wenn die Steinschläge schwiegen, ein Tosen im Berge auf grosse Distanz. Was hätte denn der Berg für noch stärkere Sturmglocken anziehen sollen, um die nahe Katastrophe zu verkündigen und zur Flucht zu rufen?

Was taten aber die Menschen? Sonntag nachmittags machten viele Neugierige einen Spaziergang zu ihren Bekannten und Verwandten ins Untertal, um dem Berg zuzusehen!

Es scheint, dass in Elm der einzige Mensch, der die Gefahr frühzeitig richtig empfunden hat, das achtjährige Töchterlein Katharina Disch war. Sie war im Dorf Elm für einige Zeit und folgte der zweimaligen Aufforderung ihrer Mutter, nun wieder zu ihr nach Untertal zu kommen, nicht. Sie „fürchte sich vor dem Steingepolter". Zur Zeit des Absturzes war sie von Elm noch weiter talaufwärts (westlich) geflohen. Sie einzig ist am Leben geblieben von ihrer Familie, die neun andern sind verschüttet.

Tiere sind für die Vorzeichen oft empfindlicher, als die Menschen. Es mag das daher kommen, dass sie mit dem Erdboden mehr in Verbindung sind als wir. Der viel feinhörigere Hund liegt mit dem Ohr unmittelbar auf dem Boden, während uns Gebäude, Bettstatt, Matratze und Kissen davon trennen. Noch massgebender scheint mir zu sein, dass das Tier einem unangenehmen ungewöhnlichen Gefühle sofort ehrlich glaubt und gehorcht, während der stumpfere und kompliziertere Mensch weniger spürt und stets Ausredegedanken bereit hat, um sich selbst zu beschwichtigen. Das Tier gehorcht sich selbst

sofort. Aus Elm wurde bezeugt, dass zahlreiche herrenlos gewordene Katzen und Hühner einige Tage nach dem Sturz den Rand des Schutthaufens absuchten. Sie fanden ihre Heimathäuser nicht wieder. Gleiches tat ein Hündchen in Goldau. Um nachher die verschüttete Heimat zu suchen, mussten sie merkwürdigerweise rechtzeitig der Katastrophe entflohen sein. Eine Kuh des Matthias Rhyner im Aeschen weidete zwischen Aeschen und der Untertalstrasse. „Einige Zeit nachdem der erste Vorsturz niedergefahren war, erhob sie ein markdurchdringendes Gebrüll, und rannte mit aufgerichtetem Schwanz in gerader Linie ohne Unterbrechung dem nördlichen Bergabhang zu". (Ganz richtig quer zur Schussrichtung des kommenden Stromes!) Kaum war sie hoch genug am Abhang, „so brauste die Steinwolke heran, bedeckte die Wiese, auf der sie eben noch gegrast hatte, ihren Stall und das Haus des Besitzers. Sie war gerettet, die Hausbewohner, sechs an Zahl, liegen unter den Trümmern, ebenso M. Rhyner selbst, der neben der Kuh stand, aber ihrem Beispiel nicht folgte, sondern an den Berg hinauf schaute. Tiere haben richtig empfunden und sind geflohen, die Menschen verhielten sich im allgemeinen „stumpfsinniger als das Vieh."

Das Benehmen der Menschen während des Sturzes.

Die erste grosse Steinlawine vom östlichen Rande des Abrissgebietes in Elm fand Sonntag abends 5^{15} statt. Sie zerstörte ein Haus und die Schiefermagazine. 17 Minuten später kam die grössere aus der Westflanke. Sie verschüttete 10 bis 13 Menschen. Weitere 4 Minuten später erfolgte der Hauptsturz, der das grosse Zerstörungswerk vollbrachte.

Vollständiges Unverständnis gegenüber dem bevorstehenden Unglück beherrschte die Menschen. Ich muss mich hier damit begnügen, nur einige bezeichnende Dinge zu nennen und verweise wiederum auf die „Denkschrift", die eine Masse von Einzelheiten nachweist.

Im Untertal sassen die Leute mit ihren Sonntagsgästen auf Bänken vor den Häusern in der direkten Schusslinie des zu erwartenden Bergsturzes, und schauten den stürzenden Blöcken entgegen. „Da ist noch viel Platz zwischen dem Berg und uns", meinte einer der Zuschauer! — Wiederum die alte Meinung, ein Bergsturz könne gleich am Fusse des Steilgehänges stille stehen. Als die erste Steinlawine gefallen war, gingen die meisten in die nächsten Häuser um geschützt zu sein. An eine Flucht dachten sie noch nicht! Ein Hausbesitzer dort im Untertal ging ins Haus, um durch Schliessen der Fensterladen die Scheiben zu schützen. Ein anderer rief den Knaben zu, sie sollten am besten in den Keller gehen, um von dem Stein-

spritzen geschützt zu sein. Einige der Buben zogen glücklicherweise vor, nach Elm-Dorf zu flüchten. Endlich dachten einzelne an Retten, aber ohne Eile. Ein Schlitten wurde eingerichtet für eine kranke Frau. Ein Bauer holte seine Kuh aus ihrem Stall und führte sie gemächlich nach einem benachbarten anderen Stall, dessen Lage er für sicherer hielt.

Erst nach dem zweiten Vorsturz erfolgte Wehegeschrei und allgemeine eilige Flucht. Aber diese Flucht ging in falscher Richtung und nicht weit genug. Sie ging gerade in der Schussrichtung des Felssturzes S→N 30 bis 50 m hoch das Gehänge des dem Plattenberg gegenüber liegenden Düniberges hinauf. Dort standen dann die Mehrzahl der Fliehenden still und schauten zurück. Sie hatten alle keine Vorstellung von der Schussrichtung einer Bergsturzbewegung, vom Aufbranden einer 500 m hoch herabgestürzten Felsmasse am gegenüberliegenden Abhang, von der ganzen Art der Bewegung! Der Steinhagel aus dem oberen Teil des Luft-Sprunges der Felsmasse ab der Schieferbruchterrasse schlug zum Teil die an den Abhang vom Düniberg Geflüchteten zusammen. Kaum einige Sekunden später, oder schon gleichzeitig, schoss die Brandungswelle des ganzen Trümmerstromes aus dem Untertalboden hinauf an den Düniberg, wenigstens 100 m hoch. Dort, etwa halbe Höhe zwischen Talboden und Düniberg, wurden wohl 50 bis 60 Menschen getötet. Sie hatten den Fehler begangen, in der Schussrichtung des Bergsturzes zu fliehen, und sie hatten alle keine Ahnung von dem Phänomen der Aufbrandung. Wären sie seitlich gegen Osten in die Tschingelschlucht, nach Gehren und gegen den Raminerbach geflohen, so hätten sie alle sich sicher gerettet. (Vergl. T Fig. 19 und Fig. 20.)

Zwei bis drei Minuten vorher lief eine Elite von 24 der besten Männer aus Dorf Elm, in der edlen Absicht zu retten und zu helfen, vom Dorf Elm nach dem Untertal. Unterwegs schoss ihnen der grosse, vom Düniberg links abgelenkte Trümmerstrom direkt entgegen. Die vordersten wurden an der Rettungsarbeit im Untertal erreicht, die hinteren zwischen Sernftbrücke und Untertal. Manche derselben sahen plötzlich den Einsturz der ganzen Felswand, erkannten wohl die Nutzlosigkeit ihrer Absicht, und kehrten um, manche wurden vom flachen unteren Teil des Trümmerstromes eingeholt und erfasst. In rein objektiver Betrachtung sind auch diese tapferen Männer einem Irrtum erlegen. Als sie die Vorstürze aus der Ferne gesehen und etwas Stillstand folgte, waren sie unwillkürlich der Meinung, der Bergsturz sei nun fertig gefallen, und kamen nicht zu der

Beobachtung und Einsicht: Jetzt steht der Hauptteil des Berges, der Plattenbergkopf, mitten zwischen den geschehenen Ausbrüchen herausgeschält da, untergraben vom Schieferbruch und oben getrennt durch den grossen Chlagg, und dieser Hauptteil muss erst noch fallen. Das wird der grösste Sturz sein, und das wird nach wenigen Minuten stattfinden müssen. Vom Dorf Elm aus war diese Sachlage nicht so gut zu beurteilen, aber sehr gut schon vom Unterdorf Elm und besonders gleich beim Überschreiten der Sernftbrücke und auf der Untertalstrasse. Noch 1 oder 2 Minuten nach dem zweiten Vorsturz hätte man von der Untertalerstrasse aus — am besten gegen W in den Tschingelboden — sich zu retten vermocht. Niemand hat so getan.

