

5. Dislokationsbreccien.

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

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

Von Augenzeugen Gesehenes.

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

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

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

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

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

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

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

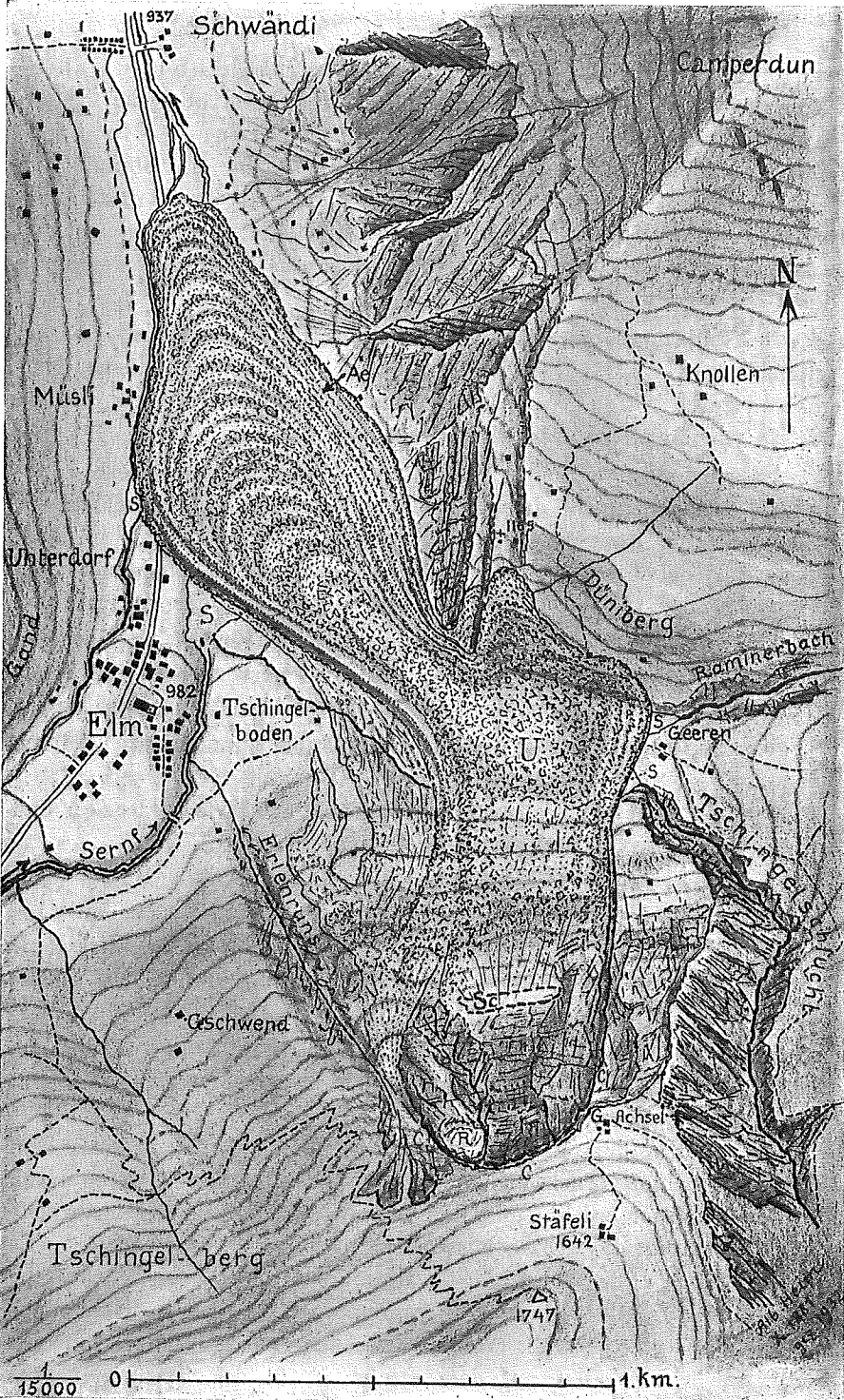
Vorzeichen gingen wochen-, tage- und stundenlang reichlich voran.

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

1. Der erste Sturz, eine „Steinlawine“, brach aus dem östlichen Rande des Abrissgebietes herab am 11. Sept. 1881, nachmittags 5¹⁵ Uhr. Er verschüttete die Schiefermagazine und das Haus „Wirtschaft zum Martinsloch“ und staute den Tschingelbach und Raminerbach; Schuttfläche „etwa vier Jucharten“.

2. Der zweite Sturz, eine grössere Steinlawine, brach aus dem westlichen Rande des Abrissgebietes um 5³², zerstörte fünf Häuser und neun Ställe.

3. Nun war der „Plattenbergkopf“, die Felsmasse über dem Plattenbergschieferbruch, vollständig herausgeschnitten — unten durch den Schieferbruch, rechts und links durch die zwei Flankenausbrüche und oben durch die grosse Nischenspalte: Der „grosse Chlagg“. Es ging nur noch vier Minuten bis diese ganze Felsmasse 5³⁶ Uhr herunterbrach. Dabei sahen die Augenzeugen folgendes: Der ganze Plattenbergkopf fuhr von N gesehen senkrecht, von der Seite gesehen parallel auf dem steilen Profil des Tschingelberges



Der Bergsturz von Elm am 11. IX. 1881.

Ae = Aeschen. CCC = Grosser Chlaßß. R = Risikopf. G = Gelber Kopf

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

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

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

Trümmerströme als allgemeine Erscheinung.

