

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. Uferleinbrüche	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 (Brienztal, St. Moritz, Sörenberg)	55
III. Hauptgruppe: Felsstürze	60
Vergleich von Schleichstrom und Wurfstrom	60
Typus XIII. Steinschlag und Steinlawinen	64
Typus XIV. Felssturz (Schliffsturz)	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
Bergsturzschant 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-Brienzen)	
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
Bergsturzlanschaft	168
Bergsturseen (dauernde)	168
Vorübergehende Bergsturseen	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 Gefalles 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 ausgebildet, 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 Schwemkegel. 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 rauhrüchiger 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:

Schuttblagerung aus fließendem Wasser	{	Fluss-Delta $\frac{1}{2}$ 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 Schuttblagerung	{	Trockener Schuttkegel aus Mergel um 25° , " " " " Tonschiefern 26 bis 29° , " " " " Kalksteinen um 32° , " " " " Gneiss 34° , " " " " Syenit, Granit 35 bis 40° .
Steinschlagliefernd	{	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 10° 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° ; rau 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 Schuhs 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 Serpentinien. 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 bergwärts. 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 Zerreibungen. 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 $\frac{1}{2}$ bis $\frac{1}{10}$ ihrer angeborenen 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 Fliesen 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 Bergsturzfal 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. Rädli-sau 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 Bergschliff.
 1714 } Diableret (Wallis), Südseite, zirka 20 Menschen tot.
 1749 }
 1749 A ven 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 Schutrutschungen, 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 Gekrieches 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 unterschritten 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, Gähngeschutt 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 $\frac{1}{2}$ 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 jetzt der Boden dort annähernd in Ruhe steht. Ich erlaube mir, hier meine Darlegung aus Neujaarsblatt 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 Cuttira 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 Moränterrasse 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 Fähreren, 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 $\frac{1}{2}$ 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 andererseits) 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 Bogenristücken, 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 ausgebildet 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 Albertibotel 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 bloß 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 Holzpfählen 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

