

<b>Zeitschrift:</b>	Eclogae Geologicae Helvetiae
<b>Herausgeber:</b>	Schweizerische Geologische Gesellschaft
<b>Band:</b>	64 (1971)
<b>Heft:</b>	1
<b>Artikel:</b>	Bericht über die 86. ordentliche Generalversammlung der Schweizerischen Geologischen Gesellschaft : Samstag und Sonntag, 17. und 18. Oktober 1970
<b>Autor:</b>	[s.n.]
<b>Kapitel:</b>	B: 86. ordentliche Generalversammlung
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-163978">https://doi.org/10.5169/seals-163978</a>

### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 23.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

Vol. 63/2 . . . . .	4 200.—	
Vol. 63/3 . . . . .	2 500.—	
Reliure . . . . .	2 800.—	
		Fr. 52 642.80
Total des recettes		Fr. 149 761.25

*Dépenses**a) Comptes généraux*

Frais généraux . . . . .	Fr. 6 500.—	
Contribution à la S.P.S. . . . .	5 047.20	
		Fr. 11 547.20

*b) Eclogae*

Frais d'impression et de reliure		
Vol. 62/2 (56 249.25–5 047.20) . . . . .	Fr. 51 202.05	
Vol. 63/1 . . . . .	46 790.35	
Vol. 63/2 . . . . .	34 000.—	
Vol. 63/3 . . . . .	6 300.—	
Vol. 64/1 . . . . .	3 000.—	
Index . . . . .	4 162.—	Fr. 145 454.40
	Total des dépenses	Fr. 157 001.60
	./. Total des recettes	Fr. 149 761.25
	Déficit	Fr. 7 240.35

Bâle, le 16 octobre 1970

Le Comité

**B. 86. Ordentliche Generalversammlung****Administrative Sitzung, Sonntag, 18. Oktober 1970, 8.30 Uhr  
im Bernoullianum Basel**

Vorsitz: W. NABHOLZ, Präsident

Anwesend: etwa 20 Mitglieder

1. Das Protokoll über die administrative Sitzung vom 5. Oktober 1969 anlässlich der Generalversammlung in St. Gallen wird stillschweigend genehmigt.
2. Der Jahresbericht des Präsidenten wird von W. NABHOLZ verlesen. Dem früheren Präsidenten, Herrn Prof. Dr. L. VONDERSCHMITT, wird zu Anlass seiner 50jährigen Mitgliedschaft in der Schweizerischen Geologischen Gesellschaft ein Blumenstrauß überreicht.
3. Der Bericht des Redaktors über die Eclogae wird von R. HERB verlesen und vom Präsidenten verdankt. Die Versammlung ist mit den vorgesehenen Neuerungen, insbesondere mit dem Übergang auf künftig drei Eclogae-Hefte pro Jahr und mit der Ausarbeitung eines neuen Druckreglementes einverstanden.
4. Kassier CH. EMMENEGGER berichtet über die Jahresrechnung 1969, die zusammen mit dem Bericht der Rechnungsrevisoren und mit dem Budget 1970 vervielfältigt vorliegt.

5. Der Bericht der Rechnungsrevisoren wird entgegengenommen.
6. Der Vorstand wird einstimmig und – auf Antrag von Prof. L. VONDERSCHMITT – unter Verdankung der geleisteten Dienste entlastet.
7. Das Budget für 1970 wird von der Versammlung stillschweigend genehmigt. Die Arbeit des Kassiers wird vom Präsidenten bestens verdankt.
8. Auf Antrag des Vorstandes wird der Mitgliederbeitrag für 1970 auf Fr. 30.– für persönliche und auf Fr. 40.– für unpersönliche Mitglieder belassen, während für gebunden gelieferte Eclogae für die künftigen drei Bände pro Jahr ein zusätzlicher Betrag von Fr. 12.– erhoben wird. Die Gebühr für lebenslängliche Mitgliedschaft wird auf Fr. 1000.– belassen, für gebundene Eclogae sind hingegen inskünftig zusätzlich Fr. 350.– zu entrichten.
9. Als Ersatz für den zurücktretenden Rechnungsrevisor H. MASSON wird F. PERSOZ, Le Landeron, gewählt.
10. Die vom Vorstand gemäss 2. Zirkular zur 86. Ordentlichen Generalversammlung vorgeschlagene Neufassung von Art. 3 der Statuten der SGG (Zweckartikel) wird vom Präsidenten der SGG, W. NABHOLZ, erläutert und vom Präsidenten der Sektion Hydrogeologie, A. BURGER, befürwortet. Die Neufassung wird von der Versammlung einstimmig genehmigt.
11. Die vom Vorstand gemäss 2. Zirkular zur 86. Ordentlichen Generalversammlung vorgeschlagene Neufassung von Art. 21 der Statuten der SGG (Finanzteil) wird nach Erläuterung durch den Präsidenten von der Versammlung ebenfalls einstimmig genehmigt.
12. In Übereinstimmung mit den Statuten scheiden auf Ende des laufenden Geschäftsjahres, also auf den 31. Dezember 1970, Präsident W. NABHOLZ und Sekretär F. HOFMANN aus dem Vorstand aus. M. BURRI würdigt die ausgezeichnete Führung der SGG durch den ausscheidenden Präsidenten, während W. NABHOLZ die Tätigkeit des Sekretärs verdankt.  
M. BURRI, Vizepräsident, R. HERB, Redaktor, CH. EMMENEGGER, Kassier, und die beiden Beisitzer F. BURRI und J.-P. SCHÄER werden für die Amtsperiode 1971–1973 einstimmig einzeln wiedergewählt.  
M. BURRI wird der Versammlung als künftiger Präsident der SGG, J.-P. SCHÄER als deren künftiger Vizepräsident vorgestellt.  
Neu in den Vorstand werden einstimmig gewählt: L. HAUBER (Basel) als künftiger Sekretär und C. SCHINDLER (Zürich) als Beisitzer.
13. Anträge von seiten der Mitglieder liegen nicht vor.
14. Unter «Varia» teilt Präsident W. NABHOLZ mit, dass die nächste Jahresversammlung der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft vom 8. bis 10. Oktober 1971 in Fribourg stattfinden wird.

Schluss der Sitzung: 9.50 Uhr.

Der Protokollführer: F. HOFMANN

**Wissenschaftliche Sitzung****Samstag, 17. Oktober 1970**

Zugleich Sitzung der Sektionen für Geologie und Paläontologie der SNG.

Es wurden folgende Referate vorgetragen:

**ALBERT STRECKEISEN** (Bern): Plutonismus und Orogenese. Siehe Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt. 50/3 (1970).

**HANS LAUBSCHER** (Basel): Hebung und Wärme in der alpinen Orogenese. Siehe Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt. 50/3 (1970).

**PETER GIESE** (Berlin): Temperaturverteilung und Krustenstruktur unter Gebirgen und ihre Bedeutung für die Tektonik. Siehe Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt. 50/3 (1970).

**OTTO WITTMANN** (Lörrach): Bemerkungen zum Probendruck des neuen geologischen Atlasblattes Basel (1:25000). Siehe S. 195 dieses Hefts.

**LUKAS HAUBER** (Basel): Zur Geologie des Salzfeldes Schweizerhalle – Zinggibrunn (Kt. Baselland). Siehe S. 163 dieses Hefts.

**ROGER LAURENT** (Middlebury, Vermont, USA): The Argand's Synthesis of the Alps and the New Lithosphere Plate Tectonics.

**NAZARIO PAVONI** (Zürich): Gesetzmässigkeiten in der Anordnung ozeanischer Rücken.

**ERWIN SCHELLER** (Moosseedorf, Bern): Beitrag zum Bewegungsverhalten grosser Bergstürze. Siehe S. 195 dieses Hefts.

Die ersten drei Referate standen als gemeinsame Sitzung mit der Schweizerischen Mineralogischen und Petrographischen Gesellschaft unter dem Thema «Orogenese und Plutonismus».

**OTTO WITTMANN (Lörrach) <sup>1)</sup>: Bemerkungen zum Probendruck des neuen geologischen Atlasblattes Basel (1 : 25000)**

An der Bearbeitung des Blattes waren beteiligt H. FISCHER, L. HAUBER, P. STAHELIN aus Basel, A. RIESER aus Bonn und O. WITTMANN aus Lörrach. Das Blatt umfasst deutsche, französische und Schweizer Anteile. Mehrere Städte liegen vollständig (Huningue, Lörrach, St-Louis, Weil) oder nahezu ganz (Basel) im Blattbereich. Von Norden nach Süden wird das Blattgebiet von der Abbiegungs- und Bruchzone der Rheintalflexur durchzogen, der südlichen Fortsetzung der äusseren Randverwerfung des Oberrheingrabens. Auch ihr östliches mesozoisches Rückland (Weitenauer Vorberge, Dinkelberg) und ihr westliches tertiäres Vorland kommen zur Darstellung. Insgesamt liegt das Blattgebiet am südöstlichen Ende des Oberrheingrabens. Die zutage gehende Schichtfolge reicht vom Buntsandstein über den Jura bis ans Ende des Mitteloligozäns.

Besondere Schwierigkeiten hinsichtlich Aufnahme und Darstellung ergaben sich in tektonisch komplizierten Teilen der Flexur. Nur jahrzehntelange Information in Baugruben und durch Bohrungen erlaubte hier eine befriedigende Synthese. Technisch wichtig ist die Darstellung der Geologie im Bereich der Kraftwerke und Schleusen von Kembs am Grand Canal d'Alsace und von Birsfelden am Hochrhein. Dargestellt sind auch die geologischen Verhältnisse an den Ufern des Hochrheins vor dem Aufstau, im Rheinbett des Oberrheins nach Absenken des Wasserspiegels. Die Geologie der Schottersohle innerhalb der Stadt Basel ist durch eine Auswahl von Bohrungen dokumentiert. Nebenkärtchen passen die tektonischen Befunde in einen grösseren Zusammenhang und geben eine Übersicht über die pleistozänen Terrassenbildungen.

---

<sup>1)</sup> Schulstrasse 44, D-7850 Lörrach.

**ERWIN SCHELLER (Moosseedorf, Bern): Beitrag zum Bewegungsverhalten grosser Bergstürze. Mit 4 Figuren und 1 Tabelle im Text.**

**ZUSAMMENFASSUNG**

Unter der Annahme einer geschwindigkeitsabhängigen Gleitreibung als Ersatz für alle energiemindernden Prozesse in der Bewegungsphase wird versucht, die Reichweite grosser Bergstürze mathematisch zu erfassen.

Dank den ständigen Fortschritten in der Felsmechanik, Geotechnik und Ingenieurgeologie bestehen heute brauchbare Kriterien zur Beurteilung der Sicherheit bei drohenden Bergstürzen. Dagegen wird man auch in den modernsten Standardwerken über Bergstürze vergeblich nach ausführlichen Angaben über den dynamischen Teil eines derartigen Ereignisses suchen. Auch die Felsmechanik ist noch nicht in der Lage,

nicht einmal a posteriori, einwandfreie Kriterien zur Beurteilung des Bewegungsverhaltens eines katastrophalen Bergsturzes zu liefern. Besonders deutlich hat dies das Beispiel der Katastrophe von Vajont gezeigt, wo trotz einer grossen Zahl von Untersuchungen und Publikationen noch keine Klarheit über das dynamische Verhalten der bewegten Felsmassen herrscht.

Der Kern der Problematik um das Bewegungsverhalten von Bergstürzen liegt in den extrem niedrigen Reibungsverlusten längs der Bewegungsbahn. Sein reicher Schatz an Erfahrungs- und Beobachtungsmaterial führte HEIM (1932) zur Feststellung, dass die Verfrachtungsdistanz bei Bergstürzen unter sonst gleichen Umständen mit der sich bewegenden Masse zunehme. HEIM war ferner überzeugt, dass die Sturzmassenbewegung als Fliessen aufzufassen sei, wobei aber die ursprüngliche Gesteinsabfolge durch die Bewegung grossräumig nicht verändert werde, d.h., die anfänglich frontalen Sturzmassenanteile würden nach dem Sturz ebenfalls die Front des Trümmerenteppichs belegen. Die niedrigen Reibungsverluste versuchte er mit einer geschwindigkeitsabhängigen Reibung zu erklären. In Figur 1 ist die Beziehung zwischen Sturzmasse bzw. -volumen und Pauschalgefälle<sup>1)</sup> einiger bekannter Bergstürze dargestellt.

In neuerer Zeit fand eine sensationelle Hypothese von SHREVE (1966, 1968) weit herum Gehör. Danach müsste die Bewegung bei zahlreichen Bergstürzen, die dem von ihm untersuchten Blackhawk-Bergsturz in Kalifornien entsprechen (Sherman, Frank, Elm, Flims, Saidmarreh) als reines Gleiten, keinesfalls als Fliessen aufgefasst werden, am ehesten vergleichbar mit der Bewegung einer durch Risse aufgeteilten, in sich noch zusammenhängenden Platte. An einem Gefällsbruch in der Beschleunigungsbahn (Schanze) ginge die Sturzmasse brettartig in den freien Fall über und würde in dieser Bewegungsphase soviel Luft unter sich einfangen und komprimieren, dass ein Luftpuffer entstünde. Dieses würde ein Weitergleiten bei minimalsten Reibungsverlusten ermöglichen.

KENT (1966) postulierte dagegen eine Reibungsminderung durch Luftauftrieb, wohl ermöglicht durch Staudruckwirkung an der Sturzmassenfront und durch eventuelle Luftsprünge bei Schanzen. Diese Fluidisierung durch Lufteinwirkung wirkt plausibler; es folgt hier im Gegensatz zur Hypothese von SHREVE (1968a) eine klare Fliessbewegung.

Eine möglicherweise auf L. MÜLLER (1964) zurückgehende Hypothese versucht die Reibungsminderung durch Thixotropie-Effekte im Sturzmaterial zu erklären. Es stellt sich hier sofort die Frage, ob ein allfälliger Thixotropie-Effekt für das Auftreten grosser Geschwindigkeiten verantwortlich sei oder ob nicht vielmehr erst infolge hoher Geschwindigkeiten thixotropes Verhalten eintrete.

Eingehende kritische Auseinandersetzungen mit den erwähnten und weiteren Hypothesen zur Reibungsminderung sowie Modellversuche brachten uns zur Überzeugung, die Bergsturzbewegung könne als differentielles Gleiten in einzelnen Stockwerken der sich bewegenden Masse aufgefasst werden. Diese Auffassung entspricht

---

<sup>1)</sup> Unter Pauschalgefälle verstehen wir das Gefälle zwischen dem ursprünglich höchstgelegenen und dem am weitesten verfrachteten Sturzmassenelement, wobei dieses Gefälle längs dem Grundriss der Trümmerstromrichtung zu ermitteln ist. HEIM (1932) hat diese Betrachtungsweise eingeführt und damals den Begriff «Fahrböschung» verwendet.

Nr.	Lokalität	Zeit	Volumen ( $10^6 \text{ m}^3$ )	Pauschal- gefille	Brandungs- verhältnis	Horizontal- distanz L (km)	mittl. Neigung der Beschleuni- gungsbahn (°)	Konstante C (V) ( $10^{-3}$ )	Konstante B (V)	6) Literatur
1	Sherman (Alaska)	1964	30	0.19	1/5	5.8	40	12.9	$4 \cdot 10^{-2}$	SHREVE (1966)
2	Vajont (Italien)	1963	250	0.34	1/5	1.6	35 - 40	16.8	$1.19 \cdot 10^{-1}$	MUELLER (1964, 1968)
3	Madison (USA)	1959	29	0.27	1/3,2	1.6	34	12.9	$4 \cdot 05 \cdot 10^{-2}$	HADLEY (1959)
4	Gros Ventre (USA)	1925	38	0.17	1/6	3.4	18 - 21	13.3	$4 \cdot 62 \cdot 10^{-2}$	ALDEN (1928)
5	Pamir	1911	2000	0.24	?	6.2	?	21.8	$3.35 \cdot 10^{-1}$	HARRISON u. FALCON (1938)
6	Frank (Kanada)	1903	30	0.25	1/7	3.5	33	12.9	$4.11 \cdot 10^{-2}$	DALY et al. (1912)
7	Airolo	1898	0.5	0.64	-	1.1	45/35	7.83	$5.30 \cdot 10^{-3}$	HEIM (1932)
8	Schächental	1887	0.5	0.58	1/27	2.3	ca. 42	7.83	$5.30 \cdot 10^{-3}$	"
9	Elm	1881	10-11	0.26	1/5	2.3	41	11.2 - 11.4	$2.37 \cdot 2.49 \cdot 10^{-2}$	"
10	Goldau	1806	30-40	0.19	1/12-1/10	5.7	20	12.9 - 13.4	$4.11 \cdot 4.73 \cdot 10^{-2}$	"
11	Diablerets	1714/49	50	0.34	?	5.5	ca. 40	13.8	$5.30 \cdot 10^{-2}$	"
12	Disentis	1683	10-20	0.36	1/6 - 1/5	2.0	31	11.2 - 12.3	$2.37 \cdot 3.35 \cdot 10^{-2}$	"
13	Val Lagone	1486	0.5-0.8	0.44	-	2.3	ca. 35/22	7.83 - 8.20	$5.30 \cdot 6.71 \cdot 10^{-3}$	"
14	Vorapsee	prähistorisch	30	0.33	1/9	3.3	32	12.9	$4.11 \cdot 10^{-2}$	"
15	Scima da Saoseo	"	80	0.27	1/6 - 1/4	5.5	34	14.6	$6.71 \cdot 10^{-2}$	"
16	Corno di Dosdè	"	20	0.32	1/7	3.7	32	12.3	$3.35 \cdot 10^{-2}$	"
17	Kandertal	"	140	0.19	1/5	10-11	35	15.6	$8.90 \cdot 10^{-2}$	"
18	Poschiavo	"	150	0.36	1/5	4	40	15.8	$9.2 \cdot 10^{-2}$	"
19	Obersee GL	"	120	0.36	1/6	5	28 1/2	15.3	$8.3 \cdot 10^{-2}$	"
20	Gärmisch-Guppen	"	800	0.25	1/8 - 1/6	7.5	34	19.5	$2.12 \cdot 10^{-1}$	"
21	Flims	"	12000	0.13	1/4	15	12 - 15	27.3	$8.30 \cdot 10^{-1}$	"
22	Tamins	"	1300	0.095	-	13.5	31	20.7	$2.70 \cdot 10^{-1}$	VERFASSER
23	Engelberg	"	2500-3000	0.22	1/4,5	7.5	31	22.4	$3.75 \cdot 10^{-1}$	ARBENZ (1913)
24	Siders	"	1000-2000	0.14	?	17-18	29	20.0 - 21.8	$3.35 \cdot 10^{-1}$	HEIM (1932)
25	Blackhawk(USA)	"	280	0.13	1/12	9.5	27	17.1	$1.25 \cdot 10^{-1}$	SHREVE (1968)
26	Silver Reef (USA)	"	220	0.13	1/18	7.4	?	16.6	$1.11 \cdot 10^{-1}$	SHREVE (1968)
27	Fernpass (Oesterreich)	"	1000	0.09	?	15.57	34	20.0	$2.37 \cdot 10^{-1}$	ABELE (1964)
28	Saldanach (Iran)	"	20000	0.08	1/2,7	19	20	29.1	1.05	HARRISON u. FALCON (1938)
29	Wengen, S Chneugraben	"	2-3	0.45	?	1.1	?	9.20 - 9.68	$1.06 \cdot 1.30 \cdot 10^{-2}$	ALTMANN (1959)
30	Wengen, Chneugraben	"	5-6	0.42	?	1.65	?	10.31 - 10.55	$1.68 \cdot 1.84 \cdot 10^{-2}$	ALTMANN (1959)

1) Tangens der Fahrböschung von HEIM (1932)

2) Quotient zwischen maximaler Fall- und Brandungshöhe (HEIM, 1932)

3) Horizontaldistanz vom obersten Abrissrand zum entferntesten Trümmerelement, längs der Stromrichtung gemessen (HEIM, 1932)

4) 5) siehe entsprechende Fig.

6) Die in dieser Tabelle angeführten Daten sind nur zum Teil direkt übernommen; in vielen Fällen sind sie aus Daten der Bearbeiter abgeleitet.

7) S-Ast

## Vergleichstabelle einiger grosser Bergstürze.

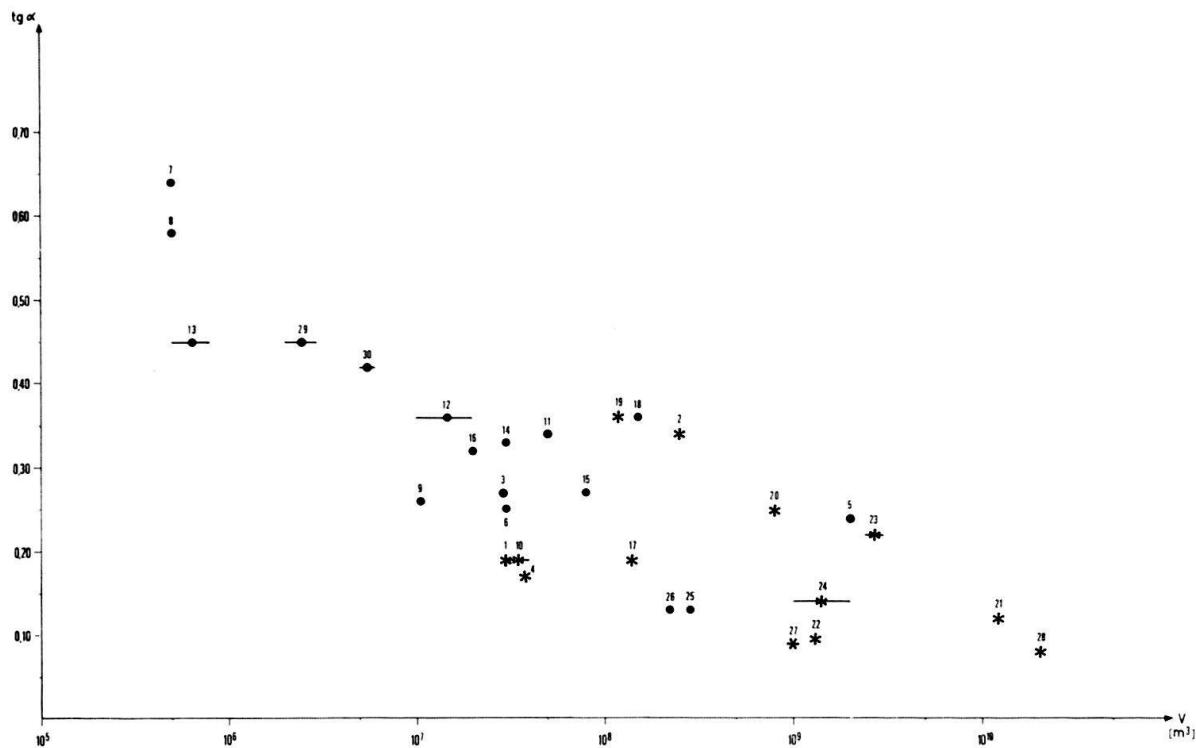


Fig. 1. Graphische Darstellung der Beziehung zwischen Pauschalgefälle und Sturzvolumen der in der Vergleichstabelle angeführten Bergstürze.

\* Schlipfstürze (nach HEIM, 1932)

● Fallstürze (nach HEIM, 1932)

Die Numerierung bezieht sich auf die Vergleichstabelle.

einer Fliessbewegung im Sinne von HEIM (1932). Entgegen der Meinung von SHREVE (1968) besteht dabei nicht zum vornherein ein Widerspruch zur Tatsache, dass die Gesteinsabfolge innerhalb der Sturzmasse statistisch erhalten bleibt. Der Trümmerstrom verhält sich im Detail eben nicht wie eine homogene Flüssigkeit, denn es liegen Komponenten in allen möglichen Größen vor.

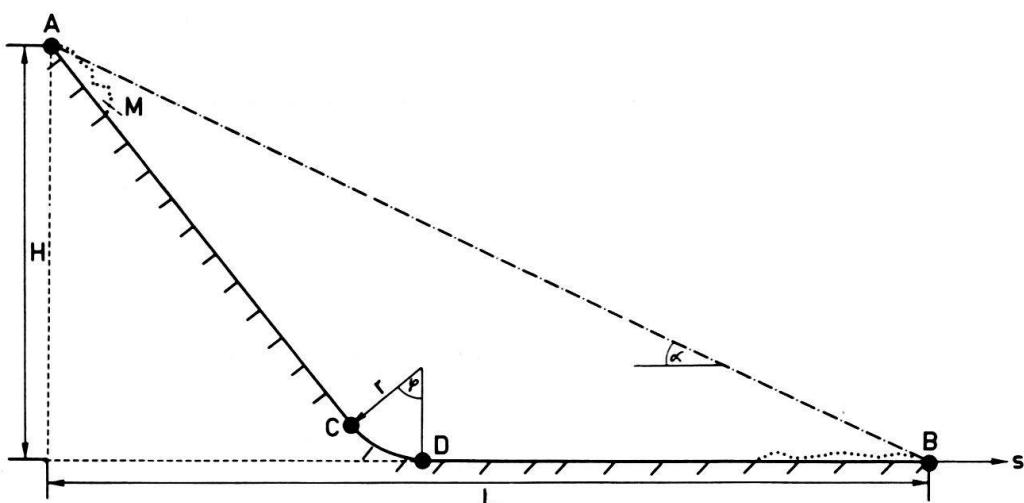


Fig. 2. Prinzipskizze zum Modell der geschwindigkeitsabhängigen Reibung.

Gesicherte Kenntnisse über die wirklichen reibungsmindernden Phänomene bei der Bergsturzbewegung sind gegenwärtig noch nicht vorhanden. Nichts hindert uns jedoch, anhand eines Ersatzmodells eine rechnerische Erfassung der Reichweite von Bergstürzen zu versuchen.

Das Modell bestehe aus einer in die Horizontale auslaufenden schiefen Ebene. Der Übergang der beiden Ebenen werde durch ein Kreisbogenstück realisiert (Fig. 2). In A befindet sich das ursprünglich höchstegelegene Element der Sturzmasse, in B dasjenige mit der grössten Verfrachtungsdistanz.

Eine Sturzbewegung werde nun so angenommen, dass anfänglich die gesamte Sturzmasse in A konzentriert sei und durch Schwerkrafteinwirkung beschleunigt werde. Am Ende der Bewegung soll die gesamte Sturzmasse als in B konzentriert gedacht werden. Dabei wird nicht etwa angenommen, das ursprünglich in A gelegene Element gelange nach B, vielmehr bestimme die potentielle Energie des Elementes in A die maximale Verfrachtung eines beliebigen Sturzmassenelementes nach B.

Bezeichnen wir die Sturzmasse mit  $M$ , den Weg längs der Bewegungsbahn mit  $s$ , die Reibungskraft mit  $R$  und die Neigung der Ebene mit  $\varphi$ , so lautet die Bewegungsgleichung

$$Ms - Mgs \sin \varphi + R = 0.$$

Die Reibungskraft bestehe aus einem konstanten und einem geschwindigkeitsabhängigen Anteil mit den entsprechenden Koeffizienten  $\varepsilon_1$  und  $\varepsilon_2$  und soll entweder die Form

$$R = R_1 = Mg [\varepsilon_1 + \varepsilon_2 \exp(-C^2 s^2)] \cos \varphi \quad (\text{Exponentialansatz})$$

$$\text{oder } R = R_2 = Mg \{\varepsilon_1 + [\varepsilon_2/(Bs + 1)]\} \cos \varphi \quad (\text{Hyperbelansatz})$$

besitzen.

Der Gang zur Lösung der beiden Varianten der Bewegungsgleichung wird in der Dissertation des Verfassers detailliert aufgezeigt. In einem ersten Schritt wird die Geschwindigkeit im Punkt C ermittelt (Fig. 2). Längs des Kreisbogenstückes CD (Radius  $r$ ) sind die Einflüsse der Schwerebeschleunigung, der Reibungsverzögerung und der Zentrifugalbeschleunigung zu berücksichtigen. Aus der im Punkt D resultierenden Geschwindigkeit lässt sich schliesslich die Reichweite auf dem horizontalen Auslauf bestimmen. Die vorgegebene Höhendifferenz  $H$  und die ermittelte Horizontaldistanz  $L$  liefern schliesslich das Pauschalgefälle

$$\operatorname{tg} \alpha = H/L.$$

Sämtliche numerischen Berechnungen wurden im Rechenzentrum der ETH Zürich ausgeführt.

Ausgewählte Resultate sind in den Figuren 3 und 4 aufgezeichnet. Dargestellt wurde das Pauschalgefälle als Funktion der Konstanten  $C$  bzw.  $B$  der beiden Reibungsansätze. Als wesentliche Parameter treten die Neigung  $\varphi$  der schießen Ebene, der Anfangsreibungskoeffizient  $\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2$  und der konstante Reibungskoeffizient  $\varepsilon_1$  auf. Unter «Reibung» verstehen wir einen formalen Ersatz für alle mit Energieverlusten behafteten Vorgänge während der Bergsturzbewegung.