Wir kennen nun schon um zwanzig Bergstürze grosser Dimensionen, bei welchen allen das Phänomen des Strömens des trockenen Felschuttes sich ausprägt und deutlich gezeigt hat. Bei Goldau ist es von den Augenzeugen mehr bloss aus seinen Wirkungen halbbewusst erkannt worden. In Elm haben zum ersten Mal viele Augenzeugen vollständig übereinstimmend den Vorgang in seinen verschiedenen Abschnitten und Eigentümlichkeiten direkt gesehen und erzählt. Dadurch sind auch die von uns aus den Erscheinungen der in Stillstand gekommenen Trümmerströme gezogenen Darlegungen vollauf bestätigt. Fließende Trümmerströme hatten sich ergeben bei den historischen Felsstürzen von Elm, Goldau, Frank, Diableret, und den vorgeschichtlichen: Lago di Poschiavo, Glärnisch-Guppen, Wiggis, Rautispitz-Obersee, Voralpsee, Parpan, Flims, Sierre, Engelberg, Kandertal, Cima di Saoseo, Cima di Dosdè, Kernwald, Bormio. Dabei habe ich Bergstürze von geringeren Dimensionen, bei welchen zwar die Schußstrom-Natur deutlich sich zeigt, aber sich nicht vollauf entwickeln konnte, wie Airolo 1898, Zarera in Val Lagone-Bernina 1486, Schwanden bei Brienz 1901, u. a. nicht eingereicht. Nach meiner Überzeugung kann man sagen, dass bei grossen Felsstürzen mit einigen hundert Metern Sturzhöhe und über $\frac{1}{2}$ Million m³ Volumen der Trümmerstrom als allgemeine, mechanisch notwendige Auslösung entstehen muss. Eine genauere Prüfung wird ihn noch bei vielen alten Bergstürzen in allen Gebirgen erkennen, die eben bisher noch gar nicht näher beachtet worden sind.

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

Ergänzungen und Erläuterungen zu der folgenden Tabelle

(s. Seite 114—119) und Schlüsse.

a) Die Böschungen.

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

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

2. Der Höhe des Absturzes.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Zusammenstellung einiger

Ort und Zeit	Typus	Oberrand des Abrisses m ü.M.	Fuss der Steilfahrt m ü.M.	Steilfall Höhe h ₁	Brandung	
					Meeres- höhe	Aufstieg br
Frank Alberta-Canada 29. IV. 1903	XV	2128 bis 2200	1250	950	1390	139
Sasso Rosso ob Airolo (Tessin) 28. XII. 1898	XV	2000	1275	725	— Keine Gelegenheit	— Keine Gelegenheit
Vom Tschingelberg — Plattenberg-Kopf Elm (Glarus) 11. IX. 1881	XV	1560	986	570	1100	114
Vom Rossberg-Gnippe Goldau (Schwyz) 2. IX. 1806	XIV	1550	510	1040	585	75 ? (60—100)
Diablerets (Wallis) 24. IX. 1714 und 23. VI. 1749	XV	3120	1480 bis 1500	1620 L= 1500	— Nicht be- stimmbar, weil Fels- grund un- sicher und Brandungen sehr schief	— ?
Disentis (Kurhaus) (Graubünden) 29. VI. 1683	XV	1900	ca. 1000	900	1160	160

Felsstürze nach ihren Maßen.

h_1/br	Grundriss Stromlänge Ende der Ablagerung Meereshöhe h_2	<i>Fahr- Böschung</i> Schutt- strom- Böschung	Volumen in Millionen m^3 D = Ablage- rungsdicke	Eigentümlichkeiten und Notizen
$1/8$	1390	16° -5°	$30\frac{1}{2}$ D = 14 m	Paläoz. Kalkstein, 50° bergewärts fallend am Turtle Mountain, grosse Querabbruchnische bis an den Gipfel. Ausbreitung nach NW über sanft stufig ansteigende Fläche. Ausbreitungsradius 1650 m. Vorausgesehen!
— Keine Gelegenheit	1270 1180	$32\frac{1}{2}^\circ$ 12°	0,5	Kristalline Schiefer (Gneiss, Amphibolit, Granat gl.) ca. 50° bergewärts fallend. Ablösungen parallel der Oberfläche. Sturzbahn 44 bis 45° , Zerstörungsfläche = $425\,000\ m^2$, Abrissfläche $10\,000\ m^2$. Vorausgesehen.
$1/5$	2375 950	16° Flachstrom = $1412 = 3^\circ$ 3°	10—11 D = 5 m bis 50 m	Ursache: Untergrabung durch Schieferbruch. Zunehmende Bewegung im Fels seit 1878. Zwei Vorstürze, 17 Minuten auseinander. 4 Minuten nachher Hauptsturz: Felsfall, Felssprung, Brandung, Ablenkung nach links, flacher Strom.
$1/12$ bis $1/10$	7620 2000 450 Lowerz	12° $3\frac{1}{2}^\circ$	30—40 D = 25 m bis 100 m	Felsschliff, Nagelfluhschichten auf Mergelschichten. Schichtenfall 20° gegen S. Fächerförmige Ausbreitung.
— ?	5500 1215	$19\frac{1}{2}^\circ$ Strom auf 2900 m Länge $4\frac{1}{2}^\circ$	50	1. Fall ca. 1000 m auf 50° bis 60° . 2. Brandung, Ablenkung $60-70^\circ$ links bei ca. 20° auf $1\frac{1}{2}$ km. 3. Zwischenfläche bei 1380 m Höhe, 1200 m lang, 3° . 14 kleine Seen. 4. Zweite Brandung mit Ablenkung über 50° nach rechts. 5. Strom mit 4° . Ende Besson 1215 m (ungenau verwaschen).
$1/6$ bis $1/5$	2000 An Brandung 1160	21°	10—20	Altkristalline Schiefer, steil nach S fallend. Abfahrt nach N aus halbrunder Nische. Aufbränden ohne Teilung senkrecht auf die Gegenwand, Stauung des Rheines während 3 Std. 22 Tote.

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

h_1/br	Grundriss Stromlänge Ende der Ablagerung Meereshöhe h_2	<i>Fahr- Böschung</i> Schutt- strom- Böschung	Volumen in Millionen m^3 $D = \text{Ablage-}$ ringsdicke	Eigentümlichkeiten und Notizen
$1/9$	2875 920	15° Flachstrom 8°	ca. 30	Felssturz gegen NE ab einer Kreidefelswand, Scheitel eines gegen NE einsinkenden Gewölbes. Beginn der Ablagerung (Stauung) 875 m NE vom Kopf. Stromlänge von da bis Brandungsstelle 625 m. Nach der Brandung nach NE abgelenkter 2300 m langer Strom. Bildung des Voralpsees. Quelle am unteren Stromrande bei 929 m.
$1/7 ?$	nach S 2250 nach W 3500 Ende bei 1180	20° z. Brandung 17 1/2° z. Stromende	180? 6 km ² Ablagerung	Zweiteilung des Trümmerstromes: 1. Nach Val Viola talaufwärts 10° bis 20° rechts nach W. 2. 75° links abgelenkt nach S, Addatal und Bormio.
$1/6$ bis $1/4$	$\Sigma 10000$ S: 3 1/4 km Ende 1460 N: 3 km Ende 1240	15° S-Zweig 2°	Zwischen 100 und 200	Felsbruch ab fast horizontaler Schichtung. Absturz nach W. Brandung und Teilung in zwei Ströme: Nach S bis Ova da Sanaspans 1461 m. Nach N bis Churwalden Brugg 1240 m. Sattelpunkt S Parpan, 3 km W Abrissrand = 1551 m.
$1/6$ bis $1/4$	5 1/2 km 1822 Terzana	15° Strom 5°	ca. 80	Absturz u. Aufbränden gegen NW. Ablenkung 90° gegen SW. Kurz vor dem Stromende Ablenkung gegen W. 6 Seen im Strom und Lago di Val Viola am NE Rande.
$1/7,5$	3750 2040	24°	ca. 20	Absturz am Rande der Schweizergrenze in Italien gegen N. Nach 2 km Weg Ablenkung 70° nach rechts. 2 Seen.
$1/5$	10 bis 11 km Strom 8 km 740	10—12° Strom 3°	140?	Absturz nach NW, Ablenkung 30° bis 40° nach rechts NNW. Strombreite meistens 500 m, zwei Quellseen Unteres Ende verschwemmt.
$1/4,5$ bis $1/5$	4 km 780 Brusio	19° bis Brandung 25°	ca. 150 $D \text{ max.} =$ 270 m	Sturz nach NE, Ablenkung 90° nach recht in SE. Strom bis Brusio. Stauung des Lago di Poschiavo, Schöpfer der Talstufe vo Poschiavo, Kraftwerk Brusio.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

b) Verhältnis von Fahrböschung zu Masse.

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

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

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

Jeder dieser Fälle bedarf noch einiger näherer Erläuterungen: **Airolo**, 28. XII. 1898, war fast mehr noch Felslawine, aber doch mit schon deutlicher Entwicklung eines kompakten, scharfbegrenzten

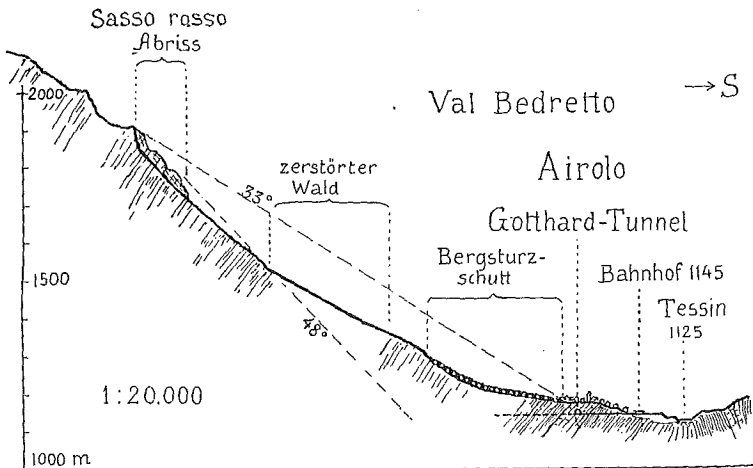


Fig. 23. Profil des Felssturzes vom Sasso rosso, Airolo.
28. XII. 1898, M. 2 1/2 h.

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

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

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

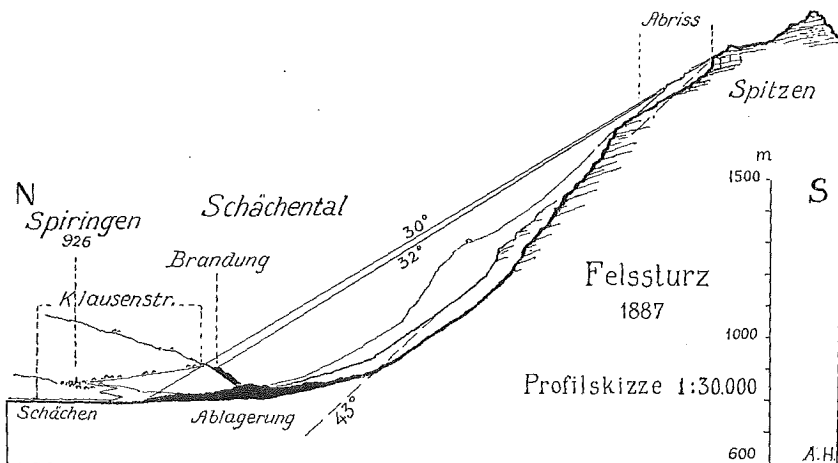


Fig. 24. Felssturz ab den Spitzens bei Spiringen, Schächental.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

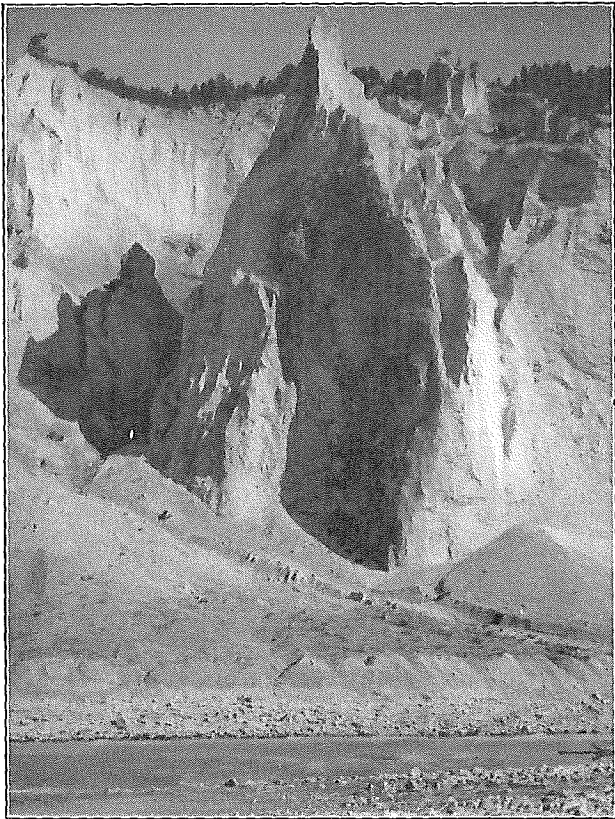
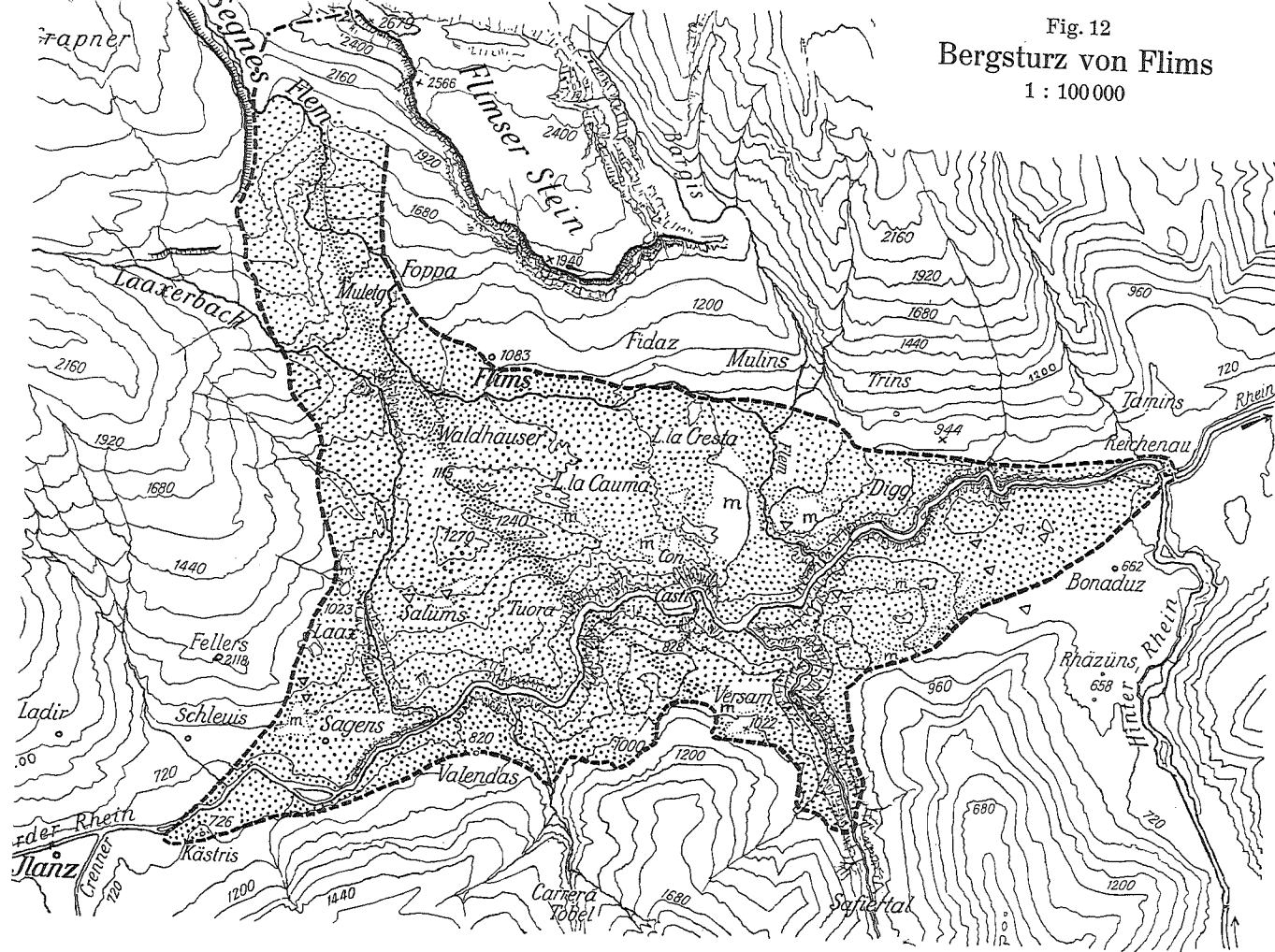
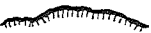



Fig. 14. Durchschnitt des Rheines durch den Bergsturzhaufen von Flims gegenüber Versam. Phot. Arn. Heim, 1919.


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


Fig. 12
 Bergsturz von Flims
 1 : 100 000






 Abrissrand
 (am Flimsenstein und
 Grapner)


 Obere Abrissgrenze


 Sturzbreccie


 Stromstrich-Rücken


 Erratische Blöcke


 Grundmoräne

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

c. Felsstürze mit Trümmerströmen unter zusammengesetzten wechselnden Umständen.

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

Nun ergänzende Bemerkungen zu den noch nicht besprochenen übrigen Fällen:

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

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

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

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

Die Ereignisse im Verlauf des Absturzes waren folgende:

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

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

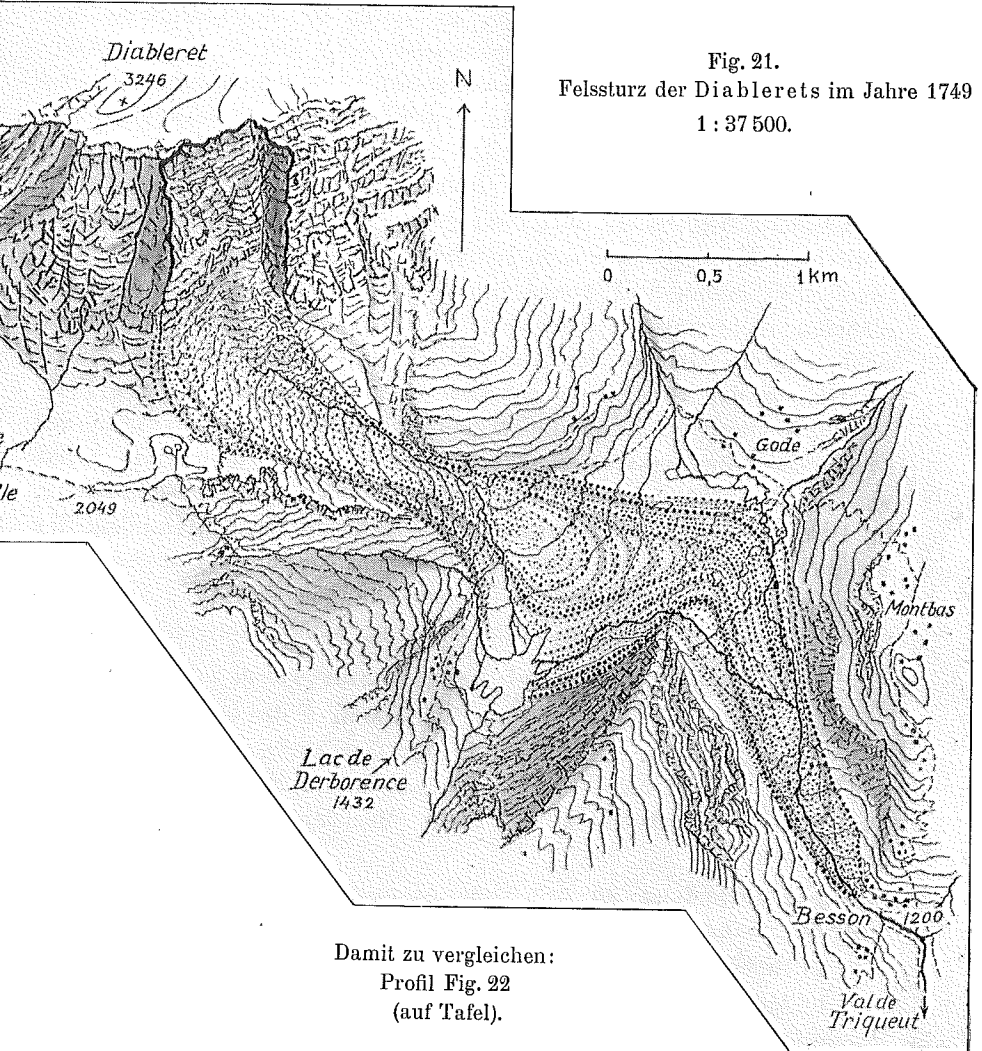
3. Richtung S E mit Gefälle 18° auf 1500 m hinaus.