Herr Pfarrer Buss konnte ferner aus den Aussagen der Zeugen feststellen, dass auch noch 6 Frauen und Mädchen, durch ihre Hilfeleistungen für andere veranlasst, ihren Untergang erlitten haben, und von noch 6 weiteren Männern ist dies sehr wahrscheinlich. Viel Liebe, Edelmut und Pflichtgefühl traten in Wirkung.

Dass jemals ein Bergsturz vom Plattenberg her noch das Unterdorf Müsli mit den neuen Häusern an der Landstrasse verwüsten werde, war allerdings für die Bewohner nicht vorauszusehen. Dass diese an eine Flucht nicht dachten, bis sie den Trümmerstrom direkt auf sich zu rasen sahen, ist sehr begreiflich. Dass das Abprallen am Düniberg den Trümmerstrom so stark nach links und so weit werfe, hätten auch wir nicht voraussagen können.

Die Tatsache, dass so viele in den Tod liefen, weil sie nach dem ersten oder nach dem zweiten Vorsturz nochmals in die Häuser zurückliefen, um noch einen Menschen oder eine Sache zu retten, sowie alle diejenigen, die, um beim Retten zu helfen, vom Dorfe aus herbeieilten, weist uns auf den besonderen Fehler: Wenn ein Bergsturz im Gange ist, so sollen die Fliehenden und die noch nicht Bedrohten nicht hinzulaufen, bevor sie sicher sein können, dass der Bergsturz **sich fertig vollzogen hat.** Nach den beiden Vorstürzen in Elm hätte jeder Denkende sofort erkennen können, dass nun die Hauptmasse ganz gelöst, aber noch nicht gestürzt ist, also erst noch stürzen wird, bevor man wieder hinzutreten darf. Zugegeben: Es war edler, an sich selbst nicht denkender Trieb der Menschenliebe, dass sie in diesem Momente hinzuliefen — aber es war eben doch ein Fehler, ein nicht richtig geleiteter, etwas blinder und niemandem nützlicher edler Eifer. Er ist besonders dadurch erklärlich, dass eben fast noch gar niemand an eine grössere Gefahr dachte.

Bemerkenswert scheint mir die Tatsache, dass die bewusst rechtzeitig Fliehenden ausser den Tieren unseres Wissens nur noch wenige Kinder waren: die 8jährige Katharina Disch und dann die Knaben,

im ganzen 5, welche dem 11jährigen Fridolin Rhyner folgten, und die Dorfstrasse noch erreichten.

Im ganzen betrachtet, macht mir das Benehmen der grossen Mehrzahl der Menschen vor dem Bergsturz den Eindruck einer Art psychischer Infektion oder Hypnose. Man wehrt sich gegen die Angst und redet sie sich aus. Die Ängstlichen werden verspottet. Man zwingt sich die Einsicht in die Bedeutung der Vorzeichen weg, und wiegt sich in eine Verneinung der Gefahr ein. Die stumpfsinnige Einstellung sickert durch die ganze Bevölkerung. Die Fanatiker dieser „Vogel-Strauss-Taktik" erlauben sich die grössten Verstellungen an der Wahrheit. Sie können darauf rechnen, dass man das Angenehmere viel eher glaubt als das Gefürchtete. Diese Einstellung kennt man aus Plurs, wo man sogar Boten der Gefahr prügelte, sie bestund in milderen Formen in Goldau, in Elm bis in den „Sachverständigen von Amts wegen", und sie hat sich zur Zeit bereits stark eingenistet in Linthal. Dort stehen sich zwei Parteien gegenüber. Die eine hält sich an die Resultate der Beobachtenden und die Resultate der regelmässigen Messungen. Die andere leugnet einfach die Bergsturzgefahr, setzt den Beobachtungen und den Organisationen von Wachtdienst, Signaldienst und dergleichen Hindernisse und Widerwärtigkeiten in den Weg. Diese Partei sucht nicht die Wahrheit, sondern deren Vertuschung und ihren Geldvorteil. Sind sich diese Leute dessen bewusst, dass sie dadurch sich vielleicht schuldig machen am Tode von Hunderten?

Der Tod durch den Bergsturz.

Einige Notizen über das Ende der Verunglückten mögen folgen. Wieder sind es Goldau und besonders Elm, die uns Auskunft geben.

Auch Elm hat die Erfahrung bestätigt, dass ein grosser Bergsturz nicht verwundet, sondern entweder heil entfliehen lässt, oder, was ihm zu nahe gekommen ist, blitzschnell zerquetscht, zermalmt, zerfetzt hat. Einzelne hat er sogar vor sich selbst gerettet, indem er sie wegblies und unversehrt ausserhalb der Felstrümmer absetzte. Das Bewusstsein hatten sie dabei verloren, Schmerz hatten sie nicht erlitten. Die Ursache für das Fehlen von Verwundeten bei den grossen Bergstürzen im Gegensatz zu den Steinlawinen liegt darin, dass eben das Phänomen des Trümmerströmens die Felstrümmer beisammenhält und keine randliche Zerstreuung zulässt.

In Elm sind in der Randregion des Trümmerstromes, besonders am Düniberg und bei Elm Unterdorf (Müsli), teils suchend, teils zufällig bei Ausgrabungen für Flussweg oder Strasse etc., die Reste von etwa 24 Leichen ausgegraben worden. Sie waren ausgeschürft, alle nicht direkt erkenntlich, zermalmt, zerhackt, zerrieben, die einen ohne Kopf; andere ohne Glieder, oder man fand nur vereinzelte Glieder. Diese Zertrümmerung ist sehr begreiflich, denn der weiche Menschenkörper ist

von einer ungeheuren Steinmühle von 5 bis 40 m Dicke, bestehend aus lauter scharfkantigen unter enormer Belastung sich ungleich schnell drehender Felsblöcke ergriffen worden. Die amtlichen Personalbestimmungen konnten meistens nur durch Kleidungsstücke, Ringe, Uhr, oder bezeichnenden Schuhflickling, Strumpfband, Wäschezeichen, Schlüssel, Taschenmesser und dergleichen erreicht werden. Auf dem höchsten Schutthügel über Untertal lag ein abgetrennter, gequetschter und unerkenntlicher Kopf. Viele Fetzen von Fleisch mit Knochensplittern, eingeknetet in Felstrümmer und Staub, waren ebenfalls persönlich unbestimmbar. Ein zerschmetterter Mann ohne Beine, den Oberkopf wie abgesägt, in den Armen ein kleines Kindlein krampfhaft festhaltend, war Joh. Casp. Zentner.

Manche vom Steinwurf oder vom Trümmerstrom Erreichte sah man sofort lautlos stürzen und überdeckt werden. Andere wurden von einem Luftwirbel ergriffen in die Luft gehoben und dann in den Schuttstrom fallen gelassen, der sie einwickelte und zermalmte. Ein einziger Toter lag ganz untief im Schuttstrom in der Nähe der Sernftbrücke. Man sah erst nur einen Schuh zwischen den Steinen; dann wurde nachgegraben, wobei die einzige ganze, zusammenhängende Leiche, der Kopf aber zerquetscht, zum Vorschein kam, das war einer von denen, die zuerst in die Luft gerissen und dann wieder fallen gelassen worden sind (Adam Hauser, Bauer, 65 Jahre). Viele vom Trümmerstrom Ergriffene sind weit geschürft, aber dabei auch vollständig zerrieben worden. Erkennbare Gegenstände, die von im Untertal oder Alpegli verschütteten Menschen getragen worden sind, sind in der Nähe von Aeschen oder Müsli bei Schuttgrabungen gefunden worden.

Es ist wohl sicher, dass der Tod bei allen ein rascher war. Zu Besinnung oder Schmerz war gar keine Zeit. Die meisten werden sofort bewusstlos geworden sein, und in einer halben Sekunde waren sie schon eingewickelt und zerrieben wie ein Insekt, auf das wir treten und mit dem Schuh schleifen. Die grosse Mehrzahl der Opfer wurden im Freien getötet. Auch bei denen, die in Häusern waren, ging es sicher sehr schnell. In wenigen Sekunden war das Haus zusammengequetscht samt seinem Inhalt und alles in die Steinmühle hineingewalzt.

