

Vergleichende und zusammenfassende Betrachtungen

Objektyp: **Chapter**

Zeitschrift: **Jahresbericht der Geographischen Gesellschaft von Bern**

Band (Jahr): **44 (1957)**

PDF erstellt am: **29.04.2024**

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

D. VERGLEICHENDE UND ZUSAMMENFASSENDE BETRACHTUNGEN

Bergstürze und Rutschungen sind an sich exogene Vorgänge und werden hier auch als solche behandelt. Dabei bin ich mir klar, daß endogene Kräfte allgemeine und spezielle Voraussetzungen schaffen und unter Umständen direkt an der Auslösung beteiligt sein können: Orogenetische Bewegungen bedingen die oft entscheidende Tektonik und mit ihr wichtige Bruch- und Kluftsysteme. Die äußeren Einwirkungen richten sich also nach vorgezeichneten Bahnen. Dies gilt nicht nur für die Talbildung im Lütschinengebiet allgemein, sondern auch weitgehend für die einen Teil der Abtragung darstellenden Massenbewegungen. Da in dieser Arbeit einerseits keine systematische Massenbewegungstheorie aufgestellt werden soll und andererseits die beschränkten Untersuchungen zu wenig in dieser Richtung ausgedehnt wurden, verzichte ich auf die zu hypothetische Deutung endogener Einflüsse und halte mich mehr an reine Deskription. Auch so bieten die oft verwischten oder nicht erfaßbaren speziellen Verhältnisse genug Unsicherheitsfaktoren.

Bei zusammenfassender Betrachtung fällt zunächst die Verschiedenheit der einzelnen Bewegungen in ihrem Ablauf ins Auge; sie macht weitgehend das Wesen einer Massenbewegung aus. Dabei drängt sich eine Trennung in schnelle und langsame Vorgänge auf, die sowohl Heim [27] wie Jäckli [32] durchgeführt haben. Sie ist als primäres Unterscheidungsmerkmal der Sonderung nach beteiligtem Material vorzuziehen. Bei dieser Gelegenheit kann wohl darauf hingewiesen werden, daß trotz der unleugbaren praktischen Bedeutung systematische Bergsturz- und Rutschungsliteratur dünn gesät ist. Auch die meisten regionalgeologischen Arbeiten bringen Gegenwartsprobleme bedauerlicherweise nur ganz am Rande, was sich alles u. a. darin äußert, daß mir terminologische Fragen teilweise ungelöst scheinen. Es werden oft verschiedene Begriffe für gleiche Erscheinungen und umgekehrt verwendet.

Die folgende Einteilung in Gruppen und Typen richtet sich in erster Linie nach der Bewegung, d. h. ihrer Art und Geschwindigkeit, dann nach der Qualität der bewegten Massen, ohne die Ursachen oder die Form der Ablösung einzubeziehen.

I. DIE SCHNELLEN MASSENBEWEGUNGEN

Darunter sind solche Ereignisse zu verstehen, deren Ablauf in der Größenordnung von Sekunden bis wenigen Minuten erfolgt, bzw. deren Abfahrt eine beschleunigte Bewegung auf schiefer Ebene darstellt. Heim [27] nennt sie Bewegungen mit stürzender Talfahrt und gibt Maximalgeschwindigkeiten von 50–150 m/sec an. Sie sind auf steile Böschungen beschränkt, ohne daß sich in dieser Hinsicht

eine allgemein gültige Zahl nennen ließe. Auffallend viele Fahrbahnen in den Lütschinentälern weisen Böschungswinkel um 40° auf, doch sind bei dieser Steilheit ebenfalls langsame Bewegungen möglich. Die eigentlichen Abrißgebiete liegen meist noch erheblich steiler.

Eine Folge schneller Massenbewegungen sind ausgesprochene Ablagerungsgebiete, die wegen der stürzenden Talfahrt immer aus Trümmaterial bestehen, im übrigen aber bedeutende Unterschiede aufweisen. Steinschlag und größte Bergstürze schaffen extreme Formen, wobei letztere im Untersuchungsgebiet fehlen. Die Trennung kann vorwiegend an Hand von Form, Struktur und Böschungswinkeln erfolgen. Wichtig ist dabei, daß die Reibung mit zunehmender, gleichzeitig abfahrender Masse relativ abnimmt (Müller in Heim [27]). Darin liegt die Erklärung für das ungleich weite Hinausschießen von Bergstürzen ins flache oder rückläufige Gelände (Brandung) bei ähnlichen Fahrbahnen. Dies wird durch die Beziehung der Fahrböschung zur abgestürzten Masse dargestellt.

I. STEINSCHLAG

Der Steinschlag und die vorwiegend durch ihn geschaffenen Ablagerungsformen sind in dieser Arbeit nicht berücksichtigt, obwohl es an Beispielen nicht fehlt. Einzelne Hinweise sind trotzdem am Platz:

Durch den Sturz einzelner Stücke von unterschiedlichster Größe entstehen je nach Gelände regelmäßig geformte Halden oder Kegel, oft mit gegen unten abnehmender Böschung, falls eine ungestörte Entwicklung möglich ist. Die Böschungswinkel vorwiegend trockener Halden liegen normalerweise über 30° , für massige Kalke meist zwischen 32 und 35° . Dieser Wert darf nicht mit der Bergsturz-Fahrböschung verwechselt werden, da die Fallhöhe nicht einbezogen ist. Die Fahrböschung müßte für Steinschlag wesentlich höher sein als für Bergstürze, ist aber nur in Spezialfällen kontrollierbar. Schuttmassen mit wesentlich unter 30° liegender Neigung können nicht direkt durch Steinschlag zustande gekommen sein. Meist sind in diesen Fällen Verschwemmung oder Bergstürze beteiligt.

Vielerorts existieren Mischformen, d.h. außer Steinschlagtrümmern liegen in den Blockschuttmassen kleinere Felsstürze, besonders dort, wo ein zerrüttetes Abrißgebiet vorliegt:

Busenalp S Sefinental	N Isenfluh
Ghudelhorn S Sefinental	SE Rötihorn
NE Hundshorn an der Sefinenfurke	S Birre-Burg
E Spaltenhorn im Saustal	N Gündlischwand-Lütschental
Gebiet Ars-Balm	SE Gsteigwiler

Felsstürze fallen hier oft in den oberflächlich sehr regelmäßigen Schutthalden als flache, langgezogene, aber unregelmäßig zusammengesetzte Haufen auf.

Unter 2000 m sind fast alle Steinschlagmassen stark bewachsen, meist mit Wald. Große Aktivität, die relativ selten ist, zerstört die Pflanzendecke immer wieder teilweise und drückt in höheren Gebieten die Vegetationsgrenze herunter. So sind die großen Gehängeschuttmassen im Raum Schilthorn–Hundshorn je nach Exposition und speziellen Verhältnissen bis auf 2300–2500 m bewachsen, während um das benachbarte, stark zerfallende Ghudelhorn die geschlossene Vegetationsdecke erst unter 2000 m einsetzt.

Die meist dichte Waldbedeckung tiefliegender Schutthalden läßt die Vermutung zu, daß es in dieser Höhe Zeiten mit intensiverem Steinschlag gegeben hat, vermutlich nach dem Rückzug der Gletscher. Damit im Zusammenhang steht die Frage, ob heute eine bestimmte Höhenzone besonders starken Steinschlag aufweist. Dies scheint mir nicht ausgeschlossen, da ja Spaltenfrost als klimaabhängiges Element anerkanntermaßen die Hauptursache darstellt. Eine solche Zone müßte vermutlich direkt unter der Permafrostgrenze liegen.

Materialmäßig dominieren in den Steinschlaghalden der Lütschinentäler massige Kalke, während Steinschlag aus Schiefergebieten keine Rolle spielt, da es darin gar nicht zur Wandbildung kommt.

2. FELS- UND BERGSTÜRZE

Sie unterscheiden sich vom Steinschlag in erster Linie dadurch, daß größere Felsmassen gleichzeitig abfahren und es sich nicht um dauernde, sondern um ein- bis mehrmalige Ereignisse handelt. Eine genaue Grenze läßt sich indessen keinesfalls ziehen, da Übergangsformen häufig sind.

Die Unterscheidung zweier Begriffe scheint mir am Platz: *Felssturz* für kleinere, *Bergsturz* für größere Einheiten, aber auch dies ohne exakte Trennung. Heim [27] verwendet für kleine Exemplare den Begriff Steinlawine, den ich nicht brauchen möchte, da auch größere Felsstürze durchaus verwandtschaftliche Züge mit Lawinen aufweisen und andererseits diese keineswegs immer klein sind. Eine dritte Form, der Schuttsturz, als Gegensatz zum Felssturz, läßt sich in den Lütschinentälern nur in Kleinformen, z. B. SSW Lauterbrunnen, feststellen. Spezielle Begriffe nach der Ablösungsart zu schaffen, wie Schlipfsturz, Fallsturz, Bruchsturz, finde ich nicht glücklich, da reine Formen wohl eher selten sind und die gemeinsamen Merkmale die trennenden bei weitem übertreffen.

Genaue Erkenntnisse lassen sich nur an frischen Bergstürzen gewinnen. Im Lütschinengebiet findet sich aber kein historisches Ereignis, das dem Begriff Bergsturz entsprechen würde.

Da besonders die Ablagerungen mit der Zeit Veränderungen erfahren, sind die rekonstruierten Werte der Bergsturztabelle mit Vorsicht zu genießen. Es sind in ihr außerdem nur Stürze von mehr als 100000 m³ Volumen enthalten.

Ort	Vorwiegendes Gestein	Oberster Abrißrand	Höhe Ablagerungstirn
<i>Einzugsgebiet Weiße Lüttschine</i>			
Birg-Mürrenberg I.....	Malmkalk	2620 m	1750 m
Birg-Mürrenberg II.....	Malmkalk	2600 m	1855 m
Marchegg-Saustal	Aalénien-Eisensandstein	2050 m	1740 m
Wengen, äußere Allmend I	Aalénien-Eisensandstein	2000 m ca.	900 m ca.*
Wengen, äußere Allmend II	Aalénien-Eisensandstein	2000 m ca.	1260 m
Wengen, Zentrum	Aalénien-Eisensandstein	2000 m ca.	Unbe-
Wengen, Chneugraben.....	Aalénien-Eisensandstein	1900 m	1200 m
Wengen, S Chneugraben	Aalénien-Eisensandstein	1850 m	1360 m
Wengen, Steinenwald-Bahnhof ..	Aalénien-Eisensandstein	1880 m	1240 m
Wengen, S Steinenwald	Aalénien-Eisensandstein	1800 m	1360 m
Wengen, Steinenwald N	Aalénien-Eisensandstein	1800 m	1320 m
<i>Einzugsgebiet Schwarze Lüttschine</i>			
Blattenwald-Vor dem Steg	Aalénien-Eisensandstein	1400 m	920 m
Burg-Burglauen	Bajocien-Sandkalk	2200 m und tiefer	800-880 m
Schynige Platte-Gündlischwand ..	Bajocien-Sandkalk	1850-1550 m	660 m
<i>Gebiet der vereinigten Lüttschinen</i>			
Bigelti-Rufigraben	Malmkalk	1850-1500 m	620 m***

	Maximale Vertikalbewegung	Horizontale Fahrbahn	Fahrböschung	Volumen in Mio m³	Bemerkungen
	870 m	2200 m	21°	3,2-6	Teilabsturz über 2. Stufe, Brandung bei Lauterbrunnen * Brandungshöhe Komplex, vermutlich nicht einmaliges Ereignis Teilabsturz über 2. Stufe, Brandung bei Lauterbrunnen
	745 m	1500 m	27°	0,4-0,7	
	310 m	600 m	27°	0,3-0,5	
	1100 m	2850 m	21°	?	
	740 m	1500 m	26°	3-5	
stimmbar, da verwischt und teilweise überdeckt					
	700 m	1650 m	23°	5-6	
	490 m	1100 m	24°	2-3	
	640 m	1450 m	24°	ca. 2	
	440 m	960 m	25°	ca. 1	
	480 m	950 m	27°	0,5-1	
	480 m	950 m	27°	knapp 1	Eventuell mehr als ein Sturz
	1320-1400 m	2200 m	max. 31°**	10-20	** Wertlos, da Masse aus unbekannter Zahl von Felsstürzen zusammengesetzt. Keine Trennung in einzelne Individuen möglich. Steinschlag beteiligt
	1190-890 m	2000 m	26-31°**	7-9	
	1230-880 m	2100 m	23-30°**	ca. 10	*** Brandungshöhe unbestimmbar, da Material verdeckt und verschwemmt

Kleinformen können zu Dutzenden beobachtet werden. Folgende Merkmale sind ihnen gemeinsam:

1. Abriß in sehr steilem Gebiet, d.h. Ausbruch aus Felswänden.
2. Steilfahrt im oberen Teil auf über 30–35° geneigtem Gelände.
3. Deutlich ausgebildetes, geschlossenes Ablagerungsgebiet mit Trümmern sehr unregelmäßiger Dimension.
4. Die Fahrböschung liegt kaum je unter 30°.

Die in der Bergsturztabelle vereinigten größeren Stürze seien nach Abriß, Fahrbahn und Ablagerung genauer charakterisiert:

Abrißgebiete

Ohne Ausnahme handelt es sich um steile, felsige Partien. Zurückgeblieben sind Wände, deren Böschung oft über 60° liegt. Überall sind sie auch heute auffallend zerrüttet bzw. aufgelockert, womit die Tatsache wiederholter Abstürze erklärt ist. Da der Auflockerungsprozeß fortschreitet, sind an verschiedenen Stellen weitere Felsstürze zu erwarten, ohne daß direkt akute Gefahr besteht. Eigentliche schulmäßig konkave Abrißnischen sind selten.

In den meisten Fällen streichen die Schichten waagrecht in die Luft aus oder fallen bergwärts ein, so daß die den Absturz einleitende Bewegung nicht auf Schicht-, sondern auf Kluftflächen erfolgte. Ausnahmen bilden die Felsstürze aus dem Ellstabgrat S Busenalp und Marchegg–Saustal sowie die Bergstürze S Schynige Platte–Gündlischwand, wo die Schichten einigermaßen hangparallel laufen. Der Abriß erfolgte also meist über die Schichtköpfe; steile Klüfte waren überall von entscheidender Bedeutung.

Die Ablösungsflächen liegen teilweise innerhalb ein- und desselben Gesteins, z.B. Wengen, Burg, S Schynige Platte; andernorts ist die Unterlagerung durch andere Gesteine sicher Teilursache der Bewegung: leicht zerfallende Mergel am Birg und am Grätli W Schynige Platte.

Dem Absturz der aufgelockerten Massen gingen meist langsame, steile Sackungsbewegungen unterschiedlicher Größe voraus. Sie sind am in der Vorbereitungsphase steckenden Felssturz Grätli deutlich, ebenso S Schynige Platte, am Birg und teilweise ob Wengen. Der Sturz Marchegg–Saustal ist direkt aus einer Sackung entstanden.

Fahrbahnen

Die Schußströme abfahrender Bergstürze sind in ihrer Richtung an die Geländeformen gebunden, wenn sie sich auch nicht wie schleichende Ströme jeder Unregelmäßigkeit der Fahrbahn anpassen. Da es sich in den Lütchinentälern nirgends um ganz große Ereignisse handelt, sind kaum Besonderheiten zu erwähnen. Nor-

malerweise ist im oberen Teil eine Steilbahn vorhanden, an deren unterem Ende, auf der Flachbahn, erst die Bremsung der Hauptmassen einsetzte. Meist liegen diese Steilböschungen um 40° . Bei den größten Wengen-Bergstürzen schloß sich für die Wengen überschießenden Trümmernmassen eine zweite Steilstufe an. Sonst handelt es sich durchwegs um einfache und ziemlich regelmäßige Fahrbahnen.

Fast ausnahmslos erfolgte die Abfahrt quer zu den Tälern, dem stärksten Gefälle entsprechend. Einzig die aus dem Talschluß stammenden Birgstürze folgten der Längsrichtung. Einige Massen haben das Haupttal erreicht: Wengen teilweise, Burg-Burglauenen, S Schynige Platte-Gündlischwand, W Schynige Platte-Rufigraben. Sehr große Bergstürze hätten erhebliche Brandung und Ablenkung erfahren. Daß dies nicht in bedeutender Weise der Fall ist, zeugt wieder für die relative Kleinheit der einzelnen Ereignisse. Trotz ungestörter, ziemlich geradliniger Fahrbahnen liegt keine einzige Fahrböschung unter 20° , was bei ganz großen Bergstürzen das Normale darstellt.

Ablagerungen

Hier stehen der genauen Erfassung oft bedeutende Schwierigkeiten entgegen. Alte Massen sind durch Nachstürze, Verschwemmung und Abtragung verändert worden. Außerdem sind die charakteristischsten Ablagerungshaufen aus verständlichen Gründen meist mit Wald bestanden, der die Beobachtung erschwert. Die Bauern haben offenes Gelände im Laufe der Zeit durch mühsame Arbeit ausgeglichen. Dies sind alles Gründe, die den Steinstromcharakter der Ablagerungen verwischen. Aber auch ohne diese besonderen Umstände ist z. B. die Volumenberechnung eine unsichere Angelegenheit, da ihr ein hypothetischer Untergrund zugrunde gelegt werden muß.

Allen Bergsturzablagerungen des Gebietes ist eine unruhige Oberfläche eigen: Kleine Wälle, Hügelchen, Mulden, Verflachungen und steile Stellen wechseln auf kurzer Strecke. Trotzdem erkennt man meist deutlich eine Gesamtform, deren Böschung immer unter 20° liegt. Wo der Rand nicht nachträglich verändert worden ist, läßt sich eine scharfe Grenze ziehen, musterhaft etwa beim nördlichsten Wengen-Bergsturz. Die Haufen einzelner Stürze sind von länglicher Form, einer Gletscherzunge einigermaßen vergleichbar.

Die Dichte der aufgeschlossenen Blöcke ist sehr unterschiedlich, doch ist dies nicht der Verschiedenheit der Stürze, sondern ihrem Alter und menschlicher Arbeit zuzuschreiben. In Wäldern liegen die Blöcke am dichtesten; eindrucklichstes Beispiel ist der Steinenwald ob Wengen mit Blöcken bis über 1000 m^3 . Letztere stellen allerdings Ausnahmen dar. Daß es sich an der Oberfläche meist um große Stücke handelt, darf nicht zur Annahme verleiten, eine Bergsturzmasse bestehe nur aus solchen. Klein- und Feinmaterial mit eingebetteten Blöcken kann überall an frischen Aufschlüssen festgestellt werden, wogegen eine bedeutende Verkit-

tung, wie etwa in Flims, kaum besteht. Die Beobachtungen lassen den Schluß zu, daß Bergstürze mit kürzerer Fahrbahn zu geringerer Zertrümmerung führen. Weder in der Lagerung noch in der Größe der Einzelstücke ist eine Regelmäßigkeit nachweisbar. Da alle deutlichen Haufen aus einheitlichem Material mit nur geringen Faziesdifferenzen bestehen, läßt sich über dessen topographische Anordnung nichts Sicheres sagen.

Es handelt sich um alte Bergstürze, weshalb die Blöcke an der Oberfläche kaum mehr scharfkantig sind; dagegen ist ihre unregelmäßige, eckige Form durchwegs erkennbar. Rillen chemischer Verwitterung finden sich vorwiegend an Kalken, mechanische Zerfallserscheinungen eher am Aalénien-Eisensandstein. Eindeutige Schlagfiguren konnte ich nirgends feststellen.

Einzelne Ablagerungshaufen haben zu vorübergehender Erhöhung des Talbodens geführt: ob Lauterbrunnen und Burglauen, oberhalb des Rufigrabens. Wo temporär Seen bestanden, könnte nur durch genaue Bodenuntersuchungen bewiesen werden. Die bekannte Durchlässigkeit von Bergsturzablagerungen wird überall bestätigt, vorwiegend durch Versickerung in den höheren Partien und Quellen in der Nähe der Stirn.

II. DIE LANGSAMEN MASSENBEWEGUNGEN

Als langsam sind zunächst alle Bewegungen zu bezeichnen, die nicht bei den schnellen eingereiht werden können. Heim [27] nennt sie Bewegungen mit schleicher Talfahrt, Jäckli [32] langsam ablaufende Schwerkrafteinwirkungen. Nicht in jeder Beziehung zutreffend, aber zur allgemeinen Charakterisierung verwendbar scheint mir der Begriff Rutschung als Gegensatz zum Sturz.

Die Beobachtung führt sofort zur Feststellung, daß man es mit sehr verschiedenen Erscheinungen zu tun hat, die sich überdies nach unterschiedlichen Gesichtspunkten betrachten lassen. Haupthindernis einer systematischen Einteilung sind die sehr verbreiteten Übergangs- und Mischformen. Nach meinen Erfahrungen sind folgende Unterscheidungen angebracht:

1. Zeitlicher Ablauf, Geschwindigkeit
 - a) akute Bewegungen
 - b) chronische Bewegungen
2. Beteiligtes Material
 - c) Felsbewegungen
 - d) Schuttbewegungen
 - e) Fels→Schutt-Bewegungen
3. Art der Bewegung
 - f) gleitend
 - g) kriechend, bzw. fließend

4. Tiefe der Bewegung
 - h) flachgründig, oberflächlich
 - i) tiefgründig

Diese Kriterien seien etwas genauer betrachtet:

I. DIE GESCHWINDIGKEIT LANGSAMER MASSENBEWEGUNGEN

a) akute = rasche Rutschungen

Darunter verstehe ich Rutschungen, deren Bewegung direkt sichtbar und meßbar ist, die Risse, Spalten, Wülste bilden, die Vegetationsdecke aufreißen, Bäume verstellen, überhaupt allgemein zerstörend wirken. Bereits vollendete akute Rutschungen von einigem Ausmaß sind morphologisch oft noch lange an Abriß- und Ablagerungsgebiet zu erkennen, z.B. bei Wengernalp. Es handelt sich um einmalige oder wiederholte Ereignisse, deren Ablauf Minuten, Stunden, Tage beansprucht, unter Umständen noch längere Zeiträume. Im Untersuchungsgebiet stellen akute Rutschungen sehr oft Teile eines viel größeren chronischen Ganzen dar, sind also sekundärer Art, so etwa NE Grindelwald, wo Kleinformen innerhalb der großen Rutschung bei Durchnässung immer wieder entstehen.

b) chronische = lang dauernde Rutschungen

Weitaus die meisten, vor allem alle größeren langsamen Massenverlagerungen in den Lütchinentälern gehören zu dieser Gruppe. Lange nicht in jedem Fall läßt sich die klassische Dreiteilung Abriß – Fahrbahn – Ablagerung durchführen. Sie sind kaum je direkt als Bewegungen nachweisbar, da sie sich derart langsam vollziehen, daß z.B. entstehende Spalten nie offen bleiben und die Vegetation sich anpassen kann. Stillstand ist ohne spezielle Untersuchung oft nicht von Bewegung zu unterscheiden; selbst nach jahrelanger Beobachtung sind keine Veränderungen festzustellen. Nur in vereinzelten Fällen kann eine noch andauernde Bewegung indirekt nachgewiesen werden: durch Mauerrisse NE Grindelwald, im Gebiet der Kleinen Scheidegg, am deformierten Unterbau der Grütschalpbahn, durch Risse im obersten Tunnel der Schynige-Platte-Bahn. Exakte Messungen über längere Zeiträume könnten vielleicht die wünschenswerte genauere Auskunft geben. Entsprechend unpräzise sind Angaben über Dauer und Geschwindigkeit. Die Bewegungen müssen sich teilweise über Jahrtausende erstrecken, und die Geschwindigkeit erreicht bei den vorliegenden Fällen kaum mehr als die Größenordnung von cm/Jahr.

Wie schon oben erwähnt, ist charakteristisch, daß derartige chronische Rutschungen örtlich in akute Bewegungen übergehen können, falls spezielle Verhältnisse herrschen.

Ihre Verbreitung ist sicher in vielen Gebirgsgegenden größer, als früher angenommen wurde, da man ihnen wegen ihrer Unauffälligkeit oft zu wenig Beachtung schenkt.

2. BEWEGTES MATERIAL

Geht man von der Unterscheidung Fels/Schutt aus, so sind gerade in dieser Beziehung Übergangsformen sehr weit verbreitet, auch ohne daß man die beiden Werte genauer spezifiziert. Diese einfache Trennung scheint mir entschieden wichtiger als eine solche nach Gesteinsarten, obwohl sich nicht jedes Gestein gleich verhält.

c) Felsrutschungen

Voraussetzung ist, daß die verlagerten Felsmassen während oder nach erfolgter Bewegung weitgehend den Zusammenhang bewahrt haben, wenngleich Zerrüttungserscheinungen, eventuell Teilung mit sekundären Bewegungen, selbstverständlich eintreten.

Felsrutschungen, hier als Sackungen bezeichnet, alle chronischer Art, sind im Gebiet ziemlich verbreitet: Busenalp–Ghudelhorn, E Bietenhorn, S Lauberhorn, W Nothalden, Tschingelberg und in weniger reinen Formen S Rötihorn und S Birre. Gesteinsmäßig dominieren Kalk und Eisensandstein. Die Ablösung und Gleitung erfolgte in den meisten Fällen nicht auf der Schichtfläche, sondern entlang Kluftsystemen.

d) Schuttrutschungen

Schleichende Schuttmassen sind nicht selten; kleine Ereignisse treten auch in akuter Form auf. Mit einiger Berechtigung dürften die Großformen Marchegg–Lauterbrunnen, Guferwald, NE Grindelwald, ob Schwendi–Grindelwald und NE Kleine Scheidegg dazu gerechnet werden. Da jedoch die Bewegungen hier ihren Ausgang in Fels genommen haben, scheint die Schaffung einer Zwischenkategorie gerechtfertigt. Bedeutendere reine Schuttbewegungen finden sich lediglich N Kleine Scheidegg: Imberg–Bustiglen und N Tschuggen–Schwarze Fluh.

Der Schutt kann sehr verschiedener Art sein, so daß auf eine Charakterisierung verzichtet wird; seine Beschaffenheit hängt stark vom Ursprungsgestein und dessen Verwitterungszustand ab.

e) Fels→Schutt-Rutschungen

Genetisch sind zwei Arten zu unterscheiden:

Einmal Bewegungen chronischer Art, deren Beginn als umfangreiche Sackung zu bezeichnen ist. Durch die starke Beanspruchung während der Verlagerung lösen sich die kompakten Felsmassen nach und nach in Schutt auf, der vom riesigen

Klotz bis zum Feinmaterial alle Stufen umfaßt. Ausgangspunkt ist also eine mehr oder weniger einheitliche Felsmasse, Endform dagegen eine Schuttbewegung. Die Auflösung ist dabei sehr ungleich weit gediehen. So lassen sich ob Grütschalp, teilweise im Gebiet Lauberhorn-Tschuggen, S Rötihorn (in der 2. Phase reine Schuttbewegung), Stöbi-Spätenboden und S Birre noch morphologische Einheiten erkennen, während NE Marchegg-Lauterbrunnen, S Wengen, im Gufer- und Itramenwald und ob Schwendi-Grindelwald die Zerstörung zu eigentlichen Trümmerfeldern führte. Hauptbeteiligtes Gestein ist im Untersuchungsgebiet der Aalénien-Eisensandstein.

Die 2. Form der Fels→Schutt-Bewegungen ist vorwiegend in den Aalénienschiefern und im schiefrigen bis knorrigen Eisensandstein beheimatet. Die Ablösung entlang Klüften dominiert auch hier, gleich wie bei der ersten Art. Sie erfolgt aber nicht in großen Komplexen, sondern in kleinen, aber zahlreichen Felspaketen, die nacheinander abgleiten. Einzeln besehen, muß man sie als Felsbewegungen bezeichnen. Da sie jedoch größere Gebiete bedecken und sich in der Bewegung teilweise oder ganz in Schutt auflösen, gehören sie zu den Mischformen. Dies gilt für die Hänge SW bis N Mürren, S Skilift Lauberhorn, unter Fallbodenhubel, ob der Sattelegg und in größtem Umfang NE Grindelwald.

3. ART DER BEWEGUNG

f) gleitend

Sie tritt, soweit sich dies bei den nicht direkt beobachtbaren, äußerst langsamen Vorgängen beurteilen läßt, rein wohl nur in Fels auf, der in Rutschungen nicht deformierbar ist. Abgesehen von der Trennung in einzelne Komplexe, die zu Differentialbewegungen führt, wandert theoretisch jeder Punkt der Masse in gleicher Weise talwärts.

g) kriechend, fließend

Kriechbewegung kann nur in deformierbaren, plastischen Massen entstehen, d. h. in Schutt oder extrem zerrüttetem Fels. Schleichende Trümmersmassen weisen nach meiner Beobachtung immer differenzierte Bewegungen auf, sind also den Gletschern verwandt. Gleitvorgänge spielen mit, doch würden diese allein nie Fluidalstrukturen schaffen, wie sie NE Grindelwald und ob Schwendi deutlich sind.

4. TIEFE DER BEWEGTEN MASSEN

In vielen Fällen bin ich darüber auf reine Vermutungen angewiesen, da nur der direkte Aufschluß Sicherheit bieten würde, vor allem in komplexen Rutschungen, wo unbedingt die Zerrüttung oft tiefer greift als die Bewegung selbst und deshalb

keine scharfen Übergänge festzustellen sind. Andernorts erlauben indirekte Beobachtungen, z.B. der Geländeform, Schlüsse.

b) flachgründige, oberflächliche Bewegungen

Da es keine exakten Grenzen zu tiefen Bewegungen geben kann, ist eine genaue Definition nicht möglich. Doch darf man Tiefen bis zu einigen Metern sicher als flachgründig bezeichnen. Im allgemeinen scheinen mir die akuten Formen von geringer Mächtigkeit. Kleinstformen erreichen oft nicht einmal einen Meter Tiefe. Sehr oberflächlich verlaufen auch die chronischen Bewegungen in den stellenweise verbreiteten Solifluktionshängen, z.B. an der Kleinen Scheidegg. Relativ gering ist ebenfalls die Tiefe in den durch Kleinsackungen und Schutt bedeckten Gebieten.

i) tiefgründige Bewegungen

Am sichersten sind Mächtigkeiten in gut erhaltenen Sackungsmassen zu bestimmen. Sie sind tiefgründig, erreichen aber im Untersuchungsgebiet kaum mehr als 200 m, ausgenommen am Ghudelhorn. Viele hundert Meter tiefe Hakenwurferscheinungen, wie sie z.B. Eckardt [13] im Tavetsch nachweist, sind dagegen nicht vorhanden. In den Lütchinentälern stellen große Sackungen die tiefgreifendsten Massenbewegungen überhaupt dar. Dabei kann es sich selbstverständlich nur um chronische Erscheinungen handeln.

5. EINZELNE TYPEN

Jäckli [32] unterscheidet folgende Formen «langsam ablaufender Schwerkrafteinwirkungen»:

1. Solifluktion
2. Blockströme – Blockgirlanden
3. Schuttrutschungen
4. Langsame Felsbewegungen auf den Schichtflächen (Schieferrutschungen)
5. Felsabsackungen

Heim ging 1932 [27] in der Unterteilung noch weiter, ohne daß sein System voll zu befriedigen vermag, finden darin doch nicht alle Rutschungen meines Gebietes Platz. Doch gibt es kaum eine Patentlösung, die allen Ansprüchen genügt, da sich ja vielfach keine genauen Grenzen ziehen lassen. Gestützt auf meine Beobachtungen in den Lütchinentälern, teile ich wie folgt ein:

1. Schuttrutschungen bzw. -bewegungen
2. Felsrutschungen, Sackungen
3. Fels→Schutt-Rutschungen

Eine weitere Unterteilung ist ohne weiteres möglich, z.B. nach genetischen Prinzipien oder nach ausgeprägten Typen. Solifluktion und Blockströme stellen in diesem Fall nur Sonderformen der Schuttbewegungen dar.

Die drei Hauptformen sollen noch kurz nach dem oben angewandten Prinzip charakterisiert werden, wobei zu berücksichtigen ist, daß mir zur direkten Beobachtung nur chronische Formen zur Verfügung standen.

Schuttrutschungen

Sie sind an folgende Faktoren (a bis i, S. 70) gebunden:

- a oder b: Sie treten sowohl in akuter wie chronischer Form auf.
- d: Es handelt sich um Lockermaterial, das allerdings aus Fels, auch ohne Zwischenverlagerung, hervorgegangen sein kann.
- g: Ich habe keine Schuttrutschungen gefunden, die nur gleiten, wenn auch zugestanden werden muß, daß die Kontrollmöglichkeiten oft gering sind.
- h oder i: Es sind sowohl oberflächliche wie tiefgreifende Bewegungen möglich, doch sind letztere auf chronische Entwicklung beschränkt.

Sackungen

Bei Heim und Jäckli sind dies an spezielle Bedingungen gebundene Felsrutschungen: Steil absinkende Bewegung, Gleitfläche nicht mit Schichtfläche identisch.

Aus folgenden Gründen möchte ich diese Spezifizierung weglassen:

1. Der Begriff steil ist keineswegs präzise; eine Grenze wird nicht und kann auch nicht gegeben werden, da die Natur keine kennt.
2. Die Gleitfläche läßt sich oft nicht mit Sicherheit erkennen und folgt gar nicht immer einheitlich Schicht- oder Kluftflächen. Ich bin vor allem den Schichtflächen gegenüber skeptisch.

Ich verwende deshalb den Ausdruck Sackung für Bewegungen, die

- b: chronisch ablaufen,
- c: auf mehr oder weniger kompakten Fels beschränkt sind,
- f: vorwiegend gleiten und
- i: tiefgründig sind.

Fels→Schutt-Rutschungen

Sie sind, wie schon oben dargelegt, in den Lütchinentälern der häufigste Fall chronischer Massenbewegungen. Leider steht mir kein einheitlicher Ausdruck zur Verfügung. Eine genaue Abgrenzung der mannigfachen Formen innerhalb dieser Kategorie ist mir ebenfalls nicht möglich. Die beobachteten Fälle lassen sich wie folgt typisieren:

b: chronisch

e: aus Fels wird Schutt

g: Kriechbewegungen herrschen vor

i: tiefgründig, kann allerdings in h übergehen.

In einzelnen Phasen sind zeitlich wie örtlich Abweichungen möglich (a–b, h–i), doch sind Großformen immer chronisch und tiefgründig.

Die durchgeführte Typisierung befriedigt noch nicht in allen Teilen; doch müßten für ein besseres und ausführlicheres System viel größere Gebiete untersucht werden, worauf erst feste Begriffe und Definitionen geschaffen werden könnten.

III. VORAUSSETZUNGEN ZUR ENTSTEHUNG VON MASSENBEWEGUNGEN

Die Entstehung einer Massenbewegung, gleich welcher Art, läßt sich nicht auf eine einzige, in sich geschlossene Ursache zurückführen. Meist muß eine ganze Reihe von Voraussetzungen erfüllt sein, bis das Ereignis eintritt.

Grundursachen sind die Existenz der Schwerkraft und das Vorhandensein von Böschungen. Alle oben beschriebenen Bergstürze und Rutschungen sind schwerkraftbedingte Vorgänge, die auf waagrechter Unterlage, d. h. bei absolut stabilen Gleichgewichtsverhältnissen, nie zustande gekommen wären. Alle andern Ursachen, wie etwa Auflockerung, Klima- und Wassereinwirkungen, sind sekundärer Natur, stellen aber die direkten Voraussetzungen zur Entstehung von Massenbewegungen dar, indem sie allgemein zur Überwindung des Reibungswiderstandes beitragen.

I. ÜBER BÖSCHUNGEN

Heim hat seinerzeit die Entstehung einer übermaximalen Böschung als eigentliche Ursache der Bergstürze und Rutschungen bezeichnet. Trotzdem diese Auffassung bestritten wurde (Lehmann, Jäckli), scheint sie mir nicht falsch. Allerdings darf der Begriff «übermaximale Böschung» nicht verabsolutiert werden; es gibt keine festen Böschungswerte, die Massenbewegungen verursachen. Die Eigernordwand weist eine durchschnittliche Neigung von 60–65° auf, die Kalkwände S Lauterbrunnen sind noch steiler; trotzdem entstanden hier wie dort keine erwähnenswerten Abstürze, während sich an der Kleinen Scheidegg chronische Rutschungen bei 15° in Bewegung befinden, ob Grindelwald auf noch flacherer Unterlage. Letzteres sind Werte, die weit unter der normalen Böschung für trockene Schutthalden liegen. Allerdings kann überall festgestellt werden, daß Abrißflächen, auf denen die Bewegung eingeleitet wird, steiler sind als die durchschnittlichen Fahrbahnen, auch dann, wenn es sich um chronische Rutschungen handelt. Der spezielle Teil

enthält Einzelwerte, soweit sie einigen Wert haben; bei den vielen Unsicherheitsfaktoren wird auf eine tabellarische Zusammenstellung verzichtet.

Die Relativität der Maximalböschungswerte hängt nach meinen Beobachtungen in erster Linie vom Grad der Auflockerung, der Art des Gesteins und, allerdings nicht in jedem Fall, von der Durchnässung ab, im Untersuchungsgebiet dagegen seltener von der Lage der Schichtung. Diese Faktoren können örtlich auf engem Raum so verschieden sein, daß sich mit dem Wert der übermaximalen Böschung als Ursache kaum etwas anfangen läßt.

Eine Übersteilheit kann grundsätzlich auf zwei Arten geschaffen werden:

1. Durch effektive Vergrößerung der Neigung, beispielsweise infolge gebirgsbildender Vorgänge, Unterschneidung eines Hanges usw.
2. Bei gleichbleibender Neigung kann sie durch Auflockerung und Durchnässung des Materials eintreten.

In beiden Fällen wird die Stabilität des exponierten Materials verringert. Punkt 1 ist meist schwieriger nachweisbar als Punkt 2. Billigt man jedoch den eiszeitlichen Gletschern erosive Kraft zu, so ist ohne weiteres anzunehmen, daß nach ihrem Rückzug örtlich übersteile Hänge, vom Druck des Eises befreit, Massenbewegungen bewirkten. Es gibt allerdings auch andere Gründe, vorwiegend klimatischer Natur, die es wahrscheinlich machen, daß direkt nach der Eiszeit Bergstürze und Rutschungen häufiger waren als heute.

Direkte Gehängeunterschneidung, d.h. Versteilung der Hangfüße, ist in den Lüttschinentälern nur in geringem Maß an den gesamten Bewegungen beteiligt.

Orogenetische Vorgänge können sowohl hangversteilend wie auflockernd wirken. Mindestens für die Sackungen Busenalp–Ghudelhorn dürften sie entscheidende Ursache sein, allerdings hauptsächlich im Sinn tektonisch bedingter Auflockerung.

2. GESTEINSVERHÄLTNISSE

In den Lüttschinentälern sind, abgesehen vom Autochthon, das aber keine großen Massenbewegungen geliefert hat, eigentlich nur 4 Gesteine in bedeutender Ausdehnung aufgeschlossen:

Dichte Malmkalke, Tithon bis Argovien, von wechselnder Mächtigkeit, vorab in der Diableretsdecke mit Breccien durchsetzt, in der Wildhorndecke eher eiförmiger.

Bajocien-Sandkalke der Wildhorndecke, oft in Wechsellagerung mit schiefrigen Mergeln. Sie erreichen Mächtigkeiten bis zu 300 m und werden gegen oben teilweise durch eine Echinodermenbreccie abgeschlossen.

Aalénien-Eisensandsteine der Wildhorndecke, bis 600 m mächtig. In den obersten Partien finden sich oft zähe, quarzitisches Sandsteine. Die Hauptmassen werden

jedoch durch knorrig-schiefrige bis bankige, eisenschüssige Sandsteine gebildet. Gegen unten gehen sie teilweise in knorrige Schiefer über.

Aalénien-Tonschiefer, die Wildhorndecke abschließend oder ultrahelvetisch, sind zwischen Großer und Kleiner Scheidegg von Bedeutung und erreichen 400 m Mächtigkeit. Sie sind ausgesprochen feinblättrig.

Ein fünftes Gestein liegt zwar weder in großer Mächtigkeit noch Ausdehnung vor, muß aber erwähnt werden, da es an einigen Stellen als Gleithorizont eine wichtige Rolle spielt:

Argovienmergel, eventuell auch Oxfordschiefer. Während im Guferwald eine richtige Mergelgleitfläche angenommen werden darf, sacken am Grätli W Schynige Platte die Kalkpakete auf dieser Unterlage ab. Auch am Birg ob Mürren und NE Hundshorn dürften mergelig-schiefrige Unterlagen mitgespielt haben. Wichtig scheint, daß die Klüftung der hangenden Kalke eine Durchnässung der undurchlässigen Mergel erlaubt. In allen andern Fällen entstanden die Bergstürze und Rutschungen innerhalb eines mehr oder weniger einheitlichen Gesteinskomplexes, wobei immerhin wechselnde Ausbildung beteiligt sein mag.

Eine Zusammenstellung der größeren Massenbewegungen zeigt, daß alle vier erwähnten Gesteine vertreten sind. Für den Malmkalk muß dabei das Liegende mit berücksichtigt werden.

	Malmkalk	Bajocien-Sandkalk	Aalénien-Eisensandstein	Aalénien-Tonschiefer
Bergstürze	*	*	*	—
Schuttrutschungen	—	—	*	*
Fels→Schutt-Rutschungen ..	*	—	*	*
Sackungen	*	—	*	—

In dieser Tabelle ist nichts gesagt über die Häufigkeit. Flächen- und mengenmäßig dominieren bei weitem die Massenbewegungen im Aalénien-Eisensandstein. Andererseits muß aber festgestellt werden, daß es überhaupt keine größeren unbewegten Aalénienschiefermassen gibt, deren Anfälligkeit somit noch größer ist.

Die Härte eines Gesteins spielt keine große Rolle. Eisensandstein und Sandkalk sind härter als Kalk und Tonschiefer, doch entspricht die Anfälligkeit nicht dieser Reihenfolge.

Viel wichtiger ist die Resistenz gegen Verwitterung bzw. Auflockerung, d.h. die Festigkeit der Felsen. An Hand der bestehenden Böschungen und des Zustandes der aufgeschlossenen Gesteine kann erst die Anfälligkeit beurteilt werden. Im Untersuchungsgebiet zeigt der Malmkalk die größte Standfestigkeit; er weist

relativ wenig Absonderungsflächen auf und bildet deshalb Steilwände. Zur Entstehung von Massenbewegungen sind in ihm, wie oben gesagt, besondere Bedingungen nötig.

Die Aalénienschiefer stellen das andere Extrem dar. Fugenreichtum, rasche Verwitterung und geringe Festigkeit hängen eng zusammen. Eine Folge ist das Fehlen dauernder Steilböschungen, so daß keine Bergstürze entstehen. Nie bleibt ein großer exponierter Komplex so lange erhalten, daß sich ein einheitlicher Absturz vorbereiten könnte. Das Material bewegt sich fortlaufend in kleinen Paketen langsam zu Tal.

Bajocien-Sandkalke und Aalénien-Eisensandstein nehmen Zwischenstellungen ein, die allerdings örtlich ziemlich variieren. Auch bei ihnen hängt die Standfestigkeit stark mit dem Fugenreichtum zusammen; je mehr Schicht- oder Kluftabsonderungsflächen, um so geringer ist sie, am niedrigsten im schiefrigen Eisensandstein, dessen Verhältnisse denen der Tonschiefer gleichen.

3. AUFLÖCKERUNG

Es erübrigt sich, hier Verwitterungsprozesse darzustellen, da dies andernorts kompetenter geschehen ist.

Von direkter Bedeutung für Bergstürze und Rutschungen ist die Zerrüttung bzw. Auflöckerung großer und zum Teil tiefer Felspartien, wird doch dadurch die Scherfestigkeit ganzer Komplexe wesentlich herabgesetzt.

Entscheidende Auflöckerungserscheinung sind in der überwiegenden Zahl der Fälle steile Kluftsysteme. Sie würden eine ausführliche Untersuchung verdienen. In ihrer Anlage lassen sie sich weitgehend auf mechanische Beanspruchung während der Gebirgsbildung zurückführen. Es ist denn auch auffällig, daß im ganzen Bereich der Wildhorndecke mehr oder weniger NW, d.h. quer zur Streichrichtung, in zweiter Linie NE laufende Klüfte ausgebildet sind. Ebenso in die Augen springend ist ihr steiles Fallen, ohne daß sich ein Generalwert festsetzen ließe. Wahrscheinlich handelt es sich bei diesen vorherrschenden Lagen zum Teil auch um das Resultat exogener Einwirkung, indem eben gerade diese NW-Klüfte mehr oder weniger quer zu den Steilböschungen verlaufen und deshalb vor andern angelegten Systemen nach und nach durch Zugspannung zu deutlicher Ausbildung gelangten. Mit Gletscherspalten verhält es sich jedenfalls nicht anders; Zug führt zu Zerreißen quer zur Gefällsrichtung. Mechanische und, vorwiegend im Kalk, chemische Verwitterung helfen schließlich an der Öffnung zu Spalten mit.

Auch geringfügige Bewegung einer durch Klüftung aufgelockerten Masse führt sofort zur Bildung neuer Bruchflächen, die ihrerseits der Verwitterung mehr Ansatzpunkte bieten, so daß die fortschreitende Zertrümmerung einer absackenden Felsmasse gegeben ist.

Gebiete, in denen den Schichtflächen folgende Auflockerung für die Massenbewegungen von primärer Bedeutung ist, sind in den Lütchinentälern weniger häufig. Das hängt aber weitgehend von der Lagerung ab; Stellen mit steil einfallenden Schichten sind nicht sehr verbreitet, was u. a. auch das Fehlen bedeutender, tiefgründiger Hakenwurfserscheinungen erklärt.

4. KLIMATISCHE EINFLÜSSE

Daß Temperaturschwankungen, Frost und Wasser die Auflockerung fördernde Verwitterungsagenzien sind, braucht keine Erklärung. Doch sind sie darüber hinaus direkt am Zustandekommen von Bergstürzen und Rutschungen beteiligt.

Dauerfrost wirkt hemmend; Rutschungen beruhigen sich im Winter, es fahren keine Bergstürze ab. Die Annahme verbreiteter Massenbewegungen am Ende einer Eiszeit wird deshalb durch die aufsteigende Permafrostgrenze ebenfalls gestützt.

Häufiger Spaltenfrost stellt oft die direkte Ursache des Steinschlags dar, dürfte aber auch in umfangreichen, zerrütteten Rutschgebieten mindestens oberflächlich bewegungsfördernd wirken.

Sichtbar ist vielerorts der Einfluß der Durchnässung. Oft ist der Boden zur Zeit der Schneeschmelze und nach ausgiebigen Regenfällen mit Wasser durchtränkt. Die Stabilität der Schuttmassen verringert sich gewaltig, falls das Wasser tief genug eindringen kann. Das sich in Nackentälchen von Sackungen und in Mulden sammelnde Wasser wirkt als Schmiermittel. Das Gebiet NE Grindelwald ist zusammen mit dem Itramenwald das nasseste Rutschgebiet der Lütchinentäler; beide weisen natürlicherweise auch die geringsten Böschungen auf, liegen sie doch unter 15°. Ich bin überzeugt, daß starke Durchnässung über lange Jahre eine spürbare Aktivierung bewirken müßte. Das kann nicht von allen Rutschgebieten gesagt werden, speziell nicht von sehr tiefgründigen.