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

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

6. Trümmerstrom N—S von 1322 m bis unter Besson ca. $1\frac{1}{2}$ km, Stromende bei ca. 1215 m, Gefälle ca. $4\frac{1}{2}^\circ$.

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



Diablerets gehört zu den steileren Felsströmen infolge der Hemmnisse in seiner Sturzbahn. Seine Fahrböschung ist $19\frac{1}{2}^\circ$, erst im unteren Stück nach der Erweiterung wird der Stromrücken von geringem Gefälle.

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

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

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

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

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

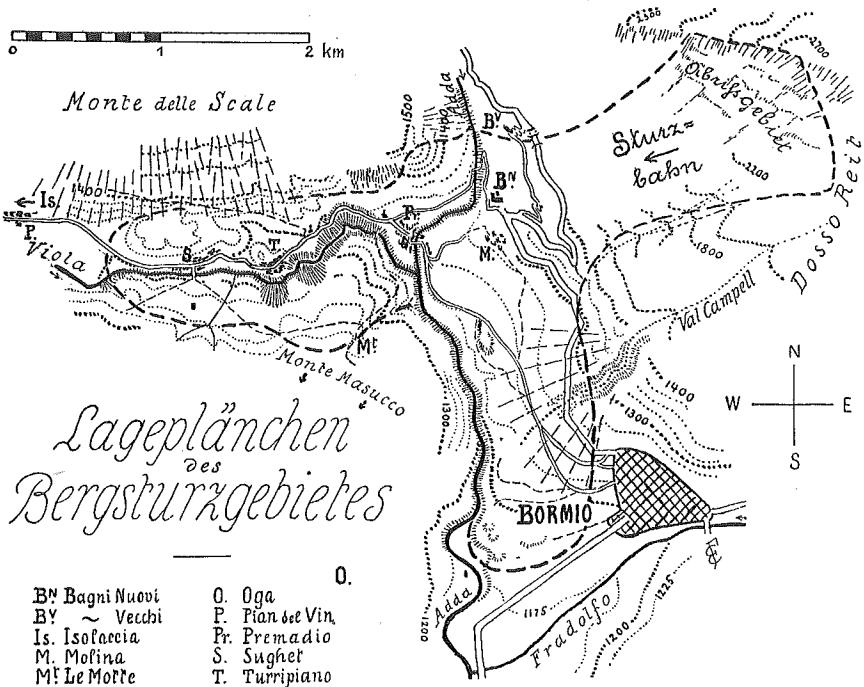


Fig. 25. Bormio, Zeichnung von E. Furrer.

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

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

Parpan.

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

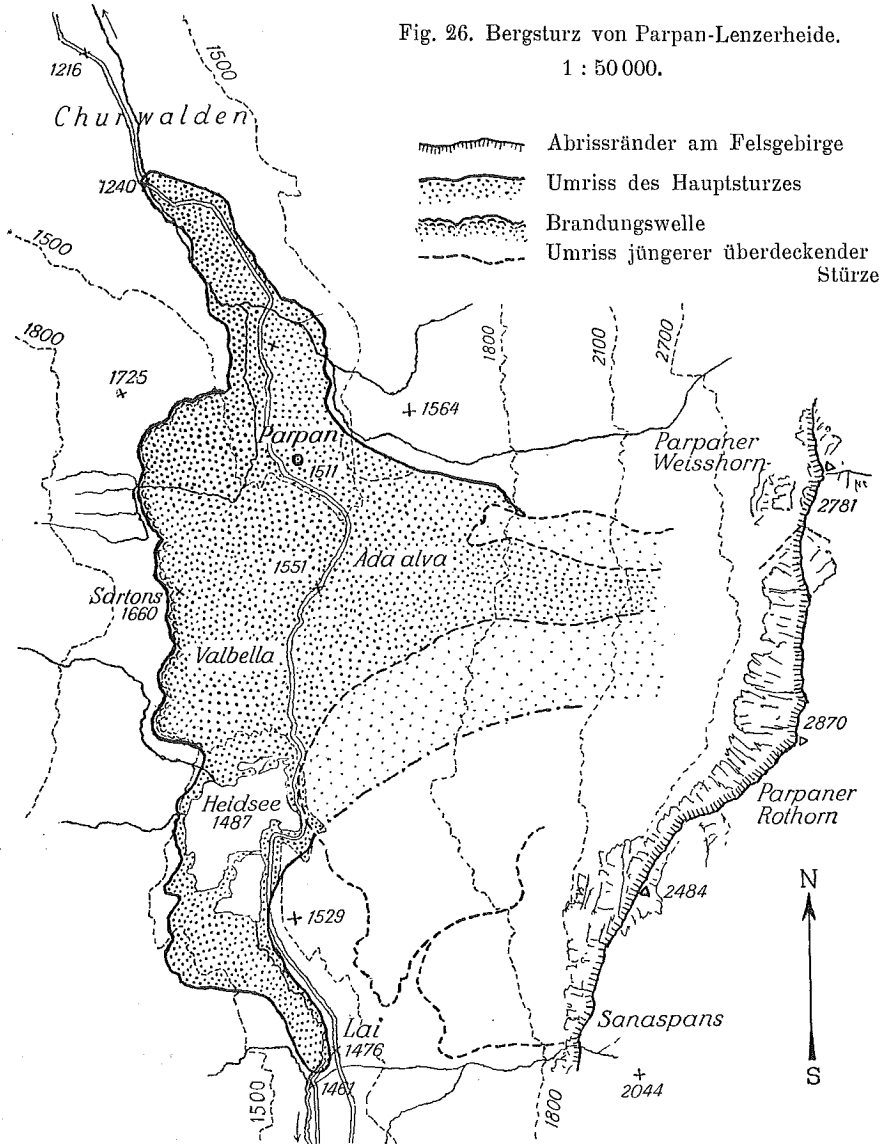
Der alte, in der Vertiefung zurückgebliebene flusslose Taltorso von Lenz-Parpan-Churwalden ist reich an Schuttbildungen mit Bergstürzen, die teils übereinander liegen. Die steilgebirgige Ostseite hat sie geliefert. Die Bewegungen waren vorherrschend E—W gerichtet. Der dem Volumen nach weitaus bedeutendste ist aus dem Berggrat, der einst das Parpaner-Rothorn und Parpaner-Weisshorn verband, aus 2400 bis 2800 m Höhe angerissen. Er hat einen Wall von 40—50 m Höhe quer durch das Tal aufgeworfen. Die Landstrasse benutzt bei 1551 m, Acla alva, die niedrigste Stelle des Schuttstromes, der sich dann, westlich aufbrandend auf etwa 2 km verbreitet. Auf dieser ganzen Breite endigt der Trümmerstrom mit welligem, oft hohem Brandungsrand in 1580 bis 1710 m Meereshöhe. Von der Stelle Acla alva aus gehen Seitenströme diametral auseinander, jeder unter rechtem Winkel abgelenkt, der eine 3 km lange nach N bis Churwalden bei 1240 m Höhe, der andere $3\frac{1}{4}$ km nach S bis Lai 1461 m. Der nördliche Stromzweig wird hauptsächlich von den triasischen Gesteinen (Hauptdolomit des Weisshornes) gebildet, der südliche besteht vorherrschend aus Blöcken des Altkristallin (Rothorn), beides der Silvrettadecke zugehörig. Im Abrissgebiete war diese Anordnung gegeben: das nördliche Weisshorn Trias, das südliche Rothorn Altkristallin. Der Heidsee liegt ganz vom grossen Parpanerbergsturz umgeben. Bergsturz-Volumen 100 bis 200 Millionen m³.

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

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

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

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



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

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

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

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

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

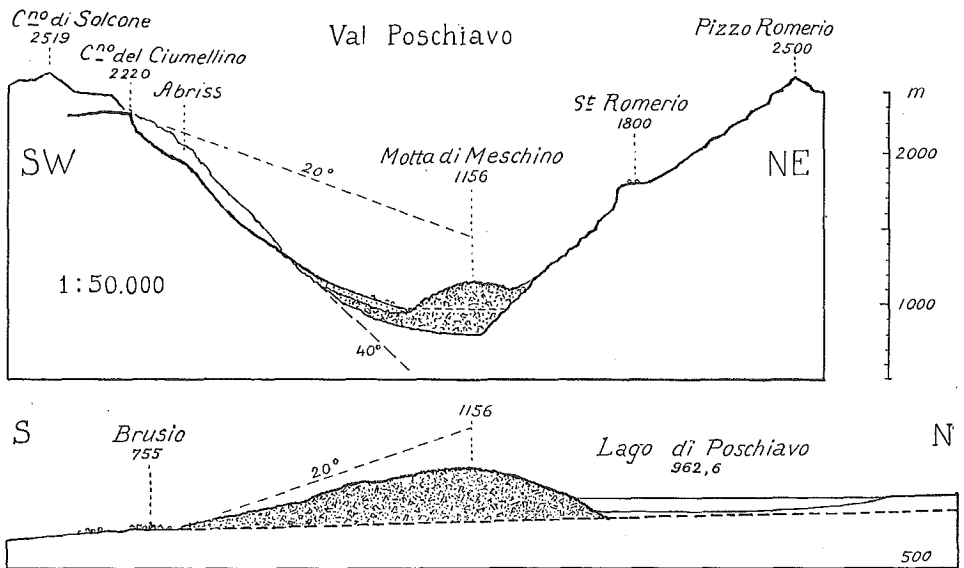


Fig. 27. Bergsturzprofile am Poschiavosee.

dies verhindern. Dieser Bergsturz liefert uns durch die fast vollkommene Ausschaltung einer längeren Laufbahn und den unmittelbaren Anschluss der Ablagerung an den Fuss des jenseitigen Steilabsturzes, mit senkrecht auf ihr Streichen gerichtetem Anprall, das Maß für die Aufbrandung, reiner und richtiger als bisher die anderen. Am nächsten steht in diesem Sinne der Bergsturz von Disentis. Allein, dort ist die Sturzhöhe nicht genau zu bestimmen und die Fahrbahn nicht so frei und klar. Am Poschiavo-Riegel tritt uns die Zahl: $\text{Aufbrandungshöhe} = \frac{1}{5} \text{ Sturzhöhe}$ am klarsten und ohne Nebenkomplicationen und Hemmungen entgegen.

Der Bergsturz „Motta di Meschino“ ist prähistorisch. Er ist nach seiner unversehrten Gestalt wie nach dem Funde von Moränen-schlieren, im Trümmerstrom einbezogen (R. STAUB), postglacial. Dass

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

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

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

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

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

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

Das Leuchten des Felssturzes.

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

Das Getöse der Felsstürze.

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

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

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

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

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

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

Der Windschlag der Felsstürze.

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

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

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

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

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

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

Physikalische Betrachtung der grossen Felsstürze mit Schußstrom.

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

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

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

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

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

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

Der Reibungswiderstand R ist
 = Normaldruck $N \times$ Reibungskoeffizient
 = $G \cdot \cos \beta \cdot \mu$

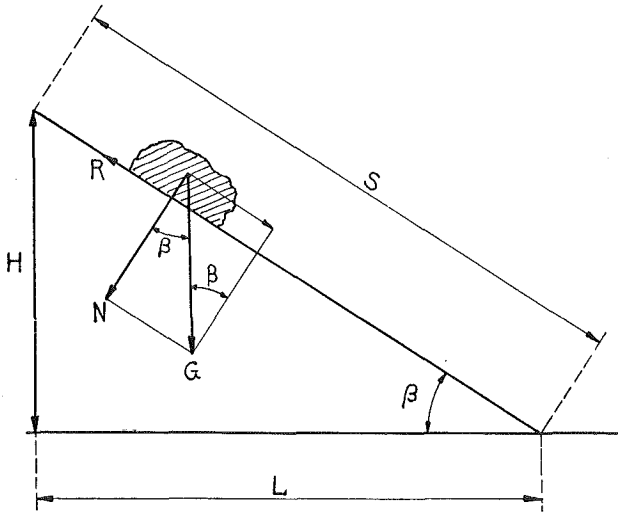


Fig. 28.

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

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

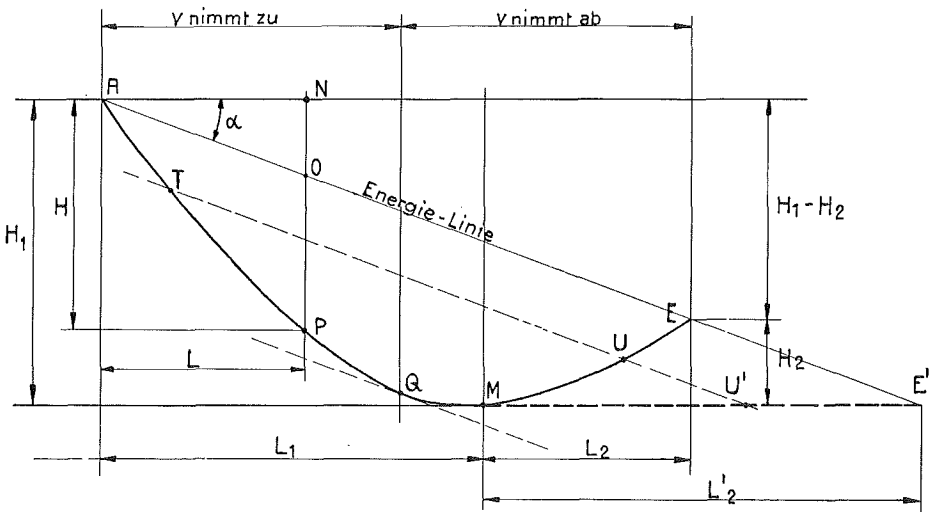


Fig. 29.

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

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

Fallarbeit — Reibungsarbeit = Hubarbeit + Reibungsarbeit

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

Verliefe die Bahn vom Punkte M hinweg horizontal, so käme die Bewegung erst im Punkt E' zum Stillstand und es gälte:

$$G \cdot H_1 - \mu GL_1 = \mu GL_2', \text{ woraus wieder } \mu = H_1 : (L_1 + L_2') = \operatorname{tg} \alpha.$$

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

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

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

Im Bahnpunkt Q, wo die Bahntangente mit der Energie-Linie parallel läuft, ist die lebendige Kraft und damit die Geschwindigkeit ein Maximum. In Punkten wie T und U (sowie U'), die auf einer Parallelen zu AEE' liegen, sind die Geschwindigkeiten gleich gross.

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

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

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

v_0 = die Geschwindigkeit am Anfang einer solchen schiefen Ebene (am Abrissrand $v_0 = 0$).

c = die Beschleunigung.

t = die Zeit, gezählt vom Moment des Passierens des Anfangspunktes der betreffenden schiefen Ebene.

s = den Weg, gemessen vom Anfangspunkt der betr. schiefen Ebene.

g = die Erdbeschleunigung.

Aus der Beziehung:

Kraft = Masse mal Beschleunigung gilt nach Figur 28:

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

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

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

$$v = v_0 + c t$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

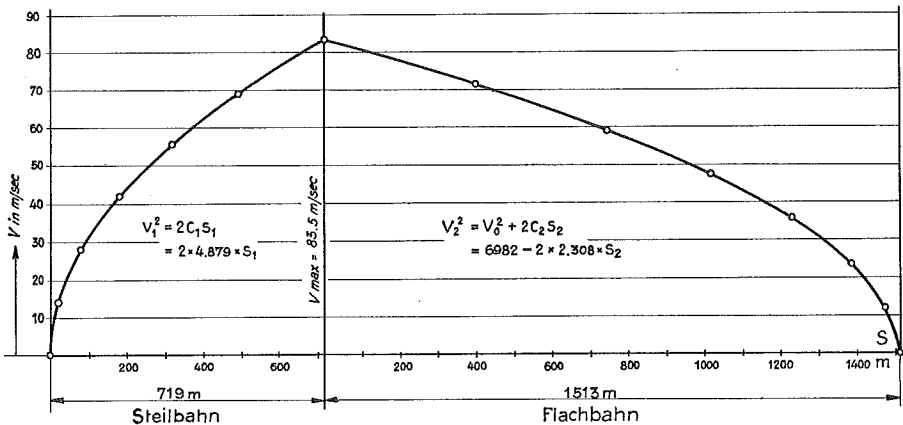


Fig. 30.

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

Bezeichne:

- v_1 = Geschwindigkeit am Fusse des Steilhanges.
- t_1 = Zeitdauer der Bewegung über 719 m Steilhang.
- t_2 = " " " " 1513 m Flachhang.
- c_2 = Beschleunigung auf dem Flachhang.

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

Fall- Reibungs- = Lebendige
arbeit arbeit = Kraft

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

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

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

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

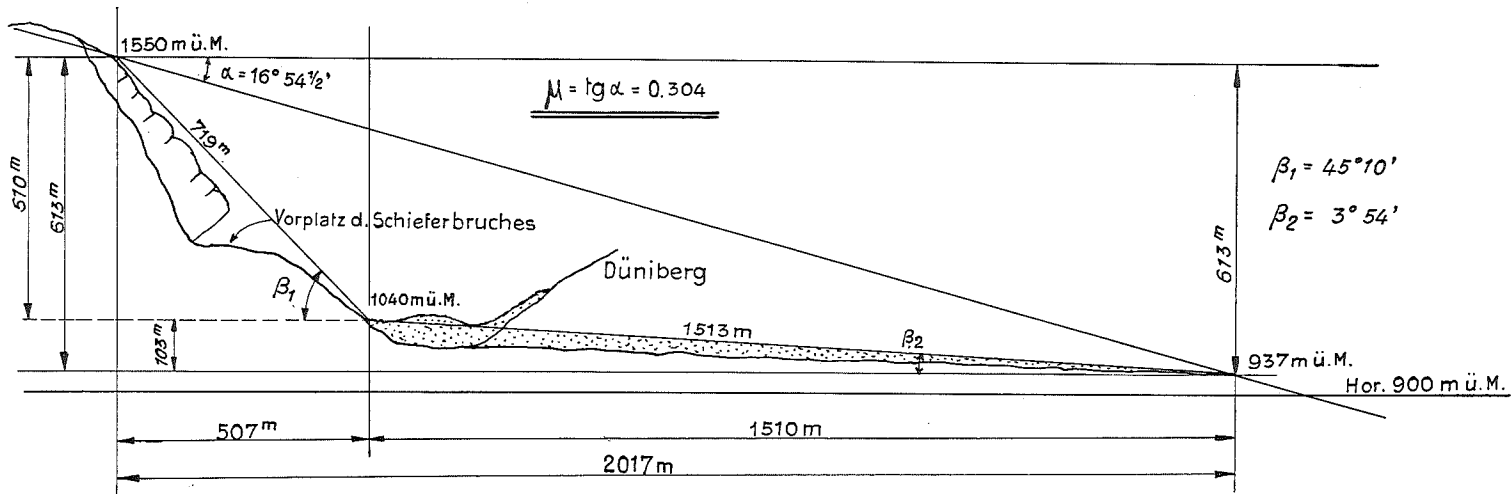


Fig. 31.

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

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

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

Würde es sich darum handeln, bei gegebener Geschwindigkeit v_1 und angenommenem Wert von μ die Länge der Flachbahn über einen um β_2° geneigten Talboden zu bestimmen, so wäre im vorstehenden Fall die Arbeitsgleichung anzuschreiben wie folgt:

$$356 \text{ mkg lebendige Kraft} + L \sin \beta_2 \text{ mkg} = \mu L \text{ mkg}$$

$$\text{am Anfang der Flachbahn} + \text{Fallarbeit auf der Flachbahn} = \text{Reibungsarbeit auf der Flachbahn}$$

woraus:

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

Schuttstromes auf der Flachbahn.

Dr. E. MÜLLER.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Abstürzendes Felsvolumen in einem Mal wahrscheinlich weniger als $\frac{1}{2}$ Million m^3 — höchstens $1\frac{1}{2}$ Millionen. Gleitböschung im oberen Teil des Abrisses 20° bis 30° gegen N, im unteren 30° bis 45° gegen NW fallend. Sturzhöhe 900 m, Böschung der Steilbahn 41° bis 43° . Flachbahn bis an das gegenüberliegende Gehänge 650 m weit mit 50 m Gefälle. Aufbränden mit Ablenkung talauswärts um 75° .

Typus XVI. Dauernder Felssturz, chronischer Felssturz.

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

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

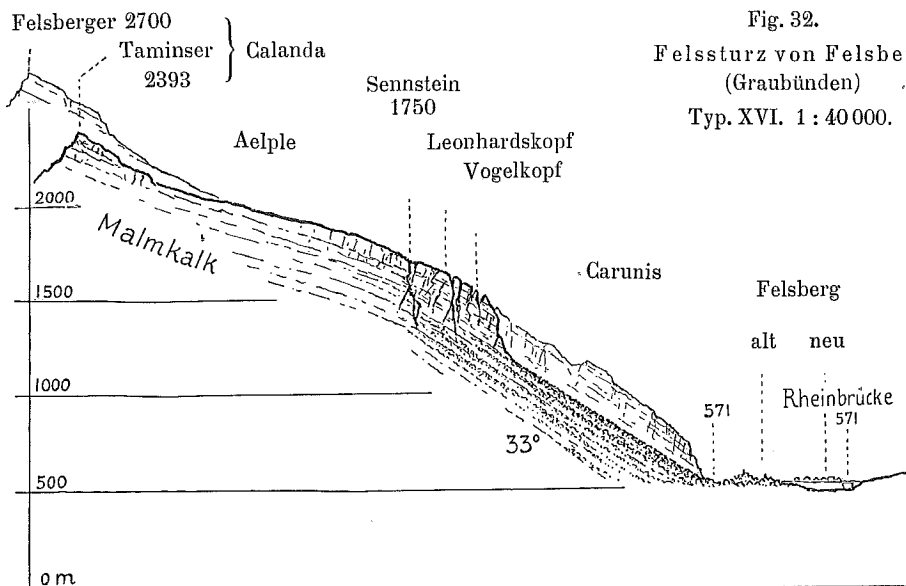


Fig. 32.
Felssturz von Felsberg
(Graubünden)
Typ. XVI. 1 : 40 000.

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

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

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

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

Gleich oberhalb des oberen Endes des Brienersees, am S-Abhang des Tales, besteht ein dauernder Felssturz, die **Rieseten**. Der Felsabbruch findet quer zur Schichtung statt. Der Oberrand des Abrisses liegt bei 1500 m. In ziemlich gleichmässiger, nach unten nur wenig abnehmender Böschung schliesst die schuttbedeckte Fahrbahn an die Abrutschnische an. Ihr Schutthaldenfuss steht am Aaretalboden bei 600 m Meereshöhe an; gesamte Sturzhöhe 900 m, gesamtes Gefälle $32\frac{1}{2}^\circ$, Gefälle der Schutthalde im untersten Teil 22° . Ich habe die Rieseten im Jahre 1872 schon gesehen, und damals und spätere Male wieder ihrem Geriesel gehorcht. Sie ist sich immer fast gleich geblieben. In den letzten 20 Jahren ist sie etwas ruhiger geworden und ist stellenweise etwas bewachsen. Ob man am oberen Rande, dem Boden Bidmer, etwelches Rückgreifen bemerken konnte, weiss ich nicht. Gefahr bringt die „Risi“ keine.

IV. Hauptgruppe: Oben nicht einzuordnende Typen.

Typus XVII. Zusammengesetzter Bergsturz.

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