Dem Bergsturz von Elm sind zum Opfer gefallen 68 männliche und 48 weibliche Personen, davon waren 79 Erwachsene und 37 Kinder. 11 Familien sind ganz verschwunden, 5 Familien sind vollständig ausgestorben, 38 Kinder sind zu Waisen, 31 Frauen zu Witwen geworden. Ein einziger — ein Greis aus dem Aeschen — ist durch den Zusammenbruch des eben noch gestreiften Hauses nur verwundet,

aber nicht getötet worden. Die Ärzte, die, versehen mit Verbandhilfsmitteln, schon am 3. September nach Elm eilten, fanden keine Patienten vor. Dieser einzige Verletzte ist dann bald gestorben, und muss also zu den Opfern des Bergsturzes gerechnet werden. Deren Zahl ist 116.

Eine grosse Gedenktafel an der einen Wand der Kirche Elm gibt kurze Auskunft über die ganze Katastrophe und führt die sämtlichen Verunglückten mit Namen auf.

Es muss anders werden.

Von manchen Bergstürzen besitzen wir möglichst vollkommen ausgearbeitete Schadenregister. Sie berichten über den Schaden an Kulturland, an Gebäuden, an Haustieren, und rechnen ihn zusammen, umgesetzt in übliche Geldwerte.

Das Menschenleben aber lässt sich nicht wie Aktien quotieren. Zwar waren Gerichte schon oft in der Zwangslage, die fahrlässige Tötung eines Menschen den Hinterlassenen durch eine Summe „entschädigen" zu lassen. Ich erinnere mich solcher Fälle, wo das Gericht den Menschen auf bloss 2000 Fr., wo es auf 20,000, auf 100,000 und mehr quotierte. Es besteht aber eine berechtigte allgemeine Scheu, den Menschen banktechnisch einzuschätzen. Das Empfinden geht allgemein dahin, dass es sich im Menschenleben doch um inkommensurable höhere Werte einer anderen Art, mit Goldwert nicht, oder nur von einem einseitigen Gesichtspunkt aus zu beurteilen, handelt. Diese Einstellung zeigt sich bei jedem Unglücksbericht. Man berechnet z. B. erst den „Sachschaden" und fügt bei: „Glücklicherweise sind keine Menschenleben zu beklagen." Jedes Menschenleben ist eben das Resultat einer ungeheuren Entwicklungs- und Vererbungsfolge, mit der wir alle verknüpft sind. Es hat sich aufgebaut auf Jahrmillionen der Vergangenheit! Diese Vergangenheit wirkt in ihm fort.

So ist denn auch der ernsteste und wichtigste Teil der Abwehr eines Bergsturzunglückes der

Schutz des Menschenlebens.

Tausende von Menschenleben sind von Bergstürzen begraben worden. In der Schweiz allein waren es in unserem Jahrtausend über 5000. Überall, wenn wir die Geschehnisse sorgfältig nachprüfen, stellt sich heraus, dass dies sich so ereignet hat aus Mangel an Voraussicht, an Verständnis und aus stumpfsinniger Fahrlässigkeit, und dass es **nicht so zu sein brauchte!** Bergstürze erscheinen niemals plötzlich, eine Menge von Vorboten kündigen sie an. Die Menschen

haben diese Vorboten bemerkt, aber nicht gewürdigt, und sind nach eigenem Verstand und Unverstand dem Tode in die Arme gelaufen. Über 95% derselben hätten reichlich Zeit gehabt, zu fliehen schon Wochen vorher, Tage vorher, schliesslich Minuten vorher. Es ist unsere Pflicht, dafür zu sorgen, dass dies anders wird. Es darf ein Plurs, ein Goldau, ein Elm sich nicht mehr wiederholen!

Bei langsamen Bewegungen haben schon oft die Behörden organisierend und schützend eingegriffen. Bei katastrophalen kamen sie meistens wegen Nichtwürdigung der Vorboten durch die Bewohner des Gebietes zu spät. Die ersten Fälle, wo das Ausreifen eines Bergsturzes mit den besten Mitteln der Vermessungskunst verfolgt worden ist, sind Engi-Matt im Sernftal und Arbino. Linthal-Kilchenstock steht in voller Beobachtung. Die Regierung von Glarus erachtet es als ihre Pflicht, alle möglichen Maßnahmen zur Rettung der Menschenleben aus der drohenden Gefahr zu treffen und wird wohl hierin das erste grosse Beispiel in der Geschichte der Bergstürze liefern. Wie vollkommen der Erfolg sein wird, können wir noch nicht wissen.

Die Mittel zum Schutz.

In der Zeitschrift „Der Sammler, ein gemeinnütziges Archiv für Bünden", Chur 1807, finden wir unter dem Titel „Etwas über Bergstürze, Bergfälle, Erdstürze, Schlipfe und Erdsinken" (auf S. 3 bis 30) eine bemerkenswerte Arbeit von Herrn Bürgermeister J. B. von Tscharner in Mayenfeld. Tscharner setzt an die Spitze seiner Betrachtungen den Gedanken: „Die Klugheit erfordert, aus Unglücks-„fällen Lehren für sich selbst, für sein Vaterland und für die Mensch-„heit zu ziehen. — Man beweint, man unterstützt, aber erforscht „man auch die zukünftigen Gefahren? sucht man diesen zu wehren?" Tscharner will nun, dass die Behörden intelligente, dafür passende Männer alle Gebiete im Gebirge untersuchen lassen auf Rutschungs-, auf Abbruchsgefahren und dass, wo Verdacht am Platz sei, auch eine fortlaufende Kontrolle organisiert werde. Er gibt in 22 Punkten eine Instruktion für diese Abgeordneten. Er plant „Rettungsanstalten", Kassen, Hilfseinrichtungen. Seine Beobachtungen über Schlipfe und Bergstürze — besonders im Gebiete von Jenins und Chur — und seine Instruktion für die Abzuordnenden sind fast durchweg sehr gut. Keine Frage: Wenn man seinen Räten gefolgt hätte, so wäre manches Unglück vermieden worden. Ob Behörden auf seine Vorschläge eingegangen seien? Ich habe nie etwas solches vernommen und ich kann

mich des Eindruckes nicht erwehren, dass daran teilweise Schuld ist, dass TSCHARNER gleich auf einmal zuviel von den Behörden verlangt hat. TSCHARNERS Aufsatz über die Bergstürze ist die erste sachliche allgemeine Abhandlung über diesen Gegenstand, die mir bekannt geworden ist, und sie ist die einzige geblieben bis zu A. BALTZERS Aufsatz im Jahrbuch des S. A. C. 1875.

An Einzelarbeiten, die einzelnen Ereignissen gewidmet sind, fehlt es nicht. Manche sind von weiter reichender Bedeutung. An manche derselben knüpfen sich auch Ansprüche über Abwehr von Gefahren. Ich bin nicht imstande, eine solche ganze Literatur zu bewältigen und ihrem Werte nach zu berücksichtigen und zu benützen, weil ich stets an weit untermittelmässigem Gedächtnis litt, und das ist durch das Alter nicht besser, wohl aber schlimmer geworden.

Aus unseren vorangegangenen Betrachtungen lässt sich leicht ableiten, welche Verfahren zum Ziele der Rettung wenigstens der Menschenleben führen können. Ich stelle mir das Vorgehen ungefähr wie folgt vor:

1. Wenn irgendwo Verdacht entsteht durch Risse im Boden, Andeutung von Bewegungen, Steinschläge, ist vor allem der Fall einem Geologen zur genauen Untersuchung zuzuweisen. — (Wohlverstanden einem Geologen, der Bergstürze schon eingehend studiert hat. Es gibt heute noch viele Geologen, die diese Spezialität noch nicht kennen.) Der Geologe wird das ganze Gebiet begehen. Er kann erkennen, ob es sich nur um oberflächliche, oder ob es sich um tiefgründige Bewegungen, um Schuttbewegungen oder Felsbewegungen, um Entstehung von Schleichstrom oder Schußstrom, um schon weitgediehene Vorbereitung, oder erst Anfänge oder gar schon vollendete Bewegungen handelt. Er wird das Volumen des Bewegten schätzen und den Typus feststellen. Er wird die Ätiologie (Erkenntnis der Ursachen), die Diagnose (Erkenntnis der Art), die Prognose (Erkenntnis des wahrscheinlichen Verlaufes und Ausganges der Krankheit des Berges) für den betreffenden Fall feststellen. Er wird in ernsten, schweren Fällen, gerade so wie der Arzt am Krankenbette, auf die Schwierigkeit stossen, die richtige Mitte zwischen zu leichter oder zu schwerer Auffassung, zwischen Leichtfertigkeit oder Mutlosigkeit und Verzweiflung für die Beteiligten zu treffen.

In der Regel wird es sich empfehlen, die Untersuchung und Begutachtung des Geologen von amtlicher Stelle aus zu veranlassen.

2. Die Therapie, die Heilung des Berges durch künstliche Eingriffe, ist ebenfalls Sache des Geologen. Sie baut auf der Ätiologie auf. Es ist zu prüfen, ob eine Therapie überhaupt möglich ist, und wenn ja: welche? Da treffen wir auf die grosse Mannigfaltigkeit der

Fälle. Jedes Eingreifen muss auf Kenntnis der Eigenart des Falles aufbauen. Es gibt da keine Mittel, die auf alle Fälle angewendet werden können. Es gibt sehr viele sich vorbereitende Bergstürze, an denen jeder Eingriff nutzlos oder gar schädlich sein würde (z. B. Kilchenstock Linthal).

Die Quacksalberei, die auch auf diesem Gebiete gedeiht und sich mit allerlei Räten in den Zeitungen ausspricht, beruht meistens auf totaler Unkenntnis der tatsächlichen Verhältnisse des Falles. Da wird Absprengen empfohlen, wo das Absprengen schon wegen der Gefahr für die Arbeiter unmöglich ist, wo die Zeit, um die drohende Felsmasse abzusprengen, weit mehr als ein Jahr sein, und die Kosten in viele Millionen gehen würden. Wenn dann der Bergsturz während der Absprengung fiele, würde gerade das Absprengen als die böse Ursache angeklagt werden, die man selbst heraufbeschworen habe. Es werden Entwässerungsarbeiten empfohlen, auch in Fällen wo gar nichts zu entwässern ist, oder nicht entwässert werden kann. Wenn die Durchnässung nicht zuläuft, sondern nur von den Niederschlägen im Abrissgebiet herrührt, so müsste man einen Regenschirm über das ganze Abrissgebiet von 1 km² ausspannen können. Ganz lächerliche Mittel werden da empfohlen, ähnlich wie es in der Behandlung der kranken Menschen so oft von Nichtärzten geschieht. Allgemein kann nur gesagt werden, dass bei drohenden grossen Schuttströmen, bei Schleichströmen überhaupt, Entwässerung das allgemein richtige Mittel ist. Aber das wie entwässern, wie unterstützen bedarf, immer erst genauer Untersuchung des Falles. Und noch bei manchen Bewegungen, die nicht Schuttrutschungen sind (Felsrutschungen, Schleichströmen), ist Entwässerung ein Heilmittel. Am einen Orte wäre die Entwässerung gut durchzuführen (Brienz-Graubünden, St. Moritz, „Campo Valle Maggia"), am andern ist sie nicht einzurichten (Sörenberg). Diese Andeutungen über die Therapie der Bergstürze sollen nur zeigen, dass die Sache nicht einfach ist, und es keine allgemein anwendbaren Rezepte gibt, sondern dass es sich auch da um eine gründliche Untersuchung und Anpassung an die Eigentümlichkeiten des Spezialfalles handelt, die der Geologe meistens beurteilen kann, die aber dem Nichtfachmann unmöglich ist. Und auch dem Geologen ist zu seiner Prüfungsarbeit das natürliche Talent zur Erfassung und Beurteilung zu wünschen.

3. Herstellung der Karte in grossem Maßstabe, Feststellung eines Punktnetzes im Abrissgebiet, anschliessend an Punkte in der festen Umgebung, und ständig periodisch zu messende Kontrolle desselben zur genauen Bestimmung des Betrages und der räumlichen Bewegungs-Richtung der Netzpunkte in bestimmten Zeitzwischenräumen. Daraus wird sich ergeben, ob die Bewegung im Sammelgebiet abnimmt oder zunimmt, vielleicht bedrohend rasch. Ferner, ob die ganze Abrissmasse sich einheitlich bewegt, oder ob man hoffen kann, dass sie in verschiedene Stücke geteilt abstürzen wird. Weiter wird sich aus den Bewegungsmessungen und aus der kartographischen Aufnahme die wahrscheinliche Bahn des Sturzes und seines Trümmerstromes und dessen Wurfweite ergeben. Man wird die Fluchtrichtungen für die Bewohner der einzelnen

Gebiete im voraus anweisen können. Es ist überdies zu hoffen, dass auf Grundlage solcher Vermessungen neue Erkenntnisse sich ergeben, die für die Zukunft bedeutend werden.

Die stets nächste aber auch heikelste Frage ist: Wann kommt der Absturz? In den Alpen gewiss nicht im Januar, Februar oder März. Gewiss wird eine bedeutende Bewegungszunahme vorangeben. Die Vermessung wird zeigen, ob die Bewegung im ganzen wieder zum Stillstand neigt. Steigert sie ihre Geschwindigkeit von einem Jahre zum folgenden wie am Kilchenstock, so wird der Absturz wohl sicher eintreten müssen. Eine weitsichtige Voraussage wird meistens nicht möglich sein. Eine kurzsichtige auf wenige Tage oder Wochen ermöglichen die „Vorboten".

4. Es ist ein Beobachtungsdienst zu organisieren. Derselbe gilt besonders den Vorboten des Absturzes, wie sie sich sehr stark mehren und verstärken in den letzten paar Wochen, wie sie besonders zunehmen in der letzten Woche, in den letzten 2 bis 3 Tagen und gar in den letzten paar Stunden! Das Zunehmen dieser Vorboten, bestehend in Steinschlägen, Öffnen der Spalten, Knarren im Felsen, Felslawinen vom Maße der Vorstürze ist durch einen Signaldienst, der auch nachts seine Sache leisten kann, kundzugeben. Angabe der Gefahrzonen und der Fluchtrichtungen liegt schon in Nr. 3. Evakuation einzelner Quartiere, eventuell Empfehlung von ganzem Verlassen gewisser Gebiete.

5. Mit dem Niedergang des Bergsturzes ist die Arbeit des Geologen noch nicht abgeschlossen. Jetzt erst ist zu untersuchen, ob er sich vollständig vollzogen hat, oder ob noch unerledigte, drohende Reste geblieben sind. Überhaupt stellt sich die Frage, ob durch den erfolgten Bergsturz hier für absehbare Zeit die Gefahr erledigt und beseitigt ist, oder ob hier Wiederholungen, Nachfolger, zu erwarten sein werden, und in welchem Umfange und Annäherung sie bevorstehen. Ob eine Gegend, die früher von Bergstürzen gestört worden ist, nun überhaupt zu meiden sei, darf nicht behauptet werden. Vielleicht ist sie jetzt gesäubert, vielleicht steht sie erst im Anfange einer Bergsturzperiode. Auch hierin kann der Geologe nicht auf Grund von schematischen Regeln antworten. Er muss den neuen Zustand des Berges allseitig untersuchen, um zu einer gut begründeten Einsicht in die Zukunft zu kommen. Das kann nicht ein Förster, ein Ingenieur tun. Das kann nur ein begabter und erfahrener Geologe leisten, weil nur er imstande sein wird, die unendlichen Mannigfaltigkeiten im Gesteinsaufbau und Gesteinszustande und ihr Verhalten zu der neuen Gestaltung zu beurteilen.

Solche Organisationen nach 1 bis 5 werden die Behörden, angepasst an das Spezialgebiet, leicht machen können. — Sie sollen es schon frühzeitig einrichten. Gute Wachtposten sind wichtig, Belehrung der Bevölkerung ist notwendig.

*

An Stelle des bisherigen, stumpfsinnigen Zusehens, Sichausredens und Verneinens der Gefahr, wollen wir eine richtige Beobachtung und Einsicht schaffen. Wir wollen ins Zeitalter der Erkenntnis treten auch mit unserem Benehmen gegenüber den Bergstürzen. Wenn wir im Gebirge leben wollen oder leben müssen, so müssen wir uns auch mit seinen Gefahren abfinden. Wir haben im Gebirge herrliche Vorteile, die dem Bewohner der Ebene fehlen. Aber der allgewaltigen Natur können wir nur in geringem Masse entgegentreten. Ihren rücksichtslosen Missetaten am Menschenleben sollen wir, so weit möglich, aus dem Wege gehen. Flucht, rechtzeitige Flucht vor solchen Naturereignissen, ist keine Feigheit. Ihnen Trotz zu bieten, wäre Stumpfsinn oder Wahnsinn. Fliehe man zur rechten Zeit, in rechter Richtung und lieber 100 Schritte zu weit, als einen Schritt zu wenig, einige Tage oder auch Wochen zu früh als einige Minuten zu spät! Der Bergsturz ist ja klein im Verhältnis zum Berge und verschwindend im Verhältnis zur Erde. Er vernichte aber in Zukunft nicht mehr Dinge höherer Ordnung, wenn sie auch noch so klein sind — nicht mehr Menschenleben! Dies zu sichern ist möglich und wird uns gelingen. Die Gegenwart strebt es an, die Zukunft soll es erreichen!

Nachtrag zu Kilchenstock.

(Seite 197, Mitte.)

Am Kilchenstock haben sich seit Eingabe des Manuskriptes zur obigen Darstellung weitere Dinge ereignet. Es sei hierüber kurz berichtet:

Als vortreffliche Beobachter am Kilchenstock haben sich schon seit längerer Zeit die Herren Pfarrer Fr. Frey in Linthal und Dr. G. Freuler in Ennenda betätigt. Sie besuchen sehr oft, manchmal gemeinsam, den Kilchenstock und kontrollieren das Rutschgebiet eingehend, während Prof. Staub nur selten hingehen kann und mir leider eine solche Begehung nicht mehr möglich ist. Herr Pfarrer Frey,

hat dabei eine grosse Anzahl wertvoller Photographien aufgenommen. Eine Fliegeraufnahme meines Sohnes erleichterte mir die Felszeichnung in Fig. 37 T.

Die Vermessungen sind ergänzt worden durch Einsetzen einer zweiten Horizontallatte neben dem Vermessungspunkt O, an welcher ebenfalls, wie an derjenigen von M, von der Hütte Zugegg aus die Horizontalbewegung direkt abgelesen werden kann, besorgt durch den Beobachter und Wächter R. Zweifel. O ist der oberste, M der unterste dafür geeignete Messpunkt innerhalb der unteren bewegten Hälfte des Abrissgebietes, Horizontalabstand von M zu O ca. 60 m.

Alle Beobachtungen aus den Monaten VIII und IX beweisen, dass der untere Teil des Rutschgebietes, der Bergklotz M-E-O sich einheitlich bewegt. Die Risse innerhalb desselben ändern sich schon lange nicht mehr, während der bogenförmige Abrissrand über demselben sich beschleunigt erweitert. Anfang IX war die Öffnung dieser Abrißspalte in Raumdistanz bereits 10 m. In allen seinen messbaren Punkten bewegt sich der M-E-O-Gebirgsteil nun schon seit 2 Monaten mit 20 bis 25 mm horizontal per Tag in Richtung WNW. Alle Punkte der oberen Hälfte wandern viel langsamer, gerichtet gegen NNW, einige 1 bis 3 mm im Tage, oder sie stehen ganz still. Der Bewegungsunterschied vom unteren und oberen Teil hat sich vergrössert.

Im Verlaufe dieses Sommers hat die Bewegung der unteren Hälfte stark zugenommen. Vorher beobachtete Bewegungen sind mehrfach übertroffen. Schon unsere Figur T 37 zeigt dies deutlich, sehr deutlich auch die folgende kleine Zusammenstellung berechneter Monatsmittel des Sommerhalbjahres in Millimetern.

Mittlere räumliche Monatsbewegung im Sommer

Oberer Teil des Rutschgebietes:

Punkte:	Jahre:				
	1928	1929	1930	1931	1932
B	24	20	23	32	
F	19	14	13	23	
G	28	28	32	41	
L	21	14	18	31	

Unterer Teil des Rutschgebietes:

	1928	1929	1930	1931	1932
C	29	29	77	179	VIII u. IX:
E	49	59	139	236	
M	36	40	80	184	horizontal: 700
O	—	58	127	294	räumlich: 850!
P	—	58	120	256	X: 1500!

Die rasche Zunahme der Bewegungen wie sie jetzt herrscht, setzte Mitte Juli 1932 am auffallendsten ein. Gleichzeitig fielen Steine besonders aus der Felswand am Punkte E. Steinschläge zeigten sich reichlich (Notizen von Hrn. Pfr. FREY) im Monat V am: 17., 18., 19., 22., 23., 24., 25.; im VI. am: 7., 8., 21. (zahlreich), 22., 25., 26., 29. und im VII. am: 2., 5. (gross und zahlreich), 6., 7., 8., 9., 10., 14. In den letzten Wochen VII. und der ersten Hälfte VIII. fielen nur wenig Steine. Die Herren FREY und FREULER schätzen, dass von Anfang VI. 1931 bis Ende VII. 1932 aus der Masse E etwa 7500 m^3 Gestein ausgebrochen sind. Die Gesteinszone unterhalb der Frontwand M—E zwischen 1500 und 1550 m Höhe zeigte im August durchweg die Erscheinungen einer schweren Stauung mit Herausquetschen der Felsen. In der Nacht vom 30. auf den 31. VIII. $12^1/_2$ Uhr begann ein furchtbares Knallen. Die Alarmsignale wurden gegeben. Der Steinfall hielt an bis morgens 7 Uhr. Über dem Dorfe lag beständig eine Staubwolke. Die Mehrzahl der Blöcke blieb in der Hochätschrunse liegen; nur wenige erreichten den Talboden. Der Felsvorsprung mit Messpunkt C war abgestürzt.

Die Bevölkerung, die noch lange sich zur Bergsturzgefahr verneinend verhalten hatte, war jetzt aufgeschreckt worden. Der Gemeinderat und der Regierungsrat empfahlen, die Nächte ausserhalb der Gefahrszone zu verbringen. Im Park des ehemaligen Stachelbergerbades sind Notwohnungen errichtet worden.

Seit dem Absturz von C ist es wieder ruhiger geworden — sicherlich nicht dauernd. Die direkt unmerkbare, aber messbare Bewegung steigerte sich für alle Punkte der unteren Hälfte des Abrissgebietes von 7 mm täglich im Juni auf 20 bis 25 im Juli. Dies ist gerade ungefähr die Geschwindigkeit der Spitze des Stundenzeigers einer Taschenuhr. Das scheint mir das merkwürdigste, dass ein grosses Stück eines Felsenberges eine solche Bewegung stetsfort Tag und Nacht, Wochen und Monate lang innehalten kann. In den letzten Tagen September hat das Gleiten der Felsmasse auf 40 bis 54 mm täglich zugenommen.

Die Vorzeichen eines grossen Absturzes sind im Gange. Wie lange sie sich noch steigern müssen, wissen wir nicht. Beobachten und zur rechten Zeit fliehen!

Nachdem ich nun, mehr als beabsichtigt, auf den Fall Kilchenstock eingetreten bin, ist es auch nötig, die sehr kurz gehaltenen Notizen von Seite 190 etc. noch klärend zu ergänzen.