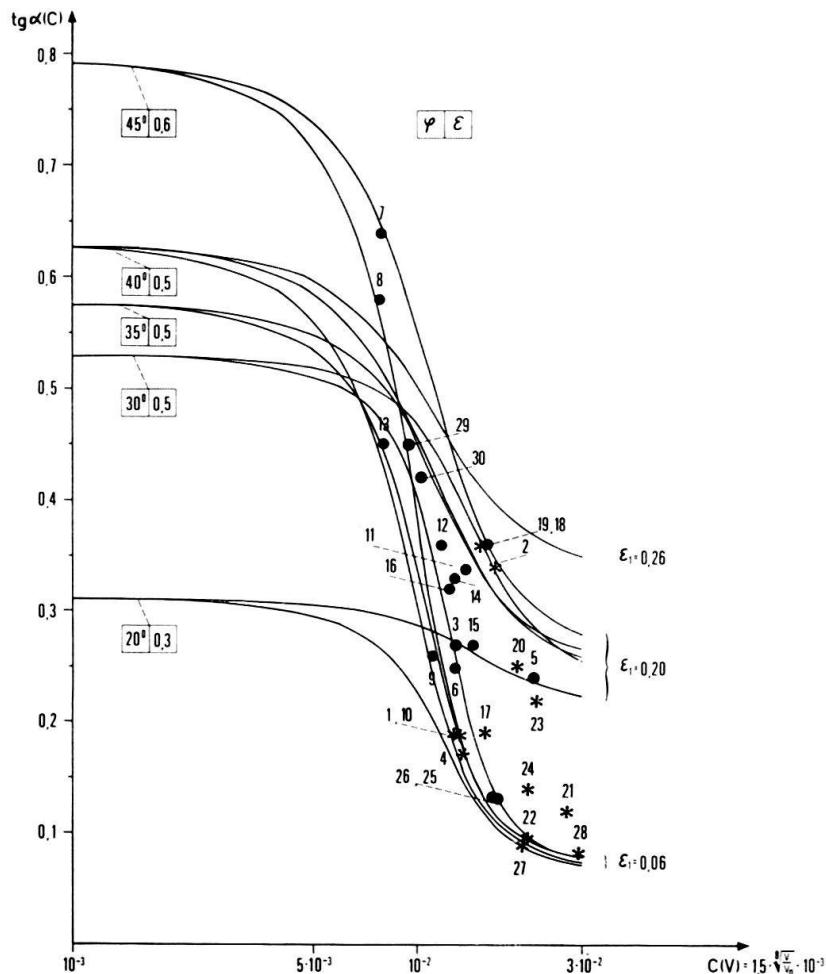


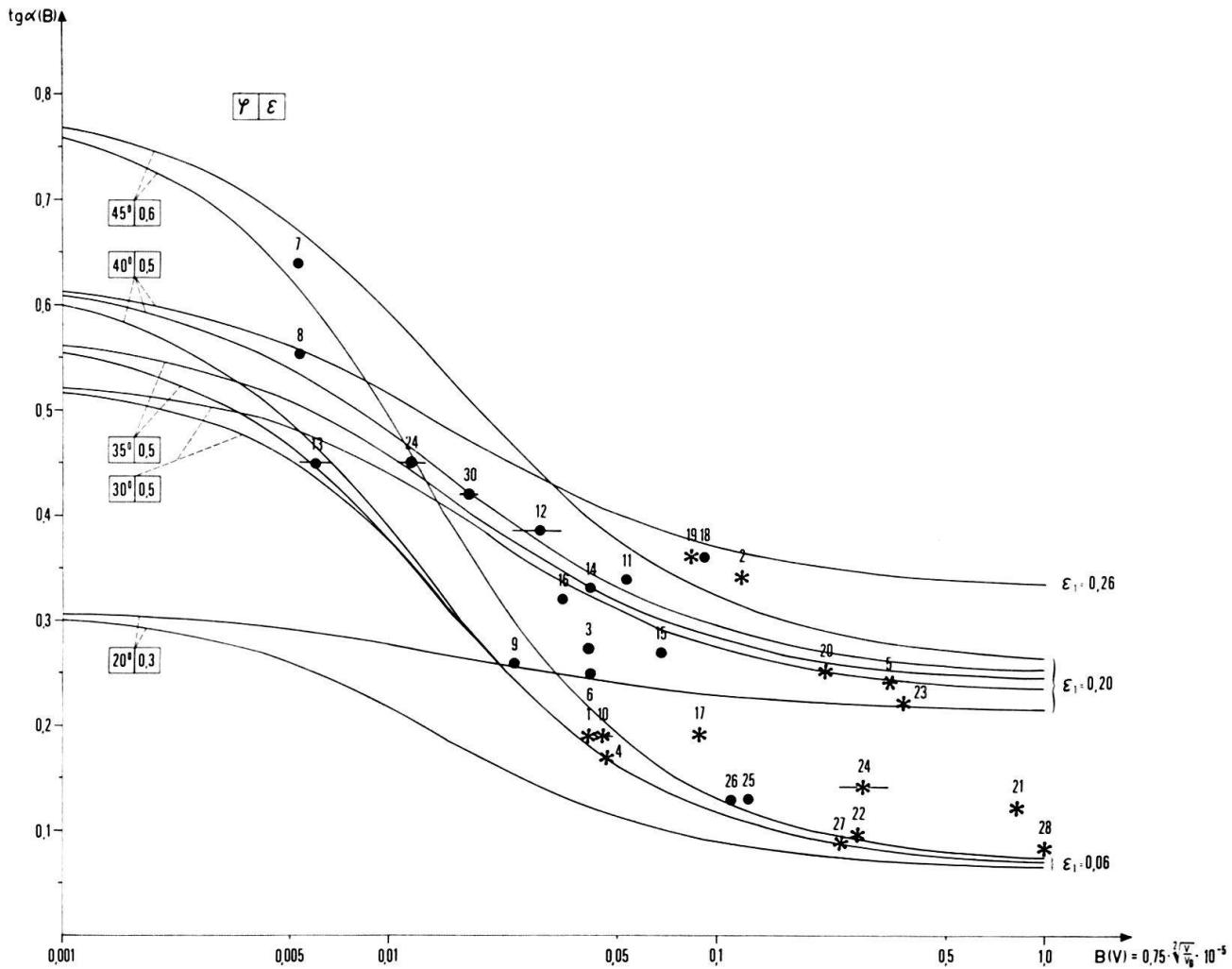
Fig. 3 und 4. Graphische Darstellung der Abhängigkeit des Pauschalgefälles der in der Vergleichstabelle aufgeführten Bergstürze von den Konstanten der Reibungsansätze bzw. vom Sturzvolumen. Der Parametersatz  $(\varphi, \varepsilon)$  bezieht sich auf die Neigung  $\varphi$  der Beschleunigungsbahn und den Anfangsreibungskoeffizienten  $\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2$ , wobei  $\varepsilon_1$  der Koeffizient des konstanten Anteils der Reibungskraft darstellt. Die Symbole entsprechen denen von Fig. 1. Fig. 3 basiert auf dem Exponentialansatz, Fig. 4 auf dem Hyperbelansatz.

Vergleicht man das Pauschalgefälle der grössten Bergstürze in der Tabelle mit entsprechenden Werten unseres mathematischen Modells, so wird deutlich, dass die extremsten Ereignisse (z.B. Saidmarreh, Fernpass, Tamins, Blackhawk) allenfalls Modellkurven mit dem Parameter  $\varepsilon_1 = 0,06$  angehören können.

Wir haben ferner rein empirisch Konversionsfunktionen ermittelt, die es erlauben, die Konstanten C bzw. B als Funktionen des Sturzvolumens darzustellen:

$$C = k_C(V), \quad B = k_B(V).$$

Damit wird es möglich, die Modellkurven mit wirklichen Sturzereignissen direkt zu vergleichen.



Für den Exponentialansatz lautet diese Konversionsfunktion

$$k_C = 1,5 \sqrt[8]{\frac{V}{V_0}} \cdot 10^{-3}; V_0 = \text{Einheitsvolumen.}$$

Für den Hyperbelansatz erweist sich die Wahl

$$k_B = 0,75 \sqrt{\frac{V}{V_0}} \cdot 10^{-5}$$

als geeignet.

