

Bewegungsbilder instabiler Talflanken

Ulf Zischinsky

7 Abb., 7 Tafeln (8—14)
(3 Karten 1 : 25.000 und 2 Stereo-Luftbilder)

Anschrift:
Dr. U. Zischinsky
Geol. Institut der Universität Wien
Universitätsstraße 7
1010 Wien

Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud.	17. Bd.	1966	S.127-168	Wien, Juni 1967
-------------------------------	---------	------	-----------	-----------------

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung, Summary, Résumé	129
1. Einführung	129
2. Matrei i. O. — Glunzerberg — Bunzkögele	131
A) Beobachtungen und deren unmittelbare Deutung	131
I) Morphologie	132
II) Die geologischen Körper und ihr Gefüge	136
B) Das gedeutete Bewegungsbild	140
3. Radenthein — Millstätter Alm NE	144
A) Beobachtungen und deren unmittelbare Deutung	144
I) Morphologie	144
II) Die geologischen Körper und ihr Gefüge	145
B) Das gedeutete Bewegungsbild	147
4. Tschagguns/Montafon — Golmerhang	152
A) Beobachtungen und deren unmittelbare Deutung	152
I) Morphologie	153
II) Die geologischen Körper und ihr Gefüge	155
B) Das gedeutete Bewegungsbild	157
5. Wirtschaftliche Auswirkungen der Hangbewegungen	161
6. Definitionen	163
1) Potentielle und effektive Teilbeweglichkeit	163
2) Sackung und Gleitung	164
7. Zu den Tafeln	165
1) Diagrammbereiche (Taf. 12)	165
2) Luftbilder (Taf. 14a, b)	166
Literatur	166

Zusammenfassung

Abgessene Hänge unterscheiden sich von ihrer stabilen Umgebung vor allem in morphologischer und in struktureologischer Hinsicht. Diese besonderen Merkmale werden von zwei Hängen beschrieben. Es ergeben sich Gemeinsamkeiten, aus denen ein allgemeiner Deformationsplan der Felsböschungen abzuleiten ist. Bei der Beschreibung der Verformung eines dritten Hanges steht die Rekonstruktion der postglazialen Talgeschichte im Vordergrund.

Summary

In this paper the characteristics of two formerly unstable slopes are described. There results a general plan of deformation which should be valid for all slopes on comparable rock masses. When describing a third example the aim is to reconstruct the postglacial history of this valley-side.

Résumé

Cette publication s'occupe de deux versants instables. Ceux-ci ont des traits communs caractéristiques qui permettent d'en conclure un plan général de déformation valable pour tous les rochers comparables. C'est le but de la description d'un troisième versant déformé de reconstruire l'histoire postglaciaire de la vallée en question.

1. EINFÜHRUNG

Im Jahre 1960 hat mir Herr Prof. E. CLAR eine Dissertation über Bergerreißung, Talzuschub und Bergstürze übertragen. Dieser Arbeit waren zwei Aufgaben gestellt:

Erstens sollten die geologischen und morphologischen Charakteristika der Hangverformungen, gegebenenfalls auch eine Typisierung herausgearbeitet werden. Eine derartige Typisierung soll womöglich auf einem „natürlichen“ System beruhen, und dieses wird jedenfalls auf den mechanischen Eigenschaften des Materials Gebirge aufbauen.

Das zweite und Hauptziel meiner Arbeit war auch aus diesem Grunde eine Untersuchung des mechanischen Verhaltens des Gebirges unter den speziellen Bedingungen einer instabilen Böschung. Herr Professor CLAR hat dazu geschrieben (1960): „Es ist schon vielfach darauf hingewiesen worden (STINI u. a.), daß genau bekannte Verformungsbilder von Gesteinskörpern auch die Rückrechnung gewisser Eigenschaften dieses Gebirgskörpers ermöglichen sollten, die von den Eigenschaften des einzelnen Gesteinsstückes wesentlich abweichen können oder müssen. Es ist gut denkbar, daß dieser Weg, systematisch ausgebaut, eine Fülle von Daten über Gebirgseigenschaften zur Verfügung stellen kann. Zu denken ist dabei in erster Betrachtung an die Durchrechnung ungezählter Beispiele,

bei denen in den Hängen unserer Berge hohe Gesteinskörper an der Grenze ihrer Stabilität abgeböscht worden sind oder diese Grenze überschritten haben. Junge Wandformen, große Felsackungen und der Talzuschub müssen in gefügekundlich genau untersuchbaren Fällen auch technisch brauchbare und anderswo anwendbare Daten liefern können“. Speziell die Verformung der Sackungen ist nämlich ein „Modellversuch der Natur“, an dem wir die Deformation des Böschungskörpers aus den Veränderungen der Oberfläche des Körpers und manchmal auch aus den Veränderungen im Körper ablesen können und bei dem die angreifende Kraft (die Schwerkraft) nach Größe und Richtung bekannt ist.

Die bei dieser Aufgabe angewandten Methoden sind kurz folgendermaßen zu beschreiben: Die Veränderungen im Körper werden abgebildet in der Deformation eines vorhandenen Gefüges. Sie werden mit Hilfe der üblichen Methoden der Makrogefügekunde kontrolliert. Die Veränderungen der Oberfläche des Körpers und manchmal auch aus den an die Oberfläche austreichenden Diskontinuitäten werden durch eine morphologische Kartierung erfaßt. Als entscheidendes Hilfsmittel hat sich dabei die Auswertung von Luftbildern im Stereoskop bewährt. Als Ergänzung dieser beiden Methoden dienen von Fall zu Fall verschiedene geologische Untersuchungen.

Das Material, in dem die wichtigsten meiner Beispiele liegen, sind hochteildbewegliche kristalline Schiefer. Sie geben die charakteristischen Eigenschaften des Gebirges und seiner Beanspruchung am differenziertesten wieder und machen so eine dynamische Deutung des Bewegungsvorganges möglich bzw. notwendig, wogegen in massigen Gebirgen statische Ansätze oft vorteilhafter sind. Die Beschränkung auf metamorphe Gesteine hat den Vorteil, daß in ihnen der Einfluß des Wassers auf die normale Wirkung des Porenwassers und auf den Kluftwasserdruck beschränkbar ist — was immer noch eine große Unbekannte darstellt. Aber wenigstens hat man halbwegs die Gewähr, daß sich das gesamte Gebirge unter seinem Einfluß nicht auch noch im festen Anteil des Dreiphasensystems Gestein—Wasser—Luft verändert.

Damit ergab sich aber eine weitgehende Einschränkung der untersuchten Bewegungstypen auf die Sackungen. Die beiden besten Beispiele für solche Sackungen werden in dieser Publikation besprochen. Und zwar sollen hier vor allem die Methodik der Kartierung und die Art der geologischen Beweisführung vorgeführt werden bis zur Beschreibung eines mechanisch deutbaren Bewegungsbildes. An anderer Stelle werde ich dieses Bild ergänzen und versuchen, daraus die festigkeitstheoretischen Eigenschaften des Gebirges abzuleiten. Dieses hier entwickelte Konzept kann auch auf schwierige Fälle angewandt werden. Das wird im letzten Beispiel gezeigt, bei dem bruchlose und brechende Deformation in besonders komplizierter Weise ineinander greifen.

Es ist mir ein Bedürfnis, an dieser Stelle all denen zu danken, die mir bei dieser Arbeit in der verschiedensten Weise geholfen haben:

Herr Prof. Dr. E. CLAR hat mich mit diesem interessanten Thema betraut, mir die wichtigsten Hänge genannt, deren Bearbeitung Aussicht

auf Erfolg hatte, und mir immer wieder in Gesprächen weitergeholfen — besonders auch bei dem Versuch einer rheologischen Deutung der beobachteten Bewegungen. Vor allem aber danke ich ihm die Einführung in das Denken des sogenannten „Salzburger Kreises“, der heute bereits als „Österreichische Schule des Felsbaues“ bezeichnet wird. Diese Schule geht zurück vor allem auf B. SANDER, W. SCHMIDT und J. STINI und hat nach meiner Überzeugung die entscheidenden Konzepte entwickelt, mit deren Hilfe die Theorien der theoretischen Mechanik auf die Probleme der Geomechanik angewendet werden können.

Von den Herren dieses Kreises bin ich noch besonders Herrn Prof. Dr. L. MÜLLER und Herrn Dipl.Ing. F. PACHER zu Dank verpflichtet. Sie haben durch ihre Arbeiten und durch zahlreiche persönliche Gespräche mein heutiges Verständnis der Felsmechanik wesentlich gefördert.

Weiters habe ich mich bei den Kollegen und Freunden des Geologischen Institutes der Universität Wien zu bedanken. Sie haben mich durch ihre Kritik dazu angehalten, bei allen geomechanischen Überlegungen nie zu vergessen, daß sie von den subjektiven Beobachtungen und Bewertungen eines Feldgeologen ausgehen und daß sie daher einer besonders sorgfältigen aber jedenfalls geologischen Beweisführung bedürfen.

Zum Schluß möchte ich noch die Unterstützung durch die Österreichisch-Amerikanische Magnesit AG., Radenthein, die Tiroler Wasserkraftwerke AG., Innsbruck und die Vorarlberger Illwerke AG., Schruns, erwähnen. Die genannten Firmen haben in dankenswerter Weise die Geländeaufnahmen unterstützt und mir zahlreiche Arbeitsunterlagen zur Verfügung gestellt.

2. MATREI IN OSTTIROL — GLUNZERBERG — BUNZKÖGELE

(Taf. 8, 14; Taf. 11 Fig. 1, 2; Taf. 12, Diagramme M 1—M 5; Abb. 1, 2, 6)

A) Beobachtungen und deren unmittelbare Deutung

1. Der S Abfall des von der Bretterwandspitze NE Matrei über das Bunzkögele (= Putzkögele) nach W ziehenden Kammes wird auf drei Seiten von tiefen Taleinschnitten begrenzt: Im W durch das Haupttal des Tauernbaches (950—1000 m), im S durch den Burgergraben (950—1350 m), der um den Falkenstein herum nach N abbiegt und bis 1900 m hinaufziehend als Bretterwandgraben die E Begrenzung bildet. Der Kamm selbst steigt im fraglichen Bereich von ca. 2000 auf 2430 m (Bunzkögele). Das ergibt eine Böschungshöhe bzw. einen durchschnittlichen Böschungswinkel von:

NS:	1100—1200 m	24°
EW:	100—1000 m	29°
WE:	0—300 m	34°

Durch den Waldkessel des Glunzerberges (=Glanzerberg) wird der Mittelabschnitt des S Hanges in zwei parallel NS streichende Rücken zerlegt. Im Folgenden soll nun gezeigt werden, daß der östliche dieser beiden Rücken das Zentrum einer alten großen Hangbewegung ist, die ihre (aufgeschlossene) Basis im Bürgergraben hat, den ganzen Hang, tief in den Fels eingreifend, bis hinauf zum Bunzkögele erfaßt und im Bereich des westlichen Rückens gegen W hin einbindet.

Dieser Hang weist nämlich eine ganze Reihe von Merkmalen auf, die ihn von normalen Hängen, speziell auch von denen der unmittelbaren Umgebung unterscheiden. Diese Besonderheiten sind einerseits morphologische Eigentümlichkeiten, andererseits abnorme Lagerungs- und Gefügeverhältnisse.

I. Morphologie: (s. Abb. 6; Luftbilder Taf. 14 a, b)

2. Ausstriche von Bewegungsbahnen

2.11 Auffallendstes morphologisches Element dieses Hanges sind die oben in den Bergwiesen weithin durchziehenden **Wandstufen**. Ihr Fuß ist zwar jedenfalls von Schutt verhüllt, im großen aber sind sie auffallend wenig verwittert, meist auch unbewachsen.

Bei einer Durchschnittsneigung des Hanges von etwa 29° ragen sie aus diesem mit bis zu 60° Neigung auf — etwa parallel dem Einfallen der s; diesen folgen sie auch im Streichen, springen dann aber immer wieder quer dazu vor und erreichen dadurch die im großen beobachtbare Krümmung. Im E ziehen sie deutlich erkennbar in den Steilhang zum Bretterwandgraben hinunter, werden meist etwas flacher und verlieren sich dann.

Offenbar bilden diese Stufen die Ausstriche von im Berg liegenden Flächen. Es handelt sich bei diesen Wandstufen aber sicher nicht um Härtlingszüge.

Andererseits beobachtet man in der Umgebung immer wieder, wie schnell die leicht phyllitischen Kalkglimmerschiefer verwittern, verrutschen, im eigenen Schutt ertrinken und so die weichen Bergwiesen bilden. Das heißt aber, daß die beschriebenen Stufen vor allem gegenüber der Formung der Wiesen von sehr junger Entstehung sind, und daß der gesamte Bereich der Wiesen seit ihrer Bildung keiner nennenswerten Erosion durch Wasser oder Eis ausgesetzt war. (Vgl. auch die Girlanden aus Hangschutt auf etwa 2060 m).

Daraus folgt weiters, daß diese Flächen nicht durch die Erosion freigelegt wurden. Man müßte ja noch die ganze sehr bedeutende Schuttmasse am Hang selbst finden. Es ist auch wesentlich festzuhalten, daß die Neigung der Stufen nicht durch nachträgliche Verwitterung zu ihrem heutigen Wert verringert wurde. Daß vielmehr das heutige Fallen größenordnungsmäßig gleich ist der primären Neigung der Fläche an dieser Stelle. (Über das Zurückwittern von Wänden vergl. auch E. GERBER 1963). Diese Feststellung kann mit Hilfe des Geländeverschnittes sehr gut überprüft werden.

Nach dem bisher Gesagten und auch der ganzen Form nach können diese Flächen keinesfalls jung umgeformte tektonische Bewegungsbahnen sein. In ihrer bogenförmigen Gestalt und in ihrer Anordnung gleichen sie vielmehr überraschend den bekannten Muschelarrissen von Gleitungen in Lockergesteinen. Die Ähnlichkeit ist so groß, daß nach meiner Meinung daraus notwendig folgt, daß die Felsstufen unter dem Bunzkögele ebenfalls die Ausstriche von Gleitbahnen bilden. Auch die oben angeführten Feststellungen über Alter und Art ihrer Entstehung lassen nach meiner Ansicht keine andere Deutung zu.

Der Scheitel dieser Gleitschalen, in dem auch der maximale Absenkungsbetrag (= Höhe der Stufe) an diesen Flächen erreicht wird, liegt etwa an der Kante der Wiesen zum Steilabfall nach E (Profil 1). In diesem Steilhang enden sie nach unten hin (s. o.). Nur die am höchsten im Hang ausbeißende, am tiefsten im Berg liegende Fläche zieht vielleicht bis hinunter zum Bretterwandbach (ca. 1800 m). Eine durchlaufende Basisgleitfläche ist jedenfalls sicher nicht ausgebildet.

Auch die W Flügel der Gleitbahnen enden hoch im Hang. Besonders schön ist hier (SW VP 2046 m) das seitliche Auffiedern in ein ganzes System von Staffeln, die in den unbewegten Hang ausgreifend allmählich verlaufen, genau wie wir es von den kleinen Rutschungen in Böden kennen. Oft sind diese Geländestufen schon so klein und undeutlich, daß sie in der Natur gar nicht mehr als Abnormität auffallen und erst im Luftbild erkannt werden. Daß es sich überhaupt um Gleitflächen handelt, das beweisen sie dann erst durch ihre Zusammensetzbarkeit zu einem geschlossenen sinnvollen System, aus dem sich dann oft auch erst ihr Bewegungssinn ergibt.

2.12 Außer diesem Hauptabrißsystem gibt es im höheren Hang noch einige kleinere zunächst vollkommen selbständig erscheinende Gleitflächen:

So könnte z. B. die dreieckige Fläche, die das W Ende des Rückens 2058—2027 m bildet, als eine bereits sehr undeutliche Bewegungsfläche gelesen werden.

Eine Reihe kleinerer, aber (zumindest im Luftbild) deutlicher Abrisse streicht SE VP. 2046 m auf ca. 1920 m aus. Sie liegen in der Größenordnung der allgemein bekannten Gleitflächen. Es ist auch durchaus möglich, daß sie nicht mehr in den Fels eingreifen und nur den Schutt bewegen.

Schließlich ist hier noch eine reichlich undeutliche Gruppe von kleinen Abrissen S VP. 1933 m zu nennen.

2.2 Ein ganz anderes Element als die bisher behandelten Gleitbahnen bilden NS streichende Spalten, die bis zu 15 m tief (SE VP. 1933) in den Fels eingreifen. Sie kommen in den verschiedensten Höhenlagen vor, aber fast ausschließlich in nächster Nähe der E Kante des Hanges.

2.3 Eine weitere morphologische Besonderheit dieses Hanges ist z. B. S VP. 1933 entwickelt (1800—1830 m). Hier sind dreimal übereinander

hangparallele Rücken bzw. Rinnen zu beobachten, sicher keine Moränenwälle (anstehender Felskern z. B. am W Ende des untersten). Sie können aber auch nicht durch normale Erosion erklärt werden (cf. Taf. 11, Fig. 4).

Andererseits sind ähnliche Formen als Köpfe mehr oder weniger weit abgefahrener Gleitschollen bekannt. Besonders die Schweizer Geologen bezeichnen solche Rinnen als „Nackentälchen“ (z. B. H. JÄCKLI 1948).

Da relativ selbständige Gleitschollen hier keinesfalls vorliegen, kann man den Mechanismus der Gleitschollen-Köpfe zur Deutung der hangparallelen Rippen nicht direkt anwenden. Man kann aber die Bewegung der Gleitschollenköpfe auffassen als eine von mehreren möglichen Arten von Relativbewegungen an im Böschungskörper liegenden Bewegungsflächen. Und mit anderen speziellen Bewegungen dieser Art sind auch die hangparallelen Rippen erklärbar. Eine andere Deutungsmöglichkeit dieser morphologischen Erscheinung sehe ich nicht. Im Beispiel Radenthein wird der strukturelle Beweis dafür gebracht werden. Über den Mechanismus dieser Relativbewegungen wird weiterhin noch oft zu sprechen sein. Es gibt nämlich eine ganze Reihe verschiedener Kombinationsmöglichkeiten von Relativbewegung und Lage der Fläche, die alle oberflächlich solche hangparallele Rinnen und Leisten bewirken. (Vgl. vor allem 3.5.2; Taf. 11, Fig. 3, 4).

Als sicher ist also zunächst nur festzuhalten, daß eine derartige hangparallele Rinne bzw. Leiste jedenfalls den Ausstrich einer Bewegungsfläche im Fels markiert.

2.4 Die nun zu besprechende Formengruppe zählt eigentlich nicht zu den Besonderheiten dieses Hanges, ist aber in diesem Fall doch im Zusammenhang mit ihnen anzuführen: Am S Fuß des Hanges reiht sich nämlich eine Rutschung an die andere. Diese Rutschungen sind von durchaus bekannten Größenordnungen. Sie greifen nur mehr ganz oberflächlich in den Fels ein und sind anscheinend auch heute noch nicht sehr stabil. Es sind alle Entwicklungsstadien zu beobachten. Am weitesten fortgeschritten sind die Rutschungen verschiedenen Alters E des Glanzerbaches. Sie greifen auch am weitesten nach oben und stehen dort im Zusammenhang mit den Felsstürzen aus der Dolomitwand des Falkensteins. Die Rutschungen W des Baches greifen lange nicht so hoch. Sie sind wesentlich undeutlicher und anscheinend auch bedeutend seichter.

3. Weitere morphologische Besonderheiten

Alle bisher besprochenen morphologischen Sondermerkmale dieses Hanges sind, wie gezeigt, auf ausstreichende Bewegungsflächen zurückzuführen. Es gibt aber noch eine Reihe anderer morphologischer Eigentümlichkeiten, für die es eine solche Erklärung nicht gibt:

3.1 Das Tauerntal ist deutlich glazial geformt. Es ist im Bereich von Matri stark übertieft: Die Felssohle taucht noch N Kaltenhaus unter die Alluvionen ab. Dementsprechend zeigt das Talquerprofil N Matri (s. Taf. 8, Prof. 7) eine typische „U“-Form.

Dieses „U“ nun ist in der E Flanke des Tales an der Einmündung des Burgergrabens gestört (etwa ab Prof. 5): Es tritt hier der Hang unter ca. 1450—1500 m in mehreren Absätzen übereinander aus dem „U“-Profil heraus in das Tal vor (Taf. 11, Fig. 1). (Auch noch nach der Umbiegung im Graben.)

Es ist kaum möglich, daß der Gletscher ein solches Profil geformt hat. Da es sich auch um keine Moränenformen handelt (s. u. 7.1), liegt hier eine Verformung der Böschung vor, die nach dem Rückzug des letzten bis zu dieser Höhe reichenden Eises stattgefunden hat.

Am einfachsten scheinen mir diese Absätze analog zu den hangparallelen Rippen und Leisten erklärbar als Ausstriche von mächtigeren Bewegungszonen.

3.2 Die beiden VP. 2058—2027 m liegen auf einem nahezu hangparallelen Rücken, der leicht nach W abfällt und auf dem einige kleine nicht näher erwähnenswerte Bewegungsflächen ausstreichen. Bergwärts wird er von einer ausgeprägten Rinne begleitet.

Gegen W hin endet diese Form abrupt mit einer querliegenden ziemlich ebenen Fläche, die bereits (2.12) als mögliche Gleitbahn beschrieben wurde.

Man kann nun diese Rinne wieder als Ausbiß einer Bewegungsfläche deuten.

Mir erscheint aber eine andere Lösung wahrscheinlicher. Ebenso plötzlich, wie diese Rinne (+ Rücken) nach W hin endet, endet nämlich (dort sicher an einer Gleitbahn) der in diesem Abschnitt bedeutendste Graben der Tauerntal E-Flanke beim Schupfen 2046 m gegen E hin.

Bei Betrachtung dieser Korrespondenz (vor allem am Luftbild) drängt sich einem unbedingt die Deutung als wahrscheinlich auf, daß die Rinne N des Rückens 2027—2058 m die Fortsetzung des Grabens W 2046 ist. Allerdings kann das nur der Fall sein, wenn die heutige Lage dieses Rückens nicht seine ursprüngliche ist.

In Profil 10 habe ich versucht, den Betrag dieser Differenz zu ermitteln. VP. 2058 m müßte danach ursprünglich um etwa 170 m höher und etwa 120 m (diese Bestimmung ist wesentlich ungenauer) weiter gegen N gelegen sein.

Nimmt man nun in Profil 1 den Absenkungsbetrag an jeder einzelnen Gleitbahn zurück, so ergibt sich für den Punkt 2058 eine Gesamtverschiebung, die mit dem eben erhaltenen Betrag erstaunlich gut übereinstimmt.

Eine Schwierigkeit aber hat diese Deutung: Man muß nämlich annehmen, daß das im Bereich der Alm fehlende Zwischenstück auf irgend eine Weise abgetragen wurde.

3.3 Dieser Almbereich ist tatsächlich sehr eigenartig geformt. Es handelt sich um ein steiles „Tal“, das eine sehr breite Sohle hat und von nahezu parallelen Flanken im E und W begrenzt wird, die ich beide als

wenigstens wahrscheinliche Bewegungsflächen angesprochen habe (2.11, 2.12). Meines Erachtens kann man diese Form nicht mit Hilfe der reinen Wassererosion erklären.

Sie ist im Vertikalprofil auch nur ein kurzes Stück innerhalb der Umrahmung des Waldkessels des Glanzer Berges entwickelt und schiebt ihre Sohle in letzteren merkwürdig weit vor.

3.4 Im übrigen trennt dieser Kessel (wie eingangs erwähnt) die beiden großen NS streichenden Rücken 2046—1872—1442 und 2058—1933—Falkenstein.

Der östliche zieht viel weiter nach S als der westliche und bricht dann am Falkenstein mit einem Steilabfall in den Graben ab, wogegen das Profil des westlichen Rückens viel ausgeglichener ist.

3.5 Als letzte morphologische Merkwürdigkeit ist nur noch die zwischen 2027—2058—1933 eingesenkte flache Wiese mit der eigenartigen Rinne am SE Rand zu erwähnen. Über die Deutung dieses Elementes bin ich mir nicht im klaren.

II. Die geologischen Körper und ihr Gefüge:

4. Kalkglimmerschiefer und Kalkphyllite

4.1 Den N des Hanges bauen in seinem oberen Teil Kalkglimmerschiefer des obersten Pennin auf. Sie sind im allgemeinen etwas phyllitischer als meines Wissens der Durchschnitt dieser Serie in den Tauern ist. Zusätzlich werden sie noch von einzelnen Phyllitbändern in primärer sedimentärer Abfolge durchzogen.

Vor allem im N des Bretterwandgrabens ist gut aufgeschlossen, daß diese Kalkglimmerschiefer in s nach unten zu in schwarze Kalkphyllite übergehen. Es handelt sich sicher nicht um einen tektonischen Kontakt wie anscheinend CORNELIUS (Manuskriptkarte) annimmt (Trennung in Kalkglimmerschiefer und „Schalotzschiefer“ s. CORNELIUS & CLAR 1939 p. 266). Hier ist also die ursprüngliche Faciesverzahnung am S Rand der Kalkglimmerschiefer mit den Kalkphylliten aufgeschlossen.

Diese Zone der Verzahnung liegt im N aufgeschlossen auf ca. 1900 ± 50 bis 100 m. Weiter im S ist sie schwieriger zu fixieren, da ja nur die härteren Partien Aufschlüsse bilden. Trotzdem scheint sie hier tiefer, zwischen 1700 und 1800 m zu liegen und in dieser Höhe den Sattel N Falkenstein zu überschreiten. Auch am Glanzerberg dürften die Kalkphyllite bis 1800 m hinaufreichen. Am E Hang des Tauerntales (W, SW VP. 1872 m) sind die Schichten in derselben Höhenlage wieder massig.

4.21 Das normale Einfallen dieser beiden Serien ist im höheren Teil des Hanges, an seiner W Flanke bis hinunter in das Tauerntal und auch auf der E Seite des Bretterwandgrabens zu sehen (Taf. 12, Diagramm M 1). Es schwankt im wesentlichen zwischen 150—200/50—70, Durchschnitt 180/60.

4.22 In der E Flanke der Bunzkögelemasse ist nun ein abnormer Wechsel im Einfallen zu beobachten (vgl. Prof. 1). Hier biegen nämlich — ungefähr an der Grenze Kalkglimmerschiefer—Kalkphyllite — die s Flächen vom normalen S Fallen ziemlich scharf um in ein oft ebenso steiles oder sogar flacheres N Fallen. Unten am Bach (aufgeschlossen z B. bei VP. 1580 m) drehen sie wieder zurück in S Fallen. Die ganze Situation ist ober VP. 1580 nahezu vollständig aufgeschlossen.

Hier ist zu sehen, daß dieses zweimalige Umbiegen im N an der höchsten vom Bunzkögele herunterziehenden Rinne endet. Es ist das die Rinne, die die am tiefsten im Berg liegende Gleitbahn markiert. Direkt davor ist der Richtungswechsel der s aus der Nähe betrachtet keinesfalls ein kontinuierliches Umbiegen paralleler Lamellen. Vielmehr zerbricht das Gebirge zu Großschollen, die sich in den verschiedensten Höhenlagen zu den verschiedensten Orientierungen verdrehen. Die interne Verformung dieser Schollen erfolgt wieder durch Aufblättern parallel s und durch Zerbrechen und Verdrehen der einzelnen Lamellen (Abb. 2). Ein nachträgliches Verheilen der Bruchflächen ist nicht zu sehen. In den leicht löslichen Kalkserien (vgl. 7.3) belegt das ein sehr junges Alter der Deformation.

In diesem beschränkten Bereich spricht man daher besser nicht von einem zweimaligen Umbiegen, sondern nur von einer Zone extremer Durchbewegung.

Auf Grund dieser enormen Zertrümmerung ist das Gebirge hier eigentlich nur mehr als Schutthaufen mit geregelten Elementen zu bezeichnen. Oberflächlich zerfällt es natürlich weitgehend, und dementsprechend ist der Bretterwandbach einer der bekanntesten Wildbäche Österreichs. Nach S hin wird diese extreme Durchbewegung, bei der die einzige Regel eine gewisse Konstanz des Streichens ist, wesentlich ruhiger. Schon in der Wandstufe, die den vollkommen bloßgelegten Bereich gegen S abschließt, kann man deutlich eine Zone des Umbiegens erkennen und darunter ein recht konstantes N Fallen, das erst wieder im Niveau des Baches umschwenkt (s. Abb. 1; Taf. 12, Diagramm M 2).

Die Art der Verformung aber bleibt erhalten. Der Wechsel des Fallens erfolgt weiterhin als ein Verdrehen einzelner Großschollen innerhalb einer Zone von etwa 100 Höhenmetern. Innerhalb eines Profiles ist dieses Verdrehen meist relativ stetig. Aber in jedem Profil sind Mächtigkeit und Höhenlage eine andere.

Das untere Umbiegen ist leider nicht so gut aufgeschlossen. Es erfolgt im Prinzip auf ähnliche Weise wie das obere. Es muß nochmals ausdrücklich betont werden, daß es hier keine durchgescherte Basisgleitfläche als Fortsetzung der in den Wiesen austreichenden Gleitbahnen gibt.

Nur einmal ist auf ein kurzes Stück der Ansatz zu einer solchen Bahn sichtbar: eine Zerrüttungszone quer zu s an der die s etwas geschleppt sind. Solche Zonen liegen aber vermutlich zwischen jeder Großscholle.

Eine spezielle Frage ist hier folgende: Die wenigen im Bachbett gemessenen Werte ergeben ein überdurchschnittlich steiles S Fallen (/80).

Es ist nicht entscheidbar, ob das bereits das hier „normale“ Fallen oder ob die Biegung in der Höhe des Bachbettes nicht abgeschlossen ist und noch unter das Talniveau reicht. Einige Messungen von der E Flanke des Grabens zeigen ebenfalls sehr steile Fallwerte. Sie sagen aber nicht sehr viel aus, weil diese Flanke in nicht näher untersuchter Weise von Sackungen ergriffen ist.

4.23 Von diesen Verdrehungen der *s* werden vor allem die Kalkphyllite betroffen. Sie sind nicht nur am E Hang des Böschungskörpers zu beobachten, sondern setzen sich auch in wenigen Aufschlüssen belegt im S- und im W Hang fort.

4.24 Auch in den Kalkglimmerschiefern über den Phylliten ist eine schwache Änderung der *s* Flächenlage zu erkennen. Am Kamm von etwa VP. 2058 m nach S verflachen die *s* zusehends und werden dann SE des VP. 1933 m wieder steiler, bis sie im NE des Falkensteins in das beschriebene N-Fallen umschlagen.

4.3 Zusammenfassend kann man festhalten:

Im E Hang der Bunzkögelemasse treten S der nördlichsten Gleitbahn Verdrehungen der *s* auf, die auch am S Hang zu verfolgen sind, am W Hang aber nicht mehr nach N zurückstreichen. Man kann diese Verdrehungen kurz beschreiben als ein Umknicken der normal S fallenden *s* in N Fallen (unter ca. 1750 m) und Zurückbiegen in die gewöhnliche Lage im Bachniveau. Diese Verformung ist, außer in der anschließend zu besprechenden Serie des Hangfußes, in der Umgebung nicht wiederzufinden (vor allem auch nicht auf der E Seite des Bretterwandgrabens). Es handelt sich also wieder um ein Besondere dieses Hanges. Die dieses Bild erzeugende Verformung ist sehr jungen Datums und hat ihrem Charakter nach in Oberflächennähe stattgefunden.

Diese junge Bewegung unter Oberflächenbedingungen ist jedenfalls mit der die Bewegungsflächen in den Bergwiesen erzeugenden Sackung identisch.

5. P h y l l i t s e r i e

5.1 Im S der Kalkphyllite folgt — im E heute im Liegend, im W normal im Hangend — ein reichhaltiger Phyllitkomplex. Ohne mich um eine regionalgeologisch einwandfreie Grenzziehung besonders zu bemühen, trenne ich ihn von der Serie der Kalkphyllite ab, obwohl zweifellos große Ähnlichkeiten bestehen. Letztere können in primären sedimentären Ähnlichkeiten oder auch in tektonischer Verschuppung ihre Ursache haben. Im ganzen gesehen handelt es sich aber doch um einen neuen Verband, der sich wahrscheinlich in mechanischer Hinsicht, sicher aber geologisch unterscheidet: So gibt es darin mehrmals massige Gipsbänder (VP. 1346, NE 1349, W 1253) und an der Straße W 1346 gipshältigen Phyllit. Derartige Gipse gelten i. a. in dieser Zone als triassisch.

Über dem letztgenannten Vorkommen ist in den Phylliten ein [dm] mächtiges Dolomitband eingeschaltet (anscheinend sedimentär?), und auch

anderweitig kommen kleine Dolomit- und Rauhwackenkörper vor (z. B. E VP. 1330 m).

5.2 Im Gefüge dieser Serie dominieren natürlich wieder die s Flächen.

Wie bereits erwähnt, sind auch sie in N Fallen verdreht (Taf. 12, Diagramm M 4, M 5).

Der untere Knick ist hier an der Front der Bewegungsmasse wieder im Niveau des Bürgergrabens einengbar.

Auch die W Begrenzung des bewegten Bereiches ist recht genau zu erkennen: Eine Zone, in der N und S Fallen im Streichen wechseln. Sie quert die Straße E Hinterburg an der Weggabelung und verläuft von da ziemlich genau nach N (Taf. 12, Diagramm M 3).

Auffallenderweise fallen die verdrehten s in diesem Abschnitt deutlich nach NE—ENE, obwohl die unverdrehten s auch hier ganz normal nach S einfallen. Die Erklärung dafür ist die Lage dieser Flächen eben in dem nicht durchgescherten Einbindungsbereich. In Diagramm M 4 (Taf. 12) drehen sie dann wieder gegen N, zeigen aber eine immer noch erstaunlich große E Komponente (vgl. Diagramm M 2). Die vollständig abweichenden Werte von Diagramm M 5 sind wohl aus ihrer relativen Lage zu der Dolomitlinse des Falkensteins zu verstehen.

Ob das oft extrem flache N Fallen der ganzen Phyllitzone vollständig auf die Sackung zurückgeht oder ob ein wesentliches Hakenwerfen (am S Hang!) hinzukommt, ist nicht entscheidbar.

6. Dolomit und Serpentin

6.1 Etwa am N Rand der Phyllitserie streicht eine Reihe von Dolomitlinsen quer über den Hang. Es ist das der Zug, der über die Drillingschneid ins Kalsertal und ins Wurg weiterstreicht. Er spiegelt hier am Glanzerberg mit seinem Verlauf (besonders im W) die hangtektonische Verformung der Böschung wieder.

6.2 Ein in diesem Abschnitt anscheinend charakteristischer Begleiter des Dolomites ist Serpentin. Er ist als schmales Band im heutigen Hangend des Falkensteinzuges zu verfolgen und muß auch über dem Dolomit W VP. 1442 liegen, da er in Rollstücken darunter zu finden ist. Serpentin kommt aber auch vollkommen getrennt vor. Ein Band liegt S VP. 2046 mitten in Kalkglimmerschiefern (vgl. H. P. CORNELIUS 1938). Anscheinend ebenfalls aus Serpentin abzuleiten ist ein „Gestein“, das an der Straße E Hinterburg zweimal angeschnitten ist. Heute schwimmen nur mehr einzelne Steine in einer weißlichen knetbaren Grundmasse.

7. Moräne und Schutt

7.1 Moräne ist im engeren Kartierungsbereich nur mehr in spärlichen Resten vorhanden. Ihre Abgrenzung gegen den normalen Hangschutt ist oft problematisch. Ihre genauere Kontrolle war aber im tieferen Teil des Hanges nötig; ihre Verteilung unterstreicht nämlich (zusammen mit der

der bedeutenderen Schuttdecken) die morphologisch als der Sackung zugehörig erkannten Geländeformen bzw. bestätigt, daß es sich nicht um Moränenwälle oder sonstige Glazialformen handelt (s. o. 2.4, 3.1).

7.2 Weiters gibt es auf diesem Hang noch verschiedene Sturzhalden vor allem unter den Dolomitwänden. Erwähnenswert ist noch der Schuttkörper in der unter 2.4 erwähnten Gleitmuschel (1346—1253 m). Anscheinend handelt es sich um den vollständig zerfallenen Rest der Gleitmasse selbst.

Der größte Schuttkörper des Hanges aber liegt im Waldkessel des Glanzerberges. Er enthält (zumindest oberflächlich) sehr viele große Blöcke. Es scheint sich also um eine Bergsturz- und Bergrutschmasse zu handeln. Sie setzt am unteren Waldrand an zwischen zwei deutlichen parallel NS verlaufenden Rippen aus anstehendem Fels, zieht allseitig deutlich von der Umgebung abgehoben hinauf zum oberen Waldrand und verläuft dort unter den Wiesen (s. o. 3.3).

7.3 In diesem Gebiet muß man als jüngsten geologischen Körper noch die oft beachtlichen Decken von Kalksinter („Tuff“) erwähnen. Sie zeigen, wie schnell der Lösungsumsatz des Karbonates stattfinden kann: Im Gehänge E des Bretterwandgrabens sah ich einen kleinen Bach, der sich nicht in den Wiesenboden einschneiden konnte, weil seine Kalksinterausscheidung schneller war als seine Erosionsgeschwindigkeit.

B) Das gedeutete Bewegungsbild

8. Ü b e r s i c h t

8.1 Von den angeführten Beobachtungen ist ein Großteil als Besonderheit dieses Hanges anzusprechen.

Zwei von ihnen (Wandstufen in den Wiesen und die Verdrehungen der s) machen unabhängig von einander eine junge Hangbewegung zumindest sehr wahrscheinlich.

Da sie aber gemeinsam, ergänzt durch die anderen Beobachtungsdaten, ein sinnvolles Bewegungsbild ergeben, halte ich eine solche für bewiesen (vgl. auch das hervorragende Zusammenpassen aller Beobachtungselemente in 3.2).

Es ergibt sich so das folgende Bewegungsbild:

8.2 Die übersteilte Böschung des Bunzkögele S Hanges riß an mehreren übereinanderliegenden Gleitbahnen ab. Diese Bahnen sind aber bis heute nicht bis zum Böschungsfuß durchgeschert, sondern enden ziemlich hoch im Hang. Die Bewegung wurde im tieferen Teil des Hanges ohne Bewegungsflächen in der Dimension der bewegten Masse, das heißt also „bruchlos“, weitergeführt. Dementsprechend muß man hier also von einer „Sackung“, nicht von einer „Gleitung“ sprechen (s. u. 6..).

9. Gefügeverformung im Profil

(s. 4.2, 5.2, 6.1, 2.1)

Die Verformung eines Körpers bedeutet in seinem Inneren eine Veränderung seines Gefüges. Man kann also umgekehrt mit Hilfe der Veränderungen des Gefüges die Verformung selbst erfassen.

9.1 Das dominierende Element des Gefüges sind im konkreten Fall die s Flächen, die sich daher am besten zur Kontrolle der Verformung eignen.

9.21 Die Verformung des s Flächengefüges wurde oben ausführlich besprochen. Bis hinauf zum oberen Knick bedeutet das dort dargestellte Bild ein Vordrängen des Hangenden gegenüber dem Liegend in Richtung Tal, einen nach oben zunehmenden Bewegungsbetrag. Unter der Annahme, daß es sich im ganzen um eine einphasige Bewegung auf Grund eines Beanspruchungsplanes handelt, daß also der ganze Hang „gleichzeitig“ von der Bewegung erfaßt wurde, bedeutet das auch eine nach oben zunehmende Geschwindigkeit. Das Material verhielt sich hier also hochteilbeweglich, die Verformung erfolgte durch kleine Bewegungen an jeder einzelnen Trennfläche.

9.22 Im S reicht die Bewegung in dieser Art bis zur Oberfläche des Hanges: die s fallen ja bis zur Oberfläche gegen N ein.

Im N hingegen wird sie über dem oberen Knick zunehmend von singulären Gleitbahnen zwischen in sich relativ starren Paketen übernommen. Das bedeutet, daß die weitere Geschwindigkeitszunahme nach oben vermutlich etwas geringer war, vor allem aber sprunghaft erfolgte.

Wie üblich bilden die Gleitbahnen keine Ebenen, sondern Schaufelflächen. Die Bewegung an ihnen sollte daher zu einer Verflachung der talwärts fallenden s führen und ich vermute, daß die unter 4.23 erwähnten Verdrehungen dem entsprechen.

9.23 Ebenfalls unter 4.23 habe ich notiert, daß im S anschließend an diese flacheren s die Zone des oberen „Knickes“ in den S Hang ausstreicht. In demselben Abschnitt finden sich die hangparallelen Leisten (2.3). Diese beiden Erscheinungen stehen offensichtlich in ursächlichem Zusammenhang. Er wird am besten durch antithetische Verschiebungen der rotierenden Großschollen entlang s erklärt.

9.3 Die einheitliche Verformung der Böschung erfolgt also in den verschiedenen Teilen des Körpers auf zwei grundsätzlich verschiedene Arten (9.21, 9.22):

Die Phyllite unten erreichen die Massenverlagerungen durch Kippen der s und durch Zergleiten der ganzen Masse an jeder einzelnen s Fläche, während die Kalkglimmerschiefer oben in mächtigeren, in sich relativ starren Paketen ohne Rotation der s an einzelnen Gleitbahnen zerschert werden.

Das hat zwei Ursachen:

1) Ist die Teilbeweglichkeit des Materials oben und unten verschieden.

Der Grund dafür sind vermutlich sowohl das verschiedene Material als auch die geringere Einspannung des höher liegenden Teiles. Bis zu einem gewissen Grad ist sicher auch die Anisotropie des Felsens von Bedeutung (verschiedene Teilbeweglichkeit in verschiedenen Beanspruchungsrichtungen [s. u. 2]).

Diese unterschiedliche Teilbeweglichkeit erklärt die verschiedene Größenordnung der Bruchflächen und damit das Ende der großen Bewegungsbahnen nach unten.

2) Welches Endprofil der „trockene“ Massenabtrag anstrebt, das zeigt uns z. B. das Profil des grönländischen Inlandeises. Von allen Gleitungen und Sackungen in allen Materialien, die man als selten überschrittenes Zwischenstadium zum angestrebten Endzustand lesen kann, wissen wir, daß die Schwerkraft diesem Idealprofil möglichst direkt zustrebt (Taf. 11, Fig. 2): Fast vertikaler Abtrag der höchsten Teile (konkaver Hangteil) und dafür ein oft horizontales (konvexes) Vorwölben des Böschungsfußes. Und genau denselben Mechanismus findet man am Glunzerberg wieder: Oben ein Absinken an steilen Gleitbahnen und im tieferen Teil der Böschung eine stärkere Betonung der Horizontalkomponente, abgebildet in der Rotation der s.

10. Ausdehnung der Sackung

10.11 Alle diese Aussagen können zunächst dem Profil 1) (Taf. 8) entnommen werden. Meiner Meinung nach kann man aber auch die Strukturbeobachtungen am übrigen Hang nur mit diesem Konzept sinnvoll erklären.

Dieses Profil 1) kann auf Grund der allgemeinen Bewegungsrichtung (nach S: Hangstreichen, Verdrehungsachse der s), der Scheitel der Gleitbahnen (2.11) und nach 3.4 etwa als Normalprofil angesprochen werden.

Das Vortreten des östlichen Kammes (3.4) und der Steilabfall unterm Falkenstein wird dabei als das Vorwölben infolge der Hangbewegung gewertet.

10.12 Dieses Vorschieben wird möglicherweise auch noch durch folgende Bewegung verstärkt: Der Dolomit spitzt vermutlich nach unten hin sehr rasch aus. Es wäre gut denkbar, daß er bei der Rotation der ganzen Masse daher etwas nach oben ausgequetscht wurde. Gestützt wird diese Ansicht durch die große parallele Kerbe auf seiner Bergseite, die durch Wassererosion alleine nicht gut erklärt werden kann (W Seite); weiters durch die Unregelmäßigkeiten in der s Flächenorientierung (5.2; D M 5) rund um den Dolomit.

10.2 Daß das Normalprofil, das heißt also Bewegungsmaximum, am E Rand der Sackung liegt, ergibt sich auch aus den übrigen Beobachtungen, nach denen der ganze westliche Kamm ein breiter Übergangs- bzw. Einbindungsbereich ist. So ist schon die Anlage der Gleitbahnen asymmetrisch (2.11):

Sie enden ja im E rasch, während sie im W des Scheitels weit ausholen und im Ansatz des W Kammes in einer breiten Zone auffiedernd verlaufen. Auch weist ihre Absenkungsrichtung eine leichte E Komponente auf, liegt also nicht genau in der Fallrichtung des Hanges. Dem entspricht im tieferen Hang die Lage der Übergangszone des Gefüges (NE Fallen) E Hinterburg (5.2).

Gerade im Bereiche dieser Einbindungszone treten auch die oben (3.1) als Ausbisse von Bewegungszonen gedeuteten Verflachungen auf. Ich denke, daß das ebenfalls sehr gut paßt: Beanspruchungen die das Gebirge nicht mehr vollkommen kontinuierlich übernehmen kann, sind am ehesten am Rande der Bewegung zu erwarten.

10.3 Warum allerdings die Sackung so knapp vor dem W Ende des Hanges endet und nicht den ganzen Hang erfaßt, kann ich nicht erklären.

10.4 Zuletzt sind noch „zwei Folgen“ der großen Hangbewegung zu nennen:

10.41 Am Fuße bedeutete sie jedenfalls eine lokale Versteilung der Böschung, als deren Folge eine Reihe kleinerer Gleitungen ausgelöst wurde (2.4).

10.42 Im oberen Teil des Hanges wurde ein Stück eines ungefähr hangparallelen (Parallel s!) Tallaufes derart abgesenkt, daß das darin im W sich sammelnde Wasser nicht mehr abrinnen konnte. Da der gegen S begrenzende Rücken im W ohnehin schon von einer durchgescherten Gleitfläche begrenzt und wegen der Randlage vermutlich zusätzlich geschwächt war, brach der W Teil dieses Rückens als Gleitung oder Bergsturz aus, während der E Teil noch erhalten ist (Rücken 2027—2058 m). Das ausgebrochene Material liegt noch heute im Waldkessel darunter (2.12, 3.2, 3.3, 7.2).

11. N S S p a l t e n

Zunächst ganz unabhängig von der bisher besprochenen Bewegung gibt es noch eine nach E in den Bretterwandgraben. Sie äußert sich in den NS Spalten (2.2). Es ist auffallend, um wieviel schwächer diese Sackung ist, als die große nach S, trotz der wesentlich steileren Böschung in dieser Richtung. Die Ursache dafür ist eindeutig in der Anisotropie des Flächengefüges zu suchen. Ich möchte diese kleine Bewegung nicht unabhängig von der großen sehen, sondern als ein seitliches Ausweichen der vorfließenden Masse.

12. Z e i t u n d D a u e r d e r B e w e g u n g

Die zeitliche Einordnung und die Dauer der Sackung sind leider nicht genauer zu bestimmen. Es können nur zwei Angaben gemacht werden.

1) Die Verformung hat nach der letzten Vereisung stattgefunden (3.1). Nach W. SENARCLENS—GRANCY 1942 war das bereits die Würmvereisung selbst.

2) Heute ist die Sackung anscheinend wieder beruhigt.

Innerhalb dieser beiden Marken hat sich der oben beschriebene Vorgang abgespielt.

3. RADENTHEIN—MILLSTÄTTER ALM NE

(Taf. 9, 13, Taf. 11, Fig. 3, 4; Taf. 12, Diagramme R 1—R 3; Abb. 3—5)

A) Beobachtungen und deren unmittelbare Deutung

I) Morphologie (s. Abb. 4)

1. Eine weitere große Bewegung hat den NE-Hang der Millstätter Alm erfaßt. Der fragliche Bereich erstreckt sich vom Kaupelnock im NW bis wenigstens zur Millstätter Alm selbst (VP. 2091). Der Hang hat eine Höhe von 450—600 m bei einer durchschnittlichen Neigung von 18° . In seinem tieferen Teil geht der Magnesitbergbau Radenthein um, der wichtige Aufschlüsse zur Frage der internen Deformation des Böschungskörpers liefert. In einem Teilbereich ist diese alte Bewegung unter 1860 m in den letzten Jahren wieder aktiv geworden. Im Zusammenhang mit den für den Bergbau daraus sich ergebenden Fragen haben E. CLAR & P. WEISS darüber berichtet (1965). Zu dieser Veröffentlichung soll ich ergänzend mitteilen, daß sich Art und Größe der Bewegung seither nicht wesentlich geändert haben, und daß die Kontrolle des Berges ergänzt wurde durch eine photogrammetrische Aufnahme der alten Tagbauböschung, die von E. SCHNEIDER seit 1965 zweimal jährlich durchgeführt wird. Zum gegebenen Zeitpunkt wird über die neuen Beobachtungen ausführlich berichtet werden.

2. Bewegungsbahnen

Die eindrucksvollste Äußerung der Bewegung ist der Doppelgrat des Hauptkammes zwischen der Millstätter Alm und dem Kaupelnock. Er ist über 1 km lang, etwa 25 m tief, der Abstand der beiden Kämme beträgt etwa 120 m. An ihn schließen sich zahlreiche weitere Scherflächen unmittelbar an, mit deren Hilfe es erst möglich ist, die Bewegungsrichtung nach NE zu ermitteln.

Von den Bewegungsbahnen, die unter dem Hauptkamm austreichen, sind vor allem zu nennen: 1) Die in den zwei Gruppen hangparalleler Leisten auf der Kälbergrön austreichenden. Die tiefere dieser beiden Gruppen ist nur mehr in Resten am Rande der Tagbauböschung erhalten, sodaß sie in der Karte nicht dargestellt werden kann. Dafür aber stehen diese Bahnen in sichtbarem Zusammenhang mit der im Tagbau aufgeschlossenen Gefügedeformation (s. u.). 2) Die durch die hangparallelen Leisten SW über dem Nöringsattel markierten Bahnen, bei denen ebenfalls ein Zusammenhang mit der Gefügedeformation offensichtlich ist (s. Taf. 11, Fig. 3a; Taf. 9, Prof. 3). 3) Die beiden Mulden (Kälbergrön und SW Nöringsattel) scheinen gegenüber den drei WNW, beziehungsweise NW strei-

chenden Seitenkämmen Relativbewegungen an Scherflächen durchgeführt zu haben.

3. Wegen der bereits ursprünglichen Vielgestaltigkeit des Hanges sind aus der allgemeinen Morphologie keine wesentlichen Schlüsse für die Hangbewegung zu ziehen.

II. Die geologischen Körper und ihr Gefüge

4. Geologische Körper

4.1 Fast der ganze Hang wird aufgebaut aus verschiedenen Glimmerschiefern, Granatglimmerschiefern, Gneisen und Amphiboliten, die von ANGEL, AWERZGER & KUSCHINSY (1953) als Priedröf Serie und Radentheiner Glimmerschiefer beschrieben wurden. Sie werden hier zusammengefaßt als „schiefriges Altkristallin“.

4.2 Davon abgetrennt habe ich nur die „Serie des Lagerstättenzuges“. Das ist vor allem der Magnesitkörper, dessen Begrenzungen bis unter das Talniveau bekannt sind.

4.31 Es handelt sich im Bereich „Spitzkofellager“ und „Zwischenlager“ um eine mächtige etwa NNW streichende Platte, die zunächst ca. 70° bergwärts einfällt, dann aber in einer Höhe von ca. 1550 m (etwa Talniveau) in ein ca. 70° talwärtiges Fallen umbiegt (Taf. 9, Prof. 1, 2). Nach den Erfahrungen des Bergbaues (mündliche Mitteilung von Herrn Dipl. Ing. P. WEISS) ist der Magnesit über diesem Knick wesentlich stärker zerbrochen und auch stärker vertalkt als darunter.

4.22 Die Fortsetzung dieser Serie streicht um über 40° nach NNE verdreht über dem Hauptlager nach S weiter.

Nach ANGEL et al. ist das Karbonat hier aber nicht mehr wesentlich vererzt. Für das Hauptlager weisen sie nach, daß es wurzellos in einer Mulde auf dem Kristallin liegt (s. u. 5.21) und anscheinend auch intern einen Muldenbau hat.

4.23 Auf ihrer Karte ist auch zu sehen, daß der Lagerstättenzug im Graben S des Millstätteralm E Kammes gegen W, d. h. bergwärts, versetzt weiterstreicht. Im Bereich des nächsten Rückens wird er dann wieder talwärts verschoben.

4.3 An geologischen Körpern ist sonst nur noch eine Moräne besonders zu erwähnen. Sie liegt im Bereich des Wildbaches an der Tagbauoberkante und führt Tauerngesteine, wodurch ein Gletscher belegt wird, der über den Nöringsattel hereinkam.

5. Gefüge

Das Flächengefüge des Kristallins wird natürlich beherrscht von den s-Flächen. Die Verfolgung der anderen Gefügeelemente verspricht im schlecht aufgeschlossenen Hang über dem Tagbaubereich kein Ergebnis.

5.1 Normalerweise fallen die s flach bis mittelsteil nach S bis E, drehen aber in der Nähe des Hauptkammes häufig bis 230° . Dadurch entsteht im Diagramm ein Gürtel, dessen Bildung im Zusammenhang mit der regionalen Verformung des Gebirges steht (Taf. 12, Diagramm R 1).

5.2 Im Gegensatz dazu gehören die Verdrehungen im tieferen Teil des Hanges nicht zu diesem regionalen s-Flächen Plan, sondern sind die Auswirkungen der lokalen Hangtektonik (Diagramm R 2, Taf. 12).

5.21 Am schlechtesten sind heute diese Verstellungen im Hauptlagerbereich zu überprüfen. ANGEL et al. 1953 geben aber in Profil und Text einigermaßen Auskunft. Zwischen ca. 1800 und 1900 m stehen die s steil ($120/80$ — $310/80$) und legen sich von da hangabwärts in mittleres bergwärtiges Fallen um. Im Hauptuntersuchungsstollen (1622 m) ist die Lagerung durchwegs steil. Er dürfte also gerade in der Übergangszone liegen, in der die s nach unten hin wieder in die normale Lagerung zurückbiegen (vgl. 5.22).

5.22 Der nach NW anschließende Bereich Zwischen-Spitzkofellager ist durch den Tagbau hervorragend aufgeschlossen. Hier fällt das Kristallin ca. 30 — 50° nach W, also wesentlich flacher als der Magnesitkörper (s. o. 4.21). Deutlich ist auch ein Drehen der Fallrichtung von NW (im SE) auf W im NW zu sehen, wobei die Neigung gleichzeitig flacher wird (Taf. 12, Diagramm R 3: $\rightarrow o \rightarrow v$).

Nach den Aufschlüssen des Bergbaues dreht dieses abnorme Fallen so wie das der Magnesitplatte etwa im Talniveau in die gewöhnliche Lage zurück (vgl. Prof. 10 in ANGEL et al.).

Der Wechsel in das normale Einfallen nach oben hin läßt sich im Profil 1 (Wildbach) zwischen 1710 und 1780 m einengen.

Im Profil des mittleren Rückens (2) ist er am Oberrand der Tagbauböschung aufgeschlossen.

An der alten Oberfläche, erhalten im Profil über den noch stehenden Teil der Etage 26, erfolgte er unter Ausbildung von bergwärts fallenden Scherflächen (bis 45°). Zwischen diesen verhielt sich das Gebirge z. T. relativ starr und wurde als Ganzes verdreht (Taf. 11, Fig. 3a). Da die s an den Gleitflächen oft geschleppt sind, kann man eine Hebung des talseitigen Flügels deutlich ablesen. Oberflächlich bewirkten diese Scherflächen die unter 2.6 erwähnten kleinen Rinnen (Taf. 11, Fig. 4a).

Man kann annehmen, daß viele der großen, für die Sackungen so typischen hangparallelen Rinnen und Leisten auf eine analoge Verformung zurückgehen.

Ähnliche Verstellungen sind auch noch im N des Rutschbereiches (ebenefalls in der Nähe der alten Oberfläche) in Resten erhalten (Taf. 11, Fig. 3b; Abb. 3, 5).

5.23 Sie leiten in ihrem Typus, vielleicht auch direkt in ihrer Fortsetzung (unter den Halden) über zu den s Verstellungen, wie sie in der nördlichen Mulde im unverritzten Gelände im Zusammenhang mit den Geländestufen (2.) kartierbar sind (Taf. 11, Fig. 3c).

B) Das gedeutete Bewegungsbild

6. Der bewegte Bereich

Die genannten Bewegungsbahnen sowie die wieder als Rotation beschreibbaren lokalen Verstellungen der s Flächen belegen, daß auch der NE Hang der Millstätter Alm von einer großzügigen Sackung erfaßt ist. Wie schon der Doppelgrat zeigt, umfaßt sie hauptsächlich die beiden Mulden der Kälbergrön und SW des Nöringsattels und den dazwischen liegenden Nebenkamm.

6.1 (s. 2.) Wenn auch einzelne Bahnen weit nach N auf die Riegel Alm hinausstreichen, so bildet doch der N Nebenkamm (Kaupelnock—Nöringsattel) eine erstaunlich schmale Grenzzone.

6.2 (s. 2., 4.23) Nach S greift die Sackung mehr oder weniger stark über dieses Zentrum weit hinaus bis etwa zum Kreuz. Die Versetzungen des Lagerstättenzuges sind ihr vielleicht zuordenbar.

7. Profil Millstätter Alm E-Kamm

(s. 2., 4.22, 5.21)

Auch der E Kamm der Millstätter Alm ist schon auf Grund der Kammformen keinesfalls zum Bewegungszentrum zu rechnen. Die für dieses typische Verdrehung der s (s. u.) ist zwar bereits zu sehen, hat ihre Basis (Untere „Knick“) aber schon im Niveau des Hauptuntersuchungstollens. (Das ist ca. 100—150 m über dem Talboden, noch 50 m über dem unteren Knick im N.) Auch die Lage des Karbonatkörpers spricht dagegen: Steiles Einfallen nach ENE, das nach N hin in das SE Fallen des Spitzkofellagers eindreht. Diese Verwindung der Karbonatplatte ist aber sehr gut als gegen N zunehmendes Herausdrehen aus dem ursprünglich steil talwärtigen Fallen zu erklären: Eine Folge des vom Rand zur Mitte zunehmenden Bewegungsbetrages.

AWERZGER (AWERZGER & ANGEL 1948) deutete das Hauptlager als Gleitkörper. Dieser kommt aus dem darüber durchziehenden Karbonatzug, dessen tiefere, heute in diesem Profil noch anstehenden Teile kaum mehr vererzt sind. Auch der Morphologie nach muß er aus diesem Bereich kommen. Es ist verständlich, daß das Ausbrechen einer Gleitmasse gerade hier erfolgte, da die Verwindung der Platte jedenfalls eine besondere Beanspruchung speziell dieses Bereiches bedeutete.

8. Normalprofil

(2., 5.1, 5.22)

Das von Randeffekten am ehesten ungestörte Mittelprofil der Sackung verläuft etwa über den Rücken zwischen den beiden Mulden (Prof. 2).

So geht die aus der Verdrehung des Magnesitzuges ablesbare Bewegungszunahme etwa vom Zwischenlager an stark zurück, dauert

aber bis zum N Rand des Tagbaues noch schwach an (s. 5.22: Drehen der s gegen W).

8.1 Wieviel im Maßstab 1:10.000 bruchlose Verformung im oberen Teil des Hanges stattgefunden hat, ist nicht überprüfbar. Charakteristisch jedenfalls sind hier oben wieder die singulären Bewegungsflächen, vor allem der Doppelgrat. Zur Erklärung eines Doppelgrates gibt es prinzipiell zwei Möglichkeiten:

1) als „Zugluft“, d. h. als steilstehende Spalte, unter der keine Gleitfläche tiefer in den Berg zieht. Wenn wie hier beide Gratteile gleich hoch sind, so muß eine Zugbeanspruchung von beiden Seiten her stattgefunden haben. Dafür gibt es aber keine weiteren Hinweise (auf der W Seite). Diese Auffassung erklärt jedoch gut, warum gerade dieser Abschnitt des Kammes in einer in der ganzen Umgebung unbekanntenen Schärfe entwickelt ist, und warum beide Flanken des Zwischengrabens besonders steil und felsig sind und sich deutlich von den Außenflanken unterscheiden. Besonders das relativ plötzliche Ende des Doppelgrates im SE, speziell aber im NW wird so verständlich.

2) Die 2. Deutungsmöglichkeit ist die, daß eine Gleitfläche jenseits des Kammes ausstreicht und dadurch eine Verdoppelung des Grates bewirkt. Der eine der beiden Grate (hier der E) ist dann der abgesenkte ursprüngliche Grat und die gegenüberliegende Grabenböschung der Ausstrich der Gleitbahn. Dieser Fall ist oft verwirklicht (z. B. oberste Bahn in Matrei, Kaunertal—Schöngrätle, Thusis—Lüschköpfe, Hüttschlag—Hirschgrube), wohingegen die erste Möglichkeit sonst nirgends in Frage kommt.

Ich nehme die 2. Darstellung des weiteren als die richtige Lösung an, weil die Form der Gratenden doch eher für diese Deutung spricht und ich auch nur sie mit dem Bewegungsbild des tieferen Hanges in eine geschlossene Vorstellung bringen kann.

8.2 Dort unten bewirkte die Verformung wieder eine Rotation der s in ein bergwärtiges Fallen (5.2), genau wie in Matrei.

8.31 In Matrei bestand nun die Möglichkeit, das Auftreten verschieden teilbeweglicher Abschnitte (oben Zerscheren in mächtige Pakete, unten hohe Teilbeweglichkeit und daher Rotation) innerhalb der Böschung wenigstens teilweise mit der mechanischen Verschiedenheit der Kalkglimmerschiefer und der Phyllite zu erklären. Hier in Radenthein ist das aber nicht möglich, weil eine solche mechanische Inhomogenität innerhalb der Böschung offenbar nicht besteht. Das Gebirge ist in diesem Falle vielmehr als im großen statistisch homogen anzusehen (vgl. z. B. CLAR 1963 p. 9) in Bezug auf Material und Gefüge, d. h. in Bezug auf seine „potentielle Teilbeweglichkeit“ (s. u. 6.1.). Dabei läßt man allerdings den Magnesitkörper vorläufig außer acht und schätzt den Einfluß der SW fallenden s im Kambereich als gering. Somit muß man die verschiedene „effektive Teilbeweglichkeit“ als normale „Folge“ der Beanspruchung einer Böschung durch die Schwerkraft ansprechen (s. o. 2.92).

8.32 Auch das Bild der Bewegungsvektoren ist in beiden Fällen gleich. Es kann folgendermaßen ermittelt werden:

Der Bewegungsvektor eines Punktes im oberen Teil der Böschung wird ohne Zweifel bestimmt durch die unter ihm liegenden Gleitbahnen. Erfahrungsgemäß liegen diese aber meist \perp parallel (s. Matrei), sodaß die Bewegungsrichtungen in der ganzen Masse darüber mehr oder weniger parallel zu der untersten (am tiefsten im Berg liegenden) Fläche anzu- geben sind.

Übrigens liegen ja sowohl in Matrei als auch in Radenthein die s als die mechanisch wichtigsten Trennfugen ungefähr in der Richtung der Gleitbahnen, sodaß deren Bildung sehr erleichtert wird. Umgekehrt kann man aber auch sagen, daß die Verformung solange nur irgend möglich unter Ausbildung von Scherflächen entlang der s erfolgen wird. Wenn daher in Matrei die Gleitflächen eher flacher liegen als die s , so weist das darauf hin, daß in der gleichen Böschung bei isotropem Material die Bewegungsrichtungen eher noch flacher liegen würden.

Wenn nun die Vektoren nicht mehr spitzwinkelig, sondern ausgesprochen quer zum s im Berg liegen, und wenn die Verformung nicht mehr von einzelnen Gleitbahnen getragen wird, so muß ein „Zerschneiden“ der Masse zu einer „Internrotation“ führen, abgebildet im Kippen der s . Und genau diese Rotation der s um eine Achse im Streichen des Hanges finden wir in Matrei und in Radenthein. Daraus ergeben sich die Bewegungsrichtungen im tieferen Hang als parallel zur Fläche der unteren Knicks. Strenggenommen gilt das nur für die tiefsten Teile direkt über dieser Fläche. Es besteht aber kein Grund zur Annahme, daß die höheren Vektoren wesentlich divergieren.

Die so gewonnenen Bewegungsvektoren lassen sich darstellen durch „Linien, die überall im gesamten Böschungskörper in Richtung der örtlichen Bewegung verlaufen“, also durch Stromlinien. Die Anwendung dieses Begriffes ist zulässig, da man das Zergleiten an Bahnen als „im Maßstab 1 : 10.000 diskontinuierliches Fließen“ formulieren kann.

Bereits unter 2.92 wurde ausgeführt, daß aus den Verstellungen der s auch der Bewegungsbeitrag direkt ablesbar ist, und daß man das sich so ergebende Bewegungsprofil vermutlich auch als Geschwindigkeitsprofil lesen kann.

8.33 Aus diesen Formulierungen erklärt sich der in Matrei und in Radenthein zu beobachtende obere Knick zwanglos als jener Bereich, in dem die Einspannung groß genug wird, um eine „bruchlose“ Verformung zu ermöglichen, und in dem der Winkel zwischen den Stromlinien und den s zu groß wird, um ein laminares Zergleiten in s zu erlauben. Daraus wird aber auch verständlich, daß dieses Umbiegen des oberen Knickes an der Oberfläche diskontinuierlich wird (s. o. 5.22; 2.9.23).

8.4 Im Sinne dieser Erfassung des Bewegungsbildes durch die verschiedenen Teilbeweglichkeiten und die Bewegungsvektoren (als Stromlinien und Geschwindigkeitsprofil) habe ich auf Taf. 13 die Normalprofile

der in dieser Arbeit besprochenen Bewegungen sowie die des zweiseitigen Talzuschubes vom Jägerhaus im Kaunertal zusammengestellt und zum Vergleich das Bewegungsbild eines stationären Eisschildes (nach HAEFELI 1961) beigelegt. Die aus diesem Vergleich sich ergebenden Konsequenzen habe ich an anderer Stelle bereits kurz skizziert (ZISCHINSKY 1966, 1967). Sie werden in einer weiteren Arbeit ausführlich besprochen werden.

9. Die beiden Mulden

9.11 (2., 5.23) Die obige Feststellung (8.33), daß auch aus mechanischen Überlegungen der Verformungstyp der in hangparallelen Rinnen austreichenden Bewegungsflächen sehr wahrscheinlich an die Oberfläche gebunden ist, ist wichtig zur Deutung der Mulde SW Nöringsattel (Prof. 3). Man kann dann nämlich die Verformung dieses Abschnittes ebenfalls nach dem Prinzip des Normalprofiles erklären. So gehört dann z. B. der Bereich des Baches um 1720 m bereits zum bergwärts fallenden Abschnitt, der unter der vorletzten Stufe nach S zieht und dort unter den Halden mit dem rotierten Bereich der Tagbaulöschung zusammenhängt.

9.12 Der obere Umbiegungsbereich reicht in der Mulde aber bedeutend höher hinauf als am Zwischenkamm. Da dazwischen anscheinend keine Scherfläche liegt (vgl. die zwei einbindenden Rippen S Schupfen), muß das dort zu komplizierten Verwindungen der s führen. Ebensolche Verwindungen, nur noch viel stärker, muß es im N geben, wo der Muldeninhalt mit dem Rücken im N (unter 1760 m sicher) zusammenhängt. (Dieser Rücken stellt bereits den Rand der bewegten Masse dar.) Als Teil dieser Verdrehungen kann man vielleicht die 090° fallenden s deuten (sonst hier meist um 120°). Im Verhältnis zu den zu erwartenden Verstellungen ist das aber sehr wenig. Auch der nach N gerichteten Bewegung unter 1780 sind oberflächlich keine Verstellungen der s sicher zuordenbar. Für diesen Teil kann man jedoch ein Zergleiten an den für diese Richtung söhlig bis flach bergwärts fallenden s in Betracht ziehen.

9.13 Das besonders hohe Hinaufgreifen der Umbiegungszone in der Mulde bildet das Hauptproblem dieses Abschnittes. Wie oben ausgeführt, ist ihre Lage ja wesentlich von der Einspannung, also von der Überlagerung abhängig; und diese ist gegenüber dem Rücken (S davon) jedenfalls geringer. Schätzt man nun auch hier den Verlauf der Stromlinien, so ergibt sich ein Divergieren derselben nach unten hin. In dieser Lesart läßt sich das Problem anfassen: In diesem Abschnitt wurde der vorfließende Hangfuß am gegenüberliegenden Hang gestaut. Dadurch wurde die Bewegungsbasis zum heutigen Niveau des Nöringsattels gehoben und im weiteren Vorfließen bogen die Stromlinien entsprechend früher ab. Dieses Andauern der Bewegung konnte aber nur unter besonderen Umständen geschehen, normalerweise hätte die Stauung zu einer Stabilisierung des Hanges geführt. Als Ursachen der Weiterbewegung kommen in Frage: Ein Verschlechtern der Gebirgsfestigkeiten mit fortschreitender Bewegung, rasch wirksam gewordene außergewöhnlich hohe Instabilität (besonders steiles Unterschneiden oder ungünstig liegende nicht erfaßbare Struktur;

rasches Abschmelzen des Eises); aber auch das Fehlen des als „Stützmauer“ wirkenden Magnesitkörpers (Prof. CLAR).

Die Gleitbahn direkt über den Hangstufen ist vielleicht am besten einem sekundären Zergleiten dieses durch die große Bewegung geschwächten und am Hangfuß lokal wieder übersteilten Gebirges zuzuordnen.

9.2 (vgl. 2.) Für die tiefere Gruppe hangparalleler Rinnen und Leisten in der Mulde der Kälbergrön scheint dieselbe Erklärung wie für die Leisten in der N Mulde anwendbar zu sein. Unmöglich ist das aber für die Gruppe ober der Almhütte. Hier dürfte es sich eher um ein Öffnen von Gleitflächenausbissen unter Zugbeanspruchung entlang der Stromlinien oder direkt um Zugrisse handeln (Taf. 11, Fig. 4).

10. Eigenbeweglichkeit der Hangelemente

Somit bleibt hier nur noch ein Punkt zu besprechen: Die einzelnen Abschnitte des Hanges (die zwei Mulden und die sie begrenzenden Kämme) scheinen erstaunlich starke Relativbewegungen zueinander auszuführen.

10.1 So wurde die Mulde der Kälbergrön Alm gegen den Kamm im N an einer deutlichen Gleitfläche abgesenkt, und auch ihre Grenzzone gegen den E Kamm der Millstätter Alm im S war anscheinend belastet (Sackung und Ausbruchnischen, s. Karte).

10.2 Von der nördlichen Mulde (SW Nöringsattel) wurde eine gewisse Eigenbeweglichkeit schon berichtet (9.1). Möglicherweise existiert aber eine Gleitbahn rund um die ganze Mulde. Sie würde eine ganz enorme Relativbewegung des Muldeninhaltes bedeuten.

Für eine Deutung der Muldenflanken als Gleitbahn spricht der allgemeine Verlauf der Felsstufen im S und W. Daß der N Kamm so flach und ohne scharfen Knick aus der Mulde heraussteigt, das könnte man durch Einregeln der Bahn in s erklären. Dafür spricht noch die Beobachtung, daß es in der ganzen Umgebung sonst keine derart hohen und ausgeprägten Felsstufen gibt; auch die Massenverhältnisse scheinen so besser erklärbar zu sein. Zwei gewichtige Punkte allerdings sprechen gegen diese Möglichkeit. Erstens kann ich mir trotz aller bisherigen Erfahrungen nicht recht vorstellen, daß eine derart bedeutende Scherbewegung so plötzlich in bruchlose Verformung übergeht, wie dies vor allem am Ende der (S) Felsstufe der Fall sein müßte. Zweitens würde diese Annahme bedeuten, daß der S Flügel der Mulde um Wesentliches mehr gesenkt wurde als der N Flügel (50—60 m mehr!). Das müßte eine deutliche N Komponente der Bewegung zur Folge haben. Rein massenmäßig wäre das möglich (Vorwölben des N Kammes unter 1780 m). Es sollte sich diese Bewegungsrichtung aber auch an der Oberfläche der Mulde selbst abbilden. Und das ist eindeutig nicht der Fall: in den Hangleisten spiegelt sich nur die Bewegung in der heutigen Fallinie des Hanges.

11. Zeit

Die Frage nach der Dauer der Bewegung, die für das Errechnen absoluter Geschwindigkeiten von Bedeutung wäre, ist nur mit ungenügender Genauigkeit zu beantworten. Der einzige Anhaltspunkt ist die Vereisung. Die Deformation des Hanges muß nämlich nach dem Abschmelzen der letzten dieses Gebiet erreichenden Vereisung stattgefunden haben. Der Gletscher hätte sicher gerade in dem durch die Sackung aufgelockerten Felsen ein ordentliches U ausgehobelt. Keinesfalls hätten sich die der Sackung zuschreibbaren Oberflächenformen erhalten.

Der Gletscher kam über den Nöringsattel in dieses Gebiet (s. o. 4.3). Der von LUZERNA 1933 als Bühl (nach der heutigen Nomenklatur wohl Schlern) beschriebene Stand des Maltagletschers endete in der Umgebung von Gmünd. Daher ist die letzte Vereisung dieses Gebietes dem Würmhochstand oder einem der Altstadien zuzurechnen. PENCK u. BRÜCKNER 1909 p. 1072 zeichnen die Oberfläche des Würmeises hier bei 1700 m.

Nach W. SENARCLENS — G. 1956 ist das Ende der Altstadien mit etwa 13.000 v. Chr. anzusetzen.

Damit hatte die Sackung, die heute stabilisiert ist, maximal etwa 15.000 Jahre Zeit. Für ihre wirkliche Dauer habe ich keine Anhaltspunkte.

4. TSCHAGGUNS / MONTAFON—GOLMERHANG

(Taf. 10; Taf. 12, Diagramme G 1 — G 3)

A) Beobachtungen und deren unmittelbare Deutung

1. Der Kraftabstieg des Lünenseewerkes schloß am Golmerhang eine großzügige Gleitung auf, über die K. MIGNON 1962 berichtete. Dadurch aufmerksam gemacht, besuchte ich den Hang kurz. Die folgenden Darstellungen beruhen daher vor allem auf der Auswertung der Luftbilder, kombiniert mit der mehr exkursionsmäßigen Begehung. Das eigentliche Problem, dessentwegen ich mich mit dem Hang beschäftige, ist folgendes: Bei den anderen Hängen schloß ich aus dem Fehlen von Ausbissen von Bewegungsflächen auf das Nichtvorhandensein solcher Bahnen und daher auf plastische Verformung. Es war mir daher wichtig, die Verhältnisse dieses Hanges kennenzulernen, wo im Stollenprofil die Bewegungsmasse sicher an einer definierten Gleitbahn vorgefahren ist; wo aber ihr entsprechende Ausbisse nur im höheren Teil des Hanges vor allem auf der S Seite zu finden sind.

Die Lösung dieses Widerspruches lautet: Im NW bindet die Gleitmasse tatsächlich ein, es erfolgte dort wieder eine bruchlose Deformation. Im SE aber läuft trotzdem eine Trennfuge durch. Daß im unteren Teil des Hanges auf beiden Seiten der Masse keine Bahnen deutlich sichtbar austreichen, ist auch verständlich, weil dort nur mehr kleine und relativ selbständige Schollen liegen.

Diese Darstellung beruht auf folgenden Beobachtungen und Überlegungen:

I. Morphologie

2. Bewegungsbahnen

Die in diesem Hang ausstreichenden Bewegungsbahnen lassen sich zu drei Hauptgruppen zusammenfassen.

2.1 30 m unter dem NE Kamm des Grüneck setzt ein steileres Hangstück an, das als typische Ausbißfläche einer Gleitbahn anzusprechen ist. Der S Teil ist allerdings durch kleine sekundäre Absatzungen deformiert. Im Luftbild wird es eindeutig, daß das darunter folgende Hangstück (1910—1930 m, darauf die Bergstation der Golmerbahn) entlang der genannten Gleitbahn abgeglitten ist. Diese streicht in der von MIGNON als für die Gleitung wichtig erkannten Richtung 150—160°. Ihre Fortsetzung nach unten an der NW Seite der Masse ist anfangs noch sehr deutlich zu sehen, verliert sich dann aber bald in Linien, die wohl als einfache Risse ohne große Vertikalbewegung zu deuten sind (hinunter bis 1700 m).

Im Gegensatz dazu ist der südliche Ausstrich der Bahn bis auf 1680 m hinunter sicher verfolgbar. Stellenweise ist sie hier stark aufgefiedert und zwar gerade dort, wo sie nahezu parallel s läuft. In solchen Abschnitten spricht man besser von einem Gleithorizont. In Fortsetzung dieser südlichen Ausstriche zieht noch eine Gleitfläche direkt zum NE Kamm hinauf: Es ist also der Hang auch noch hinter der großen Bahn bewegt, wobei jedoch die entsprechenden Flächen anscheinend nach unten in sie münden. Die Mehrzahl der Bewegungsflächen, die am Kamm S VP. 2027 m ausbeißern, gehört aber zu den Bewegungssystemen der jenseitigen Bergflanken und sind deshalb auf der Karte nicht eingetragen. Ebenso ist auch die Gleitbahn im S des Kammes Grüneck—Golm, die zur Sackung des Ronnenwaldes zählt, nur kurz angedeutet. Die bereits erwähnte Hangverflachung (1880—1910—1930 m) wird von einer weiteren Steilstufe talwärts begrenzt (an ihrem Fuß liegt die Sperrkammer Grüneck). Ob es sich bei dieser Stufe wieder um den Ausstrich einer größeren Bewegungsbahn handelt, ist sehr ungewiß. Ich möchte diese Deutung ausschließen. Eine sichere Bahn setzt noch innerhalb der Verflachung darüber an; während sie im N in sich ablösenden Einzelstufen endet, zieht sie im S parallel zu der Hauptgleitfläche nach unten bis etwa 1720 m. Dort verläuft ihr Ausstrich so wie der der Hauptbahn und der einiger weiterer Flächen in einer Steilstufe, die ich trotz aller Schwierigkeiten als weitere große Gleitbahn anspreche. An ihr wäre der südlichste Teil des Hanges um einen beachtlichen Betrag abgesessen, ohne daß entsprechende seitliche Ausbisse der Gleitschale zu finden sind. Sie greift quer über die tieferen (d. h. im Hang höheren) Gleitbahnen hinweg. Ähnliches gilt auch von der nächsten Steilstufe unter VP. 1656 m, die jedoch weiter nach NW, mindestens bis zum Aualatschbach zieht. Sie greift in der Mitte des Hanges eher talwärts vor,

dürfte also nachträglich noch verformt sein. Es scheint mir sehr wahrscheinlich, daß der südlichste Teil der beiden letztgenannten Bahnen (direkt unter dem Kamm) mit dem S Teil der Hauptgleitfläche zusammenfällt. Daß diese und die kleinen Parallelbahnen zwischen und unter diesen Stufen kaum noch zu sehen sind, das erklärt sich vielleicht am besten aus der Deformation des Hanges durch eine nachträgliche Bewegung an diesen beiden Schalen.

2.2 Der Steilabfall unter Matschwitz stellt eine weitere Gleitbahn dar. An ihr ist ein Körper abgeglitten, der die Oberfläche des tieferen Hanges bis auf ca. 1100 m hinunter bildet. Er ist aber nicht im Zusammenhang geblieben, sondern intensiv in einzelne Schollen zerlegt, sodaß sich die alte Hangoberfläche kaum mehr rekonstruieren läßt. Auf der Karte konnten diese Verhältnisse nur sehr ungefähr dargestellt werden, sie kommen aber dennoch gut zum Ausdruck. Der S Rand der Schollenbewegung muß etwa am Golmerbach liegen. Im NW endet diese Bewegung mit einer steckengebliebenen Gleitung ober VP. 1292 m; S davon sind noch einige weitere Abrisse im Anfangsstadium hinter dem Böschungskopf zu sehen.

2.3 Von diesen beiden Gruppen von Bewegungsbahnen getrennt sind noch jene anzuführen, die sich um den Aualatschgraben gruppieren und offenbar vor allem durch ihn bedingt sind. Am markantesten ist die Schale auf der E Seite der Gräben, die die flache Waldwiese um 1212 m bildet.

2.4 Im NW der Aualatschgräben gibt es dann noch einige Hangleisten, deren Deutung aber sehr unsicher ist (s. u. 3.4).

3. Weitere morphologische Besonderheiten

Außer den genannten deutlich sichtbaren Bewegungsbahnen bzw. deren Ausstrichen ist noch eine Reihe anderer morphologischer Besonderheiten für die Deutung der Hangtektonik wichtig.

3.1 Der Hangfuß zwischen Aualatschgraben und Golmerbach ist richtig ins Tal vorgewölbt (in der Horizontalen). Es kommt das im Verlauf der Isohypsen klar zum Ausdruck. Auch das vertikale Profil zeigt die typische konvexe Wölbung eines Sackungsfußes. Der Gletscher hat diese Form sicher nicht zurückgelassen.

3.2 Dieses Profil wird nach oben hin bald gestört. Im SE setzt nämlich mit scharfem Knick bei ca. 1100 m eine durch Wiesen markierte schmale Fläche an, die schräg zum Hauptstreichen des Hanges (N statt NW) in ihm liegt und gegen NW bis ca. 1300 m hinaufzieht. Im Gegensatz zur Umgebung ist sie mit Moräne bedeckt. Ihre bergseitige Begrenzung wird vom Fuß der oben beschriebenen Gleitschollen gebildet.

3.3 Ganz im SE, am Golmerbach, ist die Wölbung des Hangfußes in der Vertikalen und in der Horizontalen (3.1) kaum mehr zu sehen. Über dem untersten Steilaufschwung biegt ein einheitlich geformter Hang um die Hangkante herum ins Gauertal. N des Golmerbaches bildet wieder der Steilabfall am Fuße der untersten Gleitschollen die bergseitige Begren-

zung dieses Hangteiles. Dieser Steilabfall ist hier aber als Bewegungsfuß untypisch und vor allem findet er eine unmittelbare Fortsetzung in einer Steilstufe jenseits des Baches, also im vermutlich unbewegten Hang. Hier sind demnach der bewegte und der unbewegte Hang gemeinsam, d. h. nach dem Eingleiten der Schollen, überformt worden.

3.4 Vom Gebiet der stark erodierenden Aualatschbäche und dem Hang NW davon kann ich nur kurz berichten, daß der Hang auch dort deutlich verformt ist, jedoch in weit geringerem Ausmaße als der S Teil des Gehänges. Während letzterer seine Basis bei 900—1000 m auf Landschisott hat, zieht der NW Teil direkt hinunter bis Innerbach im Illtal (650—700 m).

Dieser unterste Hang (unter 1000 m) ist wieder sehr stark von Sackungen betroffen, die jedoch einem neuen System angehören, das hinüberleitet zu den Verformungen der Hänge des Rellstales.

3.5 Wie bereits erwähnt, sind die Einschnitte der Aualatschbäche hochaktives Erosionsgebiet, die Gräben reichen erst bis ca. 1380 m hinauf. Darüber setzt ein offenbar älterer Tallauf an, der ganz anders geformt ist. Besonders deutlich wird das ober der Steilstufe 1440—1480 m, wo die breite seichte Talung wesentlich flacher angelegt ist als die mit einem scharfen Knick nach unten anschließenden Gräben. Sie zieht hinauf bis unter VP. 2027 m und wird im SW durch die Geländestufe begrenzt, entlang der die Trasse der Golmerbahn führt. Bei dieser Beschreibung ist sozusagen eine starke Verformung (besonders zwischen 1600 und 1800 m) bereits abgezogen, die vor allem den ehemals tiefsten Teil der Talmulde aufgewölbt hat und die auf die Bewegung an den schon beschriebenen Gleitflächen zurückgeführt werden kann.

3.6 Festzuhalten ist auch, daß die Schlichhöhe im Gauertal unter Golm auf etwa 1700 m liegt.

3.7 Merkwürdig ist auch die Wölbung des Hanges zwischen Matschwitz und Golmerhaus. Sie ist nur teilweise mit dem Einbiegen ins alte Tal (3.5) zu erklären (horizontale, nicht aber die vertikale Wölbung).

II. Die geologischen Körper und ihr Gefüge

4. F e l s k ö r p e r

Der Golmerhang wird aufgebaut von stark durchbewegten kristallinen Schiefen mit oft phyllitischer Struktur und einzelnen Spänen von Buntsandstein (vgl. K. MIGNON 1962).

Ein von der Hangtektonik ungestörtes s Flächengefüge kann man zum Beispiel auf dem im S begrenzenden Kamm erwarten. Von dort stammt Diagramm G 1 (Taf. 12), das einen Gürtel mit schwach E fallendem β andeutet. Die N fallenden Messungen stammen vom oberen, die S fallenden vom tieferen Teil des Hanges. Das von MIGNON im Druckschacht gemessene Diagramm (sein D 1) stimmt damit überein. Für den S Rand der Gleitbahnen ergibt sich daraus ein Verlauf annähernd in s. Damit ist zu erwarten, daß die s am S Rand der Gleitmasse in ihrer Lage erhalten

ten bleiben. Diagramm G 2 stammt aus diesem Bereich und zeigt, daß dieser Fall tatsächlich verwirklicht ist. Diagramm G 3 stammt aus der Gleitmasse direkt, und zwar von der Hangkante und den Wiesen von Matschwitz und aus dem Bereich der Bergstation der Golmerbahn. Das darin auftretende Maximum (SW fallend) kann man durch Rotation um 30° entlang eines Kleinkreises mit 130° — 140° streichender horizontaler Achse in den Gürtel der ungestörten s (N fallenden Teil) zurückführen. MIGNON zeichnet in seinem Diagramm D 3 aus dem Druckschacht einen Gürtel mit einem etwa 050° streichenden β , der auch in meinen Messungen schwach angedeutet ist. Dieser Gürtel läßt sich durch Rotation (entlang von Kleinkreisen) um rund 50° um eine senkrechte Achse in den Gürtel der ungestörten s zurückdrehen (S fallender Teil). Einige meiner Messungen können vielleicht am besten durch eine Kombination dieser beiden Drehungen in die Ausgangslage gebracht werden.

5. M o r ä n e

An abzutrennenden geologischen Körpern fand ich im wesentlichen nur noch Moräne. Sie ist meist an kalkalpinem Material gut erkennbar und läßt sich damit auch eindeutig aus dem Gauertal herleiten.

Im Gebiete der Aualatschgräben habe ich ihre Verbreitung nicht weiter verfolgt. Wichtig ist nur, daß sie auch sehr weit in den nordwestlichen Graben hineinreicht. Wenn das mit Hilfe von Nachrutschungen scheinbar nicht vollständig erklärt werden kann, so muß ein (allerdings schwächerer) Einschnitt schon vor der Vereisung existiert haben.

Auf der Verflachung von Matschwitz sind die Wiesen von der Hangkante bis etwa 1490 m mit Moräne bedeckt, die sich auch auf dem Kopf einzelner abgeglittener Schollen im NE wiederfindet.

Im ganzen übrigen Gehänge war keine ortsfremde Moränenbedeckung nachzuweisen, außer der schon erwähnten auf der schräg im Hang liegenden Wiesenfläche (3.2) und auf der einheitlich geformten Hangkante ins Gauertal unter 1200 m. Hier liegen auch (N des Baches) zwei Moränenwälle. Auf der Hangkante darüber, S des Baches (d. h. außerhalb des Gleitbereiches), dürfte die Moräne nur in den eingeschalteten Steilstufen weitgehend fehlen.

6. A u f s c h l ü s s e D r u c k s c h a c h t

Wichtig sind noch die Lagerungsverhältnisse, die die von MIGNON publizierten technischen Aufschlüsse im Profil des Druckschachtes ergeben haben. Danach unterlagert nämlich sichere Moräne des Gauertalgletschers ab ca. 1130 m die oben beschriebenen Gleitschollen in etwa 60—70 m Tiefe. Die Oberfläche der Moräne ist leicht gestuft. Vom obersten Aufschwung weg zieht sie dann in 1250 m Höhe annähernd horizontal weiter unter die Verflachung von Matschwitz. An dem Profil von MIGNON (II) möchte ich nur folgende Verbesserung durchführen: Die letzte Bohrung nach unten hin ist etwa in der Höhe des Fahrweges verzeichnet. Darunter soll

die Moräne auskeilen und die Oberkante des Anstehenden unter den Gleitschollen flach absteigend in die Steilstufe des Hangfußes hinausstreichen. Ich glaube nun aber, daß die vom Schacht erschlossene Moräne seitlich zu verbinden ist mit der auf der Hangkante im SE und der auf der schräg im Hang liegenden Fläche im NW (vgl. Taf. 10, Profile 4—7). Im SE besteht aber auch die Möglichkeit, daß die heute obertags liegende Moräne über einer Gleitscholle liegt und daß die Moräne des NW und des Druckschachtes mit einer erst unter dieser liegenden älteren Moräne zusammen hängt. Auch wenn der zweite Fall verwirklicht ist, ergibt sich die Ausbißlinie der Gleitfläche im Stollenprofil genau an der Hangkante. Das bedeutet weiter, daß die Oberfläche des Anstehenden gegen NE gegen den Ausstrich hin eher etwas ansteigt. Die hier besonders weit voreilende Gleitung hat also gerade in diesem Profil den Zusammenhang zwischen den Moränen im NW und SE auf ein kurzes Stück unterbrochen.

Und noch ein gut passendes Detail ergibt der Stollenaufschluß: Knapp unter der Hangkante von Matschwitz steht ein in der Karte nicht ausgeschiedener Amphibolit an. Dieser Amphibolit wird auch vom Schacht erschlossen; allerdings in verstellter Lagerung, die am besten mit Hilfe von absetzenden Gleitflächen erklärt werden kann. Solche Gleitflächen in geeigneter Lage sind die hinter der Hangkante austreichenden (2.2).

B) Das gedeutete Bewegungsbild

7. V o r d e r B e w e g u n g

Die letzte Hauptvereisung (Würm) reichte im äußeren Gauertal im Profil des Ronnenwaldes nach O. AMPFERER 1936 bis etwa 1800 m, nach meiner Schätzung der Eisschliffgrenze S Golm bis ca. 1700 m (3.6). Am N Hang der Tschaggunser Mittagsspitze fand AMPFERER Erratica bis etwa 1600 m, und in der Davenna Gruppe jenseits der Ill reichte der Hochstand bis 1680—1800 m.

Nach dem Rückzug dieses Gletschers wurde im unteren Golmerhang eine tiefe längliche Mulde frei, in der der Gletscher eine mächtige Moräne abgelagert hatte (s. Rekonstruktion auf Grund von 3.2, 5., 6.; Taf. 10). Ich halte es nun für sehr wahrscheinlich, daß diese Mulde der untere Teil jener flachen Talform war, die über 1500 m trotz starker Deformation heute noch erkennbar ist und die heute durch die sich hinaufarbeitenden Aualatschgräben entwässert wird (3.5). Nimmt man die nachträglichen Verstellungen zurück, so paßt das Zusammenhängen der beiden Teile sehr gut. Die sich daraus ergebende scharfe Richtungsänderung des Tallaufes wird aus dem Streichen der s verständlich, vor allem aber aus folgender Überlegung: Die Abtrennung des Kristaberges vom Golmerhang durch das „Tal“ von Landschisott ist jedenfalls der Arbeit des Eises zuzuschreiben. Die alte Verbindung muß etwa beim Staubecken Latschau begonnen haben. Damit konnte der Golmerhang gar nicht nach N entwässern und der Bach mußte sich nach E zum Gauertal wenden. Dabei muß das Ausschür-

fen dieser Verbindung nicht etwa nur die letzte Vereisung bewirkt haben, genauso wie der alte Tallauf vom Grüneck mehrere Vereisungen mit gemacht haben kann. Dafür spricht, daß der nordwestliche Aualatschgraben zur Zeit der letzten Vereisung bereits seicht eingeschnitten gewesen sein dürfte (Moräne!), ohne daß er aber damals schon das ganze Wasser des älteren Tallaufes notwendigerweise an sich gezogen hatte. Die schräge Mulde des unteren Golmerhanges als Gletscherform zu erklären, erscheint mir kaum möglich. Ein derart enger Wirbel mit einer schrägen Achse ist im Eis selbst hier, im Bereich der Mündung von 3 bzw. 4 recht beachtlichen Seitenströmen, nicht denkbar.

Wegen der Unterschneidung des Hangfußes in Landschisott (Entfernung des verbindenden Rückens) und wegen der im Postglazial herrschenden abnormalen Verhältnisse wurde die Gesamtböschung des Golmerhanges nach dem Rückzug des Würmeises instabil und kam in Bewegung.

8. Die Bewegung

8.1 Der am tiefsten im Berg liegende Teil der Verformung erfolgte ohne sicher zuordenbare Scherflächen kartierbarer Größenordnungen im höheren Hang. Er äußert sich lediglich in dem plastischen Vorwölben des Hangfußes (3.1). Die Hauptbewegung aber, die die heutige Morphologie gänzlich beherrscht, schob den oberen Hang in die Mulde des ihn im S-Teil unterschneidenden alten Tallaufes. Dadurch wurde natürlich vor allem der S-Teil der Böschung bewegt, was zu einer Drehbewegung führte; das heißt zu einer maximalen Bewegung im S entlang von Gleitbahnen, die durch die Stellung der s begünstigt wurden, bei einem Einbinden im NW. Diese Drehung muß etwa 50° betragen haben (Zurücknahme der Stirn der Masse hinter den südöstlichsten Punkt der im Stollen gesicherten Moräne und Einbinden der Bewegungsfront im Bereich der Aualatschgräben). Sie kommt in der von MIGNON erfaßten Verdrehung der s (s. o. 4.) gut zum Ausdruck.

8.2 Die Basis der Bewegung ist eine bis unten durchgescherte Gleitbahn, die jedoch gegen NW hin in der Böschung endet. Von allen Flächen entspricht jene am besten, die ober 1910 m ausstreicht und deren S Rand wenigstens bis Golm sicher ist (2.1). Von ihrem Verlauf sind nur die Neigung der oberen Abrißfläche, die ungefähre Lage des Fußpunktes vor der Gleitung (aus der Moräne im Stollen. Vgl. 8.1) und die Neigung der überfahrenen Moräne bekannt. Außerdem streichen die Basisflächen oft sehr flach an den Böschungsfluß heran (vgl. Matrei, v. a. aber Radenthein). Die auf dieser Grundlage eingeschätzte Lage der Bahn paßt sehr gut mit der Hangoberfläche zusammen (Profil 1). Unangenehm für diese Vorstellung ist, daß unter ca. 1500 m kaum mehr Ausstriche dieser Fuge zu finden sind. Man kann das aber mit der hohen Teilbeweglichkeit des Gebirges in der Richtung parallel s begründen.

8.3 Der im Profil 1 dargestellte Verlauf der Gleitbahn bedeutet aber, daß sich die Gleitmasse bei ihrem Vorschub über eine stark gekrümmte Bahn (30°) bewegte. Eine dementsprechende Gefügever-

formung konnte als Drehung der s um eine horizontale Achse beobachtet werden (s. o. 4.), wodurch die im Profil gezeichnete Lage der Bahn noch wahrscheinlicher wird. Eine derartige Rotation der s tritt auch noch bei der Bergstation der Golmerbahn auf. Es ist also eine neuerliche Verteilung der Bahn knapp vor ihrem oberen Ende anzunehmen. Dafür spricht auch der morphologische Befund, daß die Verflachung 1880—1920m vor der Sackung nicht schon bestanden haben kann (Vergleich mit der Umgebung), daß sie also erst von der Sackung horizontal vorgewölbt wurde. Als Folge der Verbiegung der Gleitmasse unten kann man vielleicht auch die eigenartige Wölbung des Hanges zwischen der Verflachung von Matschwitz und der Steilstufe unterm Golmerhaus sehen: Als Aufwölbung der Oberfläche infolge der Druckbeanspruchung des Materials auf der Innenseite der Krümmung in der Längsrichtung.

8.4 Fassen wir die Verformung des Hanges wieder als kontinuierliches und diskontinuierliches Fließen auf, so stellt sich das Problem als Frage nach dem Verlauf der Stromlinien und nach der Geschwindigkeitsverteilung dar. Dabei zeigt sich, daß sogar die große Diskontinuität der Gleitbahn in dem Modell der Flüssigkeit sinnvoll eingebaut werden kann, wenn man eben den Begriff „diskontinuierliches Fließen“ zuläßt:

Mit Sicherheit kann über den Verlauf der Stromlinien gesagt werden, daß sie im oberen Teil des Hanges parallel zur Basisfläche liegen. Das ergibt sich eindeutig aus der Neigung der verschiedenen im Hang austreichenden kleineren Gleitflächen, an denen eben das (auch hier nur an der Oberfläche?) diskontinuierliche Fließen erfolgt. Das Auftreten der Gleitflächen in der Böschungsmasse beweist auch eine Zunahme des Bewegungsbetrages nach oben, wie es in den bisherigen Beispielen zu beobachten war (vgl. z. B. 2.9.21). Ein Stück der dementsprechend versteilten Böschungsstirn ist am NW Ende der Hangkante unter Matschwitz erhalten.

Eine weitere Verteilung der Böschungsfront ergibt sich daraus, daß die Stromlinien auch im tieferen Teil des Hanges parallel zur Basis liegen. Daß die Stromlinien die Krümmung der Basis wirklich mitmachen und so, wie in Matrei, in Radenthein, in Gletschern und in Wasserläufen parallel zu ihr nach unten weiterlaufen, das zeigt ja die Verdrehung der s . Ein derartiges Fließen einer Masse über eine konkave Bahn bedeutet in der Nomenklatur von J. F. NYE 1951, 1952 ein „passive flow“ bzw. „compressive flow“.

8.5 Wahrscheinlich als Folge der Verteilung durch die Bewegung (s. o.) und wegen des ungleichen Gefälles des zugeschobenen alten Tales löste sich der Fuß der vorschiebenden Masse in einzelne Schollen auf (vgl. das Kalben der Gletscher). Diese eilten der Hauptmasse weit voraus, füllten die alte Hohlform und gaben so gleichzeitig der großen Bewegungsmasse einen flacheren Fuß.

8.6 Mit Hilfe dieser Schollen kann man auch zwei — allerdings sehr unsichere Angaben — über die Geschwindigkeit des ganzen Vorganges machen.

1) muß das Abgleiten der Schollen (innerhalb der Gesamtbewegung sicherlich noch einer der schnelleren Vorgänge) immer noch als Kriechen erfolgt sein. Bei einem raschen Abfahren wären sie vermutlich nicht auf der eher unbedeutenden Verflachung ober ca. 1100 m liegen geblieben, sondern über den steilen Hangfuß nach Latschau hinuntergefahren.

2) Die einheitliche Formung der Hangkante ins Gauertal unter 1200 m (s. o. 3.3, 5.) erfolgte anscheinend durch einen Gletscher, nachdem die Gleitschollen eingefahren waren. Dabei ist es bedeutungslos, ob der heutige Moränenhang unter 1200 m ebenfalls eine überarbeitete Gleitscholle ist oder ob die Scholle über 1200 m die in diesem Abschnitt tiefste war (vgl. 6.). Nach den Darstellungen von O. AMPFERER 1936 kommt für diesen Gletscher nur das Schlernstadium in Betracht. Das zeigen auch die beiden Ufermoränenwälle (5.), die mit den von AMPFERER eindeutig eingestuften Wällen des Kristaberges korrelierbar sind. Somit hätte die ganze Bewegung in der Zeit zwischen dem Abschmelzen des Würmeises am Golmerhang und dem Schlernvorstoß stattgefunden.

Nach der Tabelle von SENARCLENS — GR. 1956 scheint das Niederschmelzen des Würmeises in diesem Gebiet ungefähr mit 10.000 v. Chr. datierbar zu sein. Den Schlernvorstoß setzt SENARCLENS um 8850 v. Chr. an. Damit hätte die Bewegung am Golmerhang maximal etwa 1000 Jahre benötigt.

8.7 Zum Schluß möchte ich noch kurz meine Deutung der hangtektonischen Vorgänge am Golmerhang vergleichen mit den publizierten Ansichten K. MIGNONs und dem Profil von R. STAUB, das einem unveröffentlichten Gutachten für die Vorarlberger Illwerke AG beiliegt.

Zunächst zum Profil STAUBs, das eine ganz andere Auffassung der Hangverformung wiedergibt: 1) scheint STAUB die gesamte Masse unter Matschwitz als mehr oder weniger einheitlich abgeglitten anzusehen. Dadurch ergibt sich ein Überfahungsbetrag, der unmöglich in den Abrissen oben unterzubringen ist. 2) nimmt STAUB an, daß die in sich starre Masse nur an zusammenhängend durchgescherten Gleitbahnen bewegt wurde. Das widerspricht der Beobachtung, daß die Masse im NW nicht von einer Scherfläche begrenzt, sondern dort eingebunden ist (2.1), was auch die Gefügeverformung bestätigt (4., 8.1). 3) bewertet STAUB die Ausbisse der Scherflächen etwas anders als ich. Vor allem aber zeichnet er sie mit steilen Anfangsneigungen, die offenbar rein geometrischen Überlegungen entstammen. Dazu ist zu sagen, daß die als Ausstriche gedeuteten Handstufen praktisch nicht durch Rückverwitterung verflacht sind. Der ganze morphologische Befund spricht dagegen (vgl. 2.2.11). Damit ist die Anfangsneigung der Gleitbahnen innerhalb der gegebenen Fehlergrenzen mit unter 30° bestimmbar.

Gegenüber den Darstellungen MIGNONs bestehen nur folgende Differenzen: 1) erklärt MIGNON die zugeschobene Hohlform im unteren Hang als Gletscherarbeit. Warum mir das nicht sehr wahrscheinlich scheint, habe ich unter (7.) ausgeführt. Diese Deutung wäre ohne weiters möglich, wenn der Kamm S des Golmerbaches ebenfalls von der Hang-

bewegung erfaßt wäre. Dafür gibt es aber keinen Hinweis. 2) Die Moräne von Matschwitz (5.) kann durchaus von höher oben eingegleitet sein: Wie ausgeführt (3.6, 7.), reichte der Würmhochstand bis wenigstens 1700 m. Und nach meinen Vorstellungen lag die Moräne von Matschwitz (heute ca. 1500 m) vor der Bewegung nur etwa 100 m höher auf ungefähr 1600 m (vgl. Prof. 1). Damit erübrigt sich die Folgerung einer Vereisung des Hanges bis 1500 m nach der Gleitung. Eine solche hätte auch die Morphologie der teilweise stark zerrütteten Gleitmasse vollständig zerstört oder zumindest in dem durch die Schollengleitungen sehr unruhigen Gelände unter Matschwitz reichlich Moräne deponiert.

5. WIRTSCHAFTLICHE AUSWIRKUNGEN DER HANGBEWEGUNGEN

Fast alle von mir untersuchten Hangbewegungen wurden im Zusammenhang mit technischen Projekten bekannt, weil von ihnen eine Gefährdung oder Erschwerung dieser Projekte ausgeht.

1. Lediglich für die Anlage von Siedlungen und die landwirtschaftliche Nutzung ist ihr Einfluß als positiv zu bezeichnen: Erstens können sie als „unechte Talstufen“ so wie die echten glazialen Felsstufen bewirken, daß das ober ihnen liegende Tal zu einem breiten Boden aufgeschottert wird, wie zum Beispiel der Mandarfenboden im Kaunertal und das hintere Ködnitztal bei Kals in Osttirol. Zweitens ist ihre Oberfläche oft unruhig und von Ebenheiten unterbrochen und daher besonders gut besiedelbar. Es ist häufig zu beobachten, daß im Verlauf eines Tales nur die abgesehenen Hänge besiedelt oder wenigstens mit Wiesen und Feldern genutzt werden (Matrei—Glunzerberg, Thusis—Heinzenberg, Gundalatscher Berg und Grandau Maiensäß im oberen Montafon, Kotalm und auch Guggenmahd am Achensee, Niedergallmig und Fließ SE Landeck, Kaltenbrunn und Nassereiner A. im Kaunertal, Giggel, Glitt, Glittstein an der Mündung des Paznauntales und viele andere). Einige der genannten Hänge sind auch heute noch in langsamer und anscheinend ruckweiser Bewegung. Die daraus sich ergebenden Schäden bleiben für die bäuerliche Besiedlung und Nutzung im allgemeinen aber in tragbaren Grenzen.

2. Verkehrswege, Stollen

Aktive Hangbewegungen beeinflussen praktisch alle Bauten in negativer Weise. Da wir nur in Ausnahmefällen mit Sicherheit weitere Verformungen ausschließen können, stellen auch alte und heute anscheinend ruhige Hangbewegungen für viele moderne Bauwerke eine untragbare Bedrohung dar. Eisenbahnlinien, Brücken und auch die heute gewöhnlich sehr rißempfindlich ausgeführten Straßen spüren bereits recht geringe Bewegungen. Die im folgenden nur beispielsweise aufgezählten Straßen erleiden zum Teil schon seit Jahrzehnten andauernde Verformungen: Bundesstraße 1 bei Steighaus W Landeck, Bdstr. 188 an der Mündung des

Patznauntes, Bdstr. 114 S Trieben, Bdstr. 107 Judenbrücke S Heiligenblut, Bdstr. 111 im Mattlinggraben (Lesachtal), die Straße ins Kaunertal unterhalb Kaltenbrunn, die Fahrstraße ins Ködnitztal.

Die durch die Hangverformungen an diesen Stellen bedingten Mehrkosten der Instandhaltung betragen Millionen Schilling. Das liegt zum Teil auch daran, daß die sichtbaren Bewegungen sich von den Rutschungen und seichten Bodenbewegungen oft nicht unterscheiden und nur ein wirklich gut eingearbeiteter Geologe den großen Zusammenhang erkennt. In einzelnen Fällen wurden daher die technischen Sanierungsmaßnahmen nicht entsprechend tief und weitreichend ausgelegt.

Weitere gegen Hangbewegungen sehr empfindliche Objekte sind Tunnel und Stollen und vor allem die gepanzerten Druckstollen und Druckschächte. Sie spüren nicht nur die aktiven Bewegungen. Auch nach völliger Beruhigung kann sich beim Bau die durch alte Deformationen bewirkte Störung des ursprünglichen Gebirgsverbandes noch nachteilig auswirken (Golmerhang und andere vermutlich einschlägige Beispiele).

3. Nicht näher eingehen möchte ich hier auf die mögliche Gefährdung von Stauräumen durch aktive große Hangbewegungen. Die Felsgleitung im Vajont hat die grundsätzliche Bedeutung dieses Punktes genügend unterstrichen. Mir persönlich sind vier aktive, beziehungsweise unter Umständen reaktivierbare alte Hangverformungen bekannt, die im Bereich von österreichischen und schweizerischen Staubecken liegen. Über die Überwachung dieser Hänge wird von berufenerer Seite berichtet werden.

4. Ein weiterer Bereich, der mit den Folgen der großen Hangbewegungen oft zu tun hat, ist die Wildbachverbauung. Für deren Fragen sind folgende Aspekte der Hangverformungen wesentlich:

4.1 Erstens wird durch die Deformation der Böschung das Gebirge mechanisch oft vollkommen zerstört, ohne daß es durch Rekrystallisation wieder verheilen könnte. Das Gebirge ist dann unter Umständen nur mehr als „geordneter Schutthaufen“ zu bezeichnen. Bei entsprechenden morphologischen Verhältnissen stehen den Bächen damit praktisch unbegrenzte Schuttmengen zur Verfügung. Im kleinen ist das bereits in der Böschung des erst vor wenigen Jahren aufgelassenen Tagbaues Radenthein zu sehen. In viel größerem Umfange aber ist dieses Verhältnis im Bretterwandgraben bei Matrei zu beobachten (s. o. 2.4.22). Hier hat der Bach nicht nur die Schuttmengen abzutragen, die die im Längsprofil angerissene Sackung Glunzerberg bereitstellt; hier sind vielmehr alle Böschungen, die den Grabenabschluß innerhalb der „Wallschen Hütten“ bilden, rundherum abgessen und auch heute noch durchwegs aktiv. So konnte ich im August 1966 (noch vor den Unwettern 1966) beobachten, daß der gesamte Bereich östlich des Schuttkegels aus meiner hintersten Gleitbahn eine frische Bewegung durchgeführt hat — vermutlich infolge der Unwetter 1965: Unter den Felsplatten der Bretterwand und über den riesigen Schuttkörpern des Grabenschlusses zieht ein mehrere Meter

hoher frisch freigelegter Felsstreifen durch, und auch in den Hängen der östlichen Begrenzung (vor allem N VP. 2008 und W unter VP. 2323) finden sich zahlreiche und bedeutende Abrisse. Dementsprechend ist die oberste Mauer der Wildbachverbauung, eine Längsmauer, vollständig zerdrückt. Sie ist wie alle Geschiebesperren über der Walschen Hütten innerhalb der Schuttmassen gegründet.

4.2 Beim Böschungsausgleich wölbt sich der Hangfuß in das Tal vor. Die Stirn der Böschung wird dadurch lokal versteilt und daher oft instabil. Wenn der für den Bach bzw. Fluß zur Verfügung stehende Talraum beengt ist, so kommt dazu noch eine verstärkte Seitenerosion dieses Gewässers. Das Ergebnis sind dann steile und aktive Anrisse und aktiver Gebirgsdruck auf etwaige Geschiebesperren. Auch dieser Typus von Geschiebeherden kann nicht durch lokale Maßnahmen auf die Dauer wirkungsvoll bekämpft werden.

Beispiele für diesen Typus gibt es unzählige: Ködnitz, Wurg, S-Fuß der Bunzkögelemasse (heute nicht mehr besonders aktiv), Steighaus. Aktuell ist zur Zeit der Ausgang des Patznauntales, da hier die Bundesstraße (s. o.) saniert werden muß; dazu soll zunächst die Trisanna unterhalb Gfällhaus verbaut werden. Hier ist der Osthang hoch aktiv und wird auf die Sperren sehr stark drücken. Ich persönlich befürchte, daß diese Strecke mit vertretbarem Aufwand nicht wirklich zu beherrschen sein wird.

Auf einen ähnlichen und anscheinend erfolgreich verbauten Fall hat mich Herr Prof. CLAR aufmerksam gemacht: die Guttal-Einfahrt der Glocknerstraße. Das in Österreich bekannteste Beispiel für diesen Typus sind aber die Innböschungen bei Fließ SE Landeck (Niedergallmig). Die diese Anrisse bewirkende Großbewegung reicht hinauf bis zum „Frommes“ auf 2274 m. Ich habe sie, ebenso wie die viel kleinere ansonsten aber ähnliche Bewegung vom Pfortschwinkel (Ködnitz), bereits kurz beschrieben (1966).

Die Anbrüche der bei Thusis in den Rhein mündenden Nolla, über die bereits eine umfangreiche Literatur existiert (z. B. JÄCKLI 1948), sind nur bezüglich der heute aktiven Bewegungen nach SE in diesen Typ einzureihen; bezüglich der alten Hauptbewegung vom Kamm Bruchbühel—Lüschkopf—Tguna—Crest dil Col ins Rheintal ist die Nolla in einer Position wie der hintere Bretterwandbach zur Sackung Glunzerberg.

6. DEFINITIONEN

In dieser Arbeit wurden einige Begriffe verwendet, deren Inhalt nicht selbstverständlich ist:

1) Potentielle und effektive Teilbeweglichkeit:

(Vergl. KARL 1964, p. 125—127). Unter „potentieller Teilbeweglichkeit“ verstehe ich die im Gelände oder unter dem Mikroskop in ihrer relativen

Größe einschätzbaren und nur in ihrer Geometrie exakt angebbaren mechanisch wirksamen Merkmale eines Körpers wie Teilkörpergröße, Teilkörperform, Art der Kontaktflächen und Art der Zwischenmittel. Im allgemeinen werden wir die potentielle Teilbeweglichkeit daher auf eine bestimmte Größenordnung beziehen müssen. Für den Bereich der Felsmechanik hat MÜLLER 1958 versucht, diese potentielle Teilbeweglichkeit exakt zu fassen durch die Konstruktion der Wv-Diagramme.

Die „effektive Teilbeweglichkeit“ ist die bei konkreten Bewegungen tatsächlich zu beobachtende. Wie z. B. unter 3.8.31 beschrieben, können innerhalb potentiell einheitlich teilbeweglicher Bereiche durchaus verschiedene effektive Teilbeweglichkeiten auftreten. Es liegt der Schluß nahe, daß die effektive Teilbeweglichkeit aus der potentiellen Teilbeweglichkeit und dem konkreten Beanspruchungsplan resultiert.

2) Sackung und Gleitung:

(Vgl. ZISCHINSKY 1966). Mit diesen beiden Begriffen werden Hangbewegungen als im wesentlichen „bruchlos“ bzw. „brechend“ gekennzeichnet.

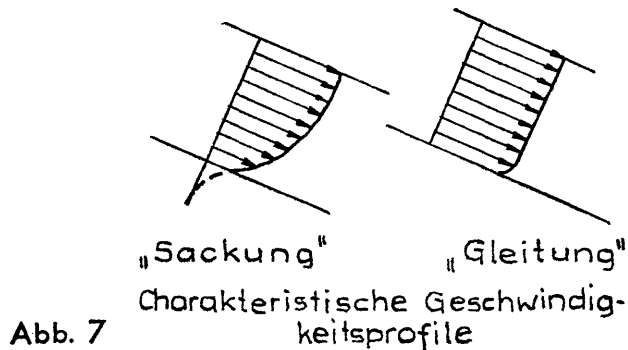


Abb. 7

Abb. 1: Matri i. O. — Bretterwandgraben-W Flanke, W über VP 1580. Die oben annähernd normal einfallenden Schichten (60° S) biegen in das N-Fallen der Hangbasis um. Im Niveau des Baches (etwa am unteren Bildrand, nicht sichtbar) biegen sie in derselben Weise zurück in das ungestörte S-Fallen. Dieses Bild macht den SANDER'schen Begriff der „Hangtektonik“ besonders anschaulich.

Abb. 2: Matri i. O. — Bretterwandgraben-W Flanke, Zone der extremen Durchbewegung vor der hintersten Gleitbahn. Die gegeneinander verdrehten Großbereiche sind intern weiterverformt durch Aufblättern, Zerbrechen und Verdrehen der einzelnen Gesteinslamellen.

Abb. 3: Tagbau Radenthein, Etage 21. Aufblättern (links) eines ursprünglich massigen Paketes von Glimmerschiefern (rechts) beim kontinuierlichen Verbiegen dieses Paketes im Zuge der Hangbewegungen. cf. Taf. 11, Fig. 3.



Abb. 1



Abb. 2



Abb. 3



Abb. 4



Abb. 5



Abb. 6

Sackung: Der Anteil der kontinuierlichen Deformation (kontinuierlich in der Größenordnung des verformten Körpers) ist groß im Verhältnis zu der diskontinuierlichen Bewegung. Diese Formulierung bezieht sich einerseits auf das Geschwindigkeitsprofil (im mittleren und tieferen Teil des Hanges) — wenn eine basale Gleitbahn ausgebildet ist, dann ist die Bewegung an ihr gering im Verhältnis zur Gesamtbewegung in diesem Profil (s. Abb. 7) — und andererseits auf die Verteilung dieses Geschwindigkeitsprofils im Hangprofil — der Abrißbereich (und nur dieser) einer Sackung hat durchaus die Charakteristika einer Gleitung (Taf. 13). Die absolute Größe der Geschwindigkeiten ist „gering“.

Gleitung: Im ganzen Hangprofil oder zumindest in seinem größten Teil ist der wesentliche Teil der Bewegung in einer basalen Gleitbahn konzentriert (s. Abb. 7) und kann einen Betrag erreichen, der in der Größenordnung der bewegten Masse liegt. Als Gleitbahnen gelten Bewegungszonen, deren normale Mächtigkeit in der Größenordnung der bewegten Masse unter der Beobachtungsgenauigkeit liegt. Die absolute Größe der Geschwindigkeit kann jeden Wert annehmen.

7. ZU DEN TAFELN

1) Diagrammbereiche (Taf. 12)

Matrei—Glanzerberg:

- M 1: Das normale Fallen der s außerhalb des gesackten Bereiches im W, N (Kalkglimmerschiefer bis Kalkphyllite (2.4.21, 2.9.2) und Phyllite).
 M 2: Das Rotieren der s in der E-Flanke der Bunzkögelemasse und am Glanzerberg als Folge der Hangtektonik (2.4.22, .4.23, 2.9.2)
 M 3: Die ungestörten Phyllite gehen im Streichen über in den gesackten Bereich (N, E Hinterburg) (2.5.2, 2.9.2)
 M 4: Die rotierten s der Phyllite am S-Fuß der Böschung (2.5.2, 2.9.2)
 M 5: Verdrehte s der Phyllite rund um den Falkenstein (2.5.2, 2.10.12)

Abb. 4: Millstätter Alm — NE Hang, Gesamtansicht. M = Millstätter Alm, K = Kaupelnock, KG = Kälbergrön, N = Nöringsattel, H = Hauptlager, Z = Zwischenlager, S = Spitzkofellager.

Abb. 5: Tagbau Radenthein, Etage 26. Die ursprünglich gerade Glimmerschiefer-Platte wurde zerbrochen zu einzelnen Teilkörpern. Aus den Relativbewegungen dieser starren Elemente resultiert die im großen gesehen stetige Verbiegung der ganzen Platte. cf. Taf. 11, Fig. 3

Abb. 6: Matrei i. O.—Glanzerberg—Bunzkögele. Gesamtansicht von SW. Die Abrisse in den Bergwiesen (oben Mitte) und das stufenweise Vordrängen in den Talraum (besiedelter Hang links) sind deutlich zu erkennen.

Radenthein—Millstätter Alm NE:

- R 1: Das normale Fallen der s am Hauptkamm zwischen Kaupelnock und Millstätter A. und auf den drei Nebenkämmen (3.5.1).
R 2: Durch die Hangtektonik rotiertes s am Hangfuß (3.5.2)
R 3: Aus R 2. Das Drehen der in s in der Tagbauböschung
(SE (•) → (o) → NW (v)). (3.5.22)

Tschagguns—Golmerhang:

- G 1: Das normale Fallen außerhalb der bewegten Masse
(S-Kamm, NW-Kamm) (4.4.).
G 2: Kaum verdrehte s vom südlichen Randbereich der bewegten Masse
(4.4.)
G 3: Verdrehte s innerhalb der bewegten Masse (4.4., 4.8.3.)

2) Luftbilder (Taf. 14)

Die beiden beiliegenden Luftbilder sind Ausschnitte aus den Bildern D 13265/6 des Waldstandsfluges 1954. Die Bildmittelpunkte der Originale (18×18 cm) sind markiert (+, ×), die Überlappung beträgt 70—80%. Die räumliche Betrachtung erfolgt freiäugig oder in jedem Stereoskop. Mit den Kreisen sind bezeichnet: Bunzkögele, Falkenstein, Glanz und Hinterburg (vergl. Taf. 8).

Literaturverzeichnis

- AMPFERER, O.: Rätikon und Montafon in der Schlußvereisung. — Jb. Geol. B. Anst., **86**, p. 151—175, 1936.
ANGEL, F., AWERZGER, A. & KUSCHINSKY, A.: Die Magnesitlagerstätte Millstätter Alpe bei Radenthein. — Carinthia II, **63/1**, p. 98—118, 1953.
AWERZGER, A. & ANGEL, F.: Die Magnesitlagerstätte auf der Millstätter Alpe bei Radenthein (Kärnten). — Radex-Rdsch., **1948**, p. 91—95, 1948.
CLAR, E.: Gebirgsbau und Geomechanik. — Geol. u. Bauwes., **25/2—3**, p. 186—190, 1960.
CLAR, E.: Gefüge und Verhalten von Felskörpern in geologischer Sicht. — Felsmech. u. Ing.Geol., **I/1**, p. 4—15, 1963.
CLAR, E. & WEISS, P.: Erfahrungen im Talzuschub des Magnesit-Bergbaues auf der Millstätter Alpe. — Berg- u. Hüttenm. Mh., **110**, 447—460, 1965.
CORNELIUS, H. P.: Unveröffentlichte Manuskripte. — Geol. B. Anst. Wien.

- CORNELIUS, H. P.: Aufnahmsbericht über Blatt Großglockner. — Verh. Geol. B. Anst., **1938**, p. 51—52, 1938.
- CORNELIUS, H. P. & CLAR, E.: Geologie des Großglocknergebietes (I. Teil) mit 1 Karte, 2 Tafeln, 89 Textfiguren. — Abh. Zweigstelle Wien Reichsstelle Bodenforsch. (G.B.A.), **XXV**, 1, 305 p., 1939.
- GERBER, E.: Über Bildung und Zerfall von Wänden. — Geographica Helvetica, **4**, p. 331—345, 1963.
- HAEFELI, R.: Eine Parallele zwischen der Eiskalotte Jungfraujoch und den großen Eisschildern der Arktis und Antarktis. — Geol. u. Bauwes., **26/4**, p. 19—213, 1961.
- JÄCKLI, H.: Die Bodenbewegungen im Hinterrhein-Tal und ihre bautechnischen Auswirkungen. — Schweiz. Bauztg., **66**, Nr. 37, 1948.
- LUCERNA, R.: Gletscher von Gmünd. — Mitt. Geogr. Ges. Wien, **76**, p. 261—281, 1933.
- KARL, F.: Anwendung der Gefügekunde in der Petrotektonik, I. — Tektonische H., **5**, Clausthal 1964.
- MIGNON, K.: Ergebnisse der geologischen Stollenaufnahme für das Lünserseewerk, Vorarlberg; Abschnitt Salonien—Latschau. — Jb. Geol. B. A., **105**, p. 49—64, 1962.
- MÜLLER, L.: Zur Darstellung geologischer Flächen in Bauplänen. — Geol. u. Bauwes., **20**, p. 6—10, 1953.
- MÜLLER, L.: Geomechanische Auswertung gefügekundlicher Details. — Geol. u. Bauwes., **24**, p. 4—21 1958.
- NYE, I. F.: The flow of glaciers and ice sheets as a problem in plasticity. Proc. roy. Soc., Ser. A., Vol. **207**, p. 554—572, 1951.
- NYE, I. F.: The mechanics of glacier flow — J. Glaciology, **2/12**, p. 82—93, 1952.
- PENCK, A. & BRÜCKNER, E.: Die Alpen im Eiszeitalter (I, II, III). — Leipzig (Chr. Herm. Tauchnitz) 1909.
- SENARCLENS-GRANCY, W.: Zur Gliederung eiszeitlicher und jüngerer Gletscherspuren in den Alpen zw. Venediger, Glockner und Pustertal. Mitt. Geol. Ges. Wien, **35**, p. 125—178, 1942.
- SENARCLENS-GRANCY, W.: Zur Glacialgeologie des Ötztales und seiner Umgebung. — Mitt. Geol. Ges. Wien, **49**, p. 257—314, 1956.
- ZISCHINSKY, U.: On the deformation of high slopes. — Sitz.-Ber. 1. Kongr. intern. Ges. Felsmechanik, **2**, 179—185, Lissabon 1966.
- ZISCHINSKY, U.: Über Bergzereissung und Talzuschub. — Geol. Rdsch., im Druck, 1967.

MATREI in Osttirol GLUNZERBERG

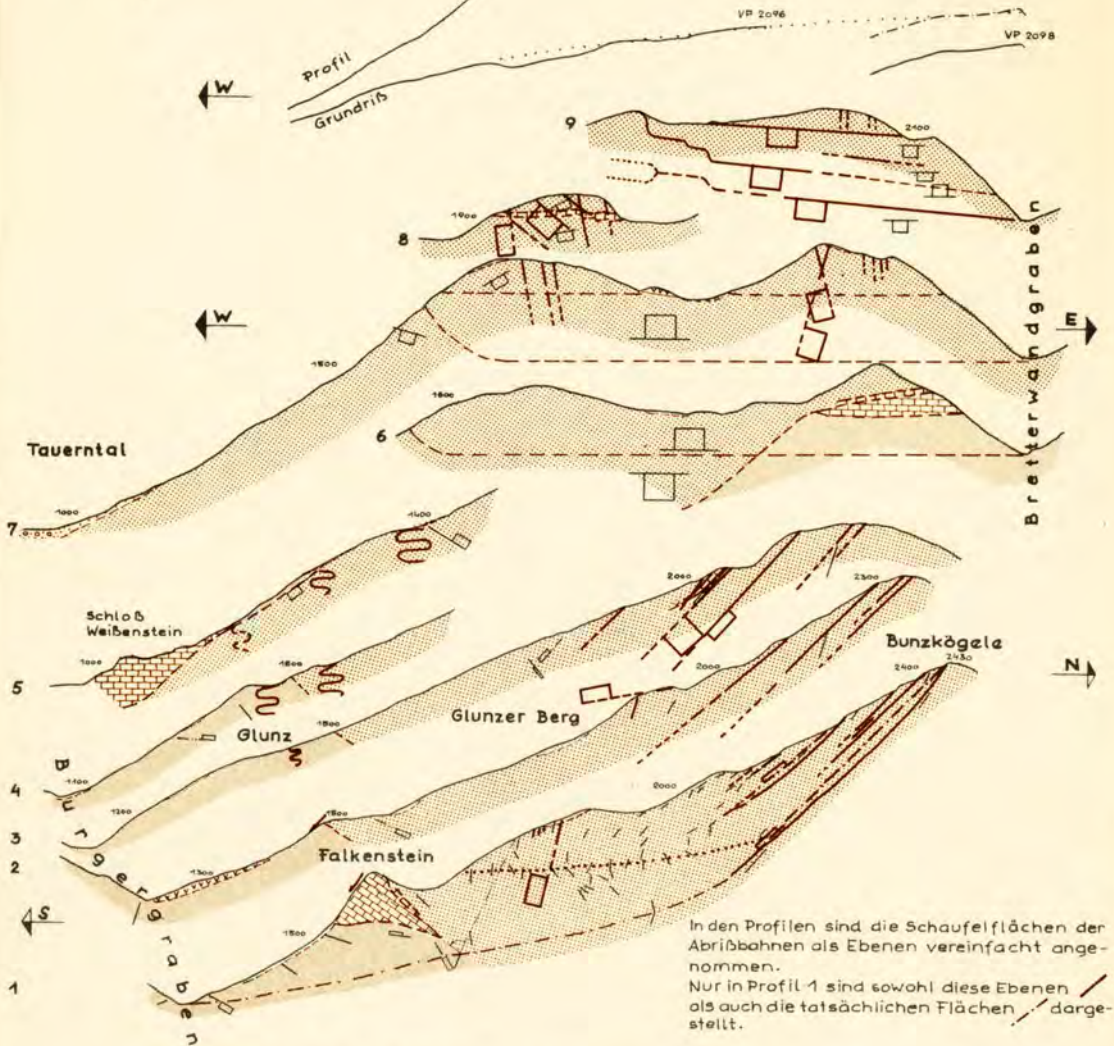
U. Zischinsky 1961, 1963

Maßstab 1:25 000

TAF. 8

VP 2096 VP 2098

Rekonstruktion des alten Grabens
in den Bergwiesen (2.3.2, 2.4.4.2)



In den Profilen sind die Schaufelflächen der Abrißbahnen als Ebenen vereinfacht angenommen.
Nur in Profil 1 sind sowohl diese Ebenen als auch die tatsächlichen Flächen dargestellt.

Legende

-  Kalkalmarschiefer bis Kalkphyllite
-  Phyllitserie
-  Dolomit
-  Serpentin
-  Moräne
-  Mächtige Böden
-  Schutt
-  Kalktuff
-  Ausstriche v. Bewegungsbahnen
-  Bewegungszone (i. Profil)
-  Grenzzone d. Bereiches der rotierten S
-  Streichen und Fallen der S, Fallen in 10°
-  Fallen d. a im Profil (Streichen etwa senkrecht zum Schnitt)
-  Der Verschnitt von Flächen mit der Profilebene wird durch die Verkürzung v. Quadraten dargestellt (L. FÖLLER, 1953)
-  Lage d. Dolomitlinse v. Falkenstein vor und nach d. Bewegung
-  Profilinien



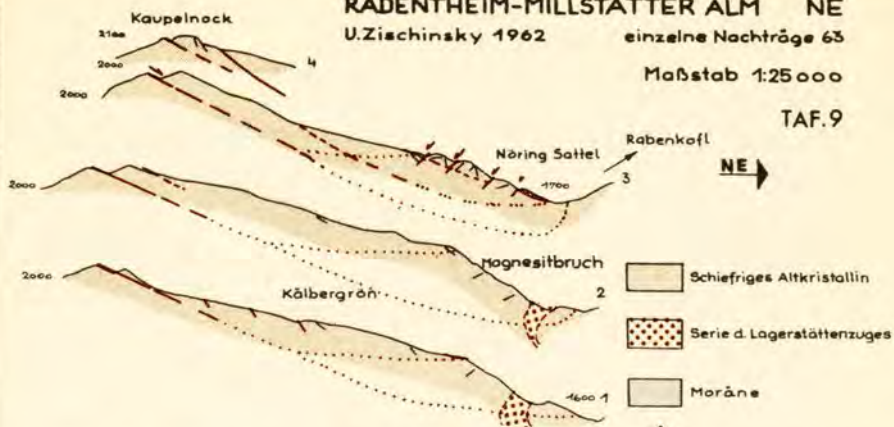
RADENTHEIM-MILLSTÄTTER ALM NE

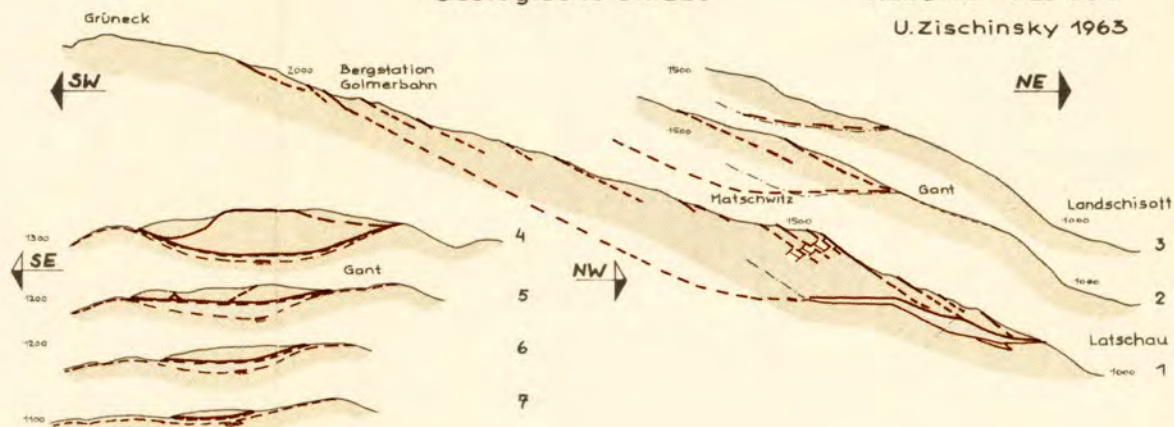
U. Ziachinsky 1962

einzelne Nachträge 63

Maßstab 1:25000

TAF. 9





Legende

-  Felskörper
-  Moräne
-  Ausstriche von Bewegungsbahnen
(Luftbildkartierung)
-  Streichen und Fallen des
Fallen in 10°
-  Profilinien
-  Die Isohypsen der alten Hangoberfläche
ober und unter d. Moräne

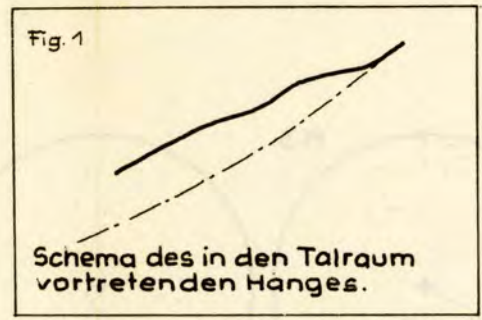
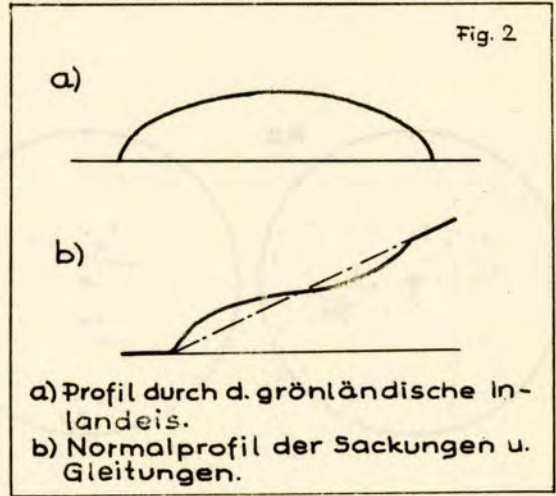
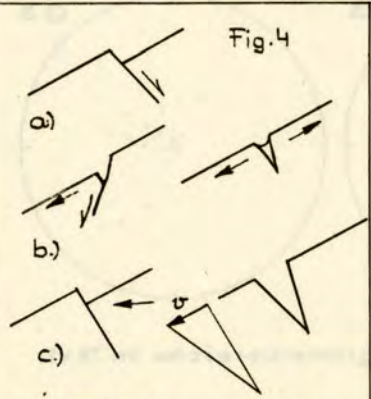
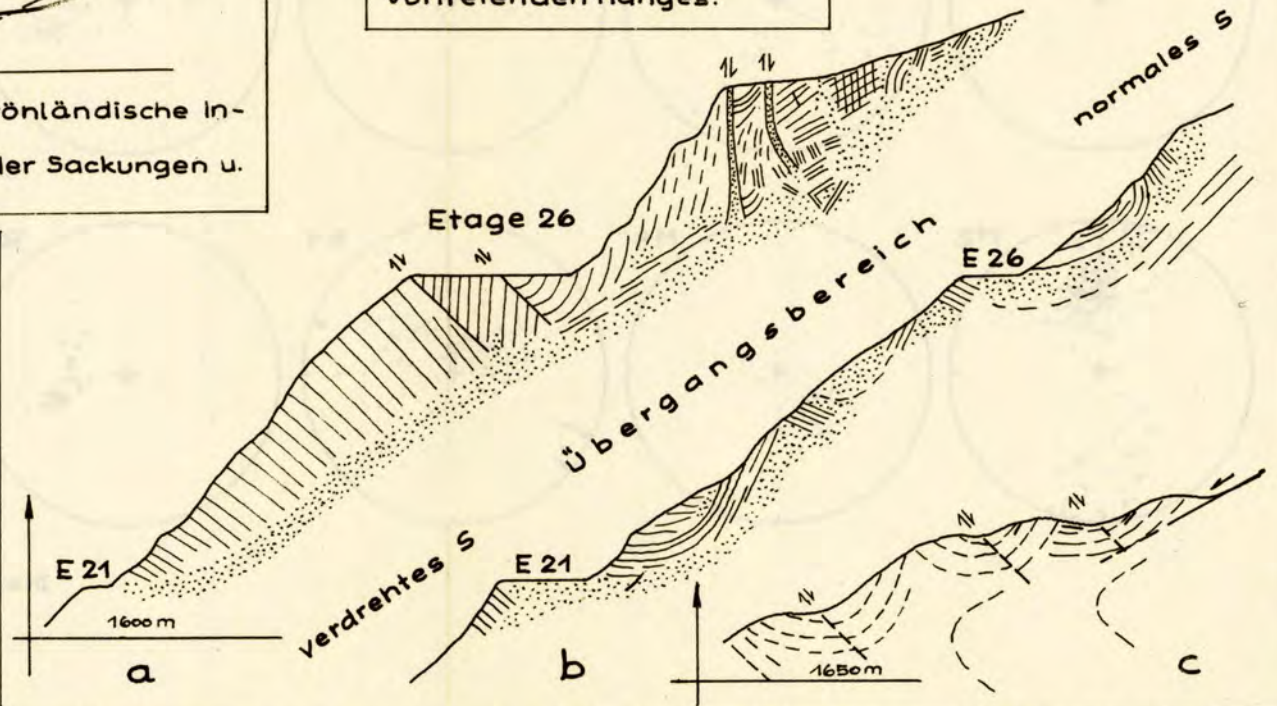


Fig. 3



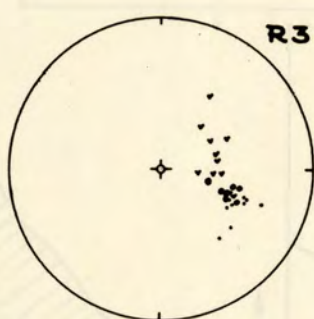
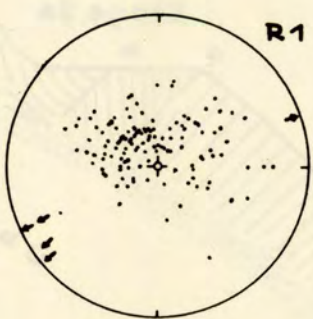
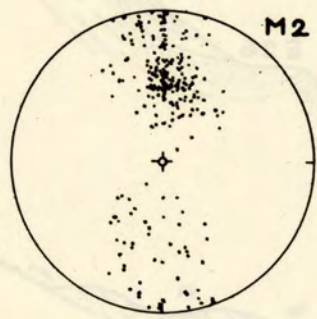
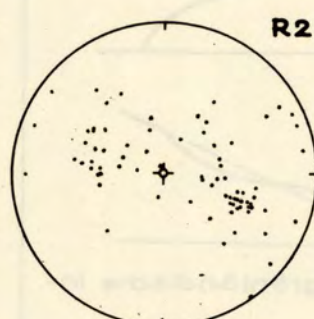
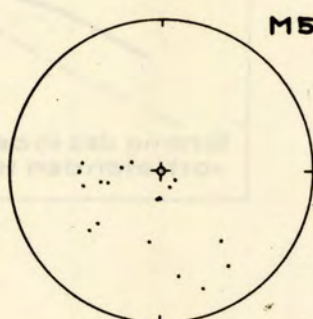
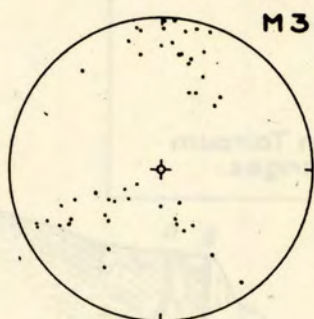
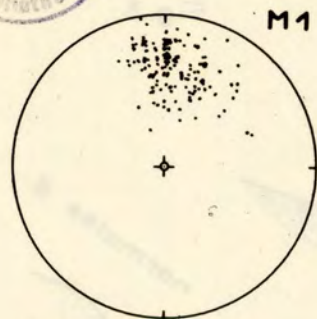
Entstehung der hangparallelen Rücken:

a) Scherung an bergwärts fallender Fläche

b) Zugbeanspruchung

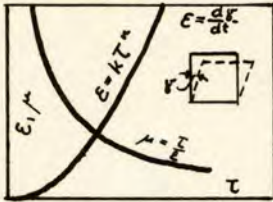
c) Schließen offener Spalten im Zuge der weiteren Bewegung.

Profilskizzen: ~ 1:000 vom Oberrand der Tagbauböschung im N (a,b) und aus der Mulde SW Nöringsattel (c)
das diskontinuierliche „umbiegen“ der S in der Nähe d. Oberfläche.



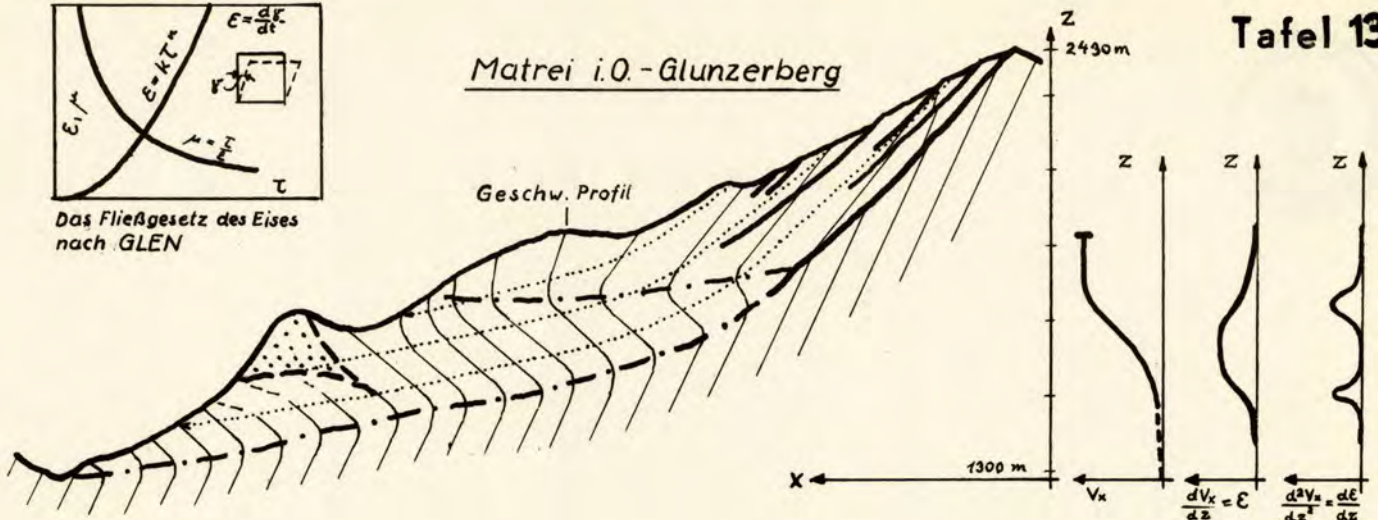
Diagrammbereiche im Text

TAFEL 12

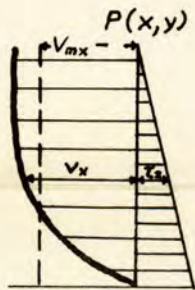
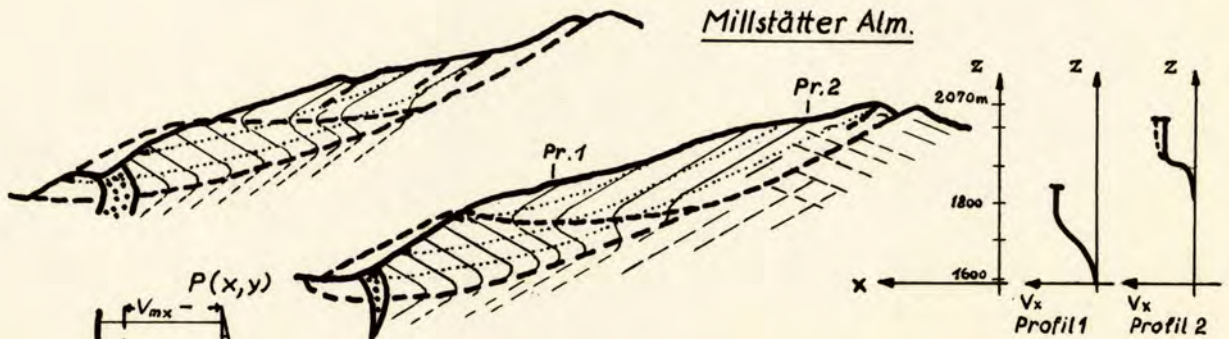


Das Fließgesetz des Eises nach GLEN

Matrei i.O. - Glunzerberg

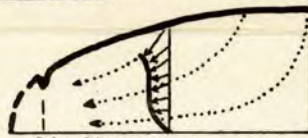


Millstätter Alm.



Geschwindigkeitsverteilung und Scherspannung

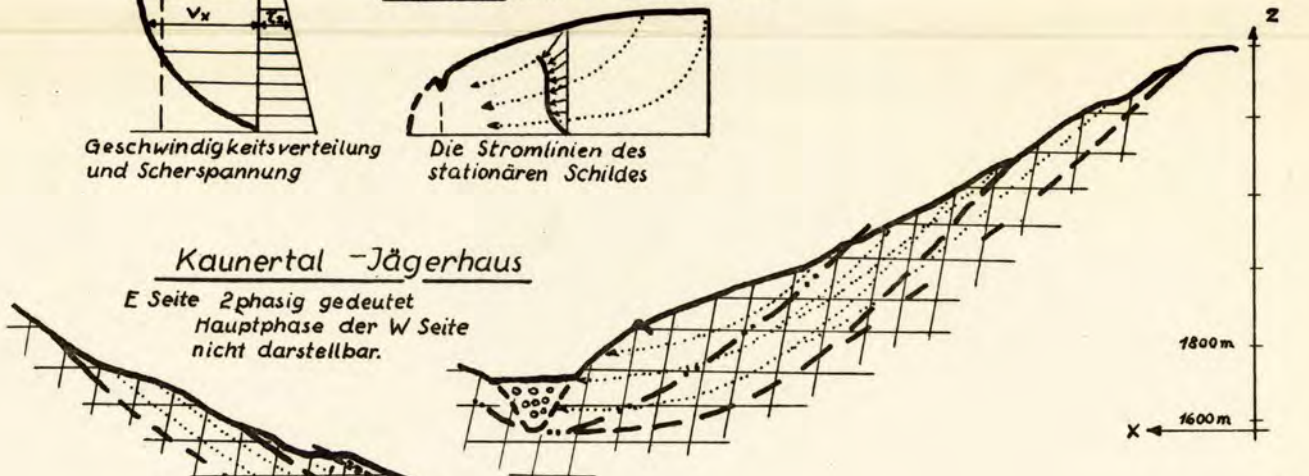
Eisschild nach R. HAEFELI 1961



Die Stromlinien des stationären Schildes

Kaunertal - Jägerhaus

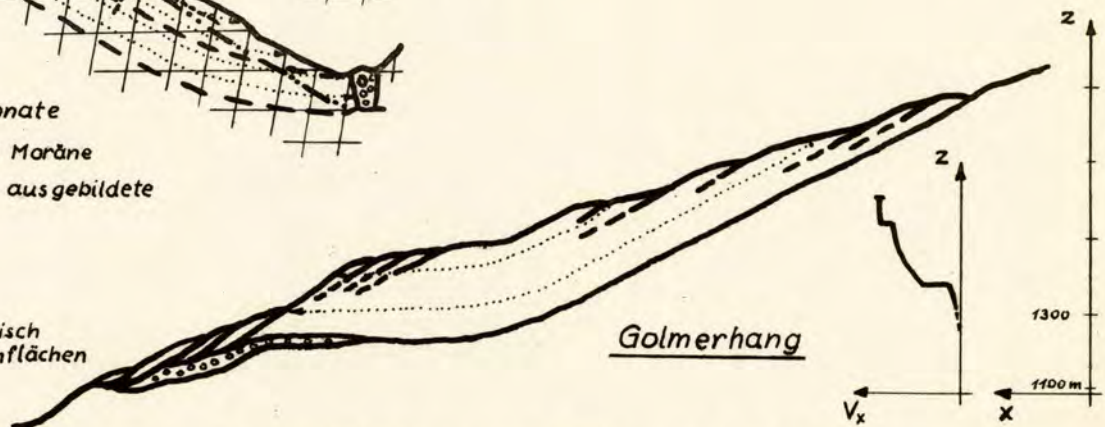
E Seite 2phasig gedeutet
Hauptphase der W Seite
nicht darstellbar.



Legende:

- Massive Karbonate
- Bachschutt und Moräne
- Potentielle und ausgebildete Gleitflächen
- Alte Talform
- Stromlinien
- Scharen mechanisch wirksamer Trennflächen

Golmerhang



Das Fließen von Fels und Eis.

Typische Profile durch Sackungen 1:20 000 und durch das grönländische Inlandeis



Taf. 14 b. Vervielfältigung mit Genehmigung des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen (Landesaufnahme) in Wien; Zl. L 60.842/67



Taf. 14 a.