Im Sommer und Herbst 1926 wurden die Mauern der Lawinenverbauung vom Gipfel des Kilchenstocks gegen Hochätsch durch Steinschläge stark beschädigt. Die Gemeinde Linthal beauftragte dann

Professor RUD. STAUB mit der Untersuchung der Ursachen. STAUB erkannte dabei hier als der erste die Bergsturzgefahr. Er verfolgte schon damals den Abrissrand, bestimmte die Ausdehnung des Bewegungsgebietes und verlangte, wie früher schon am Monte Arbino und am Landesplattenberg, die Kontrollmessung der Bewegung, und schuf damit die Grundlagen für die Sicherungsmassnahmen. Veranlasst durch STAUB's Begutachtung fand im Sommer 1927 eine gemeinsame Begehung des Kilchenstocks durch den Regierungsrat von Glarus mit den betreffenden Amtmännern und den Geologen STAUB und OBERHOLZER statt. Der Ernst der Sachlage wurde erkannt, die Erweiterung der Vermessungen durch die Ingenieure des Grundbuchamtes und eine photogrammetrische Aufnahme des Gebietes gewünscht. Im Mai 1928 erfolgte eine bedeutende Beschleunigung der gleitenden Bewegung. STAUB, der jetzt Experte des Regierungsrates war, wünschte in Anbetracht der grossen Verantwortung einen zweiten Begutachter. Den Ruf hierfür konnte ich nicht mehr annehmen. Prof. SCHARDT wurde bestimmt. Dies führte zu Verzögerung und optimistischer Geringachtung. Es drohte eine zunehmende Achtlosigkeit. Im Spätherbst 1928 machten deshalb gleichzeitig R. STAUB und ich den Vorschlag zu einer Konferenz der beteiligten Ämter und Fachmänner. Dieselbe fand in Linthal im November 1928 unter Leitung des Landammanns statt. Sie wiederholte die schon von STAUB gestellten Anträge betreffend Planaufnahme und Vermessung, die dann sofort in Ausführung gegeben wurden, und sie übertrug der Gemeindebehörde die Organisation von Beobachtungs-, Wacht- und Signaldienst.

Zur Aufklärung der Bevölkerung von Linthal wurde im Anfang 1930 von mir ein öffentlicher Vortrag dort gehalten, dem eine lebhafte Aussprache folgte.

Noch niemals ist die Vorbereitung eines Bergsturzes so genau beobachtet und verfolgt worden wie am Kilchenstock. Es scheint aber auch, dass dieser Berg uns dazu ungewöhnlich viel Zeit lassen will. Die Behörden tun das ihnen Mögliche mit sorgfältiger Umsicht und pflichtbewusster Hingebung.

Noch habe ich den drohenden Bergsturz nicht in unsere Typenreihe eingestellt. Es wird sich erst in der folgenden Entwicklung bestimmt darüber entscheiden lassen. Es kann sich handeln um Typus XIV—XVI, am wahrscheinlichsten XIV. In der Art der Ablösung ist er am nächsten verwandt mit dem Kandertaler. Glücklicherweise ist der Kilchenstock-Bergsturz zwerghaft im Vergleich zu dem Riesen, der im Kandertal liegt.

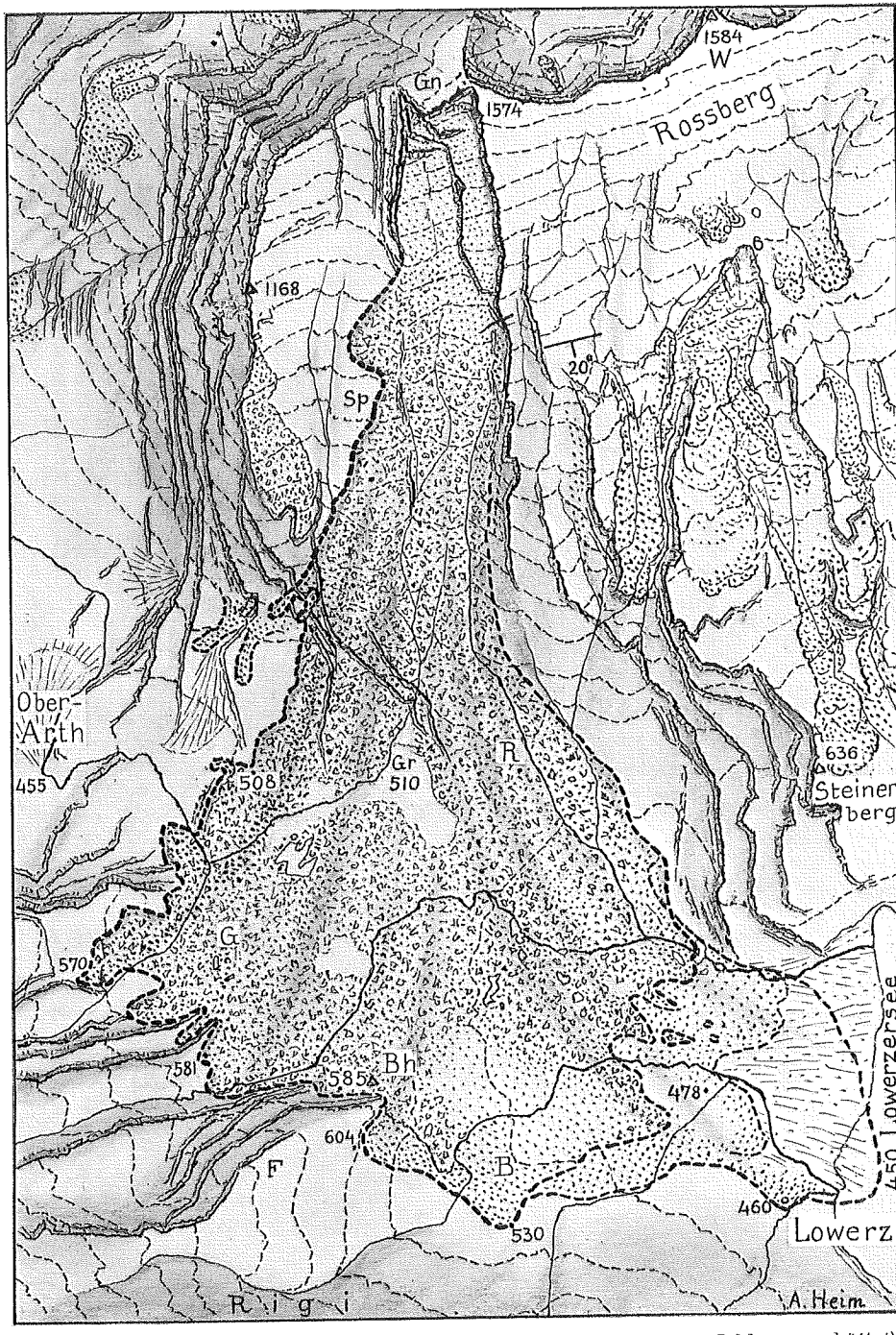
Zürich 7, 18. IX. 1932.

Verzeichnis der Figuren mit ihren Seiten.

T = Figuren auf 5 Tafeln nach dem Textende.

Nr.		Seite
1	Spalten und Wülste von Schuttrutschungen	26
2	Verstellung von Bäumen durch Rutschungen	27
3	Schuttrutschung und Quelle Kellenholz (Hirzel)	36
4	Profil kleiner Gehängerutschung	39
5	Profil Ufereinbruch in Zug 1887	36
6a	Karte Campo Valle Maggia 1897	50
6b	Profil der Rutschung Campo Valle Maggia	52
7	Felsbruch bei Brienz (Graubünden), Profil	56
8	Bergsturz von Goldau, Karte	T u. 72
9	Profil des Bergsturzes Goldau	T u. 72
10	Profil des Bergsturzes im Kandertal	T u. 75
11	Oeschinensee durch Bergsturz gestaut, Profil	76
12	Bergsturz von Flims, Karte 1 : 100000	126
13	Bergsturz von Flims, Profile 1 : 100000	T u. 124
14	Rheindurchschnitt des Flimsersturzes	125
15	Brandung an Gegenhängen	88
16	Flussverschiebung durch Bergsturz	90
17	Flacher Blockstrom in Elm	99
18	Rheinschlucht durch den Flimserbergsturz	T u. 124
19	Profil des Bergsturzes von Elm	T u. 110 u. 199
20	Bergsturz Elm, Kartenbild	110
21	Felssturz der Diablerets, Karte	132
22	Profil Diablerets	T u. 132
23	Profil des Felssturzes bei Airolo	121
24	Profil Felssturz bei Spiringen, Schächental	122
25	Kartenskizze Bergsturz Bormio, Dr. Furrer	134
26	Bergsturz Parpan-Lenzerheide, Karte	136
27	Profile am Poschiavosee	138
28	Schema für Gleiten auf schiefer Ebene	145
29	Schema der Energielinie	145
30	Geschwindigkeitsparabel	148
31	Schema am Bergsturz von Elm	149
32	Profil Felsbrüche in Felsberg	153
33	Kartenskizze der Aegerti (Brienz, Bern)	160
34	Stauriegel am Klöntalsee	170
35	Profil Kilchenstock-Linthal	192
36	Gleitbewegungen am Kilchenstock, in Kurven dargestellt	T u. 193 u. 214
37	Abrissgebiet auf dem Kilchenstock (Karte)	T u. 193 u. 214

Fig.8. Bergsturz von Goldau 2. IX. 1806.
heutige Besiedelung weggelassen. Maßstab 3 : 100.000



W=Wildspitz, Gn=Gnippe, Sp=Spitzenbühl, Gr=Grossweiler, G=alt-Goldau (verschüttet)
F=Fallenboden, B=alt-Busingen (versch.), R=Röthen (versch.), Bh=Bernerhöhe 565

Crap ner Flimserstein Tristelhorn Ringelspitz



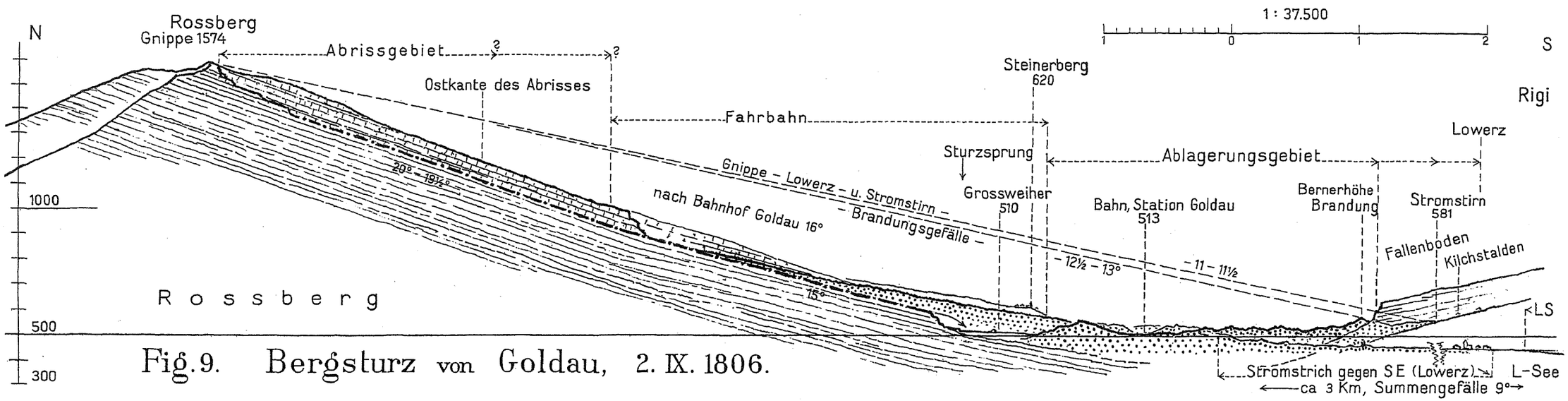


Fig. 9. Bergsturz von Goldau, 2. IX. 1806.

SE ——— Richtung nach: ——— NW * S ——— Richtung nach ——— N

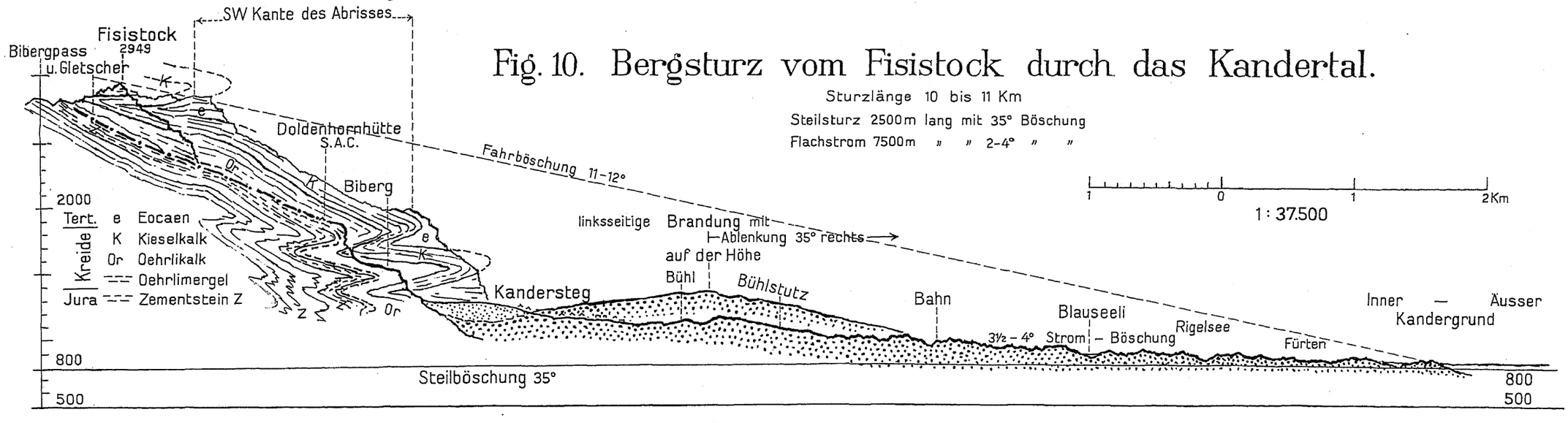


Fig. 10. Bergsturz vom Fisistock durch das Kandertal.

Kunstanstalt J.C. Müller Zürich
Abt. Kartogr. Hermann Hofer

Alb. Heim

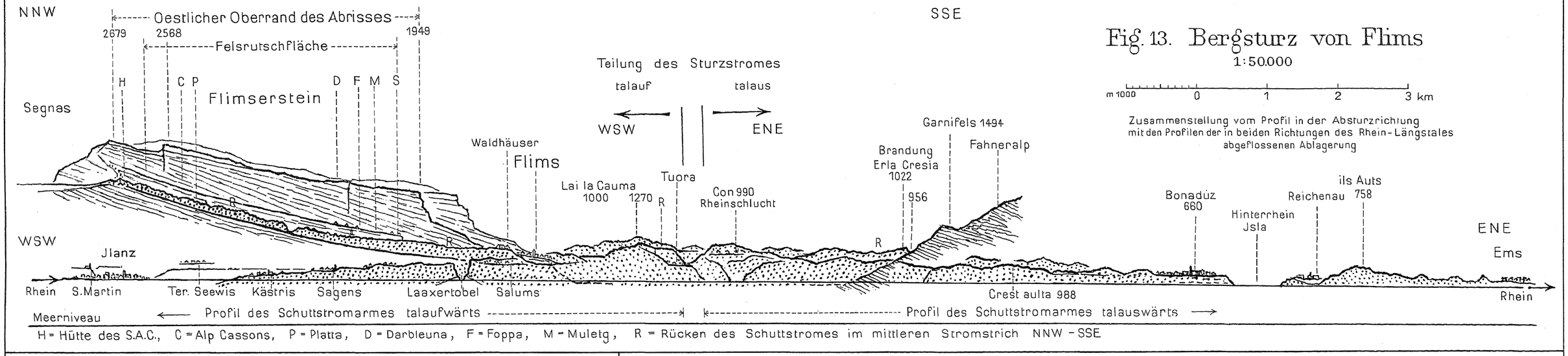


Fig. 13. Bergsturz von Flims

1:50.000

m 1000 0 1 2 3 km

Zusammenstellung vom Profil in der Absturzrichtung mit den Profilen der in beiden Richtungen des Rhein-Längstales abgeflossenen Ablagerung

Fig. 22. Felssturz am Diableret anno 1749

Profil im Stromstrich 1:50000

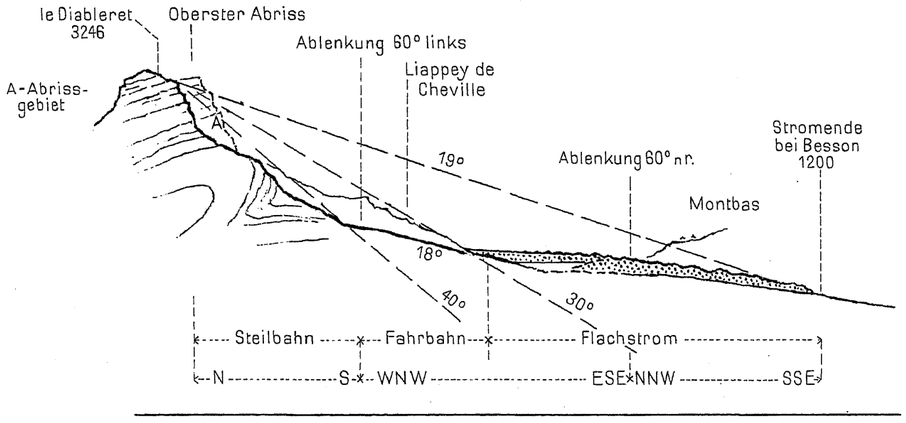
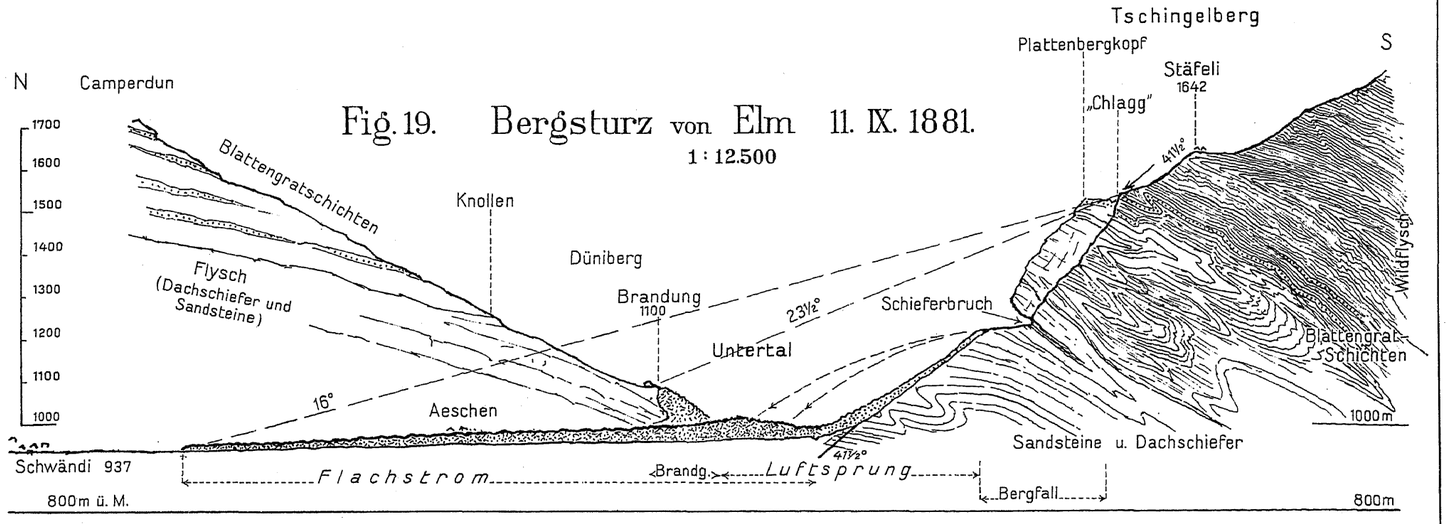


Fig. 19. Bergsturz von Elm 11. IX. 1881.

1:12.500



Kunstanstalt J.C. Müller Zürich
Abt. Kartogr. Hermann Hofer

Alb. Heim

Fig. 37. Rutschgebiet am Kilchenstock
1 : 2500

Aufnahme durch die eidg. Vermessungsdirektion (mit Dr. Helbling, H. Härry und P. Wild). Ergänzende Einträge nach Pfr. H. Frey (Linthal), G. Freuler u. Arn. Heim.

Hauptabrisse
Spalten 2. Ranges
Unterbrochene Spalten
Vorschiebung
○ = Messpunkte
Pfeile 1 u. 2 = Mittlere Bewegungsrichtung

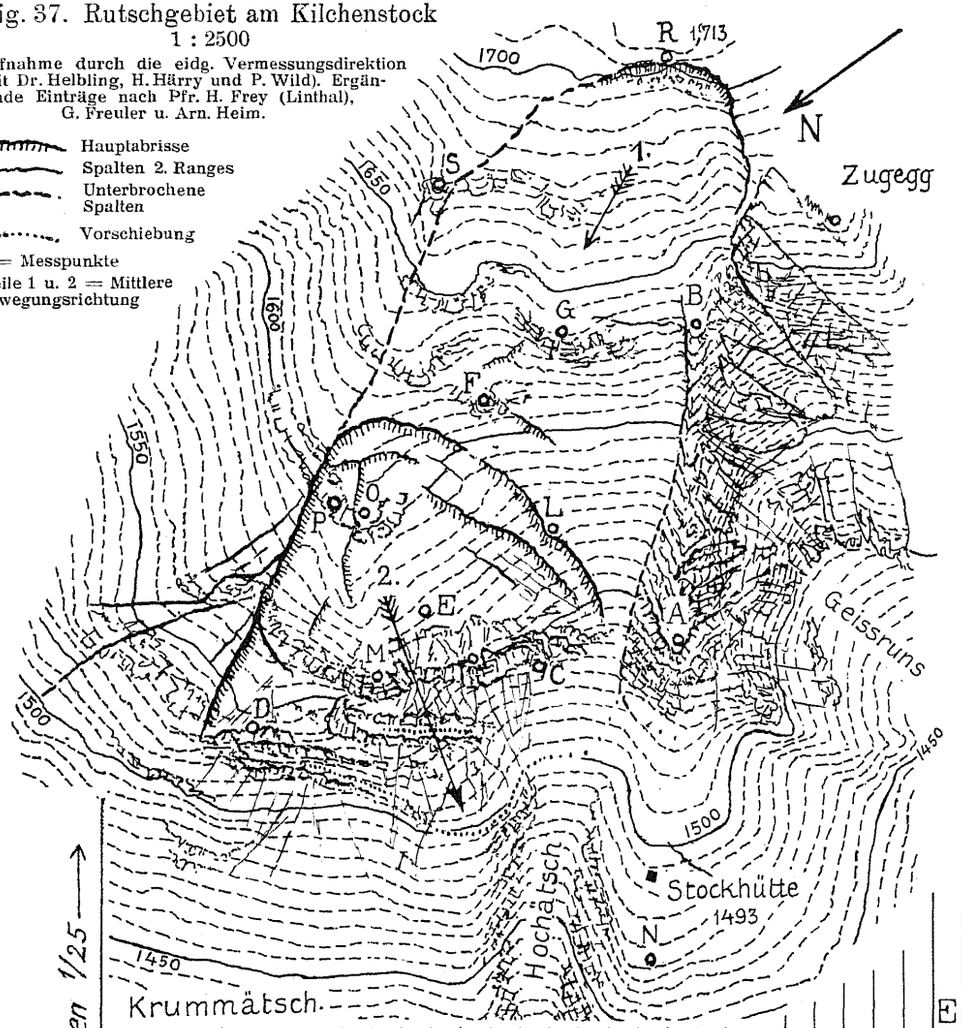


Fig. 36. Horizontalbewegung wichtiger Messpunkte am Kilchenstock ob Linthal bis Ende VIII 1932.

Die Bewegung ist als Ordinate in 1/25 (1 m = 40 mm), die Zeit als Abzisse (1 Monat = 4 mm) aufgetragen. Diese Kurven enthalten: 54 trigonometrisch exakt bestimmte Punkte (Vermessung von Ing. H. Härry, Eidg. Vermessungsdirektion), zirka 375 Punkte durch Fernmessung ab Rämis (Geom. Wild und Ing. Jenny) und im Sommer 1932 wöchentliche, bis sogar tägliche Ablesungen an Horizontallatten bei E_1 und M (durch Wächter Zweifel). Der steile Aufstieg der Kurven bedeutet Beschleunigung der gleitenden Felsbewegung, die horizontalen Stücke der Kurven Stillstand („Winterschlaf").

– – – – = Oberer Teil des Abrissgebietes mit den Messpunkten S, F, G.
——— = Unterer Teil mit E, E_1, M und O