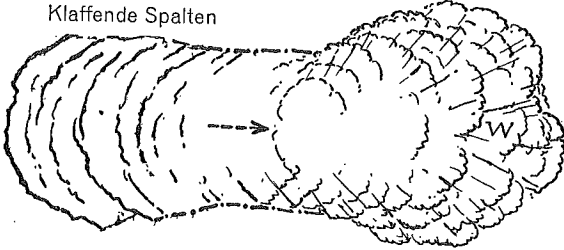
Fig. 1. Schuttrutschungen von Typ II

Ca. 1:10.000

Beginnende Schuttrutschung

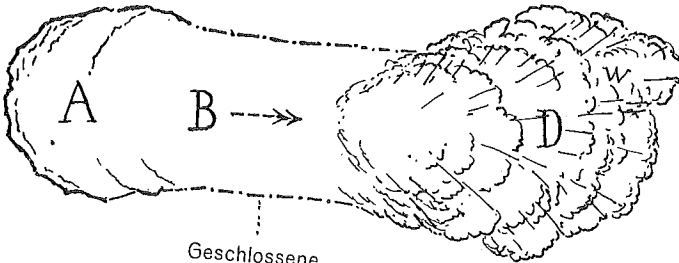


Klaffende Spalten



Schuttrutschung
in vollem Gang

w = Wülste

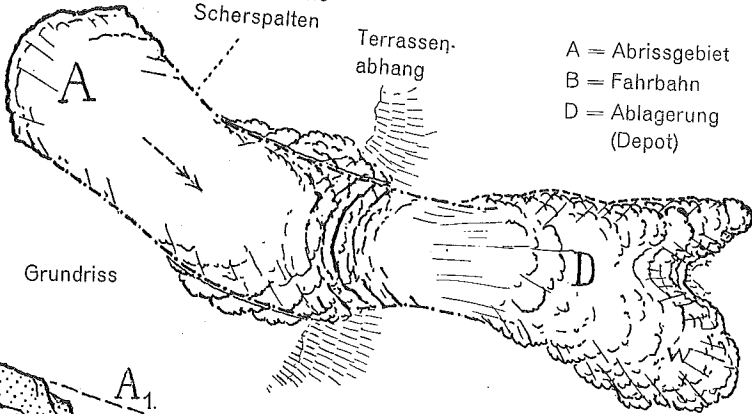


dieselbe
vollendet

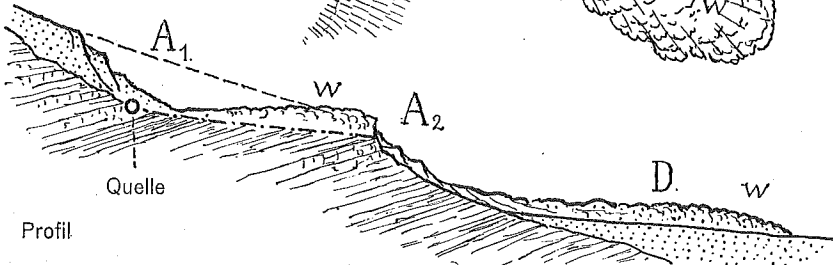
Geschlossene
Scherspalten

Terrassen-
abhäng

A = Abrissgebiet
B = Fahrbahn
D = Ablagerung
(Depot)



Grundriss



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).

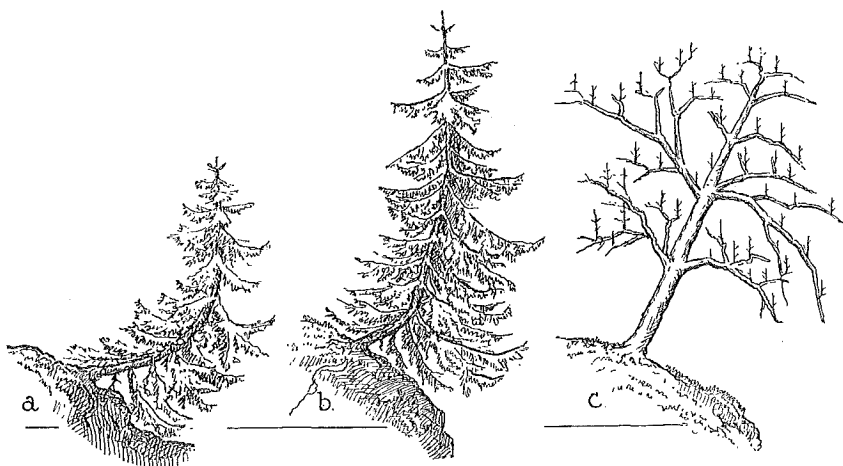


Fig. 2. Verstellung von Bäumen durch Rutschung.

- 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 Klufflächen 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 Scherklüft 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 Trümmernmassen. 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 Scherklufft 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 $2-3^\circ$. 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 Bötzbahn (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 Entwässerungstollen an. Der Boden bestand aus alten Bergrutschungen in Grundmoränen. Selbstverständlich wurde der Stollenboden mit den Drainerröhren 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 Sehnbreite, 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 1½ 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 Moränterrasse 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 Feuerwehmannschaften 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. Währendem 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 aufgelauster 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 Stadtgenieur 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 Foundation 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 Konzentration des Querprofles. 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 m³ bis zu über einer Million m³ bewegtem Volumen. Allein

die Dimensionen grosser Felsbewegungen erreichen sie nicht. Sollte sich irgendwo eine Schuttrutschung von mehreren Millionen m³ 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 Drainierrohren; 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, herührt. 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 Trachslü und Kupfenried 1897. Ähnlich an der Ostflanke des Rosserberges 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 Geschloerickenbach könnten alle leicht durch gründliche Fassung und Ableitung der grossen Quellen bei Rätthigs, 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 durchgeföhren 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

S.

N.

Zuger - See 416,65 m. ü M.

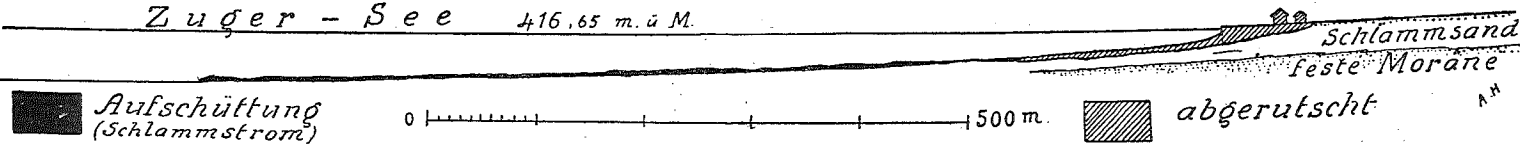


Fig. 5.

Moräne von Hirzel

Profil durch den Ufereinbruch von Zug vom 5. VII. 1887. Höhen: Längen = 1:1.