Mit diesen Relationen wirkt sich die Reibungsminderung bei grösseren Sturzmassen früher und stärker aus als bei kleineren. Damit wäre der von HEIM (1932) angeführten Massenabhängigkeit des Pauschalgefälles Rechnung getragen.

HEIM (1932) hat zwischen Schlipf- und Fallstürzen unterschieden. Für Schlipfstürze ist eine anfängliche Gleitbewegung auf Schichtflächen mit relativ geringer Neigung (etwa  $20\text{--}30^\circ$ ) charakteristisch. Als typischer Schlipfsturz kann der Bergsturz von Goldau bezeichnet werden. Demgegenüber legen typische Fallstürze den ersten Teil der Bewegung frei fallend zurück. Die Schichtlage ist dabei meist bergeinwärts fallend und die losbrechenden Massen weisen örtlich Überhänge oder

Unterschneidungen auf. Die durchschnittliche Neigung der Beschleunigungsbahn ist im allgemeinen grösser als  $40^\circ$ . Als typische Fallstürze gelten die Bergstürze von Elm und Frank. Es lassen sich aber nicht alle Sturzereignisse in dieses Schema eingliedern. Schlipfstürze können z.B. infolge von Gefällsbrüchen in der Bewegungsbahn in Fallstürze übergehen.

In den Figuren 3 und 4 entspricht die Kurvenschar mit den Parametern  $\varphi = 45^\circ$ ,  $\varepsilon = 0,6$  typischen Fallstürzen, während die Schar mit den Parametern  $\varphi = 20^\circ$ ,  $\varepsilon = 0,3$  für Schlipfstürze gilt. Die übrigen drei Kurvenscharen umfassen häufig auftretende Parameterwerte.

Der Spielraum für die Wahl des Parameters  $\varphi$  wird stark eingeschränkt durch die Annahme einer Gleitreibung als Ersatz für die energiemindernden Vorgänge.  $\varepsilon$  kann somit den Tangens der anfänglichen Bahnneigung  $\varphi$  nicht übersteigen.

Erstaunlich ist die Tatsache, dass bei grossen weitreichenden Bergstürzen die Neigung der Beschleunigungsbahn innerhalb gewisser Grenzen bedeutungslos wird. Die Kurvenschar  $\varphi = 20^\circ$ ,  $\varepsilon = 0,30$  und  $\varepsilon_1 = 0,06-0,20$  z.B. überlagert sich für grosse Werte von B bzw. C den übrigen Scharen der graphischen Darstellung.

Die Feststellung von HEIM (1932, S. 62ff.), wonach sich Schlipf- und Fallstürze bezüglich ihrer Reichweite nicht oder nur kaum unterscheiden, ist durch unsere Berechnungen eindrücklich bestätigt worden. Die für die weitreichenden Bergstürze resultierenden Ersatzreibungsbeiwerte sind erstaunlich niedrig. Ein Gleitreibungskoeffizient von 0,08 entspräche beispielsweise Werten, die zwischen Holz und Holz bei Schmierung auftreten würden (Hütte I, 1955). Dabei ist noch zu bedenken, dass unsere Ersatzwerte alle energiemindernden Vorgänge während der Sturz- und Auslaufbewegung einschliessen. Wenn auch durch die vorliegenden Modellrechnungen die eigentlichen Reibungspheomene nicht explizit erfasst werden konnten, so zeigen die Resultate doch eindrücklich die grundlegende Bedeutung dieser noch völlig ungeklärten Phänomene. Der Einfluss der Reibungsverhältnisse zwischen Bewegungsbahn und Sturzmasse sowie allfälliger Hindernisse auf die Reichweite eines Bergsturzes ist aufgrund der ermittelten Resultate weit geringer, als allgemein angenommen wird. Offensichtlich sind es die geschwindigkeitsabhängigen reibungsmindernden Phänomene, die beinahe ausschliesslich für die zuweilen ungeheuer anmutenden Verfrachtungen der Bergsturztrümmer verantwortlich sind.

Das angegebene Ersatzmodell liesse sich zweifellos beliebig verfeinern.

Für wertvolle Hinweise und beratende Unterstützung zum mathematischen Teil gebührt den Herren Prof. Dr. Max Weber, Dr. G. Berset und dipl. Phys. ETH H. Guillelmon aufrichtiger Dank.

#### WICHTIGSTE LITERATUR

- HEIM, ALBERT (1932): *Bergsturz und Menschenleben*. Vjschr. naturf. Ges. Zürich 77, Beiblatt Nr. 20, 218 S.
- KENT, P. E. (1966): *The Transport Mechanism in Catastrophic Rock Falls*. J. Geol. 74, 79–83.
- MÜLLER, L. (1964): *The Rock Slide in the Vajont Valley*. Felsmechanik u. Ingenieurgeol. 2/3–4, 148–212.
- SCHELLER, E. (1970): *Geophysikalische Untersuchungen zum Problem des Taminsbergsturzes*. Diss. ETHZ u. Mitteil. d. Inst. f. Geophysik ETHZ.
- SHREVE, R. L. C. (1966): *Sherman Landslide, Alaska*. Science 154/3757, 1639–1643.
- (1968): *The Blackhawk Landslide*. Geol. Soc. Am. Spec. Paper 108, 47 S.
- (1968a): *Leakage and Fluidization in Air-Layer Lubricated Avalanches*. Geol. Soc. Am. Bull. 79, 653–658.