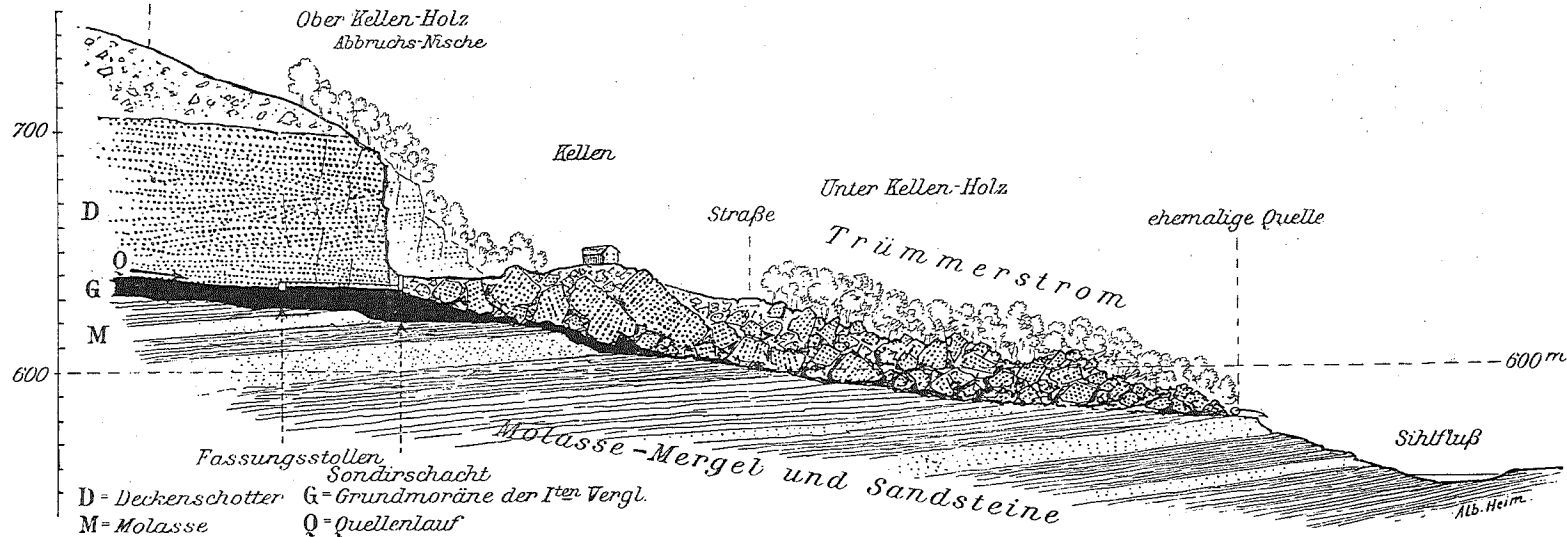


Fig. 3.

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, Biltlen, 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 Schuttmaterialies.

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 blosser 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 m³. 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.

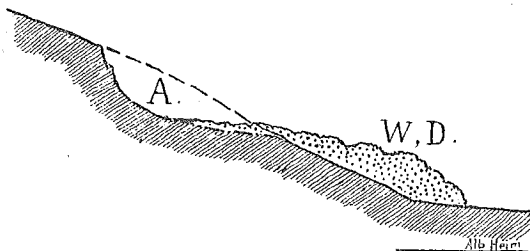


Fig. 4. Profil einer gewöhnlichen kleinen Gehängerutschung (Typus II).

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 Schutttrutschungen 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 Isoklinaltäälchen, 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 bergwärtsfallenden 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, $\frac{1}{2}$ bis 3 m hoch, floss langsam ins Dorf und hinaus in die Linthebene, wo er nach 48 Stunden stillstand. Zum Flieden 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 180 000 m³ 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 Schuttrutschungen.

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 irgendwo 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 $\frac{1}{2}$ 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 Steinströme gerissen wird. Wenn Gmsen 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 Steinesturz 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 Uferleinbrüche 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 Uferleinbrüche 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 Uferleinbrüchen schuld seien, was man so oft behaupten hört, ist eine blosser 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 Uferleinbruch 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 Uferlandes durch neue Quaiabauwerke 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 1/2° (Fig. 5, Seite 36).

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

Von den vielen Uferleinbrüchen 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 weggefeget.

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 schiefer 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: