

Bu 552 a

Ergebnisse der wissenschaftlichen Untersuchungen im Schweizerischen Nationalpark
Herausgegeben von der Kommission der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft
zur wissenschaftlichen Erforschung des Nationalparks

Résultats des recherches scientifiques au Parc National suisse
Publiés par la Commission de la Société Helvétique des Sciences Naturelles pour les études
scientifiques au Parc National

Band XI

65.

Erdströme als Formelemente
von Soliflukationsdecken
im Raum Munt Chavagl/Munt Buffalora
(Schweiz. Nationalpark)

Von

Gerhard Furrer, Fritz Bachmann, Peter Fitze

Druck Lüdin AG Liestal 1971

Kantonsbibliothek
Graubünden
CHUR

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Vorwort	190
1. Einleitung	191
2. Form, innerer Bau und Verbreitung von Erdströmen	193
2.1. Lage, Topographie und morphologische Gestaltung des Untersuchungsgebietes	193
2.2. Das Erscheinungsbild von Erdströmen	198
2.3. Oberflächliche Gestaltung eines Erdstromes (Planbeilage)	199
2.4. Vertikaler Aufbau von Erdströmen (Profilschnitte)	203
2.5. Verbreitung der Erdströme	203
3. Bodenkundliche Untersuchungsergebnisse	205
3.1. Die angewandten Untersuchungsmethoden	205
3.2. Die fossilen Bodenbildungen	206
3.3. Korngrößenverteilung	213
3.4. Petrographische Zusammensetzung des Materials	213
4. Solifluktion und deren situmetrische Merkmale	214
4.1. Begriff und Wesen der Solifluktion	214
4.2. Einregelung als inneres Formmerkmal und Situmetrie als Untersuchungsmethode	215
4.3. Situmetrische Untersuchungen auf der Fliessededecke am Munt Buffalora	217
4.3.1. Die situmetrischen Verhältnisse längs der eingemessenen Profillinie	217
4.3.2. Beziehung zwischen Einregelung und Hangneigung	220
4.4. Situmetrische Untersuchung des Erdstroms am Fuss des Munt Chavagl (engeres Arbeitsgebiet)	225
4.5. Situmetrische Untersuchung von Kleinformen auf Erdstromrücken	228
4.6. Die Einregelung in verschiedenen Tiefen des Erdstroms	230
4.7. Zusammenfassende Betrachtung der situmetrischen Untersuchungsergebnisse	233
4.7.1. Die charakteristische Einregelung von Solifluktionsmassen	234
4.7.2. Identifizierung von Oberflächenformen	235
4.7.3. Bestimmung des Solifluktionsbereichs in Abhängigkeit von der Hangneigung	235
4.7.4. Abgrenzung von sich überlagernden Solifluktionsdecken	236
5. Untersuchung gegenwärtiger Bewegungsvorgänge auf Erdstromrücken	236
5.1. Messtechnische Erfassung von solifluidalen Bewegungen	236
5.2. Bewegungsmessungen auf Erdstromrücken am Fuss des Munt Chavagl	237
5.3. Ergebnisse der Bewegungsmessung	239
5.4. Charakteristische Merkmale solifluidaler Bewegungen	246
6. Die Fliessgrenze von Solifluktionsmaterial	248
6.1. Die Untersuchungen im Feld	248
6.2. Darlegung der Untersuchungsergebnisse und Folgerungen	249
7. Morphometrische Untersuchungsergebnisse	254
7.1. Zweck und Durchführung der Untersuchungen	254
7.2. Untersuchungsergebnisse	254
8. Probleme und Möglichkeiten von pollenanalytischen Untersuchungen	258
9. Der Erdstrom als Spiegel der postglazialen Landschaftsentwicklung	261
Literaturverzeichnis	267

Vorwort

In den vergangenen zwanzig Jahren hatten sich verschiedene wissenschaftliche Untersuchungen im Gebiet des Schweizerischen Nationalparks mit Formen der subnivalen Höhenstufe beschäftigt: DOMARADZKI (1951) befasste sich mit Blockströmen, FURRER (1954) bearbeitete Soliflukationsformen und ZUBER (1968) wandte sich Strukturrasen zu. Erdströme als Formelemente von Soliflukationsdecken wurden dabei erstmals im Raum Munt Chavagl/Munt Buffalora beschrieben. Schon in den fünfziger Jahren fielen bei der Feldarbeit in Profilschnitten durch Erdströme humose Horizonte auf, welche als Oberflächen von früheren Soliflukationsdecken gedeutet wurden. Da derartige Horizonte Einblicke ins geomorphologische Geschehen der Spät- und Postglazialzeit versprachen, gaben sie die Veranlassung zu einer eingehenden Bearbeitung von Erdströmen.

Dank der grosszügigen Unterstützung durch die Kommission der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft zur wissenschaftlichen Erforschung des Nationalparks, für welche hier an erster Stelle der verbindlichste Dank ausgesprochen werden soll, konnten in den Jahren 1966–1969 aufwendige Feldarbeiten durchgeführt werden. Derselben Kommission gebührt ein weiterer Dank für die Publikation der Untersuchungsergebnisse.

Die Untersuchungen wurden von GERHARD FURRER geleitet, ausgenommen im Sommer 1967, als FRITZ BACHMANN diese Aufgabe übernahm. PETER FITZE befasste sich hauptsächlich mit den periodisch durchzuführenden Messungen. In verdankenswerter Weise stellten sich Studenten und Assistenten des Geographischen Institutes der Universität Zürich zur Verfügung, bei den Feldarbeiten mitzuhelfen, so Fräulein D. BRENNER und die Herren M. BOESCH, H. ELSASSER, G. KASPER, T. STRÜBY und R. FREUND. Mit der Verarbeitung der entnommenen Bodenproben in den Laboratorien des Geographischen Institutes der Universität Zürich befassten sich vor allem die Herren J. BÜHLER und K. GRAF. Für die graphische Bearbeitung und die Reinzeichnung der in vorliegender Publikation enthaltenen Textfiguren gebührt Herrn CH. HERRMANN, Kartograph, unsere Anerkennung.

Die weitgespannten Untersuchungen berührten verschiedene Nachbardisziplinen und verlangten teilweise spezielle Bearbeitung von Bodenproben. Wir waren deshalb auf Beratung durch Spezialisten und Diskussion hängiger Probleme mit Fachwissenschaftlern angewiesen. Alle angeknüpften Kontakte gestalteten sich erfreulich und positiv. Herrn Prof. BACH (ETH, Zürich) sind wir für die Herstellung von Dünnschliffen sehr verbunden, ebenso Herrn Prof. SEMMEL (Frankfurt) für die Beratung in bodenkundlichen Fragen. Herrn Prof. HANTKE (ETH, Zürich) danken wir für die Bereitschaft, Probleme dieser Arbeit zu diskutieren. Herrn Prof. WELTEN (Bern) und besonders Fräulein Dr. V. MARKGRAF (Bern), der wir eine pollenanalytische Untersuchung verdanken, gebührt unsere Anerkennung für die kritische Prüfung des pollenanalytischen Aspekts unserer Untersuchungen. Herrn Dr. M. A. GEYH (Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, Hannover) danken wir für die Vornahme einer C_{14} -Datierung. Schliesslich sei noch den Herren PATZELT (Innsbruck) und SCHLUSCHE (Wien) für ihre wertvollen Diskussionsbeiträge bestens gedankt.

Nicht unterlassen möchten wir, auch unserem verehrten Lehrer, Herrn Prof. Dr. H. BOESCH (Direktor des Geographischen Instituts der Universität Zürich), verbind-

lichsten Dank auszusprechen, denn er hat in uns das Interesse an geomorphologischen Arbeiten und auch an der weiteren Erforschung des Schweizerischen Nationalparks geweckt. Ihm sei diese Arbeit zum 60. Geburtstag gewidmet.

Zürich, im Oktober 1970

Die Verfasser

Adresse der Verfasser: Prof. Dr. GERHARD FURRER, PD Dr. FRITZ BACHMANN und Dr. PETER FITZE: Geographisches Institut, Universität Zürich, 8006 Zürich, Blümlisalpstrasse 10.

1. Einleitung

Im Bereich der subnivalen Höhenstufe erscheinen Hänge oft in auffälliger Weise gestaltet: Sie sind von einer Schuttmasse überdeckt, die sich talwärts in zungenartige Ausläufer auflöst. Diese Zungen bilden jedoch nicht immer eine einfache, lineare Begrenzung der Hangüberdeckung, sondern bestehen vielfach aus mehreren einander aufliegenden Formelementen. So besitzt die Schuttdecke gewissermassen einen Fransensaum aus mehreren Lagen, deren untere jeweils weiter hangabwärts reichen als die oberen. Die mehr oder weniger parallel zueinander verlaufenden Seitenränder und die Stirnregionen der Zungen heben sich durch Pflanzenbewuchs deutlich ab.

Diese Formen, welche dem Formenschatz der subnivalen Höhenstufe einzuordnen sind, wurden unseres Wissens im Schweizerischen Nationalpark erstmals beobachtet und beschrieben (FURRER, 1954). Zugleich erhielten sie die Bezeichnung Erdströme. Der Raum Munt Buffalora/Munt Chavagl mit seinen prachtvoll ausgebildeten Vertretern darf füglich als Typuslokalität für diese Form gelten.

Mit diesen Erdströmen beschäftigt sich die vorliegende Arbeit. Zunächst wird eine möglichst vollständige, exakte Erfassung des Erscheinungsbildes angestrebt. Dabei rückt ein besonders gut ausgebildeter und in mehrere Formelemente gegliederter Erdstrom als zentrales Untersuchungsobjekt in den Vordergrund, während je nach Bedarf entsprechende Formen in der engeren Umgebung in die Betrachtung einbezogen werden. Die Beschreibung erfährt eine Ergänzung durch die steingerechte Wiedergabe eines Teils der Erdstromoberfläche in der Planbeilage. Ein Sondiergraben, der bis ins Liegende des Erdstroms hinunterreicht, erschliesst den vertikalen Aufbau der Form.

Vor allem konzentriert sich die Untersuchung auf die systematische Erfassung der Formmerkmale nach den bewährten morphologischen Untersuchungsmethoden. Unmittelbar am Objekt selbst erfolgte die Feststellung der Einregelung (Situmetrie). Dann wurden verschiedene Bewegungsmessungen vorgenommen, um das gegenwärtige Verhalten des Materials, das die Form aufbaut, zu ermitteln. Schliesslich gelangten zahlreiche Boden- und Geröllproben zur Bearbeitung ins Laboratorium. Vorgenommen wurden Korngrössenanalysen, Bestimmung des organischen Kohlenstoffgehalts, morphometrische Untersuchungen, Bestimmung von Wassergehalt, Ausroll- und Fliessgrenze.

Die erzielten Untersuchungsergebnisse erlauben allgemeine Schlüsse, welche zur Abklärung wesentlicher Fragen beizutragen vermögen. Einerseits handelt es sich um Erkenntnisse, welche das morphologische Geschehen in der subnivalen Höhenstufe betreffen, im speziellen das Solifluktionsphänomen. Andererseits vermittelt der Untersuchungsbefund eindeutige Hinweise auf die Genese der Erdströme. Der Ablauf der Formbildung ist zwangsläufig mit den postglazialen Klimavariationen gekoppelt. Im vertikalen Aufbau des Erdstroms liegen Indizien für wärmere und kältere Perioden vor. So kann letztlich die eingehende Untersuchung des Erdstroms auch im Hinblick auf die Rekonstruktion des postglazialen Klimaablaufs, der Vegetationsgeschichte und der Landschaftsentwicklung wesentliche Bedeutung erlangen.

In den nachfolgenden Ausführungen wird zuerst das Untersuchungsgebiet in grossen Zügen umrissen. Hierauf folgt eine Formbeschreibung, die oberflächliche Gestaltung und den vertikalen Aufbau umfassend. Anschliessend wird dargelegt, was nach gegenwärtigem Beobachtungsstand über die Verbreitung von Erdströmen auszusagen ist.

Die anschliessenden Abschnitte befassen sich eingehend mit der Darlegung und Wertung der Untersuchungsergebnisse. Am Anfang stehen die eng mit dem vertikalen Aufbau der Form verknüpften bodenkundlichen Belange. Ein weiter Raum ist hierauf den situmetrischen Untersuchungen zugewiesen, welchen eine besondere Bedeutung zukommt. Über die rein formbezogene Untersuchung hinaus befasst sich der Abschnitt mit den Beziehungen zwischen Einregelung der Steinkomponenten und Hangneigung sowie Transportdistanz. Zugleich kann die im Profil erkannte und bodenkundlich belegbare Gliederung des Erdstroms auch situmetrisch nachgewiesen werden. Anschliessend wird auf die gegenwärtigen Bewegungsvorgänge eingetreten, und im nächstfolgenden Abschnitt gelangen die für Solifluktion massgebenden Bodeneigenschaften (Wassergehalt, Ausroll- und Fliessgrenze) zur Behandlung. Schliesslich wird ein pollenanalytisches Untersuchungsergebnis dargelegt.

In einer zusammenfassenden Übersicht über die Untersuchungsergebnisse, welche Hinweise auf die Genese der Erdströme bieten, erfolgt zum Schluss der Versuch, die gewonnenen Erkenntnisse chronologisch in den Rahmen der postglazialen Landschaftsentwicklung einzustufen. Dies führt einerseits zum Verständnis der Genese des Untersuchungsobjekts und deutet andererseits an, welche bedeutende Aussagekraft systematische Untersuchungen an Erdströmen erlangen können.

2. Form, innerer Bau und Verbreitung von Erdströmen

2.1. Lage, Topographie und morphologische Gestaltung des Untersuchungsgebietes

Die Erdströme, mit denen sich die vorliegende Arbeit eingehend befassen will, liegen im südöstlichen Teil des Schweizerischen Nationalparks, hart an der Parkgrenze (Fig. 1). In der Luftlinie knapp 3 km WSW des an der Ofenpassstrasse liegenden Wegerhauses (Stradin) erheben sich die Kuppe des Munt Chavagl (2542 m) und der Höhenrücken des Munt Buffalora (2437 m). Die süd- und ostexponierten Hänge des ersteren (Abb. 1) und die nach Norden ausgelegten Hangpartien der äussersten westlichen Kuppe des letzteren sind von auffällig zungenartig gegliederten Fließerdedecken überlagert. Aus dem in Figur 1 wiedergegebenen Ausschnitt (nach der Landeskarte der Schweiz, 1:25 000, Blatt 1239, Sta. Maria) geht die topographische Situation hervor. Die Lage der nachfolgend detailliert behandelten Erdströme ist darauf durch eine besondere Signatur hervorgehoben.

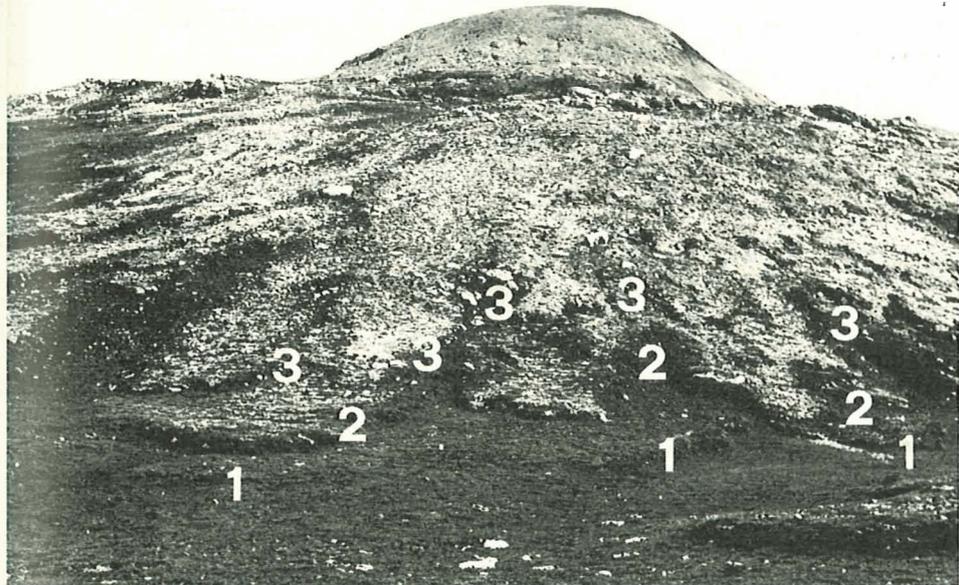
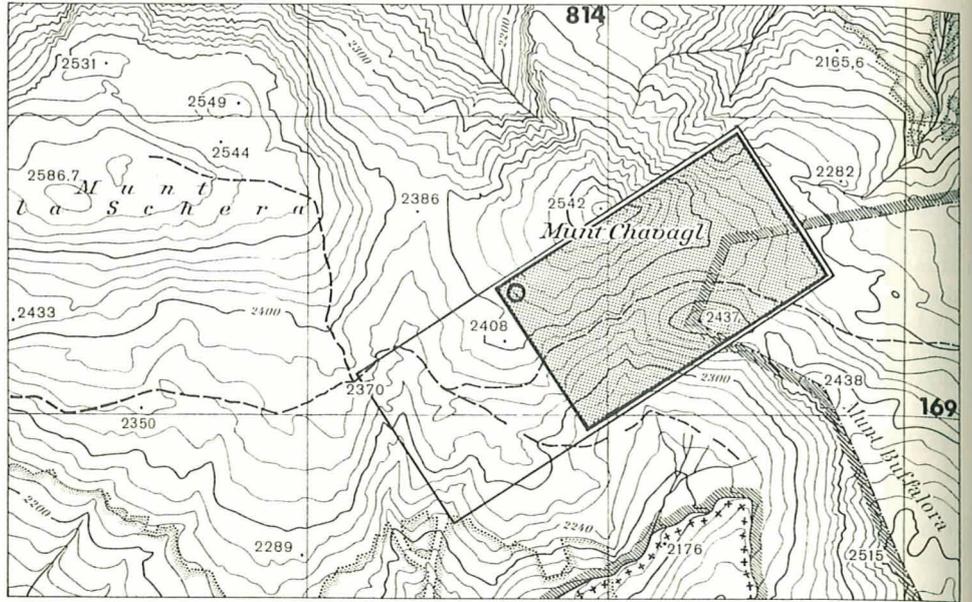


Abbildung 1. *Erdströme am Munt Chavagl* (Ansicht von SW)

Die den Hang überziehende Fließerdedecke gliedert sich gegen den Hangfuss hin in verschiedene Erdstromkomplexe auf. Durch die markanten Steilränder an Stirn und Seiten der zungenartigen Ausläufer heben sich mehrere Formgenerationen voneinander ab. Deren deutlich in Erscheinung tretende, sich hangaufwärts folgende Konturen sind durch die eingesetzten Zahlen bezeichnet, wobei 1 eine älteste, 2 eine mittlere und 3 eine jüngere Formgeneration markiert.

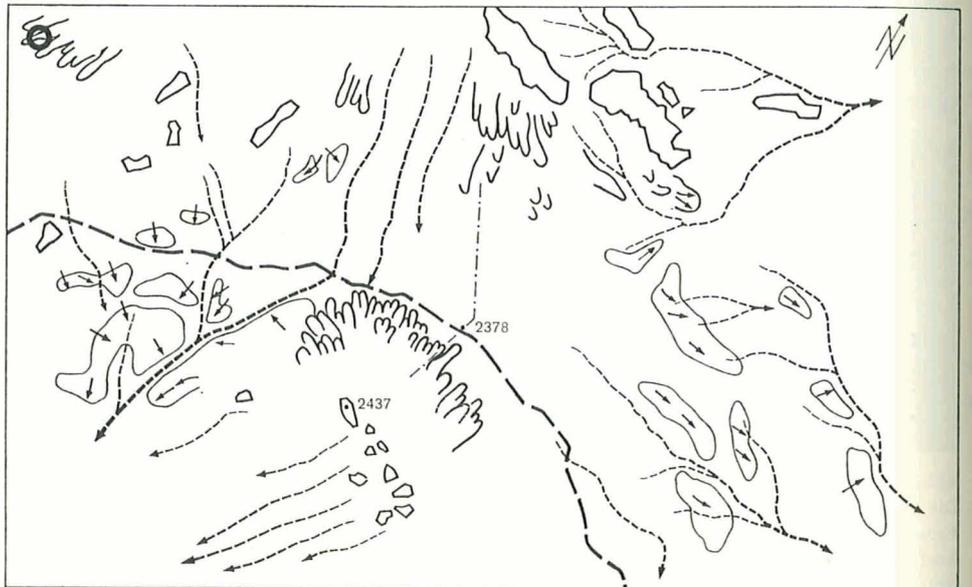
Diese Angaben beziehen sich aber nur auf das gegenwärtige oberflächliche Erscheinungsbild. Sie stehen in keinem unmittelbaren Zusammenhang mit der am untersuchten Beispiel eines Erdstroms festgestellten Gliederung in von fAh-Horizonten voneinander getrennte Fließerdedecken.



0 m 250 m 500 m 750 m

- +++ Landesgrenze
- ▨ Nationalparkgrenze
- Weg
- == Äquidistanz der Höhenkurven 20

- ▨ Ausschnitt der Luftbildinterpretation
- ▭ Flugbildstreifen
- Detailkartierungen
- ⋯ Waldränder

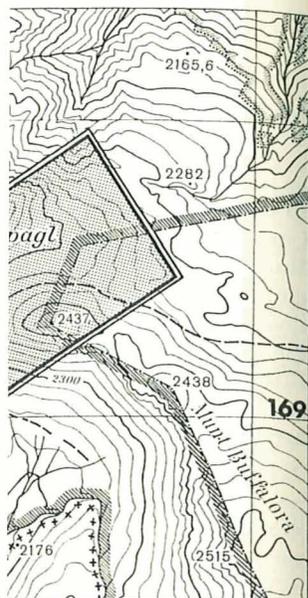


Luftbildinterpretation des obigen Ausschnittes

- Grenzzaun des Nationalparkes
- Weg
- ◇ Anstehendes

0 m 80 m 160 m 240 m

- ⋯ Erdströme
- Girlandenböden
- periodisch wasserführende Rinne
- Detailkartierungen



Luftbildinterpretation

an



0 m 240 m
 e
 iböden
 h wassertführende Rinne
 ierungen

Um die Oberflächengestaltung darzulegen, ist das engere Untersuchungsgebiet aus der Luft photographisch aufgenommen worden. In einer nach diesen Flugaufnahmen ermittelten Übersichtsskizze (gezeichnet von M. BOESCH) wird in Figur 1 der solifluidale Formenschatz wiedergegeben.

Die Darstellung enthält Lage und Ausdehnung von Flächen, auf denen das Anstehende zutage tritt, gibt die Verbreitung von Girlandenböden an, zeigt die scharf eingekerbten, periodisch wasserführenden Rinnen und hält schliesslich die an den bereits erwähnten Hangpartien auftretenden, in Erdströme gegliederten Fliesserdedecken am Munt Chavagl und am Munt Buffalora fest.

Auf Grund der zur Verfügung stehenden Flugaufnahmen liess sich eine detaillierte Isohypsenkarte von 2 m Äquidistanz erstellen, welche in Figur 2 wiedergegeben ist (hergestellt mittels Autograph Wild A 8 durch G. KASPER). Die Hänge der erwähnten Erhebungen sind durch zwei charakteristische Gestaltungselemente gekennzeichnet, die voneinander unterschieden werden müssen:

1. Die Fliesserdedecken, welche eine ansehnliche flächenhafte Ausdehnung erlangen und talabwärts in zungenförmige Erdströme ausfransen, von denen die jüngeren den älteren aufsitzen. Diese Fliesserdedecken sind solifluidaler Natur.

2. Die scharf eingeschnittenen, periodisch wasserführenden Hangrinnen, welche fluviale Formen darstellen. Den erosiv bedingten Einschnitten fügt sich in tieferen Hangpartien ein Akkumulationsbereich an. Das dort deponierte Material erweckt teilweise den Eindruck, es befinde sich nicht mehr in ungestörter Weise abgelagert, sondern habe durch solifluidale Vorgänge geringfügige Veränderungen erfahren. Allerdings ist es ausserordentlich schwierig, den mutmasslichen Anteil der Solifluktion zu beurteilen. In der vorliegenden Arbeit wird auf diese allfällig solifluidal überprägten, fluvialen Akkumulationsformen, die sich durch ihre Beziehung zu den Hangeinschnitten eindeutig von den Erdströmen unterscheiden, nicht eingetreten.

Der Ausschnitt aus einer Senkrechtaufnahme in Abbildung 2 zeigt die beiden Gestaltungselemente nebeneinander. Es wird daraus ersichtlich, wie sich Erdströme auf nicht durch Rinnen gegliederten Hangpartien entwickeln.

Die nachfolgenden Ausführungen befassen sich mit den Erdstrombildungen, welche auf den untern, südexponierten Hangpartien des Munt Chavagl in prachtvoller Ausbildung vorliegen. Für die Detailuntersuchung wurde ein Ausschnitt gewählt, der sich durch besonders klare Gliederung in mehrere einander aufsitzende und durch ausgeprägte Steilränder gegeneinander abgehobene Erdströme auszeichnet.

Figur 1
 Topographie und Oberflächengestaltung des Untersuchungsgebietes. Oben: Topographische Karte (nach Landeskarte der Schweiz, 1:25 000, umgezeichnet). Unten: Morphologische Übersichtsskizze (entworfen mit Hilfe von Luftbildern von M. BOESCH).

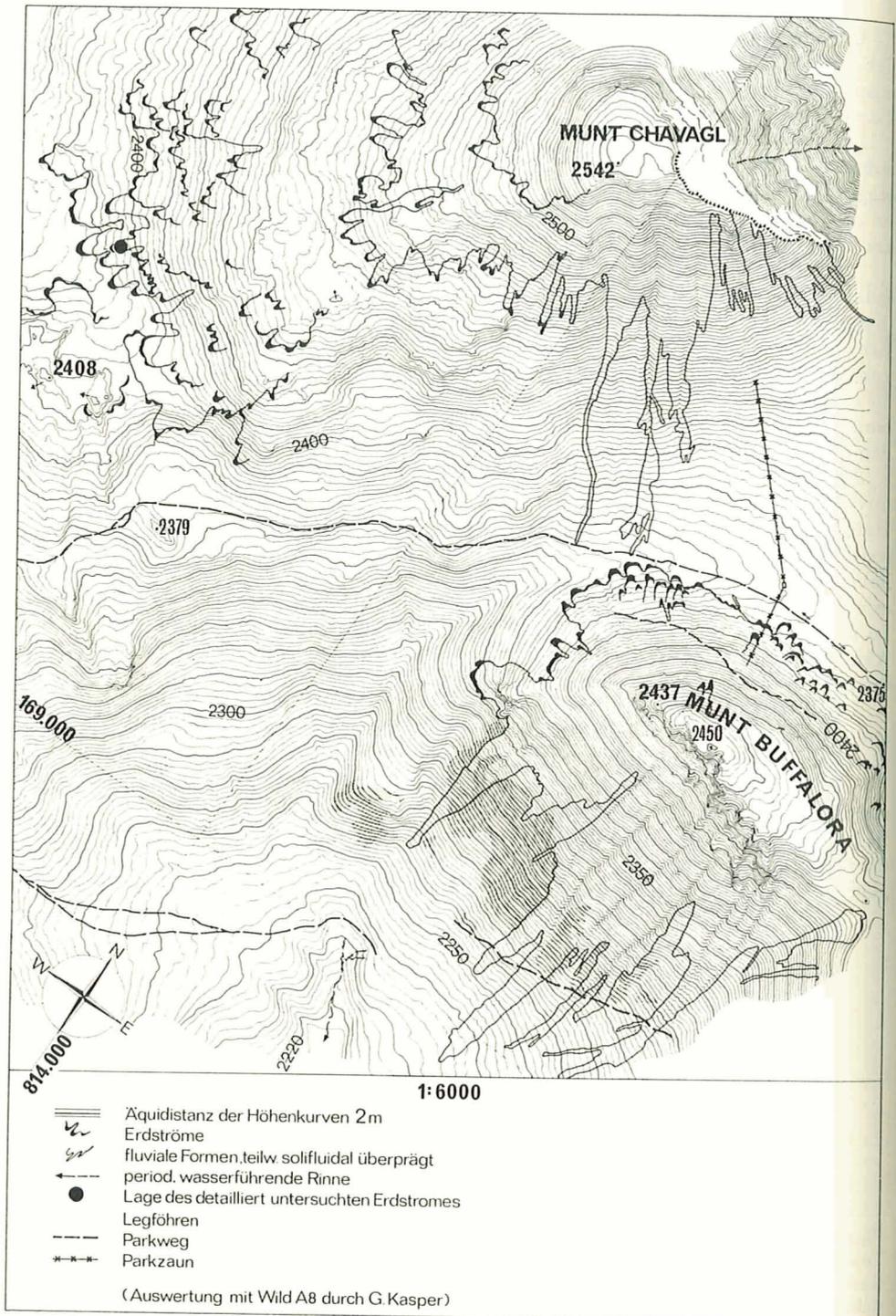




Abbildung 2. Flugbild des Munt Buffalora

Am Hangfuss links (Ziffer 1) sind schön ausgeprägte Erdströme zu erkennen, bestehend aus einander aufsitzenden Einzelformen. Der Abhang rechts wird durch periodisch wasserführende Rinnen gegliedert, in deren Akkumulationsbereichen (Ziffer 2) solifluidale Materialverlagerungen möglich sein könnten.

Parkweg und -zaun können zur Orientierung der Aufnahme dienen (vgl. Fig. 2). (Aufnahme der Eidg. Vermessungsdirektion.)

Figur 2

Topographie des Untersuchungsgebiets und Verbreitung von Erdströmen und fluvialen, teilweise solifluidal überprägten Akkumulationsformen.

2.2. Das Erscheinungsbild von Erdströmen

Das einen Hang oder eine Hangpartie überziehende Solifluktionsmaterial bildet in seiner Gesamtheit eine Fliesserdedecke. Diese steht in keinem Zusammenhang mit fluvialen Formen. Sie bildet sich unmittelbar aus anfallendem Verwitterungsschutt. Fliesserdedecken setzen meist an der Wasserscheide an mit anfänglich geringer, hangabwärts aber rasch zunehmender Mächtigkeit. Wo aber das Anstehende in Form von ausgeprägten Felsbändern zutage tritt, befindet sich die Bildungszone am Fuss solcher Geländeabsätze, wo niederbrechendes Verwitterungsmaterial sich sammelt und hangabwärts zu fließen beginnt. Bei der hier untersuchten Fliesserdedecke lässt sich der Ursprung nicht eindeutig feststellen.

Charakteristisch ist die hangabwärts erfolgende Auflösung der Fliesserdedecke in zungenförmige Ausläufer, welche als Erdströme bezeichnet werden (FURRER, 1954). Diese erreichen Längen von einigen Metern bis zu mehreren Dekametern. Die mehr oder weniger flache, gelegentlich leicht aufgewölbte Oberfläche – der Erdstromrücken – wird im allgemeinen von parallel zueinander verlaufenden Steilrändern begrenzt, die markant nach aussen abfallen. Von einem ausgeprägten Steilrand werden auch die Stirnregionen eingerahmt. Der stufenförmige Rand eines Erdstroms erreicht in der Stirnregion etwa Kniehöhe; die seitlichen Steilränder verlieren hangaufwärts (entgegengesetzt zur Fließrichtung) allmählich ihre Prägnanz. Der Erdstromrücken geht in der Wurzelregion in die ungliederte Fliesserdedecke über, wie am Munt Buffalora zum Ausdruck kommt. Am Munt Chavagl hingegen weist die Fliesserdedecke nicht eine derart einheitliche Ausbildung auf wie am Munt Buffalora, sondern zeigt auf wesentlich ausgedehnteren Hangflächen eine bedeutend reichhaltigere Gliederung. Deshalb ist der Zusammenhang zwischen der Wurzelregion der einzelnen Erdströme und den höherliegenden, ungliederten Teilen der Fliesserdedecke nicht in jedem Fall ohne weiteres ersichtlich (Fig. 2).

Im horizontalen und vertikalen Aufbau weisen Erdstromkomplexe vielfach eine charakteristische Gliederung in einzelne Formelemente auf, indem verschiedene Einzelformen einander aufsitzen. Ältere Erdströme, die sich offenbar auf der prägenetischen (vor dem Einsetzen der solifluidalen Vorgänge) Hangfläche gebildet haben, sind von jüngeren Erdströmen überlagert, welche den ersten Erdstromrücken oft in seiner ganzen Breite überdecken, hingegen nicht in seiner gesamten Längserstreckung. Die Stirnregion des älteren Erdstroms liegt frei, diejenige des jüngeren hebt sich hangaufwärts in kurzer Distanz (einige Dezimeter bis einige Meter) mit wiederum markantem Steilrand vom älteren Erdstromrücken ab.

Wie aus Abbildung 1 ersichtlich ist (siehe Markierungen), liegen die Erdströme in mehreren «Etagen» übereinander. Im Längsprofil äussert sich dieser Aufbau in einer ausgeprägten Stufung (Fig. 7). Die Korrelation der auf gleichen Etagen liegenden Erdströme führt zur Zusammenfassung von einzelnen Formelementen in Formgenerationen von verschiedenem Alter (je höher liegend, desto jünger). Drei solcher Formgenerationen lassen sich auf der Ansicht der von Erdströmen überflossenen Hangpartie des Munt Chavagl ohne Schwierigkeiten auseinanderhalten. Sie sind in Abbildung 1 markiert. Die Detailuntersuchung eines Profilschnittes lässt den Schluss auf fünf verschiedenaltige Fließerdecken und deren zugehörige Erdströme zu (Seite 203).

Im Bereich der in dieser Arbeit behandelten Erdströme ist zusammenhängender Vegetationsbewuchs vorwiegend auf die seitlichen Ränder und Stirnregionen sowie allenfalls auf randnahe Rücken zonen beschränkt. Nur die Rückenflächen der am tiefsten liegenden, ältesten Erdstromstirnen können eine mehr oder weniger zusammenhängende Vegetation aufweisen. Auf den Rückenflächen der jüngeren Ströme hingegen liegen

Schutt und Steine (Abb. 1 und Planbeilage). Die Erdstromrücken tragen «nur kleine Vegetationskomplexe mit initialem Polsterseggenrasen». Die Pflanzenpolster «werden in dieser exponierten Rückenlage zudem durch Wind und Schneegleiten stark beansprucht. Tonsurierte Carex-firma-Polster und entblösste Wurzelsysteme der Spaliersträucher weisen darauf hin» (ZUBER, 1968, p. 117 ff. Alle Bemerkungen zur Vegetation beziehen sich auf diesen Autor.).

Der Rasen ausserhalb der Erdstromstirnen auf den tiefer und zwischen den Zungen liegender Flächen ist gut geschlossen und enthält oft feuchtigkeitsliebende Arten. Solche wurzeln auch auf der Stirnbasis, der feuchtesten Stelle der Erdströme. Im Sommer rinnt dort oft Wasser aus, das viel Feinmaterial mit sich führt und dieses vor der Erdstromstirn ablagert.

So bilden also die Erdströme zungenförmige Ausläufer von Fliesserdedecken. Sie sind seitlich und in ihren Stirnregionen von Steilrändern begrenzt. Die Gliederung von Erdstromkomplexen in verschiedenartige, einander aufsitzende Einzelformen erlaubt die Unterscheidung von Formgenerationen. Geschlossene Vegetation weisen nur die Steilränder und randnahen Zonen auf, während die Erdstromrücken meist nur inselartige Vegetationskomplexe tragen.

2.3. Oberflächliche Gestaltung eines Erdstroms (Planbeilage)

Ein gut ausgebildeter und differenziert gestalteter Ausschnitt aus dem ausgefrachten untern Teil der vom Munt Chavagl niederreichenden Solifluktsdecke ist in der Planbeilage detailliert wiedergegeben. Der Plan entstand auf folgende Weise:

Zunächst erfolgte die Auslegung eines Quadratnetzes mit der Maschenweite von 50 cm. Hierauf wurde jedes Quadrat in Aufsicht photographiert. Die einzelnen Aufnahmen, in bestimmtem Massstab auf Papier kopiert, boten die Grundlage für die Planzeichnung. Die bei der angewandten Aufnahmetechnik unvermeidlichen Verzerrungen erfuhren bei der Ausgestaltung die notwendige Korrektur. Der Plan stellt also nicht eine Projektion der Erdstromoberfläche auf eine Horizontalebene dar, sondern eine Umklappung. Er vermittelt somit eine Abwicklung der wirklichen Oberfläche.

Die Höhenlage der Eckpunkte sämtlicher Quadrate wurde bezüglich eines frei festgesetzten Nullpunktes mittels Nivelliergerät eingemessen. Auf Grund der erhaltenen Daten liessen sich Höhenlinien einzeichnen. Gewählt wurde eine Äquidistanz von 10 cm. Die in der Planbeilage angegebenen Isohypsen geben die Böschungsverhältnisse wieder.

Aus der Planbeilage erhellt die Gliederung des ausgewählten Abschnitts eines Erdstroms in verschiedene zungenartige Formelemente. Es kommt zum Ausdruck, wie die oberen (jüngeren) Formelemente die unteren (älteren) von der Wurzelpartie her überfließen, wobei aber die Stirnregionen der tiefer liegenden Formelemente unbedeckt bleiben. Deutlich wird auch die Verteilung der Vegetation. Die Steilränder zu beiden Seiten und an der Stirn der einzelnen Erdströme sind mit geschlossenem Pflanzenwuchs bestanden. Demgegenüber bleiben die Erdstromrücken weitgehend vegetationsfrei. Es bestehen höchstens inselartige, kleine Vegetationskomplexe.

Die Erdstromrücken sind mit Feinschutt und Detritus, Steinchen mit grösstem Durchmesser von einigen Millimetern bis zu Blöcken mit solchem von mehreren Dezimetern umfassend, überdeckt. Die Anordnung dieses Trümmermaterials ist keine zufällige. Auf geneigten Flächen bilden sich – um so ausgeprägter, je grösser die Böschung – streifenartige, lineare Anhäufungen grösserer Partikel aus, die untereinander durch schwächere Kommissuren in Verbindung stehen können. Auch sind vielfach kleine Fliesszungen zu beobachten. Schwach geneigte oder annähernd horizontale Flächen-

stücke zeigen stellenweise eine Musterung, die an Steinringe erinnert. Der Durchmesser solcher geschlossener Formen bleibt allerdings in der Regel unter 10 cm. Auffallend ist ferner die Stauwirkung grösserer Steinblöcke. An deren hangwärtiger Seite sammelt sich feineres Trümmersmaterial, während links und rechts des stauenden Blockes streifenartige Fließstrukturen hangabwärts der Falllinie folgen. Der von der gegenwärtigen Solifluktion nicht zu bewältigende Widerstand wird also regelrecht umflossen.

Der oberflächliche Aspekt des Erdstromrückens zeigt somit, dass offenbar einer solifluidalen Grossform als sekundäre Bildungen Kleinformen des solifluidalen Formenschatzes aufsitzen.

Während auf vegetationslosen Erdstromrückens die Solifluktion in ungebundener Weise erfolgen kann, treten auf bewachsenen Rückenflächen Formen der gebundenen Solifluktion als sekundäre Bildungen auf. So liegen dem tiefsten, von der Planaufnahme nicht mehr erfassten Erdstromrückens im Bereiche des hier behandelten Ausschnittes aus der Fließerdedecke unverkennbare Girlanden auf. Dieser nur schwach geneigte und in bezug auf rezente Solifluktion wohl weitgehend inaktivierte Erdstromrückens ist mehr oder weniger zusammenhängend von Pflanzen überwuchert. Vegetationsfrei erscheinen aber grösstenteils die Girlandenrücken.



Abbildung 3. *Girlanden*

Eine dichte Vergesellschaftung dieser Formen befindet sich oberhalb des Parkweges etwa zwischen Munt Buffalora und Munt Chavagl. Der Hang ist gegen den Betrachter hin geneigt. Ganz klar unterscheiden sich die bewachsenen Stirnen von den vegetationsfreien Rücken. Als Grössenangabe diene der im Vordergrund ausgelegte Doppelmeter.

ge erinnert. Der Durchmesser unter 10 cm. Auffallend ist hangwärtiger Seite sammelt des stauenden Blockes streifen. Der von der gegenwärtigen regelrecht umflossen.

sonit, dass offenbar einer Kleinformen des solifluidalen

solifluktion in ungebundener en Formen der gebundenen fsten, von der Planaufnahme er behandelten Ausschnittes Dieser nur schwach geneigte aktivierte Erdstromrücken ist erwuchert. Vegetationsfrei er-



b des Parkweges etwa zwischen rachter hin geneigt. Ganz klar en Rücken. Als Grössenangabe

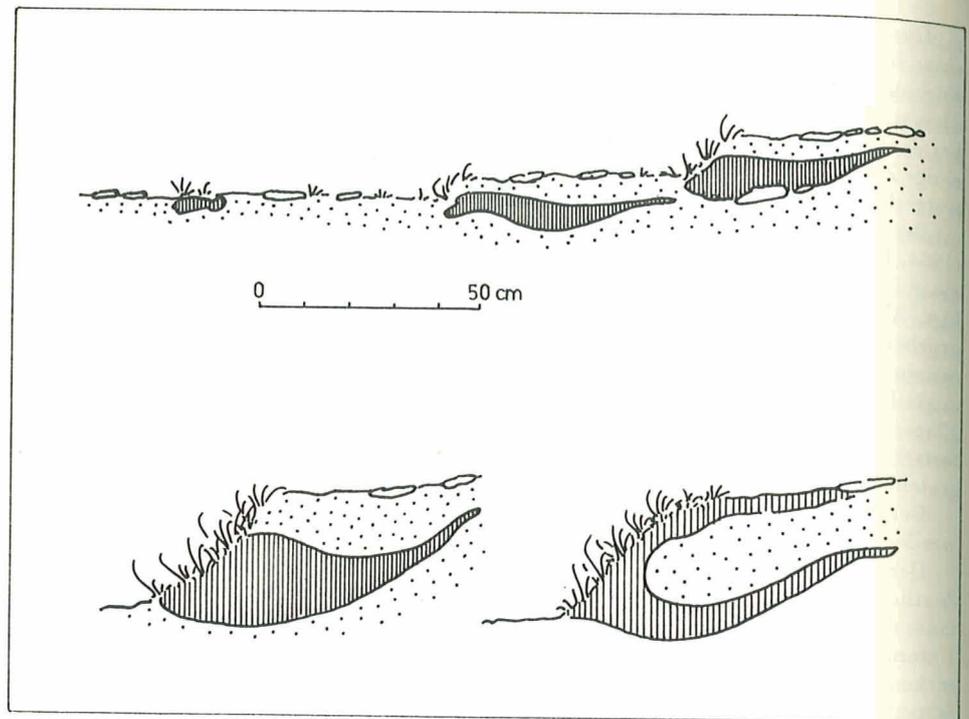
Durch einen fallinientreuen Schnitt, wiedergegeben in Figur 3, liessen sich drei einander hangaufwärts folgende Girlanden erschliessen. Einer sich durch dunklere Färbung abhebenden tieferen Fliesserdemasse liegt eine heller gefärbte auf. In dieser oberen Masse befinden sich die Girlanden. Auffallend sind drei braune Humuslinsen¹, die bei der untersten und obersten Girlande unmittelbar an der Basis, bei der mittleren einige Zentimeter unter der Oberfläche ansetzen und sich bis gegen 50 cm hangaufwärts erstrecken. Ihr oberes Ende lässt ein deutliches Auskeilen erkennen.

Der vorliegende Befund deckt sich weitgehend mit den Beobachtungen von FURRER (1954, Fig. 2, p. 247; 1965a, Fig. 34 links oben). Er stimmt aber nicht mit dem Aufbau einer Rasenstufe im schottischen Hochland überein, den KELLETAT (1970, Fig. 3) darlegt. Auch die von BOESCH (1969, Fig. 4) und FURRER (1969, Fig. 16, p. 30) wiedergegebenen Girlanden entsprechen dem von KELLETAT beobachteten Typ. Letztere weisen nicht eine an der Girlandenstirn ansetzende Humuslinie auf, die hangaufwärts auskeilt, sondern zeigen einen tieferliegenden (internen) «Humushorizont», der von Fliesserde überdeckt wird, sich aber über die Girlandenstirn auf den Girlandenrücken fortsetzt. Die beiden verschiedenartigen Profile sind einander in Figur 3 gegenübergestellt.

Der Vergleich der beiden Profile lenkt auf ein Problem hin, das kurz angedeutet werden soll:

Der Girlandentyp, welcher von KELLETAT und BOESCH beobachtet worden ist, weist deutliche Anzeichen von Überwälzung auf. Der Humusüberzug der Girlandenstirn muss durch solifluidale Bewegungen niedergedrückt und von hangabwärts fließendem Material überdeckt worden sein, worauf an der Girlandenbasis und auf den Girlandenrücken die Humusbildung wieder einsetzte. Auf solche Wälzbewegungen weist auch SCHMID (1955, p. 124) hin, wenn er bemerkt, dass durch die grössere Fließgeschwindigkeit der oberen Lagen schliesslich eine wälzende Bewegung zustande komme, welche die Vegetation an der Stirn des Solifluktionsstroms überfahre. Die Girlanden auf dem Erdstromrücken am Fuss des Munt Chavagl zeigen indessen kaum Anhaltspunkte für derartige Überwälzung. ZUBER (1968, p. 153) stellt klar, dass er bei keiner der von ihm untersuchten Girlanden eine inverse Lage der Vegetation beobachtet hätte, wie sie sich bei überwälzender Bewegung einstellen müsste. Er versucht daher, die Entstehung einer nach vorn an Mächtigkeit zunehmenden «Humusschicht» folgendermassen zu erklären: Das initiale Vegetationsstadium bewirkt zunächst eine Stauung von hangabwärts verfrachtetem Feinmaterial zu girlandenförmigen Wülsten, auf denen sich mit der Zeit Pflanzen von grösserer Wuchsform ansiedeln. Während die Feinerde sich hangabwärts bewegt und die Stirnvegetation zudeckt, wachsen die Pflanzen mit zunehmender Aufschüttung weiter talabwärts. Da nun dieses Abwärtsachsen mit Grössenwachstum der Pflanzen verbunden ist und die Girlandenstirn sich nicht nur talwärts verschiebt, sondern sich auch seitwärts ausweitet, werden die anfallenden Humusmengen zunehmend beträchtlicher. Erosion im obern und Akkumulation im untern Abschnitt bewirken Verflachung des Girlandenrückens und Verstärkung des Stirnabfalls. Damit werden nach ZUBER (1968) die für die Girlandengenese verantwortlichen Bewegungen vorwiegend durch Vorgänge bedingt, die sich an der Oberfläche eines Girlandenbodens abspielen. Der Beobachtungsbefund am Munt Chavagl scheint die Auffassung von ZUBER zu bestätigen. Doch muss offen gelassen werden, ob nicht Bewegungsvorgänge, welche nach andern Prinzipien erfolgen, zu Überwälzungen führen

¹ Diese Humuslinsen haben mit den auf Seite 203 erwähnten fAh-Horizonten, welche einzelne Solifluktionsphasen voneinander trennen, nichts zu tun. Sie gehören lediglich den Girlanden an, die als Kleinformen den Grossformen aufsitzen.

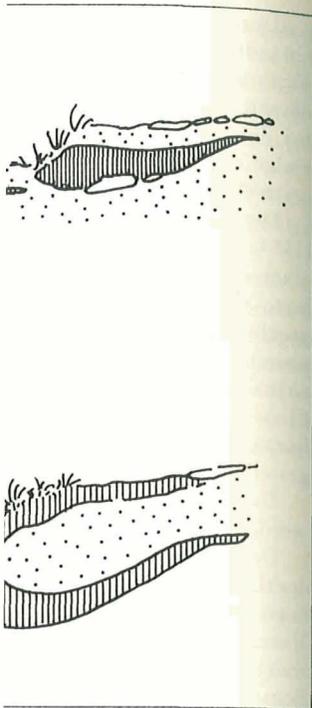


Figur 3
Girlanden auf Solifluktsdecken.

Die obere Skizze gibt einen fallinientreuen Schnitt durch drei Girlanden auf einem Erdstromrücken am Fuss des Munt Chavagl wieder. Durch Schraffur sind die Humuslinsen hervorgehoben. Unten sind zwei Girlandentypen einander gegenübergestellt: Links ohne Anzeichen von Überwälzung der Vegetation an der Girlandenstirn (nach Befunden von FURRER), rechts mit Überwälzungserscheinungen (nach Befunden von BOESCH und KELLETAT).

können, wobei ein Girlandentyp mit internem Humushorizont, der von der Basis schräg nach hinten zieht und auskeilt, zustande kommt (BOESCH, 1969, p. 28). Offenbar liegen bei Girlanden zwei Ausprägungen ein- und derselben Form vor. Verantwortlich für diese unterschiedliche Gestaltung dürften Unterschiede in den formbildenden Bewegungsabläufen sein.

Zusammenfassend sei festgehalten, dass sich als primäre Formen oder Grossformen in der talwärtigen Partie einer Fliesserdedecke verschiedenaltige Erdströme als selbständige Einheiten ausprägen. Die schutt- und steinbedeckten, vegetationslosen Erdstromrücken weisen eine der Grossform eingeordnete, sekundäre Musterung auf, die an Strukturformen erinnert (Steinstreifen, Steinringe, Steinungen). Auf älteren Erdstromrücken, die bereits von Vegetation überwuchert sind, können Girlanden beobachtet werden, also Formen der gebundenen Solifluktion.



Girlanden auf einem Erdstrom-
die Humuslinsen hervorgehoben.
Anzeichen von Über-
(von FURRER), rechts mit Über-
(AT).

ont, der von der Basis schräg
SCH, 1969, p. 28). Offenbar
Form vor. Verantwortlich
le in den formbildenden Be-

h als primäre Formen
einer Fliesserdedecke
Einheiten ausprägen.
losen Erdstromrücken
läre Musterung auf, die
en, Steinringe, Stein-
ereits von Vegetation
et werden, also Formen

2.4. Vertikaler Aufbau von Erdströmen (Profilschnitte)

Zur Ermittlung des vertikalen Aufbaus der Erdströme im ausgewählten Untersuchungsabschnitt wurde ein Sondiergraben (siehe Planbeilage) geöffnet, dessen Sohle ins als Würmmoräne identifizierte Steinbett (Seite 213) hinunterreichte. Das an der tal- und bergseitigen Grabenwand beobachtete Profil ist in den Figuren 5 und 6 wiedergegeben. Es zeigt, dass die Fliesserdedecke aus zwei sich durch verschiedene Merkmale voneinander unterscheidenden Materialien aufgebaut ist:

1. Graue, sandige Masse mit viel Grobmaterial (Skelett).
2. Braune, humose Horizonte mit absinkendem Karbonat- und ansteigendem organischem C-Gehalt (Abb. 4).

Insgesamt prägen sich vier durch ihre braune Färbung sich deutlich abhebende humose Horizonte aus, welche bodenkundlich gesehen als fAh-Horizonte zu betrachten sind, d. h. als fossile humose A-Horizonte. Die dazwischen liegenden grauen Massen von verschiedener Mächtigkeit weisen keine Spur von Bodenbildung auf. Sie stellen offensichtlich Ausläufer von höher liegenden zusammenhängenden Solifluktsdecken dar, welche zungenförmig niederreichen.

Somit spiegelt sich die oberflächlich festgestellte Gliederung des ausgewählten Abschnittes der Fliesserdedecke in verschiedene Erdstromgenerationen im vertikalen Aufbau wider. Es lassen sich fünf Solifluktsphasen erkennen, welche durch vier Ruhephasen voneinander getrennt werden, die jeweils mindestens so lange gedauert haben mussten, dass die Bildung eines ausgeprägten A-Horizontes möglich wurde. Somit erhellt der Ablauf der Erdstrombildung auch aus deren vertikalem Aufbau.

Allerdings werden nicht durch jeden Profilschnitt sämtliche fAh-Horizonte getroffen. Diese ziehen somit entweder nicht einheitlich durch, oder eine ursprüngliche Einheitlichkeit ist durch nachträgliche Veränderungen stellenweise unterbrochen worden. Für unsere Untersuchungen bedeutet jedoch diese Tatsache keine Beeinträchtigung. Auch nur bruchstückweise auftretende fAh-Horizonte stellen eigentliche Leithorizonte für Datierungen dar. In der Auswertung der entnommenen Bodenproben mittels Laboratoriumsmethoden wurde ihnen besondere Aufmerksamkeit geschenkt, und die Untersuchungsergebnisse erlauben wesentliche Aussagen.

Im Bereiche der Erdströme am Munt Chavagl setzt sich also die Fliesserdedecke in ihrem vertikalen Aufbau aus grau gefärbten Solifluktsmassen mit viel grobem Material und dazwischen geschalteten, durch ihre braune Färbung auffallenden fAh-Horizonten zusammen. Dieser Befund erlaubt die Feststellung, dass fünf Solifluktsphasen das gegenwärtig sich präsentierende Erscheinungsbild bewirkt haben und diese Solifluktsphasen durch vier Ruhephasen unterbrochen worden sind, welche sich durch Bodenbildung zu erkennen geben.

Gegenwärtig ist die fünfte bzw. jüngste Solifluktsphase noch im Gang, wie die Bewegungsmessungen darlegen (Seite 236).

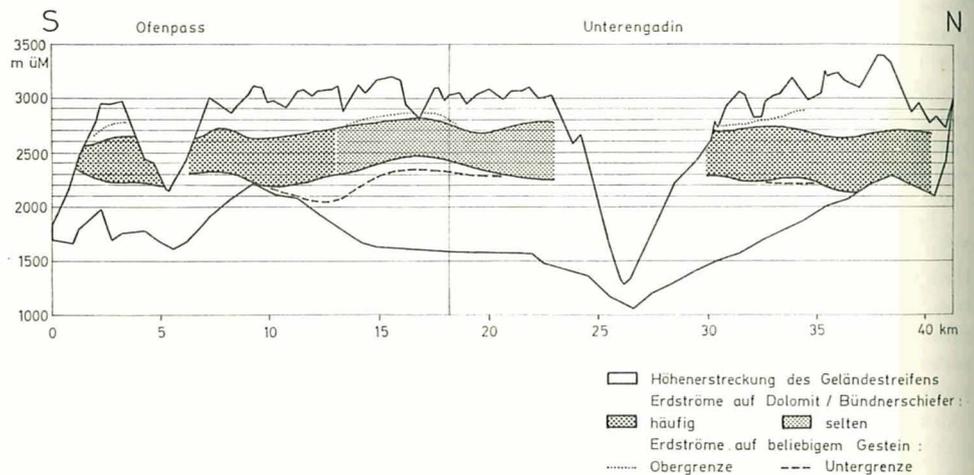
2.5. Verbreitung der Erdströme

Bevor auf die Untersuchungsergebnisse und die sich daraus ergebenden Schlüsse eingetreten wird, soll übersichtlich auf die Verbreitung von Erdströmen hingewiesen werden, soweit dies auf Grund der bisherigen Beobachtungen möglich ist.

Die Erdströme sind Formen der subnivalen Höhenstufe. Ihr Hauptverbreitungsgebiet liegt im Übergangssaum zwischen Matten- und Frostschuttstufe, in dessen oberem Bereich sich ungebundene Solifluktion manifestiert, während das Bodenfließen in den tieferen Lagen in zunehmendem Masse durch Vegetation behindert wird. Als Elemente des subnivalen Formenschatzes sind die Erdströme jedoch keineswegs auf die Alpen beschränkt. Sie konnten ebenfalls im Karakorum und in Spitzbergen beobachtet werden (FURRER, 1965a und 1969). SCHWEIZER (1968) hat diesen Formtyp auch in den Hohen Seealpen (Südfrankreich) nachgewiesen.

ZUBER (1968, p. 117) stellt fest, dass sich die Erdströme in Abhängigkeit von ihrer Höhenlage verschieden ausbilden: «Die Erdströme können ihrer Form nach in zwei Höhentypen gegliedert werden. Die höher gelegenen (über 2600 m), deren Erdmassen sich kuchenteilig ausbreiten und nur wenig vom Boden abheben, zeigen eine meist ungegliederte, basale Zungenkontur... Der andere Typ mit höheren Erdwülsten liegt tiefer (um 2500 m) und breitet sich seitlich nicht so stark aus. Seine Zungenenden sind in verschiedene schmälere Lappen aufgegliedert. Diese zwei Typen weisen auch einen unterschiedlichen Bewuchs auf.» Kartierungen in andern Regionen der Alpen zeigen, dass die im Nationalpark durch ZUBER gewonnene Erkenntnis allgemeine Gültigkeit besitzt. Die Beobachtungen zeigen aber, dass der höher gelegene Typus weniger häufig vorkommt (FURRER, 1965a, Beilagen). Auch die Kartierungen von GRAF (1970) erfassen nur Erdströme vom tiefer gelegenen Typus (Fig. 4).

Aus den Arbeiten von FURRER (1965a und b), FREUND (1968), FITZE (1969) und GRAF (1970) geht hervor, dass im alpinen Bereich das Hauptverbreitungsgebiet der Erdströme über demjenigen der Girlanden liegt. Als Beleg für die Verbreitung diene das



Figur 4

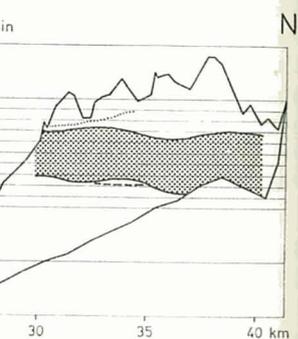
Vertikale Höhenverteilung der Erdströme im Gebiet des Ofenpasses und des Unterengadins nach K. GRAF (1970).

Obere und untere Profillinien geben die Höherentstreckung des untersuchten Geländestreifens wieder. Im gerasterten Streifen sind Erdströme in bestimmtem geologischem Milieu erfasst, nämlich auf Dolomit südlich des Inns und auf Bündnerschiefer, vereinzelt auch auf Flysch, nördlich des Inns. Bei grobem Raster treten die Formen häufig, bei feinem selten auf. Die gestrichelte Linie veranschaulicht die Untergrenze, die punktierte die Obergrenze des Vorkommens von Erdströmen ohne Berücksichtigung des geologischen Milieus.

Ihr Hauptverbreitungs-
Frostschuttstufe, in dessen
t, während das Bodenfließen
vegetation behindert wird. Als
me jedoch keineswegs auf die
nd in Spitzbergen beobachtet
diesen Formtyp auch in den

me in Abhängigkeit von
me können ihrer Form nach
en (über 2600 m), deren Erd-
n Boden abheben, zeigen eine
Typ mit höheren Erdwülsten
ark aus. Seine Zungenenden
ese zwei Typen weisen auch
ändern Regionen der Alpen
Erkenntnis allgemeine Gül-
über gelegene Typus weniger
rtierungen von GRAF (1970)
4).

D (1968), FITZE (1969) und
Hauptverbreitungsgebiet der
für die Verbreitung diene das



Höhenerstreckung des Geländestreifens
Erdströme auf Dolomit / Bündnerschiefer :
häufig (schraffiert) selten (weiß)
Erdströme auf beliebigem Gestein :
Obergrenze (durchgezogene Linie) Untergrenze (gestrichelte Linie)

es und des Unterengadins nach

untersuchten Geländestreifens
a geologischem Milieu erfasst,
, vereinzelt auch auf Flysch,
bei feinem selten auf. Die ge-
e Obergrenze des Vorkommens

von GRAF (1970) kartierte regionale Beispiel. Das in Figur 4 dargestellte Sammelprofil über die vertikale Höhenverteilung von Erdströmen vom Ofenpass zum Unterengadin vermittelt einen ausgezeichneten Überblick über die Häufigkeit des Auftretens und die flächenhafte Ausbreitung dieser Solifluktionsformen in einem größeren Raum.

Wie die Kartierungen ergeben, bestehen Unterschiede in Häufigkeit und Höhererestreckung des Auftretens von Erdströmen bezüglich der Exposition: So liegt ihr Hauptverbreitungsgebiet auf südexponierten Hängen höher als auf nordexponierten. Im Raume rund ums Matterhorn beispielsweise reicht die Kernzone der vertikalen Verbreitung in Nordexposition von 2400 bis 2650 m, in Südexposition dagegen von 2600 m bis in eine Höhe von 2850 m. Erdströme sind im gleichen Raum in Ostexposition seltener zu beobachten, dagegen auf westexponierten Hängen gleich häufig wie in Nord- oder Südauslage. Auffallend ist dabei, dass ihr Hauptverbreitungsgebiet in Westexposition schon unter 2300 m beginnt und bis in Höhen von über 2600 m reicht. In Mittelbünden, im Avers und im Oberengadin führen die bisherigen Beobachtungen bezüglich nord- und südexponierter Standorte zum selben Ergebnis. Bezüglich der Westexposition fällt wiederum wie im Wallis die grosse Höhererestreckung des Hauptverbreitungsgebietes der Erdströme auf, das ebenfalls sehr tief beginnt (unter 2300 m). Die Untersuchungen von GRAF (1970), die sich allerdings auf Erdströme in bestimmtem petrographischem Milieu beschränken, nämlich auf Dolomit im Gebiet des Ofenpasses und auf vorwiegend Bündner Schiefer nördlich des Inns, bestätigen, dass Erdströme in Südexposition häufiger vorkommen und bevorzugt höher liegen. Ferner zeichnet sich erneut bei Westexposition eine beträchtlichere Höhererestreckung ab, doch ist GRAF der Ansicht, dass sich auch in Ostexposition ein ähnliches Verhalten zeigt. Somit kann wohl eine allgemeingültige Aussage über Häufigkeit und Höhererestreckung in Abhängigkeit von der Exposition erst bezüglich Süd- und Nordauslage gemacht werden, während bezüglich West- und Ostauslage auf Grund des vorliegenden Beobachtungsmaterials noch kein eindeutiges Ergebnis vorliegt.

3. Bodenkundliche Untersuchungsergebnisse

3.1. Die angewandten Untersuchungsmethoden

Die aus dem vom Sondiergraben angeschnittenen Profil (berg- und talseitige Grabenwand) gewonnenen Proben, deren Entnahmestellen auf der Planbeilage markiert sind, wurden im Laboratorium nach verschiedenen Gesichtspunkten verarbeitet:

a) Korngrössenanalyse: Für die Bestimmung der Korngrössenverteilung zwischen 2000μ und 63μ erfolgte eine Nass-Siebung mit den Prüfsieben DIN 4188. Die Siebdauer wurde einheitlich auf 20 Minuten beschränkt. Zur Ermittlung der Korngrössenverteilung unter 63μ diente die Aräometermethode.

Mit Hilfe der Summationskurve liessen sich die prozentualen Anteile der einzelnen Fraktionen bestimmen. Es wurden dabei folgende Abgrenzungen vorgenommen:

- kleiner als 2μ : Tonfraktion
- $2-60\mu$: Siltfraktion (= Schlufffraktion)
- $60-2000\mu$: Sandfraktion

Die gewählte Unterteilung in Fraktionen entspricht mit kleinen Abweichungen der DIN 4188. Die einzelnen Fraktionen lassen sich bei Bedarf noch weiter unterteilen, z. B. die Sandfraktion in Fein-, Mittel- und Grobsand.

b) Bestimmung des Gehalts an organischem Kohlenstoff: Zu diesem Zweck wurde die Methode von WALKLEY und BLACK (siehe JACKSON, 1962) angewandt. Es handelt sich dabei im wesentlichen um einen Oxydationsprozess zwischen organischem Kohlenstoff und Kaliumbichromat ($K_2Cr_2O_7$), wobei die Probe mit H_2SO_4 aufgeschlossen wird. Durch Titration mit «Mohrschem Salz» (Fe-II-Lösung) lässt sich die Menge des nicht für die Oxydation des organischen Kohlenstoffs verbrauchten Bichromats mittels Diphenylamin-Indikator bestimmen, die dem Gehalt an organischem Kohlenstoff direkt proportional ist.

c) Bestimmung des pH-Wertes: In den vorliegenden Untersuchungen wurde die Messung mittels Glaselektrode in 1-n KCl-Lösung vorgenommen.

d) Karbonatgehalt: Die beiden Oxyde CaO und MgO wurden durch komplexometrische Titration ermittelt, worauf sich aus den erhaltenen Werten der Gesamtkarbonatgehalt errechnen liess.

e) Pollenanalyse: Die Ergebnisse der Pollenanalyse werden in einem besonderen Kapitel ausführlich behandelt (Seite 258 ff.). Bezüglich der angewandten Methode sei auf BERTSCH (1942) hingewiesen.

f) Morphometrie: Im Hinblick darauf, möglichst viele aussagekräftige Informationen zu erlangen, erfolgte an Hand von der Oberfläche entnommenem Steinmaterial stichprobenweise auch die Bestimmung des Zurundungs- und Abplattungsindex nach CAILLEUX (siehe KÖSTER, 1964). Der Zurundungsindex wird nach der Formel

$$Z_i = \frac{2r}{L} \cdot 1000$$

berechnet, wobei r Radius des kleinsten Kreises bedeutet, den man den Konturen der Hauptschnittebene einschreiben kann (bestimmt mittels besonderer Messtafel), und L die grösste Längsachse des zu messenden Steines.

Für den Abplattungsindex sind L als grösste Länge, l als grösste Breite (senkrecht zu L) und E als grösste Dicke (senkrecht zur durch L und l bestimmten Ebene) mit der Schublehre zu messen. Der Abplattungsindex berechnet sich hierauf nach der Formel

$$A_i = \frac{L + l}{2 E}$$

Die untersuchten Bodenproben wurden im Sondiergraben entnommen, und zwar an den auf der Planbeilage mit A, B und C bezeichneten Stellen. In der Profilsäule A erfolgte die Entnahme in vertikalen Abständen von je 5 cm. Der Profilsäule B von 15 cm Höhe entstammen 5 Materialproben. Die Profilsäule C schliesslich lieferte 10 Proben.

3.2. Die fossilen Bodenbildungen

In der Beschreibung des vertikalen Aufbaus des für die eingehende Untersuchung ausgewählten Erdstroms wurde auf die durch braune, humose Horizonte (Abb. 4) bewirkte Gliederung hingewiesen (Seite 203). Die bodenkundliche Beurteilung (mdl.

t kleinen Abweichungen der
noch weiter unterteilen, z. B.

Kohlenstoff: Zu diesem
JACKSON, 1962) angewandt.
onsprozess zwischen organi-
ei die Probe mit H_2SO_4 auf-
(Fe-II-Lösung) lässt sich die
hlenstoffs verbrauchten Bi-
dem Gehalt an organischem

den Untersuchungen wurde
genommen.

O wurden durch komplexo-
n Werten der Gesamtkarbo-

werden in einem besondern
er angewandten Methode sei

viele aussagekräftige Infor-
e entnommenem Steinmate-
gs- und Abplattungsindex
index wird nach der Formel

et, den man den Konturen
s besonderer Messtafel), und

e. I als grösste Breite (senk-
nd I bestimmten Ebene) mit
t sich hierauf nach der For-

en entnommen, und zwar an
tellen. In der Profilsäule A
cm. Der Profilsäule B von
le C schliesslich lieferte 10

e eingehende Untersuchung
umose Horizonte (Abb. 4)
undliche Beurteilung (mdl.



Abbildung 4. Ausschnitt aus dem an der medialen Grabenwand abgestochenen Profil

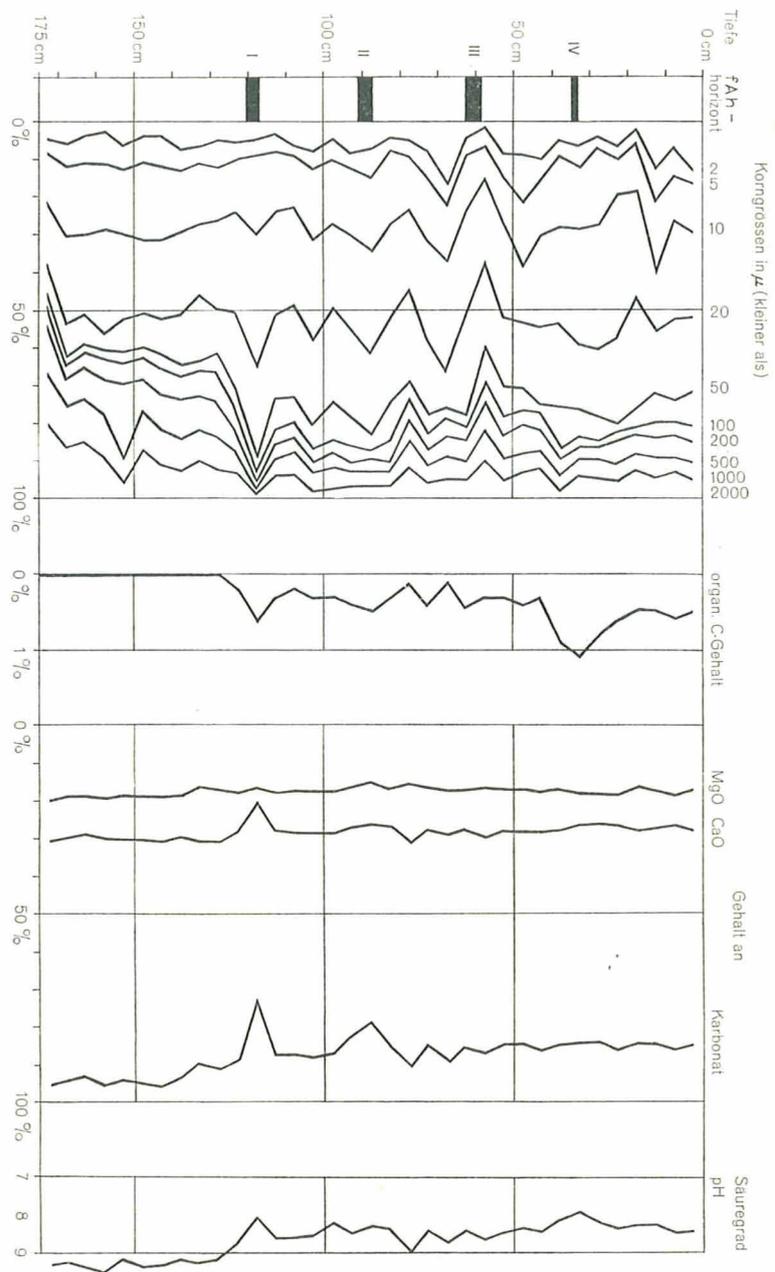
Man beachte den Wechsel von sich dunkler abhebenden fAh-Horizonten mit heller getöntem Solifluktionsschutt. Der Stock liegt horizontal. Die Glieder des vertikal aufgestellten Massstabes messen je 20 cm.

Mitt. von Prof. Dr. A. SEMMEL, Frankfurt a. M.) führt zum Schluss, dass diese braunen Horizonte (mit I-IV bezeichnet) auf verschiedenartige, autochthone Bodenbildungsphasen zurückzuführen sind. Es handelt sich somit um fossile Böden, und zwar um Protorendzinen, d. h. geringmächtig entwickelte, rohbodenähnliche Rendzinen. Auf den Rändern des Erdstroms und in Stirnnähe tritt indessen rezente Rendzina auf.

Die fossilen Protorendzinen sind aus drei Horizonten aufgebaut:

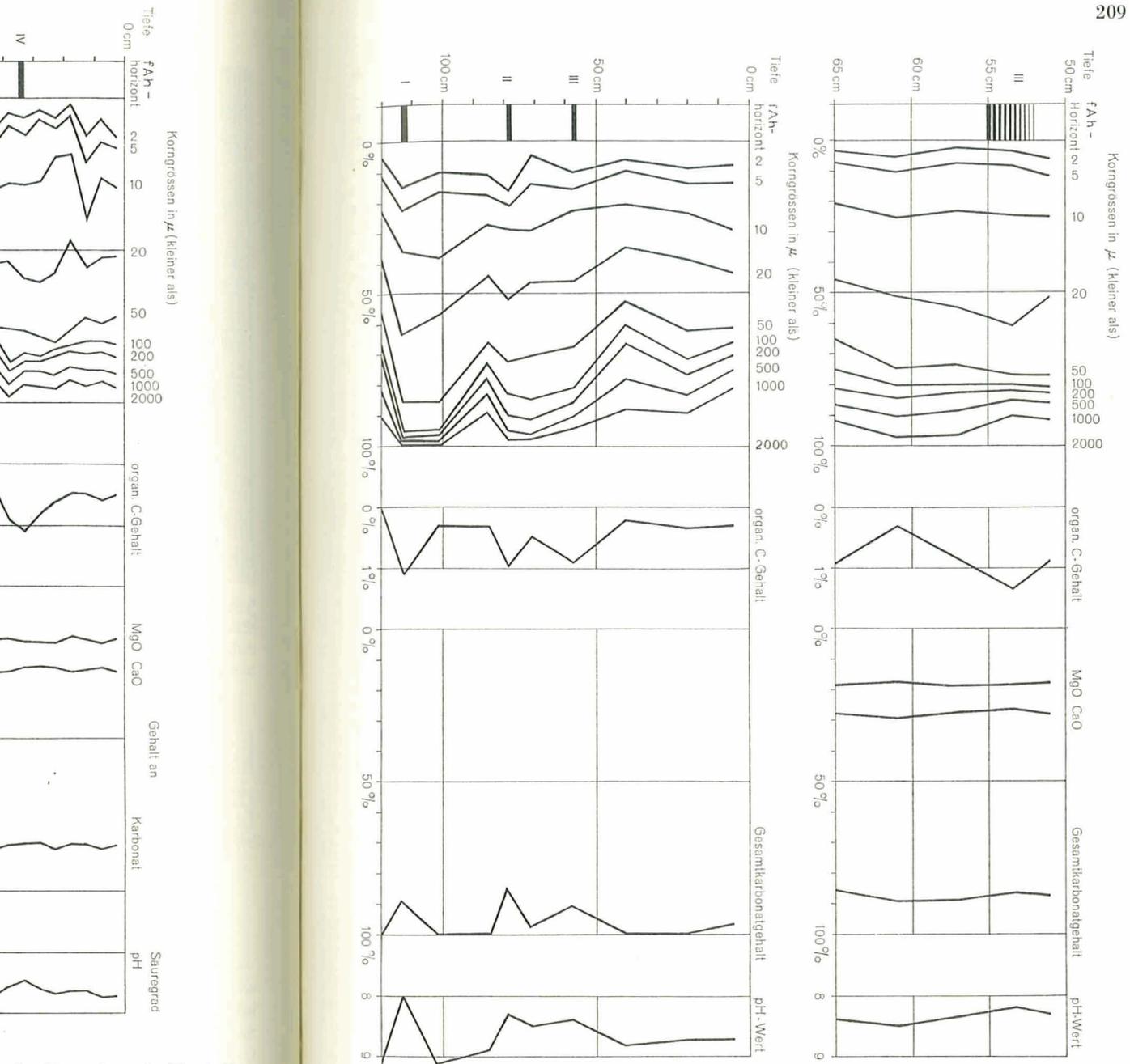
1. fAh = fossiler, humoser Mineralbodenhorizont,
2. fCc = fossiler Kalkanreicherungshorizont,
3. C = Ausgangsgestein.

Die Deutung der braunen Horizonte als fossile autochthone Bodenbildungen wird durch folgende Untersuchungsergebnisse gestützt: Jede terrestrische Bodenbildung ist in unserem Klimabereich mit einer Verminderung des Kalkgehaltes im Solum verbunden. Wie die Figuren 5 und 6 zeigen, verlaufen die Kurven, welche den Gehalt an organischem Kohlenstoff wiedergeben, und diejenigen, die den Gesamtkarbonatgehalt darstellen, entgegengesetzt. Einem Ansteigen des Kohlenstoffgehalts steht ein Absinken des Karbonatgehalts gegenüber und umgekehrt. Der jeweilige Abfall des pH-Wertes in den Bereichen der braunen Horizonte vermag die Annahme zu stützen, dass die Bildung der fossilen Böden in situ erfolgt sein muss. Dünnschliffe der braunen fAh-Horizonte lassen charakteristische Merkmale der Rendzina erkennen: Das Material im Bereich dieser Horizonte ist gut gekrümelt. Der Humus erscheint gleichmässig ver-



Figur 5

Zusammenstellung der Analysenergebnisse von Profilsäule A des Sondiergrabens (in Planbeilage vermerkt). Man beachte in der linken Kolonne die vom Profilschnitt getroffenen fAh-Horizonte I, II, III und IV. In der Korngrössenzusammensetzung zeigt sich der Übergang zwischen unterster Solifluktsionsdecke und liegender Moräne durch den Anstieg des prozentualen Anteils der Sandfraktion. Im Bereich der fAh-Horizonte ist eine deutliche Zunahme des organischen Kohlenstoffgehalts festzustellen. Bei fAh-Horizont I ist gleichzeitig ein ausgeprägter Rückgang des Karbonatgehalts zu bemerken.



Figur 6
 Zusammenstellung der Analysenergebnisse von Proben aus den Profilsäulen B (rechts) und C (links).
 Es sind die von den jeweiligen Profilschnitten (in Planbeilage vermerkt) getroffenen fAh-Horizonte zu beachten.

s Sondiergrabens (in Planbeilage
 schnitt getroffenen fAh-Horizonte
 der Übergang zwischen unterster
 prozentualen Anteils der Sand-
 me des organischen Kohlenstoff-
 prägrter Rückgang des Karbonat-

teilt. Es liegen keine Anzeichen von Fließstrukturen oder andern Verlagerungsprozessen vor. Dieser Befund darf als weiteres Indiz für eine in situ erfolgte Bodenbildung betrachtet werden. Schliesslich weist auch die Tatsache, dass unter dem ursprünglichen Ah-Horizont ein ausgesprochener Cc-Horizont, gekennzeichnet durch Kalkanreicherung, zur Ausbildung gelangte, darauf hin, dass sich nach der Bodenbildung keinerlei nennenswerte Veränderungen mehr eingestellt haben.

Die Entstehung der durch die fAh-Horizonte I bis IV erfassten Böden erfolgte unter günstigeren Klimabedingungen, als sie der heutigen Bodenbildung auf den Erdstromrücken zuteil werden. Demgegenüber stellen die Solifluktuationsphasen, während denen die in situ entstandenen Böden von Fließerde überdeckt worden sind, Perioden ohne nachweisbare Bodenbildung dar. Auf Grund der Bodenbewegungen ist anzunehmen, dass während dieser Zeitläufe wahrscheinlich tiefere Temperaturen als heute geherrscht haben. Im Zusammenhang mit einem Interpretationsversuch der Untersuchungsergebnisse wird diese Frage näher zu erörtern sein (Seite 261 ff.).

Es ist somit festzuhalten, dass die braunen Humushorizonte I bis IV Protorendzinen sind, die sich in situ gebildet haben. Sie markieren vier Phasen mit besonders günstigen Klimaverhältnissen, während denen die Bodenbildung mehr oder weniger ungehindert vor sich gehen konnte.

Auf Grund der Untersuchungsergebnisse müssen allerdings noch Einzelheiten erwähnt werden, die zeigen, dass die Verhältnisse doch etwas modifizierter sind, als die vorangehenden Ausführungen sie erscheinen liessen:

Die für Dünnschliffe vorbereiteten Handstücke zeigen stellenweise in den braunen fAh-Horizonten – besonders im basalen Teil von Horizont III – feine Schlierenbildungen. Lamellen von zirka 2 mm Mächtigkeit erscheinen da und dort in leichter Wellung. Es muss deshalb auf geringfügige Verlagerungen während der Bodenbildung geschlossen werden. Die Lamellierung deutet auf kurzstreckige Solifluktion hin. Wahrscheinlich erfolgte auf immer wieder frisch aufgewandertem Schutt sofort erneut die Bodenbildung.

Im allgemeinen lassen sich, wie aus Abbildung 4 und den Figuren 5 und 6 hervorgeht, die fossilen Bodenhorizonte durchverfolgen. Sie verlaufen allerdings nicht streng parallel zur Erdstromoberfläche. Gelegentlich keilen sie sogar aus oder treten nur noch als Schmitzen auf. So geht in der Profilsäule B der Horizont IV gut 30 cm über dem Horizont III seitlich in den stark durchwurzeltten Rand des Erdstroms über, oder in der Profilsäule C fehlt der Horizont IV. Diese Unterbrechung der fAh-Horizonte deutet auf Zerstörung durch Aufpressen infolge Frostwirkung (Abb. 5) oder durch spätere Abtragung hin.

Vielfach erscheint der Humusgehalt in der Mitte eines fAh-Horizontes am höchsten und nimmt nach unten und oben ab. Diese Erscheinung dürfte zumindest zwei Ursachen haben: Einmal kann das Anwachsen der Humusbildung mit einer Klimaverbesserung und das Nachlassen mit einer Klimaverschlechterung in Beziehung stehen, wobei gleichzeitige Überlagerung mit zugewandertem Schutt ebenfalls einen Einfluss auf den Humusgehalt auszuüben vermag. Dann aber kann auch, wie aus Diskussionen mit SEMMEL resultiert, humusarmes oder -freies Material, das den Boden überlagerte, von unten her eine humose Komponente durch Solimixtion (kryoturbate Einnischung) erhalten haben.

Organischer Kohlenstoff tritt bis auf das Niveau des fAh I auf, wie die entsprechenden Kurven (Fig. 5 und 6) zeigen. Diese Tatsache ist entweder durch stoffliche Verlagerungen innerhalb des gesamten Erdstroms zu erklären oder auf die (rezente) Durchwurzelung zurückzuführen.

ändern Verlagerungsprozessen erfolgte Bodenbildung betrachtet dem ursprünglichen Ah-Horizont durch Kalkanreicherung, Bodenbildung keinerlei nennens-

erfassten Böden erfolgte unter Bodenbildung auf den Erdstromationsphasen, während denen worden sind, Perioden ohne Bewegungen ist anzunehmen, Temperaturen als heute gevegetationsversuch der Unterein (Seite 261 ff.).

Humushorizonte I bis III haben. Sie markieren die Verhältnisse, während der sich abspielen

rdings noch Einzelheiten etwas modifizierter sind, als die

stellenweise in den braunen Horizonten II – feine Schlierenbildungen. dort in leichter Wellung. Es handelt sich um Bodenbildung geschlossen Solifluktion hin. Wahrscheinlich sofort erneut die Bodenbil-

den Figuren 5 und 6 hervorgehen allerdings nicht streng getrennt aus oder treten nur noch im Horizont IV gut 30 cm über dem Horizont fAh-Horizonte deutet auf (Abb. 5) oder durch spätere Ab-

fAh-Horizontes am höchsten Horizont dürfte zumindest zwei Ursprünge in Beziehung stehen, die ebenfalls einen Einfluss haben, wie aus Diskussionen hervorgeht, das den Boden überlagerte, (kryoturbierte Einmischung)

Horizont I auf, wie die entsprechenden Horizonte entweder durch stoffliche Verwitterung oder auf die (rezente) Durch-

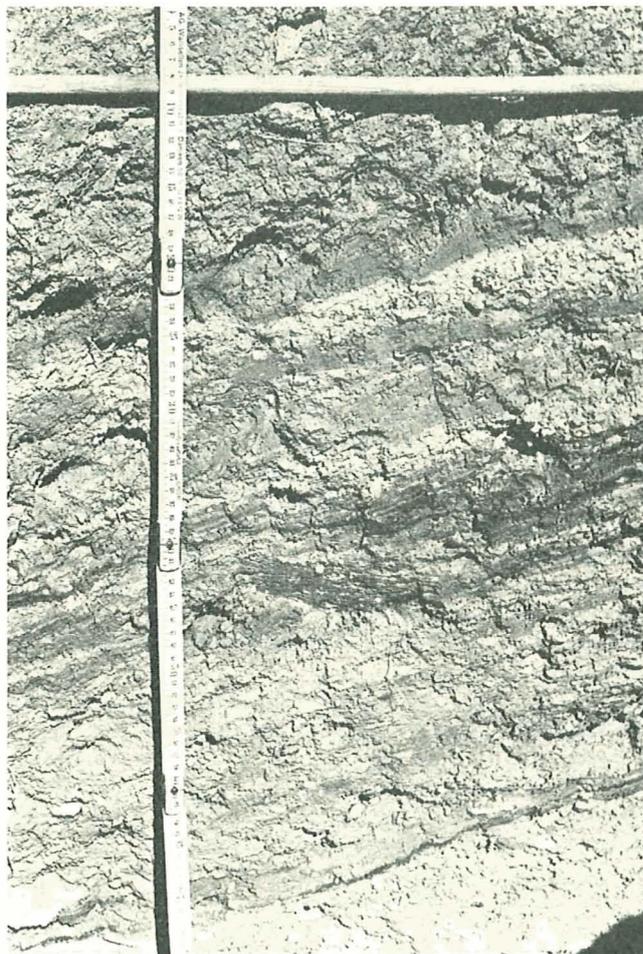


Abbildung 5. Ausschnitt aus Abbildung 4

In 70 cm Tiefe tritt der fAh-Horizont II als schmales, dunkles Band in Erscheinung. Die dunkle Färbung fällt am rechten Bildrand in der Mitte des Horizonts am stärksten auf. Dass manchmal der Humusgehalt in der Mitte eines fAh-Horizonts am höchsten ist, kann verschiedene Ursachen haben: Einmal kann das Nachlassen der Humusbildung mit der Klimaverschlechterung verbunden sein (bei gleichzeitiger Überlagerung mit neuem Solifluktionsschutt). Zum andern kann neu überlagertes, humusarmes oder -freies Material von unten her humoses durch Solimixtion (kryoturbierte Einmischung) aufnehmen.

Der fAh-Horizont III (in rund 40 cm Tiefe) ist mächtig entwickelt, zeigt deutliche Lamellierung und lässt rechts vom Maßstab eine Aufwölbung erkennen, die vermutlich als Frostaufpressung gedeutet werden kann.

Auf Seite 203 wurde beschrieben, wie sich die untersuchte Partie der Fließersededecke am Südhang des Munt Chavagl als ein Paket von verschiedenartigen, einander aufsitzenen Erdstromgenerationen präsentiert. Der durch den Profilschnitt aufgeschlossene Erdstrom weist unter der heutigen Oberfläche den fAh-Horizont IV auf, welcher einer Formgeneration angehört, die nach unten durch den nächst tieferen fAh-Horizont III abgeschlossen wird. Die fAh-Horizonte II und I gehören offenbar noch älteren Fließersededecken an. Die fAh-Horizonte sind Indizien ehemaliger Bodenbildung. Ihnen liegen akkumulierte Solifluktionmassen auf. Diese lassen den Schluss auf Bewegungsphasen zu, während Bodenbildung nur in Ruhephasen erfolgen kann. Der geschilderte Aufbau lässt, gestützt auf die bodenkundlichen Untersuchungsergebnisse, folgende Deutung des Ablaufs der Formbildung zu:

Das Liegende des ganzen Komplexes der Fließersededecken wird durch Würmmoräne gebildet (Seite 213). Über diese ergoss sich eine erste Solifluktionsschicht, welche aus umgelagertem Moränenmaterial besteht (belegt durch Verrucano- und Buntsandsteinkomponenten, relativ hohen Anteil der Sandfraktion, relativ dichte Steinpackung). Im Kontaktbereich zwischen dem ungestörten liegenden und dem umgelagerten hangenden Material konnten verschiedentlich braune Schmitzen von humosem Charakter beobachtet werden, welche vereinzelte Pollen führen. Offenbar hat sich auf der Oberfläche der liegenden Moräne vor der ersten Solifluktionsphase ein Boden ausgebildet. Die einsetzende Solifluktion bewirkte jedoch dessen Zerstörung, so dass kein durchgehender Horizont mehr vorliegt. Da sich zwischen Moräne und unterster Solifluktionsdecke Unterschiede in der Einregelung ausgeprägt haben, ist der vermutliche fAh-Horizont (durch Schmitzen repräsentiert) auf der liegenden Moräne auch situmetrisch belegbar (Seite 232 und Fig. 13).

Nachdem am Ende der ersten Solifluktionsphase die Bewegungsvorgänge zur Ruhe gekommen waren oder sich höchstens noch auf minimale Verfrachtungen beschränkten, entstand die Protorendzina, welche durch den fAh-Horizont I bezeugt wird. Darüber legte sich eine neue Solifluktionsschicht, auf der sich in der nun der Bewegungsphase folgenden Ruhephase erneut ein Boden zu bilden vermochte, welcher im fAh-Horizont II vorliegt. Ihm sitzt eine dritte Solifluktionsdecke auf. Diese bildet am Fuss des Munt Chavagl mehrere deutlich abgrenzbare Erdströme. Der fAh-Horizont III entspricht dem Boden, der sich auf dieser Fließersededecke zu bilden vermochte. Abermals überwanderten Schuttmassen während einer Fließphase den entstandenen Boden, und auf den nunmehrigen Erdstromrücken setzte die Bodenbildung später wieder ein. Dieser jüngste Bodenhorizont ist mit dem fAh-Horizont IV fassbar, dem die oberste, gegenwärtig noch in Bewegung befindliche Schuttmasse aufliegt.

Das Auftreten von fossilen Bodenhorizonten in Erdströmen beschränkt sich keineswegs auf das hier untersuchte Formbeispiel. Schon bei der ersten Beschreibung erfolgte der Hinweis auf diese Erscheinung (FURRER, 1954). Gestützt auf mehrere Profilschnitte am Hang des Munt Buffalora wurde der Schluss gezogen, «dass die Ausbildung der Schuttströme sich nicht auf einmal vollzog, sondern in mehreren Phasen, die durch längere Zeiträume getrennt waren, so dass auf dem rein mineralischen Schutt sich eine Vegetationsdecke ansiedeln konnte. Diese wurde dann während einer jüngeren aktiven Phase wieder unter dem vorrückenden Schutt begraben» (p. 261). In seinem Prinzip entspricht der im vorliegenden Fall festgestellte Aufbau einer Solifluktionsdecke dem von SEMMEL (1969) in Lappland beobachteten Aufbau von Fließersedeloben, wo in einem «Lobenpaket» ein rezenter Lobus über zwei fossilen nachgewiesen werden konnte (p. 28). Auf Grund dieser allgemeinen Beobachtungen können Schlüsse gezogen werden, die zumindest für das Gebiet des Schweizerischen Nationalparks generelle Gültigkeit haben dürften.

3.3. Korngrößenverteilung

Auffallend ist der allgemein geringe prozentuale Anteil der Tonfraktion (unter 2μ). Dieser Befund deckt sich mit andern Untersuchungen von Solifluktionmaterial (z. B. ELSASSER, 1968; BOESCH, 1969; FURRER, 1969; SEMMEL, 1969). Mineralogisch gesehen besteht die feinste Fraktion in den vorliegenden Materialproben ausschliesslich aus CaCO_3 und MgCO_3 . Es hat also keine Bildung von Tonmineralien stattgefunden. Aus dieser Tatsache ist zu folgern, dass die Tonfraktion ausschliesslich durch physikalische Verwitterung entstanden ist.

Nach SCHMID (1955, p. 124) sind tonige Bestandteile keine unbedingte Voraussetzung für die Solifluktion. Im fAh-Horizont III der Profilsäule A und in den fAh-Horizonten I und II der Profilsäule C erreicht der Wert des Tongehalts ein Maximum, das vielleicht auf Tonverlagerung aus dem unmittelbar darüberliegenden Material zurückgeführt werden darf, wo eine Tonverarmung feststellbar ist.

In der Korngrössenzusammensetzung der Feinerde entfällt der Hauptanteil auf den Bereich von 5–50 μ , also auf die Siltfraktion.

Die Ergebnisse sämtlicher Korngrössenanalysen, zusammengestellt in den Figuren 5 und 6, lassen sowohl nach den Kriterien von RÜCKLI (1950) als auch nach denjenigen von CASAGRANDE (1934) den Schluss zu, dass die den Erdstrom aufbauenden Materialien als frostempfindlich zu taxieren sind (wirksam unter der Voraussetzung hinreichender Quantitäten von Nachschubwasser).

3.4. Petrographische Zusammensetzung des Materials

Zur überwiegenden Hauptsache besteht das Skelettmaterial aus Zellendolomit (unteres Carn, oberes Ladin). Dessen eckig-kantiger Charakter kommt in Figur 15 (unten) zum Ausdruck. Vereinzelt können auch Verrucano- und Buntsandsteinkomponenten eingestreut sein, die dem risszeitlichen Moränenmaterial entstammen, das den Gipfel des Munt Chavagl bedeckt (BOESCH, 1937).

In der Profilsäule A wurden diese Komponenten ausgezählt. Die obersten 26 Proben, von der Oberfläche bis in eine Tiefe von 130 cm, enthalten lediglich 26 Exemplare, also im Durchschnitt ein Verrucano- oder Buntsandsteinstück je entnommene Probe. In den untern 9 Proben hingegen, von 135 bis 175 cm Tiefe, fanden sich deren 30 oder rund 3 Exemplare je entnommene Probe.

Von 145 cm Tiefe an tritt im untersuchten Material eine deutliche Veränderung im Verhältnis von Feinerde zu Skelettmaterial ein. Da die erstere relativ immer mehr zugunsten des letzteren zurücktritt, kann von einem eigentlichen Steinbett gesprochen werden, dem die Erdströme aufliegen. In 2,3 m Tiefe musste die Grabung eingestellt werden, da sozusagen nur noch grössere und teilweise sehr grosse Steine anzutreffen waren. Offensichtlich liegt in diesem Steinbett eine Würmmoräne vor. Das Moränenmaterial gibt sich in der Korngrössenzusammensetzung durch einen ansteigenden Sandgehalt zu erkennen (Fig. 5).

4. Solifluktion und deren situmetrische Merkmale

4.1. Begriff und Wesen der Solifluktion

Da Erdströme Formen der Hangsolifluktion (TROLL, 1947) darstellen, soll zuerst allgemein auf den formbildenden Prozess eingetreten werden.

Der Solifluktionsbegriff wurde zu Beginn unseres Jahrhunderts erstmals durch ANDERSSON (1906) als «a component of subaerial denudation» folgendermassen umschrieben:

«This process, the slow flowing from higher to lower ground of masses of waste saturated with water (this may come from snow-melting or rain), I propose to name solifluction.»

JÄCKLI (1957, p. 34) ist ähnlicher Auffassung, wenn er bemerkt: «Ohne dass ein eigentliches Transportmittel da wäre, vermag solcher an Wasser übersättigter Schutt unter dem Einfluss der Schwerkraft sich hangabwärts zu bewegen. Dabei kommt ein flächenhafter Abtrag zustande, der... als ‚solifluidale Denudation‘ bezeichnet wird.» In beiden Fällen wird die langsame Bewegung des Verwitterungsschuttes auf starke Wasserdurchtränkung zurückgeführt (Durchtränkungsfließerde).

HÖGBOM (1908/09, 1914) wies erstmals auf die Bedeutung des Bodeneises hin, und zwar auf jene des Regelationsprozesses (Regelationsfließerde) wie auf jene der «perennen Tjäle» (Permafrost, Dauerfrostboden), welche die Wasserversickerung verhindert und dadurch eine starke Durchfeuchtung des Bodens ermöglicht. Ausserdem wird in der warmen Jahreszeit, wenn der Permafrostboden oberflächlich auftaut, viel Wasser frei, das zusammen mit dem von der Schneeschmelze stammenden die Auftauzone durchtränkt.

Abgesehen vom Dauerfrostboden liegt eine wichtige Eigenschaft eines jeden gefrierenden Bodens darin, dass er unter bestimmten Voraussetzungen aus dem ungefrorenen Boden Wasser nachsaugt, welches beim Schmelzen wieder frei wird und der Solifluktion zur Verfügung steht. Eine gewisse Bedeutung kommt dabei auch dem Kammeis und Eislinsen im Boden zu.

Wasserdurchtränkung und Bodenfrost sowie ihr Zusammenwirken werden nach diesen Ausführungen als Voraussetzung für solifluidale Verlagerungen verantwortlich gemacht. Welcher dieser Voraussetzungen die grössere Bedeutung zukommt, ist schwer zu entscheiden und sicher von Fall zu Fall verschieden.

Daher gelangte TROLL (1947, p. 167) zu folgender Definition: «Solifluktion im weitesten Sinn ist die Erscheinung, dass unter der Wirkung langdauernder, jahreszeitlicher oder kurzdauernder, sich häufig wiederholender bis allnächtlicher Gefrorenis des Bodens eine lebhaftere Verlagerung der Bodenteilchen stattfindet, die sich auf ebenem Gelände in der Bildung von Bodenstrukturen oder Bodentexturen (Frostgefügeböden), auf geneigtem Gelände auch bei ganz geringem Gefälle in einem beträchtlichen hangabwärts gerichteten Massentransport (Frostbodenversetzung) äussert.»

Es ist TROLLS Verdienst, mit dieser Begriffsbestimmung auch den solifluidalen Verlagerungen im Hochgebirge ausserhalb der polaren und subpolaren Breiten gerecht zu werden. Andererseits aber scheint die Definition zu eng gefasst, weil sie zu stark mit den Erscheinungen der Kryoturbation verkoppelt bleibt und dem Durchtränkungsfließen zu wenig Rechnung trägt (vgl. obiges Zitat aus JÄCKLI, 1957).

Ein neues Überdenken des Begriffes verdanken wir BÜDEL (1959, p. 297/298). Er versteht unter Solifluktion die langsamen, der Schwerkraft folgenden Fließbewegungen polarer Böden, «die durch den Jahreszeitenwechsel von Einfrieren und Auftauen im Oberboden erzeugt und beim Vorhandensein eines während der Schneeschmelzeit noch

ne Merkmale

(1947) darstellen, soll zuerst
len.

hrhunderts erstmals durch
ation» folgendermassen um-

ground of masses of waste
or rain), I propose to name

r bemerkt: «Ohne dass ein
Wasser übersättigter Schutt
bewegen. Dabei kommt ein
'Denudation' bezeichnet
Verwitterungsschutt auf
ngfliesserde).

ng des Bodeneises hin, und
) wie auf jene der «perennen
ersickerung verhindert und
cht. Ausserdem wird in der
ch auftaut, viel Wasser frei,
den die Auftauzone durch-

rgenschaft eines jeden gefrie-
ngen aus dem ungefrorenen
rei wird und der Solifluktion
ei auch dem Kammeis und

mmenwirken werden nach
rlagerungen verantwortlich
utung zukommt, ist schwer

ition: «Solifluktion im wei-
gdauernder, jahreszeitlicher
licher Gefornis des Bodens
e sich auf ebenem Gelände
en (Frostgefügeböden), auf
beträchtlichen hangabwärts
t.»

auch den solifluidalen Ver-
polaren Breiten gerecht zu
st, weil sie zu stark mit den
em Durchtränkungsfließen
7).

DEL (1959, p. 297/298). Er
folgenden Fliessbewegungen
infrieren und Auftauen im
der Schneeschmelzzeit noch

gefrorenen Unterbodens besonders wirksam werden». Dieser Definition, die einerseits klarstellt, dass die Solifluktion frostgebunden ist, andererseits aber Dauerfrostboden nicht als *conditio sine qua non* fordert, kann man sich im Hinblick auf die solifluidalen Formen im Bereich der Alpen ohne weiteres anschliessen.

Nach dem vorerwähnten Autor beträgt der Tiefgang der Solifluktion einige Dezimeter, kann aber Werte von über einem Meter erreichen.

Wesentlich ist die Klimagebundenheit der Solifluktion, auf die BÜDEL mit besonderem Nachdruck hinweist. Wir haben diese Bewegungsart unter dem Gesichtspunkt der «zeitlichen Kontinuität» zu betrachten, «solange das stimulierende Frostklima eben erdgeschichtlich anhält». Diese Klimagebundenheit bedingt, dass die Solifluktion «räumlich nicht an irgendwelche Ausnahmestellen besonderer Lokalbegünstigung gebunden ist», sondern auf allen Hängen mit Neigungen von $1,7^\circ$ bis $17-27^\circ$ räumlich allgemein beobachtet werden kann, sofern das Klima den Anstoss dazu gibt. Die Solifluktionserscheinungen sind wegen ihrer Frostbedingtheit regelhaft verbreitet. Darum gilt es, bei Verbreitungsstudien Formen, die räumlich durch eng begrenzte Lokalgunst oder zeitlich durch besonders günstige Ausnahmesituationen bedingt sind, auszusondern (extra- und azonale Vorkommen, TROLL, 1944, p. 596 ff.).

Aus der eben dargelegten Definition ergibt sich zwangsläufig, dass die Solifluktion nicht nur in der Frostschutzzone der hohen Breiten wirkt, sondern auch – wie TROLL (1944) nachweist – in den rezenten Kaltklimaten unmittelbar unterhalb der Schneegrenze im subnivalen Bereich (TROLL, 1944, p. 557) der Hochgebirge aller Breiten.

Nach dem zeitlichen Rhythmus steht der «Jahreszeitsolifluktion (Wechsel von Wintergefornis und sommerlichem Tauen)» die «kurzperiodische, wetterhafte bzw. Tageszeitsolifluktion (Wechsel von Frost und Tauen zwischen Tag und Nacht oder kurzen Frostwetterlagen)» gegenüber (TROLL, 1947). Letztere wirkt besonders in den Hochgebirgen der niederen Breiten.

Die Typisierung der solifluidalen Bewegungen nach dem Grad der Beeinflussung durch den Pflanzenwuchs führt zu den Begriffen

- a) gebundene Solifluktion,
- b) gehemmte Solifluktion,
- c) ungebundene oder freie Solifluktion.

Als gebundene Solifluktion bezeichnet BÜDEL (1948, p. 31) Fliessbewegungen auf Flächen, welche eine weitgehend geschlossene Pflanzendecke aufweisen. Freie oder ungebundene Solifluktion (letztere Bezeichnung nach POSER, 1954, p. 156) erfolgt auf vegetationslosen Flächen, wo die Fliessbewegung keinerlei Beeinträchtigung durch Pflanzen erfährt. Gehemmte Solifluktion schliesslich herrscht dort, wo der Vorgang nur stellenweise durch den stark aufgelockerten Bewuchs behindert werden kann (vgl. HÖLLERMANN, 1967, p. 11 ff.).

Erdgeschichtlich gesehen kommt dem formschaffenden Vorgang der Solifluktion für die Reliefgestaltung in weiten Teilen des pleistozänen Mitteleuropas eine wesentliche Bedeutung zu, weil während der Kaltzeiten infolge der Depression der Schneegrenze ausgedehnte Gebiete im extramoranischen Bereich eine solifluidale Überprägung erhielten (fossile Solifluktionsformen).

4.2. Einregelung als inneres Formmerkmal und Situmetrie als Untersuchungsmethode

Transportierte Steine haben die Neigung, sich bezüglich ihrer Transportrichtung gemäss der Transportart nach bestimmten Prinzipien einzuordnen. So resultiert aus der Bewegung die Einregelung, d. h. die für jede Transportart charakteristische Verteilung in der Orientierung der Steinlängsachsen bezüglich der Transportrichtung. Bei

Flusstransport ordnen sich in der Regel 40–60 % aller Gerölle-Längsachsen rechtwinklig bzw. quer zur Richtung des fließenden Wassers ein (KÖSTER, 1964; FURRER und BACHMANN, 1968). In solifluidalen Schuttmassen hingegen bevorzugt die Einregelung die Transportrichtung, indem 45–55 % aller Steinlängsachsen in diese weisen (KÖSTER, 1964). Nach demselben Autor zeigt sich in Moränenmaterial lediglich ein schwach ausgebildetes Maximum in der Transportrichtung, während die Verteilung auf die andern Richtungen verhältnismässig ausgeglichen sein soll.

Unsere Untersuchungen legen zunächst dar, dass auch auf und in den Erdströmen des Schweizerischen Nationalparks eine bestimmte Einregelung bezüglich der Falllinie vorliegt, die ja bei gravitativem Massentransport der Transportrichtung entspricht. Ferner sollen Beziehungen zwischen Einregelung und Hangneigung sowie Einregelung und Transportstrecke dargelegt werden und schliesslich ist zu prüfen, welche Folgerungen und allgemein gültigen Aussagen die Untersuchungsergebnisse zulassen.

Zur Ermittlung der Einregelung dient die Situmetrie (BACHMANN, 1966; FURRER und BACHMANN, 1968). Jede Messung erfasst 100 Einzelsteine mit deutlich ausgeprägten Längsachsen von 2 bis 20 cm Länge, deren Orientierung bezüglich der Einregelungstafel ermittelt wird. Auf dieser ist das Winkelfeld von 180° durch vom Scheitelpunkt ausgehende Strahlen in 12 Abschnitte von je 15° Öffnungswinkel unterteilt, welche mit den Ziffern 1 bis 12 bezeichnet werden, und zwar im Sitogramm links vom Scheitelpunkt beginnend (Fig. 9, unten). Die Tafel wird bei bekannter Transportrichtung, die bei den vorliegenden Untersuchungen durch den Verlauf der Falllinie bestimmt ist, so orientiert, dass der Strahl, welcher die Felder 6 und 7 trennt, sich mit deren Richtung deckt. Schrägsteil in die Tiefe weisende Steine, deren Längsachsen 45° und mehr zur Erdstromoberfläche geneigt sind, werden dem Sektor 13 zugeordnet. Nach unseren verfeinerten Messmethoden (FURRER und BACHMANN, 1968) projizieren wir nunmehr die Längsachsen der so orientierten Komponenten auf die Tafelebene, wobei sie bei der Zählung einerseits im Sektor 13, andererseits aber auf den jeweiligen der 12 Tafelsektoren aufgeführt werden (vgl. Tabelle 1).

Für Vergleichszwecke werden Sammelgruppen gebildet, die nach internationaler Gepflogenheit mit römischen Zahlen bezeichnet sind, nämlich:

- Sammelgruppe I: Sektoren 5–8, also Komponenten, welche beidseitig bis höchstens 30° von der Tafelorientierung bzw. Transportrichtung abweichen.
- Sammelgruppe II: Links im Sitogramm die Sektoren 3 und 4, rechts im Sitogramm 9 und 10, also Komponenten, welche beidseitig zwischen 30° und 60° von der Tafelorientierung bzw. Transportrichtung abweichen.
- Sammelgruppe III: Links im Sitogramm die Sektoren 1 und 2, rechts im Sitogramm 11 und 12, also Komponenten, welche beidseitig mehr als 60° von der Tafelorientierung bzw. Transportrichtung abweichen.
- Sammelgruppe IV: Dem Sektor 13 entsprechend, also die schrägsteil stehenden Komponenten umfassend (steiler als 45° bezüglich der Oberfläche).

Da letztere durch die Projektion auf die Tafelebene auch auf die Sammelgruppen I, II und III aufgeteilt werden, wird in der Regel die Sammelgruppe IV beim Verteilungsverhältnis nicht mehr berücksichtigt, es sei denn, diese Sammelgruppe erweise sich zur Charakterisierung der situmetrischen Formmerkmale als relevant, wie dies z. B. bei Eiskeilen der Fall ist (BACHMANN, 1966).

Die Darstellung der Messergebnisse erfolgt in Form des Sitogrammes (BACHMANN, 1966), wobei die je Sektor ermittelten Prozentwerte flächenproportional wiedergegeben sind. Der auf den Sektor 13 entfallende Anteil wird im Scheitelpunkt der symbolisch dargestellten Messtafel senkrecht aufgesetzt. Das Sitogramm wird nach

oben erwähnter, verfeinerter Methode dahin abgeändert, dass die auf schrägsteil stehende Steine (Sektor 13) entfallenden Anteile auch auf der Messtafelenebene als nicht schraffierte Flächenteile erscheinen (z. B. Fig. 13).

Wenn im folgenden die situmetrischen Untersuchungsergebnisse sehr eingehend behandelt werden, so geschieht dies sowohl im Hinblick auf die wesentliche Bedeutung, welche im Zusammenhang mit Solifluktsformen der Situmetrie als morphologischer Untersuchungsmethode zukommt, als auch zu Vergleichszwecken. Seien wir uns bewusst, dass für morphologische Aussagen nicht die absoluten Prozentwerte in den einzelnen Sektoren oder Sammelgruppen entscheidend sind, sondern der Typus der Häufigkeitsverteilung betrachtet werden muss, wie er im Sitogramm zum Ausdruck kommt.

Bei den situmetrischen Messungen wird von der Annahme ausgegangen, dass die Lage der Steine auf einem Erdstrom und im Innern desselben durch die solifluidale Transportart bestimmt ist. Vereinzelt können allerdings auch durch andere Transportmedien auf den Erdstrom gelangt sein wie etwa Steinschlag oder Verfrachtung durch gleitenden Schnee. Auch können vereinzelt Steine durch Tiere in ihrer ursprünglichen Lage gestört worden sein. Doch dürfte sich auf diese Weise die charakteristische Häufigkeitsverteilung keinesfalls merkbar verändert haben.

4.3. Situmetrische Untersuchungen auf der Fliesserdedecke am Munt Buffalora

Mittels Theodolit wurde eine fallinientreue Profillinie ausgemessen, welche am Parkweg beginnt und auf der Krete des Munt Buffalora endet (Fig. 1 und 2). Sie ist in Figur 7 massstäblich eingezeichnet. Von ihr wird ein Erdstrom medial geschnitten. Die vier deutlich erkennbaren Verteilungen entsprechen vier ausgeprägten Erdstromstirnen: Die Hauptstirn unmittelbar am Parkweg und die Stirnen von drei aufsitzenden bzw. höhergelegenen Erdströmen.

Insgesamt wurden in unmittelbarer Nähe der exakt festgelegten Profillinie 17 Messungen auf Flächen mit Neigungen zwischen 10° und 33° vorgenommen. Zusätzliche Messungen erfolgten auf einem benachbarten Erdstrom. Diese wurden durch weitere Kontrollmessungen an ausgewählten Stellen ergänzt.

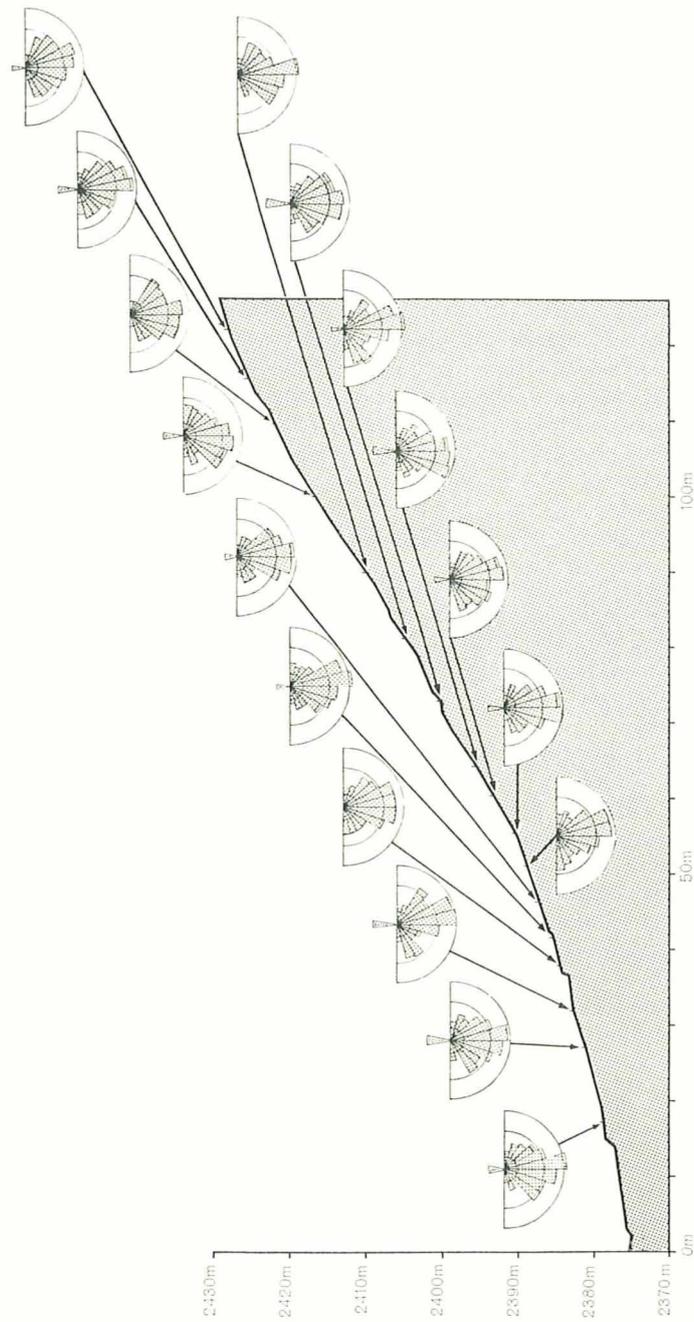
4.3.1. Die situmetrischen Verhältnisse längs der eingemessenen Profillinie

Zunächst ist besonders zu betonen, dass längs der Profillinie die für Solifluktion charakteristische Verteilung der Gesteinslängsachsen auf die Sammelgruppen I, II und III sich einstellt, nämlich

$$I > II > III$$

Nur eine der 17 Messungen ergab ein etwas abweichendes Resultat (I: 55 %, II: 22 %, III: 23 %). Dieser Befund wird durch die Sitogramme in Figur 7 veranschaulicht.

Als wesentliches Ergebnis ist sodann festzuhalten, dass sich das Solifluktionssitogramm bereits in geringer Distanz unterhalb der Kulmination des Höhenrückens einstellt. Ausserhalb des eingemessenen Profils war zu ermitteln, wie sich bereits in 8 Metern Entfernung vom auf dem Höhenrücken anstehenden Fels, wo die durch Solifluktion talwärts wandernden Steine losbrechen, ein einwandfreies Solifluktionssitogramm ausbildet, nämlich I: 45 %, II: 33 %, III: 22 %, und dies bei einer Hangneigung von 17° . Eine Zusammenstellung über die Beziehungen zwischen Transportdistanz und Einregelung vermittelt Figur 8.



Figur 7

Situometrische Verhältnisse auf Erdströmen am Hang des Munt Buffalo.

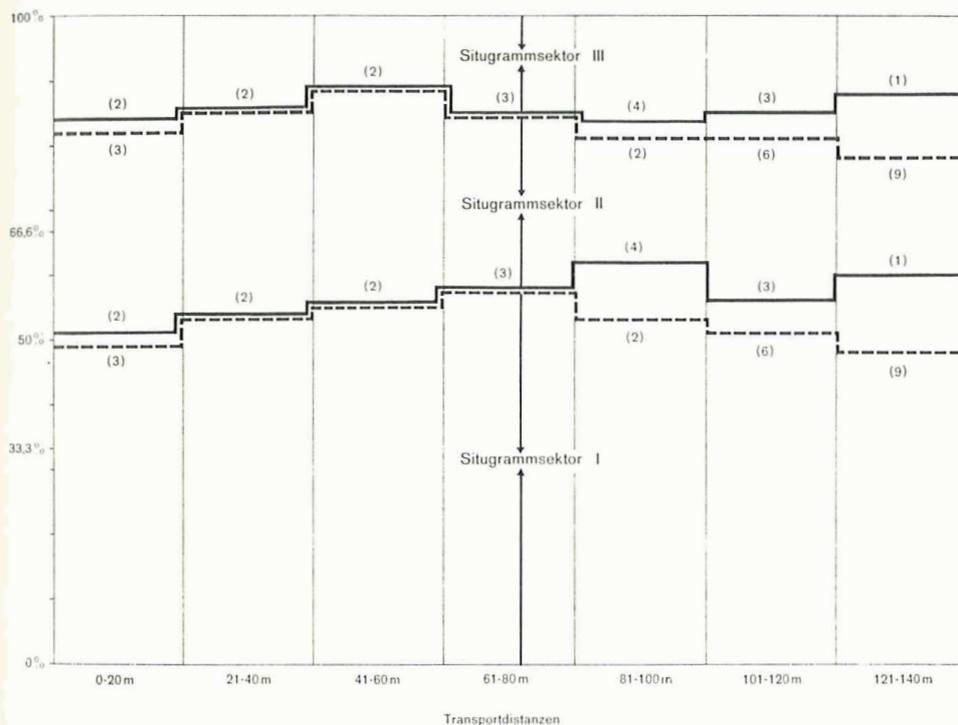
Massstabgetreu aufgezeichnet ist die vermessene Profilinie. Man beachte die Erdstromstirnen, welche als ausgeprägte Geländestufen zum Ausdruck kommen. In der Abszisse sind die Horizontalabstände vom Parkweg, in der Ordinate die absoluten Höhen über Meer angegeben. Die von den Sitogrammen zur Profilinie laufenden Pfeile weisen auf die jeweiligen Messstellen hin. Schon wenige Meter von der Kante (höchster Punkt des Profils) entfernt stellt sich eine solifluktiongemässe Einregelung ein. Die Halbkreise bei den Sitogrammen geben die Werte von 1%, 10% und 20% an.

Figur 7
 Situmetrische Verhältnisse auf Erdströmen am Hang des Munt Buffalora. Massstabgetreu aufgezeichnet ist die vermessene Profilinie. Man beachte die Erdstromstirnen, welche als ausgeprägte Geländestufen zum Ausdruck kommen. In der Abszisse sind die Horizontalabstände vom Parkweg, in der Ordinate die absoluten Höhen über Meer angegeben. Die von den Sitogrammen zur Profilinie laufenden Pfeile weisen auf die jeweiligen Messstellen hin. Schon wenige Meter von der Kante (höchster Punkt des Profils) entfernt stellt sich eine solifluktiongemässe Einregelung ein. Die Halbkreise bei den Sitogrammen geben die Werte von 1%, 10% und 20% an.

Die erwähnten Messergebnisse deuten darauf hin, dass schon eine sehr kurze Transportstrecke genügen kann, um die Steine solifluktionsgemäss einzuregeln. Ob aber, wie aus den Sitogrammen in Figur 7 vermutet werden könnte, bei längerem Transportweg der Anteil von der Sammelgruppe I zufallenden Steinen zunimmt, kann auf Grund der vorliegenden Messungen nicht entschieden werden.

Abgesehen von der Hauptregel, dass der höchste prozentuale Anteil der Steinlängsachsen in die Sammelgruppe I, der nächstkleinere in die Sammelgruppe II und der geringste in die Sammelgruppe III fällt, welche in 16 von 17 Messungen erfüllt wird, lassen sich folgende Nebenregeln aufstellen:

$(6 + 7) > (5 + 8)$	erfüllt in 15 von 17 Messungen,
$(5 + 8) > (4 + 9)$	erfüllt in 17 von 17 Messungen,
$(4 + 9) > (3 + 10)$	erfüllt in 15 von 17 Messungen,
$(3 + 10) > (2 + 11)$	erfüllt in 12 von 17 Messungen,
$(2 + 11) > (1 + 12)$	erfüllt in 16 von 17 Messungen,
I > 50 %	erfüllt in 17 von 17 Messungen.



Figur 8

Beziehungen zwischen Transportdistanz und Einregelung.

Die graphische Zusammenstellung gibt die Beobachtungen am Munt Buffalora wieder. Die ausgezogene Linie bezieht sich auf die Messungen längs der in Figur 7 dargestellten Profilinie, während die gestrichelte Linie die Messungen ausserhalb dieses Profils zusammenfasst. Die Anzahl der Messungen, welche innerhalb der im Diagramm angegebenen Transportdistanzenbereiche vorgenommen wurden, ist in Klammern beigefügt.

Aus der Übersicht erhellt, dass es keiner grösseren Transportdistanz bedarf, damit ein Solifluktionssitogramm zur Ausprägung gelangen kann.

Tabelle 1

Die charakteristischen Merkmale der Einregelung in Solifluktionsschutt
(Zusammenfassung von 17 Messungen)

Tafelsektoren	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Prozentanteile	2½	5	5½	7½	11	14	18	14	8	7	5	2½	(2)
Sammelgruppen	I				II				III				(IV)
Prozentanteil	57				28				15				(2)
Aufteilung	(6+7):32 (5+8):25				(4+9):15½ (3+10):12½				(2+11):10 (1+12): 5				

Tabelle 1 zeigt, wie sich die bei 17 Messungen festgestellten Orientierungen der Gesteinslängsachsen im Mittel prozentual auf die 12 Sektoren der Messtafel verteilen. Aus der Übersicht geht als grundsätzlich hervor, dass die Solifluktion eine bestimmte Einregelung bewirkt. Deren charakteristisches Merkmal besteht in der Tendenz, die Längsachsen in die Richtung der Fallinie einzuspielen. Dies kommt in der Mittlung der vorliegenden Messungen eindeutig zum Ausdruck, indem die prozentualen Anteile der eingemessenen Steine auf den einzelnen Sektoren in dem Mass abnehmen, wie der Winkel zunimmt, den ihre Längsachsen mit der Fallinie einschliessen. So schneiden 32 % der eingemessenen Längsachsen die Fallinie unter Winkeln von weniger als 15° (Sektoren 6 und 7), 25 % in Winkeln von 15° bis 30° (5 und 8), 15½ % in Winkeln von 30° bis 45° (4 und 9), 12½ % in Winkeln von 45° bis 60° (3 und 10), 10 % in Winkeln von 60° bis 75° (2 und 11) und schliesslich nur noch 5 % in Winkeln von 75° bis 90° (1 und 12). Das situmetrische Charakteristikum der Solifluktion manifestiert sich also in klarer Weise.

Auffallend gering ist der Anteil der steilstehenden Steine. Von 1700 eingemessenen Komponenten entfallen nur 32 Einzelexemplare oder knapp 2 % aller in die Messung einbezogenen Steine auf den Sektor 13 bzw. die Sammelgruppe IV.

4.3.2. Beziehungen zwischen Einregelung und Hangneigung

Innerhalb des Problemkreises um die Solifluktionserscheinungen stellt sich die Frage nach Faktoren, welche bestimmenden Einfluss auf die ablaufenden Prozesse auszuüben vermögen. In diesem Zusammenhang steht das Problem, ob Beziehungen zwischen Hangneigung einerseits und Ausmass, Intensität und formaler Ausprägung der Solifluktion andererseits zu erkennen seien. Ist dies der Fall, müssen sich allfällige Einflüsse der Hangneigung als Modifikationen im situmetrischen Befund offenbaren, da ja in der Einregelung ein wesentliches inneres Merkmal von Solifluktionsformen vorliegt. Aus diesem Grund wurden am Hang des Munt Buffalora insgesamt 57 Messungen ausgeführt, welche nach bestimmten Hangneigungen angeordnet waren. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 übersichtlich zusammengestellt.

Während die charakteristischen Merkmale von Messungen auf zwischen 10° und 33° geneigten Flächen bereits im Zusammenhang mit der Messreihe längs einer festgelegten Profillinie betrachtet worden sind, soll nun die Aufmerksamkeit den Messergebnissen auf Flächen von über 30° Neigung zugewandt werden. In der Häufigkeitsverteilung auf die Sammelgruppen I, II und III stellt sich offensichtlich eine Veränderung ein. Wie in Figur 9 zum Ausdruck kommt, wo die in Tabelle 2 aufgeführten situmetrischen Ergebnisse in Relation zur Hangneigung aufgezeichnet sind, sinkt auf Flächen mit über 30° Neigung der prozentuale Anteil der Sammelgruppe I unter 50 % ab, während der

Tabelle 2

Zusammenstellung von 57 situmetrischen Messergebnissen, ermittelt am Hang des Munt Buffalora, aufgeteilt nach Hangneigung

Hangneigung	I		II		III		Anzahl Messungen	I > II > III nicht erfüllt (Anzahl Messungen)
	6+7 %	5+8 %	4+9 %	3+10 %	2+11 %	1+12 %		
10°	32	26	13	14	9	6	3	0
12-14°	36	22	15	11	10	6	3	1
16-18°	28	22	16	14	9	11	3	0
20-22°	32	23	14	14	13	4	4	0
24-26°	30	23	18	13	9	7	9	1
28-30°	33	22	17	10	10	8	11	1
32-34°	27	18	19	13	13	10	11	1
36-38°	27	19	16	14	13	11	10	3
10-38°	30	21	17	13	11	8	54	7
	51		30		19			
40°	21	15	20	16	16	12	1	1
41°	18	14	16	18	17	17	1	1
45°	18	11	20	19	18	14	1	1

Anteil der Sammelgruppen II und vor allem auch III ansteigt. Das Ausklingen der betont fallinientreuen Einregelung zeigt sich auch darin, dass die sonst in der Regel durch höchsten Anteil hervortretenden Sektoren 6 und 7 ihre ausgeprägte Dominanz verlieren. Von den 25 Messungen, die auf um 30° und stärker geneigten Flächen vorgenommen worden sind, weisen nur noch deren 8 in der Sammelgruppe I einen Anteil von 50 % und mehr auf, im Gegensatz zu den Messungen auf schwächer geneigten Flächen, wo der Anteil der Sammelgruppe I – von geringfügigen Ausnahmen abgesehen – immer 50 % übersteigt (Seite 219).

Das in Figur 10 wiedergegebene Diagramm berücksichtigt sämtliche im Raum Munt Buffalora/Munt Chavagl vorgenommenen situmetrischen Messungen. Auf Grund des umfangreichen Beobachtungsmaterials darf die Frage, ob zwischen Hangneigung und Einregelung eine Beziehung besteht, durchaus bejaht werden. Im situmetrischen Bild äussert sich der Einfluss der Hangverteilung darin, dass bei sehr steiler Böschung

- der prozentuale Anteil der Sammelgruppe I absinkt, wobei allerdings die strenger fallinientreu eingeregelter Komponenten in den Sektoren 6 und 7 weniger betroffen erscheinen als die Komponenten, deren Längsachsen in die Sektoren 5 und 8 weisen,
- der prozentuale Anteil der Sammelgruppe II generell zunimmt und
- der prozentuale Anteil der Sammelgruppe III unter Umständen bei gewissen Grenzwerten sprunghaft ansteigen kann.

Mit andern Worten: Die Häufigkeitsverteilung auf die drei Sammelgruppen strebt bei Verteilung von gewissen Grenzwerten an zur Gleichverteilung hin.

In der Darstellung mittels Dreieckskordinaten soll die Bestimmung des Grenzwertes der Hangneigung versucht werden, von welcher an im Sitogramm das Solifluktionsscharakteristikum (I > II > III) nicht mehr zum Ausdruck kommt. Dem Dreieck in Figur 11 ist der «Gleichverteilungskreis» ($\chi^2 \cdot 95$) eingezeichnet. Bei situmetrischen Messergebnissen, deren punktförmige Abbildungen ausserhalb der Kreisfläche zu liegen kommen, kann mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % die Gleichverteilung ausgeschlossen

Solifluktionsschutt
(gen)

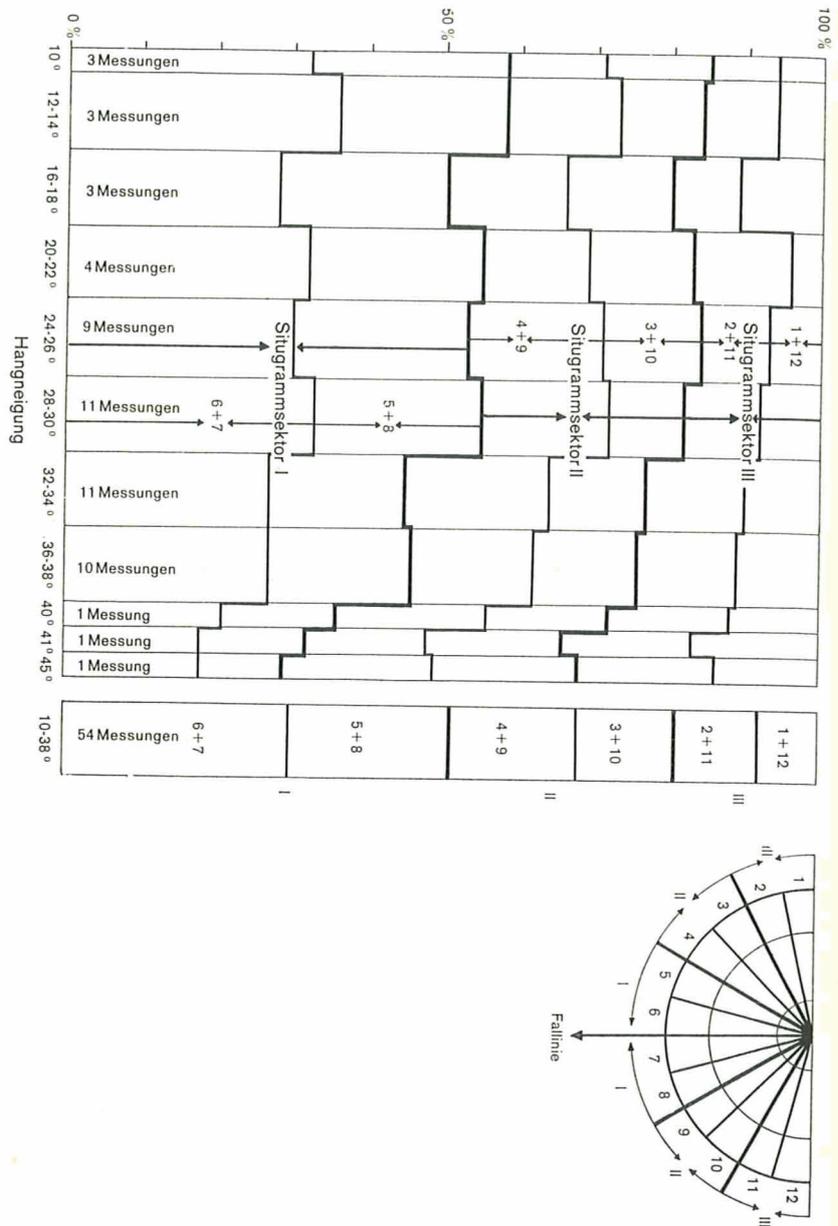
9	10	11	12	13
8	7	5	2½	(2)
III				(IV)
15				(2)
(2+11):10				
(1+12): 5				

gestellten Orientierungen der
Sektoren der Messtafel verteilen.
Solifluktion eine bestimmte
besteht in der Tendenz, die
es kommt in der Mittlung der
die prozentualen Anteile der
m Mass abnehmen, wie der
einschliessen. So schneiden
Winkeln von weniger als 15°
d 8), 15½ % in Winkeln von
nd 10), 10 % in Winkeln von
nkeln von 75° bis 90° (1 und
n manifestiert sich also in

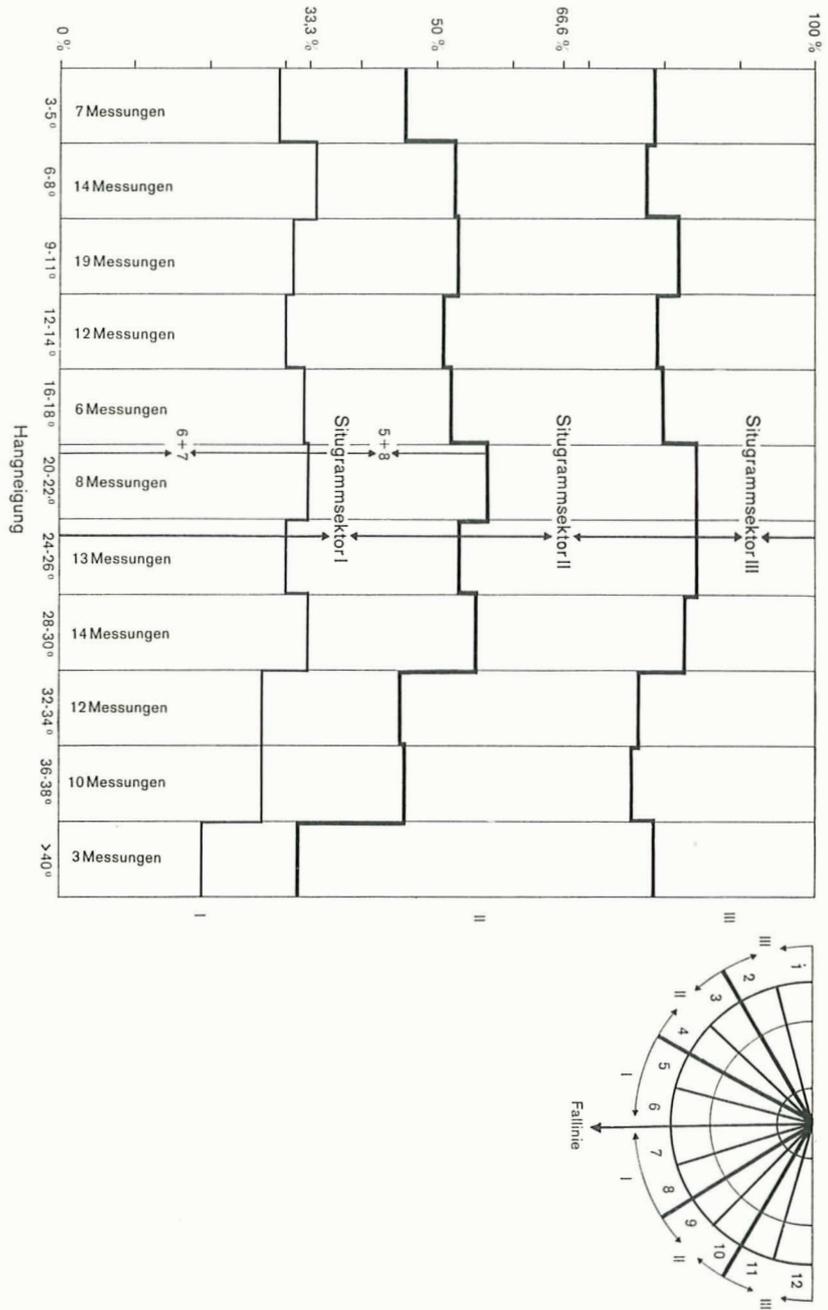
ne. Von 1700 eingemessenen
pp 2 % aller in die Messung
uppe IV.

inungen stellt sich die Frage
blaufenden Prozesse auszu-
m, ob Beziehungen zwischen
naler Ausprägung der Soli-
issen sich allfällige Einflüsse
und offenbaren, da ja in der
ktionsformen vorliegt. Aus
gesamt 57 Messungen aus-
lnet waren. Die Ergebnisse

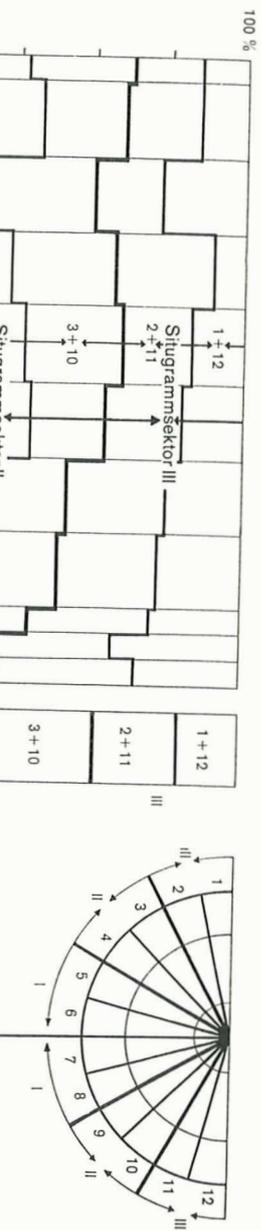
n auf zwischen 10° und 33°
eie längs einer festgelegten
mkeit den Messergebnissen
der Häufigkeitsverteilung
lich eine Veränderung ein.
aufgeführten situmetrischen
sinkt auf Flächen mit über
nter 50 % ab, während der



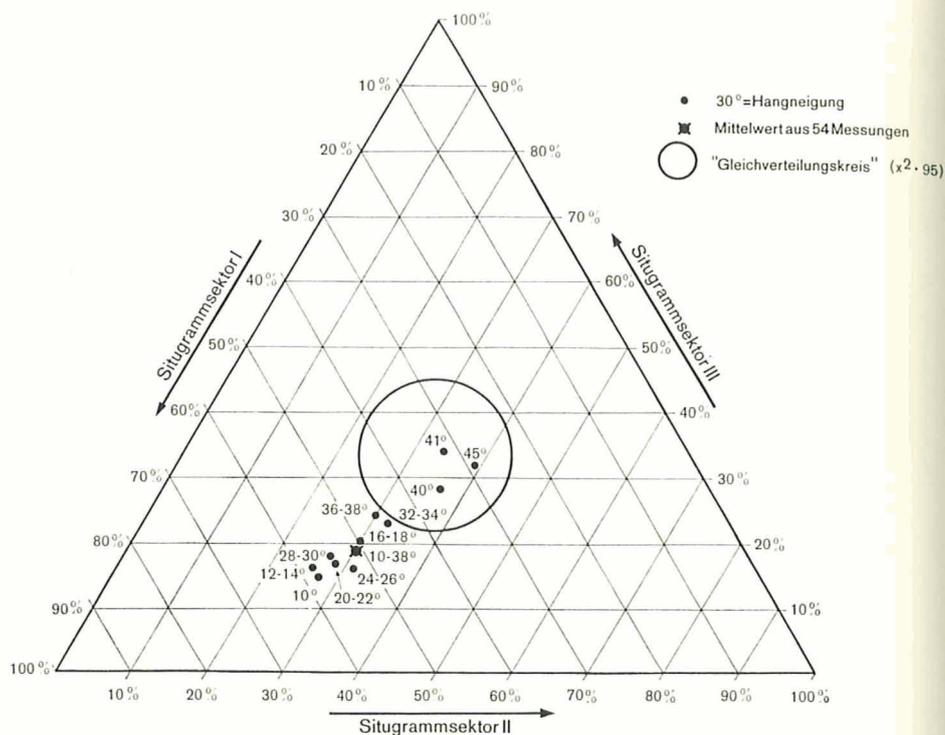
Figur 9
 Beziehungen zwischen Hangneigung und Einregelung.
 Graphisch dargestellt sind die in Tabelle 2 wiedergegebenen situmetrischen Ergebnisse, welche am Hang des Munt Buffalora ermittelt worden sind. Auf der Abszisse ist die Hangneigung (teilweise zu Bereichen von 2° zusammengefasst) abzulesen, auf der Ordinate der prozentuale Anteil der in die angegebenen Einregelungsgruppen weisenden Längsachsen der eingemessenen Steine. Die Situation der Tafelsektoren (arabische Zahlen) und Sammelgruppen (römische Zahlen) lässt sich der schematischen Wiedergabe der Messtafel entnehmen.



Figur 10
 Beziehungen zwischen Hangneigung und Einregelung.
 Es sind sämtliche im Raum Munt Buffalora/Munt Chavagl erlangten Messergebnisse zusammengefasst (vgl. Legende zu Figur 9).



rischen Ergebnisse, welche am
 st die Hangneigung (teilweise
 der prozentuale Anteil der in
 eingemessenen Steine.
 appen (römische Zahlen) lässt



Figur 11

Darstellung der in Tabelle 2 enthaltenen 57 situmetrischen Messergebnisse mittels Dreieckskordinaten.

Zu beachten ist vor allem, dass die auf Neigungswinkeln von über 38° festgestellte situmetrische Aufteilung der Steinlängsachsen innerhalb des eingezeichneten «Gleichverteilungskreises» ($\chi^2 \cdot 95$) zur Abbildung gelangen, während auf geringeren Neigungswinkeln eine Gleichverteilung mit der Wahrscheinlichkeit von 95% ausgeschlossen werden kann.

sen werden. Überträgt man die in Tabelle 2 aufgeführten Messdaten auf die Dreiecksfläche, so erhalten diejenigen Punkte, welche Messungen entsprechen, die auf Flächen von mehr als 38° Neigung vorgenommen worden sind, Positionen innerhalb des «Gleichverteilungskreises». Hingegen kommen die Abbildungspunkte der Messungen auf Flächen von geringerer Hangneigung deutlich ausserhalb des «Gleichverteilungskreises» zu liegen.

Es zeigt sich also, dass die Solifluktion bei stärkerer Hangneigung offenbar durch andere Vorgänge abgelöst wird, was sich darin zu erkennen gibt, dass die solifluktionsgemässe Einregelung zunächst verwischt und schliesslich ausgelöscht erscheint. Auf Grund der situmetrischen Untersuchung kann für das ausgewählte Arbeitsgebiet ein Grenzbereich der Hangneigung ermittelt werden, bei der solifluidale Vorgänge ihren reliefbestimmenden Charakter einbüßen. Nach den vorliegenden Ergebnissen muss der Grenzwert – unter Einberechnung eines gewissen Übergangsbereichs – bei Hangneigungen von 32° bis 38° angesetzt werden.

4.4. Situmetrische Untersuchung des Erdstroms am Fuss des Munt Chavagl (engeres Arbeitsgebiet)

Besonders eingehend erfolgte die situmetrische Untersuchung des auf Figur 1 markierten Erdstroms am Fuss des Munt Chavagl, des Erdstroms, dessen Oberfläche auf der Planbeilage steingerecht festgehalten ist. Ebendasselbst erscheint ein Teil der oberflächlich ermittelten Situgramme an den ausgewählten Messstellen. Der Sondiergraben bot die Möglichkeit, die situmetrische Untersuchung trotz technischer Schwierigkeiten auch auf tiefere Horizonte auszudehnen.

Im folgenden soll zunächst auf Grund des allgemeinen situmetrischen Befundes die im vorangehenden Abschnitt aufgeworfene Frage nach dem Zusammenhang zwischen Hangneigung und solifluktionsgemässer Einregelung weiter erörtert werden.

POSER und HÖVERMANN (1951, p. 82) weisen darauf hin, «dass die charakteristische Textur» (generelle Häufigkeitsverteilung von I > II > III) «bei mässigen Böschungen ebenso wie bei stärkeren Böschungen schon nach einem Transport von 300 m vorhanden ist und dann im Grundtypus erhalten bleibt». Im Gegensatz zu dieser Feststellung belegen die vorstehend aufgeführten situmetrischen Untersuchungsergebnisse, dass auf der Fliesserdedecke am Hang des Munt Buffalora keineswegs derart beträchtliche Transportstrecken nötig sind, sondern dass sich ein charakteristisches Solifluktionssitogramm bereits nach wesentlich geringeren Verfrachtungswegen einstellt. In einem Extremfall war dies bereits nach einer Transportstrecke von rund 8 m der Fall (Seite 217).

Nachdem im vorangehenden Abschnitt eindeutig gezeigt werden konnte, dass sich der Böschungswinkel auf die Einregelung auswirkt, indem sich bei bestimmter Hangneigung die Steine nicht mehr der Hauptregel I > II > III gemäss einregeln, soll nun eine andere Frage aufgegriffen werden: Zwischen welchen Hangneigungen wirkt die Hangsolifluktion überhaupt?

Nach BÜDEL (1962) treten solifluidale Bewegungsspuren schon bei Neigungswinkeln von knapp 2° auf, exakt zwischen 1,7° und 2° (1959, p. 310). Der Autor denkt dabei offensichtlich an die Hangsolifluktion oder klinotrope Solifluktion (TROLL, 1947). POSER (1954, p. 155) betrachtet als minimale Voraussetzung für die Makrosolifluktion eine Hangneigung von etwa 3°. Die situmetrischen Untersuchungen im Raum Munt Buffalora/Munt Chavagl bestätigen, dass sich tatsächlich schon bei schwachen Böschungswinkeln – grössenordnungsmässig standen für die Beobachtung minimale Neigungen von 3° bis 5° zur Verfügung – eine für Solifluktion typische Einregelung nachweisen lässt. Die Messdaten sind in Tabelle 3 aufgeführt. Auch ELSASSER (1968, p. 30) legt zahlreiche Belege vor, die zeigen, dass bereits um etwa 4° geneigte Flächen ausgesprochen solifluidalen Einregelungscharakter besitzen.

Um zu prüfen, ob die im Raume Munt Buffalora/Munt Chavagl beobachteten situmetrischen Verhältnisse und ihre Beziehung zur Hangneigung einen Einzelfall darstellen oder eine allgemein gültige Aussage erlauben, seien die hier ermittelten Messergebnisse mit denjenigen verglichen, die ELSASSER (1968, p. 30) auf der Fuorcla da Fällar im Avers erlangte. Dort vollzieht sich die Solifluktion auf völlig vegetationslosen Flächen über Dauerfrostboden. Zum Vergleich sollen Messungen dienen, welche auf Zwischenstreifen des ausgedehnten Steinstreifenbodens vorgenommen worden sind, wo sich erfahrungsgemäss ebenfalls ausgesprochene Solifluktionssitogramme ergeben. Die Gegenüberstellung erfolgt in Figur 12 auf graphische Weise. Aus der Zusammenschau geht hervor, dass sich die situmetrische Ausprägung der Solifluktion in ihrer Relation zur Hangneigung auf der Fuorcla da Fällar deutlicher äussert als im Raum Munt Buffalora/Munt Chavagl. Hingegen gelangen bei Hangneigungen von 28° und mehr die

- 30°=Hangneigung
- Mittelwert aus 54 Messungen
- "Gleichverteilungskreis" ($\chi^2 \cdot 95$)

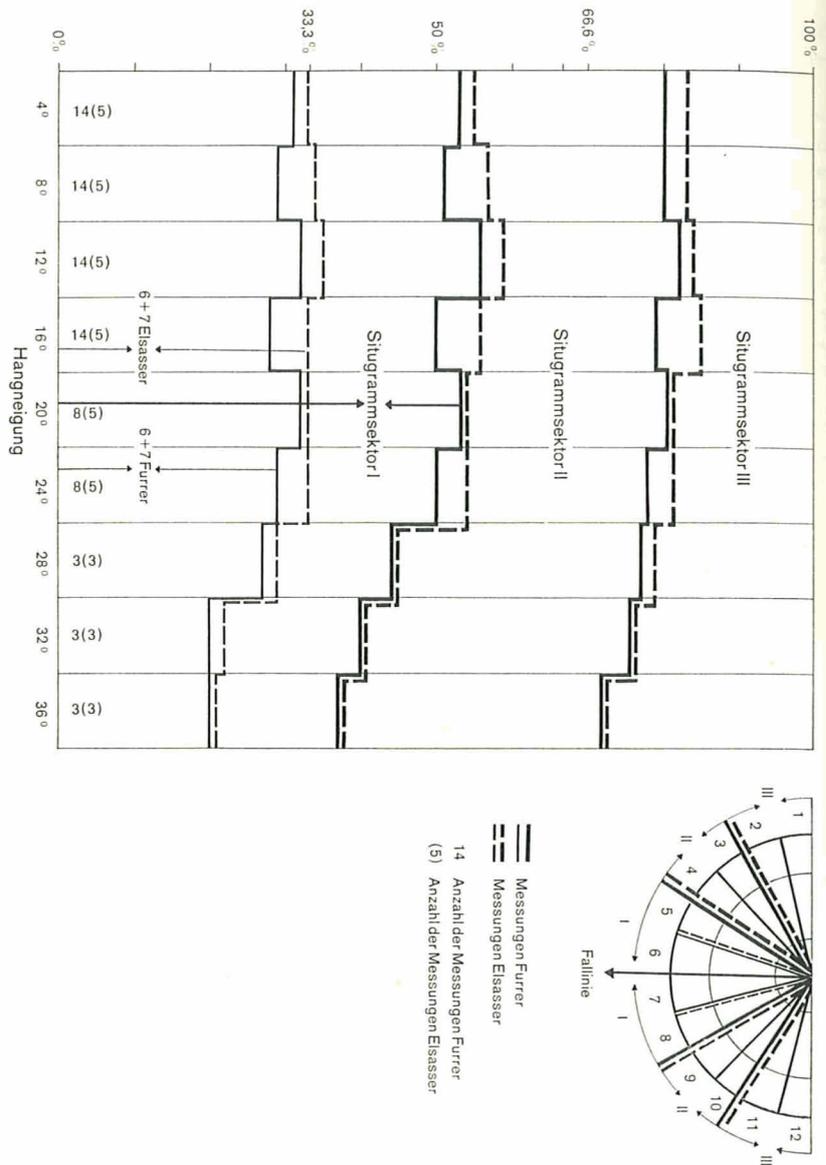


ssergebnisse mittels Dreieck-

38° festgestellte situmetrische Gleichverteilungskreises» ($\chi^2 \cdot 95$) eine Gleichverteilung mit der

essdaten auf die Dreiecks- sprechen, die auf Flächen innen innerhalb des «Gleich- punkte der Messungen auf «Gleichverteilungskreises»

ngneigung offenbar durch gibt, dass die solifluktion- ausgelöscht erscheint. Auf gewählte Arbeitsgebiet ein solifluidale Vorgänge ihren den Ergebnissen muss der Bereichs – bei Hangneigung-



Figur 12

Beziehungen zwischen Hangneigung und Einregelung.

Es werden situmetrische Befunde bei gebundener Solifluktion über nicht gefrorenem Boden (Messungen FURRER im Raum Munt Buffalora/Munt Chavagl) mit solchen bei freier Solifluktion über Dauerfrostboden (Messungen ELSASSER auf Fuorcla da Fäller) verglichen.

Aus dem Vergleich geht hervor, dass die situmetrische Charakteristika bei freier Solifluktion über Permafrost sich offenbar prägnanter auszuprägen vermögen als bei gebundener Solifluktion. Auf die Messungen von ELSASSER wird im Kapitel «Untersuchung gegenwärtiger Bewegungsvorgänge auf Erdstromrücken» eingetreten.

Untersuchungsergebnisse aus beiden Gebieten weitgehend zur Deckung. Ob bei schwächeren Hangneigungen die Unterschiede durch unterschiedliche Solifluktionsart (Nationalpark: gebundene oder gehemmte Solifluktion; Fuorcla da Fälller: freie Solifluktion) oder durch das verschiedene petrographische Milieu (Nationalpark: Zellendolomit; Fuorcla da Fälller: Bündner Schiefer) bedingt sein könnten und als signifikant zu betrachten sind, bleibe vorderhand dahingestellt.

Die Bestimmung des oberen Grenzwinkels der Hangneigung, bei dem die Hangsolifluktion durch andere Vorgänge abgelöst wird, erweist sich offensichtlich als sehr komplex. Steinstreifen – auffällige, eindeutig identifizierbare Äusserungen solifluidaler Bewegung – sind von ELSASSER (1968, p. 25) ausnahmsweise noch in guter Entwicklung auf Hängen von 36° Neigung beobachtet worden. STINGL (1969, Abb. 36) fand in den Ostalpen auf Hängen von 30° bis 35° Neigung nur noch vereinzelte Solifluktionsformen. Beobachtungen aus andern Gebieten scheinen diese Extremwerte zu bestätigen. Überblickt man das bisher vorliegende Beobachtungsmaterial, so darf wohl die folgende Aussage von HÖLLERMANN (1964, p. 67) verallgemeinert werden: In der Regel herrschen auf «Böschungen von mehr als etwa 30° andere Abtragungsvorgänge vor. Der Winkel von 30° kann nur als angenäherter oberer Grenzwert für die Hangsolifluktion angesehen werden, da im einzelnen je nach Gestein, Korngrösse des Materials, Beschaffenheit des überragenden Reliefs usw. beträchtliche Unterschiede bestehen».

Da die Einregelung als wesentliches Indiz der Solifluktion betrachtet werden kann, sollte sich dieser obere Grenzwert der Hangneigung, oberhalb dessen kein Bodenfließen mehr erfolgt, darin zu erkennen geben, dass die Ausprägung des Solifluktionssitogramms unterbleibt. Die Untersuchungen, welche im Raum Munt Buffalora/Munt Chavagl vorgenommen worden sind, führen zum Ergebnis, dass auf Flächen von 28° Neigung noch deutliche Solifluktionssitogramme auftreten. Bei grösseren Hangneigungen nähert sich das Verhältnis der Sammelgruppen I:II:III der Gleichverteilung (vgl. die Figuren 10 und 11). Auf Grund des sitometrischen Befundes beurteilt, dürfte der fragliche obere Grenzwinkel der Hangneigung bei 28° bis 30° liegen. Bei stärkerer Böschung tritt offenbar die Solifluktion gegenüber andern Vorgängen – z. B. Abspülung – merkbar zurück, wobei allerdings lokale Faktoren von Fall zu Fall Variationen des Grenzwertes zu bewirken vermögen.

Die in Tabelle 3 aufgeführten Messdaten offenbaren keine neuen Ergebnisse. Die solifluktionsgemässe Einregelung stellt sich durchwegs ein. Nur bei einzelnen Messergebnissen im Neigungsbereich von 12° bis 14° lässt sich eine Gleichverteilung nicht

Tabelle 3

Beziehung zwischen Einregelung und Hangneigung auf der Erdstromoberfläche am Fuss des Munt Chavagl

Hangneigung	Sammelgruppen (Prozentanteile)			Anzahl Messungen	I > II > III nicht erfüllt in Anzahl von Fällen
	I %	II %	III %		
3– 5°	46	33	21	7	1
6– 8°	52 ½	25 ½	22	14	3
9–11°	50	30	20	12	1
12–14°	48	29	23	8	1
16°	54	26	20	3	0

über nicht gefrorenem Boden
solchen bei freier Solifluktion
) verglichen.
eristika bei freier Solifluktion
als bei gebundener Solifluktion.
ng gegenwärtiger Bewegungs-

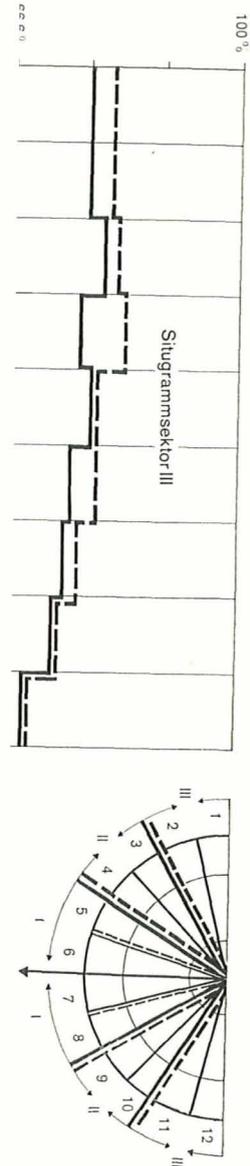


Tabelle 4

Situmetrische Verteilung von kantengestellten und steilstehenden Steinen

	Tafelsektoren												Sammelgruppen			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	I	II	III	
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	
Mittel aus 44 Messungen		5	5½	7½	7½	9½	18½	12	9	8	7	6	4½	49	30	21
Verteilung von 220 kantengestellten Steinen	10	6	5	6	10	14	10	10	7	10	6	6	44	28	28	
Verteilung von 172 steilstehenden Steinen (Sammelgruppe IV)	4	3	6	6	15	24	15	8	6	5	4	4	62	23	15	

strikte ausschliessen. Im Mittel aller 8 diesbezüglichen Messungen resultiert darum in der Sammelgruppe I mit 48 % ein relativ geringer Anteil.

Abschliessend sei noch dem Verhalten der steil- und kantengestellten Steine Aufmerksamkeit geschenkt, weil bei der Messung diese Komponenten gesondert berücksichtigt worden sind.

Die steilstehenden Komponenten treten anteilmässig wenig in Erscheinung. Von 4400 eingemessenen Steinen entfallen nur deren 172 oder knappe 4 % der beobachteten Gesamtmenge auf den Sektor 13 bzw. die Sammelgruppe IV. Die Projektion der steilstehenden Längsachsen auf die Tafelenebene (der Erdstromoberfläche entsprechend) führt zum Ergebnis, dass deren Verteilung auf die Sektoren 1 bis 12 dem Solifuktions-sitogramm der flachliegenden Steine durchaus entspricht. Dies geht aus der in Tabelle 4 aufgeführten Zusammenfassung deutlich hervor.

Gering ist auch der Anteil der kantengestellten Komponenten an der Gesamtzahl der eingemessenen Steine. Von den 4400 Einzelsteinen, die von den 44 Messungen erfasst worden sind, liessen sich 220 oder 5 % als kantengestellt klassifizieren. In ihrer Aufteilung auf die Sammelgruppen I, II und III spiegelt sich die charakteristische Regel $I > II > III$ weniger deutlich wider. Allerdings liegt eine zu geringe Zahl von Beobachtungen vor, um repräsentativ zu sein. Ausserdem darf vielleicht in Betracht gezogen werden, dass kantengestellte Steine meist im Zusammenhang mit den der primären Grossform (Erdstrom) eingeordneten Kleinformen (Strukturformen) stehen. Sie gehören häufig den Rahmen von Steinstreifen oder Steinzungen an, wo sich ein anderes Einregelungsprinzip bemerkbar macht (Seite 200).

4.5. Situmetrische Untersuchung von Kleinformen auf Erdstromrücken

Wie bereits auf Seite 200 erwähnt wurde und wie aus der Planbeilage ersichtlich ist, weisen die Erdstromrücken stellenweise, vor allem auf ausgedehnteren vegetationsfreien Flächen, eine sekundäre Strukturierung auf. Der primären Grossform sind Kleinformen eingeordnet. Es handelt sich dabei um in ihrer formalen Ausprägung erkennbare, aber meist nicht ideal entwickelte Strukturformen. So finden sich da und dort über Strecken von einigen Dezimetern bis etwa 2 Metern Steinstreifen, die durch lineare Anordnung gröberer Steinrümmer auffallen; auf ebenen Flächen können steinringartige Gebilde beobachtet werden und relativ häufig treten Steinzungen auf.

stehenden Steinen

			Sammelgruppen		
10	11	12	I	II	III
%	%	%	%	%	%
7	6	4½	49	30	21
10	6	6	44	28	28
5	4	4	62	23	15

ssungen resultiert darum in

antengestellten Steine Auf-
ponenten gesondert berück-

venig in Erscheinung. Von
nappe 4 % der beobachteten
V. Die Projektion der steil-
moberfläche entsprechend)
I bis 12 dem Solifluktions-
ies geht aus der in Tabelle 4

ponenten an der Gesamtzahl
von den 44 Messungen er-
stellt klassifizieren. In ihrer
sich die charakteristische
eine zu geringe Zahl von
darf vielleicht in Betracht
sammenhang mit den der
en (Strukturformen)
der Steinzungen an, wo sich
00).

romrücken

Planbeilage ersichtlich ist,
ausgedehnteren vegetations-
ären Grossform sind Klein-
en Ausprägung erkennbare,
wo finden sich da und dort
nstreifen, die durch lineare
Flächen können steinring-
Steinzungen auf.

Strukturformen weichen in ihrer Einregelung von Fliesserdmassen ab. Ihr Charakteristikum besteht darin, dass die der Sammelgruppe I zugehörigen Komponenten den höchsten prozentualen Anteil ausmachen, der nächstniedrigere Anteil nun aber nicht in der Sammelgruppe II, sondern in der Sammelgruppe III auftritt, die Sammelgruppe II somit den kleinsten Anteil bestreitet (FURRER, 1965a und b, 1966, 1969, ELSASSER, 1968). Strukturböden, d. h. die Steinrahmen von Strukturformen, sind also durch die folgende generelle Häufigkeitsverteilung auf die Sammelgruppen I, II und III charakterisiert:

$$I > III > II$$

Bezüglich der Messtechnik ist zu bemerken, dass bei der Untersuchung von Steinstreifen und Steinzungen die Messtafel nicht mehr nach der Fallinie orientiert wird wie bei Messungen auf Erdstrom- und Steinzungenrücken oder auch Zwischenstreifen, sondern dem Achsenverlauf des Steinrahmens entlang zu führen ist (BACHMANN, 1966, Fig. 22).

Der Einsatz der Situmetrie erlaubt die eindeutige Identifikation von Strukturformen. Die nach oben erwähnter Messtechnik vorgenommene Untersuchung eines Steinstreifens und von fünf Steinzungenrahmen – Formen, die optisch auszumachen waren – führte zum in Tabelle 5 wiedergegebenen Gesamtergebnis. Die Einregelung ist also durch die Häufigkeitsverteilung charakterisiert, die als Indiz für Strukturformen Gültigkeit hat: $I > III > II$.

Verglichen mit den auf Erdstromrücken beobachteten Verhältnissen erscheint die Anzahl von kanten- und steilgestellten Steinen im Bereich von Strukturformen relativ gross. Von insgesamt 600 eingemessenen Steinen waren deren 94 als kanten- und deren 71 als steilgestellt zu beurteilen. Die Projektion der Längsachsen auf die Messtafelebene zeigt, dass die speziell gelagerten Steine sich dem charakteristischen Einregelungsprinzip der Strukturformen einordnen: Dem höchsten Anteil in Sammelgruppe I folgt der nächstniedrige in Sammelgruppe III, während die Sammelgruppe II den kleinsten Anteil bestreitet.

Dieses Ergebnis deckt sich mit Beobachtungen in Ost-Spitzbergen (FURRER, 1969). Deshalb dürfte der Schluss erlaubt sein, dass flachliegende, steil- und kantengestellte

Tabelle 5
Situmetrische Verhältnisse in Strukturformen auf dem Erdstromrücken

Struktur- bodenformen	Gesamtergebnis			Kantengestellte Steine			Steilgestellte Steine					
	beob- achtete	I	II	III	beob- achtete	I	II	III	beob- achtete	I	II	III
	Kom- ponenten	%	%	%	Kom- ponenten	%	%	%	Kom- ponenten	%	%	%
Steinstreifen (1 Messung) und Steinzungenränder (5 Messungen)	600	46	21	33	94	60	13	27	71	50	15	35
Rückenflächen von Steinzungen (3 Messungen)	300	46	28	26	23	80	13	7	16	69	6	25

Steine in Steinrahmen von Strukturformen durchwegs nach gleichen Prinzipien eingeregelt liegen, d. h. dass die Stellung der einzelnen Komponenten keinen Einfluss auf die Einregelung auszuüben vermag.

Auf den Feinerderücken von Steinzungen dagegen erfahren die Steine eine solifluktionsgemässe Einregelung. Dasselbe ist auf Zwischenstreifen der Fall (ELSASSER, 1968), und ZUBER (1968) gelangte bei situmetrischen Untersuchungen auf Girlandentrücken im Schweizerischen Nationalpark zum gleichen Ergebnis. Vergleichen wir die auf Girlandentrücken ermittelten situmetrischen Daten von ZUBER mit denjenigen, die auf Steinzungenrücken erlangt worden sind, ergibt sich neben der generellen noch eine weitere Übereinstimmung: Die Einordnung von Stein-Längsachsen in die Richtung der Fallinie erscheint nur schwach betont. Die Anteile in den Sammelgruppen II und III unterscheiden sich nur geringfügig. Steil- und kantengestellte Steine aber weisen mit ihren Längsachsen vorwiegend in die Richtung der Fallinie.

4.6. Die Einregelung in verschiedenen Tiefen des Erdstroms

Die situmetrischen Messungen an den Wänden des Sondiergrabens dienten dem Zweck, den Aufbau des Erdstroms auch nach diesem Gesichtspunkt hin zu untersuchen, um schliesslich zu fundierten Aussagen bezüglich dessen Genese gelangen zu können. Messstellen und Sitogramme sind in Figur 13 festgehalten.

Im wesentlichen ist Antwort auf drei Fragen zu suchen:

1. Gehört das zuunterst im Graben festgestellte Steinbett (Seite 213 und Fig. 13) noch zum Erdstrom oder bildet es dessen Liegendes?
2. Sind vier oder fünf Überwanderungs- bzw. Fliessphasen auseinanderzuhalten, nachdem auf Grund der vorgefundenen fAh-Horizonte (Seite 212 und Fig. 5) vier ehemalige Erdstromoberflächen unterschieden werden können?
3. Erfolgte die Einregelung in tieferen Horizonten nach dem gleichen Prinzip, welches sich auf der Erdstromoberfläche als charakteristisch erwiesen hatte?

Vorerst sei ein Hinweis auf die technischen Schwierigkeiten erlaubt, welche sich bei den Messungen an der Grabenwand einstellten. Um 100 Einzelsteine zu erfassen, mussten relativ hohe Säulen einbezogen werden. Deren vertikale Ausdehnungen sind in Figur 13 mit gestrichelten Markierungen angegeben. In den verschiedenen Horizonten treten nämlich Steine nicht immer häufig auf. Besonders die Probensäule A (Fig. 5)

Figur 13

Zusammenfassende Übersicht der situmetrischen Befunde im Sondiergraben.

Die unterschiedliche Ausprägung der Solifluktionssitogramme in verschiedener Profiltiefe (hervorgehoben durch die Wiedergabe der prozentualen Anteile in den drei Sammelgruppen mittels Säulendarstellung) ermöglicht die Abgrenzung einzelner Fliessersededecken. Auf diese Weise wird der bodenkundliche Befund, dass der Erdstrom aus übereinanderliegenden, verschiedenaltrigen Solifluktionsdecken aufgebaut ist, welche durch fAh-Horizonte voneinander getrennt werden, situmetrisch bestätigt. Die Sitogramme 1, 2, 4, 5, 9, 10 und 12 können als eindeutige Solifluktionssitogramme bezeichnet werden. Das Sitogramm 14, aufgenommen in der Würmmoräne (Steinbett als Liegendes des Erdstroms) passt sich der als wahrscheinlich anzunehmenden Fliessrichtung des Gletschers ein, der das Untersuchungsgebiet überfahren hatte.

Den vom dargestellten Profilschnitt getroffenen fAh-Horizonten (römische Zahlen) ist der Gehalt an organischem Kohlenstoff beigefügt. Die nicht im Profil erkennbaren sind in der vermuteten Tiefe eingetragen (seitliche Projektion von Beobachtungen in der unmittelbaren Nachbarschaft des dargestellten Schnitts).

... nach gleichen Prinzipien
... Komponenten keinen Einfluss auf

... fahren die Steine eine soli-
... treifen der Fall (ELSASSER,
... ersuchungen auf Girlanden-
... gebnis. Vergleichen wir die
... ZUBER mit denjenigen, die
... den der generellen noch eine
... sachsen in die Richtung der
... Sammelgruppen II und III
... llte Steine aber weisen mit

... ondierrabens dienten dem
... esichtspunkt hin zu unter-
... dessen Genese gelangen zu
... erhalten.

... ett (Seite 213 und Fig. 13)

... masen auseinanderzuhalten,
... te 212 und Fig. 5) vier ehe-
... n?

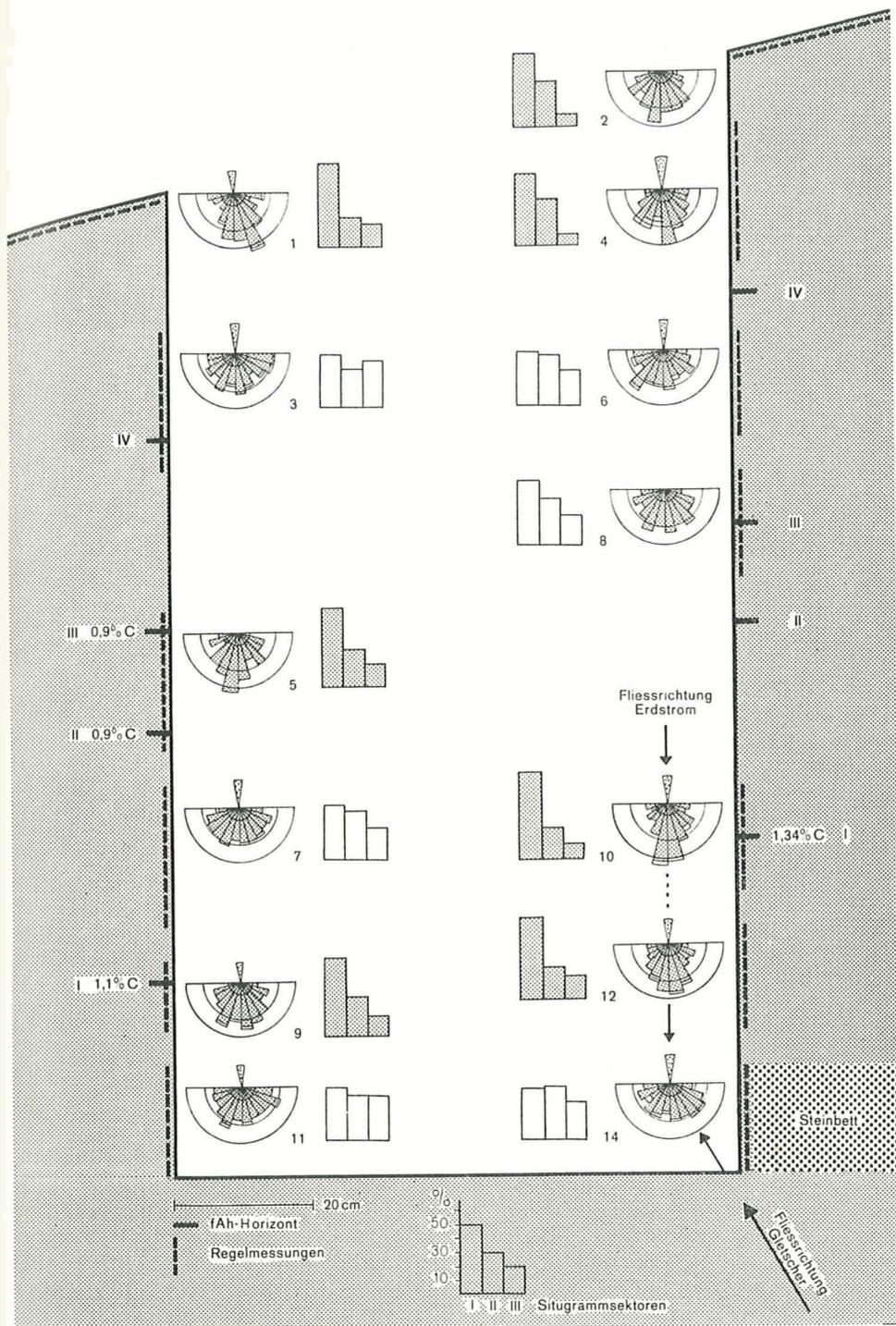
... nach dem gleichen Prinzip,
... erwiesen hatte?

... ten erlaubt, welche sich bei
... zelsteine zu erfassen, muss-
... tale Ausdehnungen sind in
... verschiedenen Horizonten
... die Probensäule A (Fig. 5)

... lierrabens.

... verschiedener Profiltiefe (hervor-
... drei Sammelgruppen mittels
... decken. Auf diese Weise wird
... liegenden, verschiedenaltigen
... voneinander getrennt werden,
... en als eindeutige Solifluktionen
... n der Würmmoräne (Steinbett
... nehmenden Fließrichtung des

... mische Zahlen) ist der Gehalt
... baren sind in der vermuteten
... unmittelbaren Nachbarschaft



erwies sich als ausgesprochen skelettarm. Es war daher nicht möglich, die Orientierung der Steinlängsachsen innerhalb begrenzbarer Horizonte von vielleicht 5 bis 10 cm Mächtigkeit zu bestimmen, wie dies für unsere Zwecke wünschbar gewesen wäre. So ist eine exakte Abgrenzung auf Grund der Situmetrie ziemlich schwer. Auch der Versuch, einzelne Horizonte im Innern des Erdstroms flächenhaft freizulegen, um die Einregelungsmessung wie an der Erdstromoberfläche durchzuführen, schlug fehl, weil durch die Freilegung die Steine zu sehr in ihrer Lage gestört wurden.

In verschiedenen Horizonten waren gelegentlich frostsprengte Steine zu beobachten, deren Fragmente meist nahe beisammen lagen und sich zusammenfügen liessen. Ausnahmsweise konnten auch Teile beobachtet werden, die sich nicht mehr unmittelbar nebeneinander befanden, weil durch die Solifluktion das talwärts liegende Fragment etwas hangabwärts verlagert worden war.

Mit zunehmender Tiefe, etwa von 130 bis 145 cm an, treten die Steine wieder häufiger auf als in den höheren Horizonten. Es finden sich dort teilweise bedeutend grössere Komponenten (faustgross und darüber). Auch erscheinen die Steine dichter gelagert als weiter oben. Sie liegen von der erwähnten Tiefe an in eine zähe und feuchte Feinerdemasse eingebettet. Wie schon auf Seite 213 erwähnt wurde, weisen diese tieferen Horizonte zahlreiche Verrucano- und Buntsandsteinkomponenten, teilweise bis etwa kopfgrosse Trümmer, auf, die gelegentlich deutlich kantengerundet erscheinen. Diese Beobachtungstatsachen lassen die Vermutung zu, dass dieses Steinbett eine Würmmoräne sein könnte.

Das situmetrische Ergebnis scheint diese Vermutung zu bestätigen. Da der Gletscher – dem verrucanoführenden Moränenmaterial entsprechend – aus der Richtung des Piz Turettas in den Sattel zwischen Munt la Schera und Munt Chavagl geflossen sein muss (BOESCH, 1937), kann das Sitogramm 14, welches aus einer Messung im Steinbett resultierte, nach der Fliessrichtung des Gletschers umorientiert werden. Dies ist durchaus erlaubt, wenn entweder die mutmassliche Transportrichtung erst aus einem aufgenommenen Sitogramm ermittelt werden kann oder wenn, wie im vorliegenden Fall, technische Gründe (Messung an einer in ihrer Orientierung festgelegten Grabenwand) die Anpassung der Messtafel an eine mutmassliche Richtung erschweren. Wird das aufgenommene Sitogramm nach der erwähnten Fliessrichtung des Eises interpretiert, zeigt sich die folgende Häufigkeitsverteilung:

Sammelgruppe I: 42 %, Sammelgruppe II: 30 %, Sammelgruppe III: 28 %.

Diese Einregelung ist nach bisherigen Beobachtungen für Moränen typisch (Seite 216). Damit ist mittels der Situmetrie der Nachweis erbracht, dass das durch die Grabung erreichte Steinbett einer Würmmoräne entspricht. Eine solche bildet also das Liegende des Erdstroms. Somit ist eine erste Altersbestimmung der Solifluktionmassen möglich: Die älteste Fliesserdedecke ist jünger als die Würmmoräne. Dafür sprechen auch die Anzeichen für Bodenbildung im Übergangsbereich von Moräne und Fliesserde (Seite 212).

Über der Würmmoräne liegt nämlich, belegt durch die Sitogramme 9, 10 und 12 (Fig. 13), eine Solifluktionsdecke, welche die Basis des Erdstroms darstellt. Auf ihr hat sich der fAh-Horizont I gebildet. Die Frage nach der Anzahl der Fliessphasen ist durch den situmetrischen Befund eindeutig beantwortet: Der durch den fAh-Horizont repräsentierte Boden ist auf Solifluktionsschutt entstanden, d. h. der Bodenbildung ist eine Fliessphase vorausgegangen. Am Aufbau des untersuchten Erdstroms am Fuss des Munt Chavagl lassen sich also insgesamt fünf Fliessphasen auseinanderhalten, die durch fossile Bodenhorizonte voneinander getrennt werden, welche die Belege für langwährende Ruhephasen darstellen.

Die Einregelung äussert sich nicht in der gesamten Profiltiefe auf gleiche Weise. Die in Figur 13 wiedergegebenen Sitogramme können mit Ausnahme des Sitogramms 14 zu zwei unterschiedlichen Gruppen zusammengefasst werden:

1. Als typisch für Solifluktionsschutt dürfen an der talseitigen Grabenwand die Sitogramme 1, 5 und 9 gelten, an der bergseitigen die Sitogramme 2, 4, 10 und 12. Werden die festgestellten Messergebnisse mittels Dreieckskordinaten auf die Dreiecksfläche übertragen, liegen die punktförmigen Abbildungen ausserhalb des Gleichverteilungskreises (Seite 221 und Fig. 11). Somit ist in diesen Fällen mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % die Gleichverteilung auszuschliessen.

2. Schwieriger zu beurteilen sind die Sitogramme 3, 6, 7, 11 und vor allem 8. Die Übertragung der Ergebnisse auf die Dreiecksfläche zeigt, dass die punktförmigen Abbildungen dieser situmetrischen Befunde knapp ausserhalb des Gleichverteilungskreises zu liegen kommen. Bei Anwendung des Trennverfahrens (Diskriminanzanalyse nach FISCHER, in LINDER, 1960) bezüglich des Sitogramms 8 ist es aber wahrscheinlich, dass diese Stichprobe der Solifluktionsgruppe zugeordnet werden kann.

Trotz der einleitend erwähnten Schwierigkeiten beim Abgrenzen von Horizonten auf Grund situmetrischer Kriterien kann festgestellt werden, dass der Einregelungscharakter, der sich an der Erdstromoberfläche und im oberflächennahen Bereich äussert, in den fAh-Horizonten und knapp darunter ebenfalls zum Ausdruck kommt. Daraus lässt sich folgern, dass die Längsachsen der Steine auf den fossilen Oberflächen gleich eingeregelt liegen wie auf der heutigen Erdstromoberfläche, d. h. dass die Einregelung während der vergangenen Fliessphasen nach den gleichen Prinzipien erfolgt ist, wie dies heute auf der gegenwärtigen Erdstromoberfläche geschieht. Es erweist sich darum als durchaus möglich, mit Hilfe der Situmetrie fossile Fliesserdekomplexe zu lokalisieren und gegeneinander abzugrenzen.

Abschliessend sei noch darauf hingewiesen, dass sich allem Anschein nach im Profil ein- und derselben Fliesserdedecke die Einregelung von oben nach unten in charakteristischer Weise ändert: Während in den oberflächennahen Horizonten eines Solifluktionssitu- komplexes die Messungen ausgeprägte Solifluktionssitogramme ergaben, verwischte sich in den basalen Bereichen der Solifluktionscharakter. Für diesen Umstand könnten zwei Ursachen in Betracht kommen: Da sich das Bodenfliessen, wie an Hand der im folgenden Abschnitt dargelegten Bewegungsmessungen gezeigt wird, an der Oberfläche und in den oberflächennahen Bereichen vollzieht, d. h. die Bewegungsvorgänge an der Oberfläche ihre maximale Geschwindigkeit erreichen, erscheinen die charakteristischen Merkmale der solifluktionsgemässen Einregelung wohl in den oberflächlichen Horizonten in optimaler Ausprägung. Doch könnten auch im basalen Bereich einer Fliesserde- masse die im Liegenden eingebetteten Steine, welche von den Bewegungsvorgängen nicht mehr erfasst worden sind, anfänglich unüberwindlichen Widerstand geleistet haben, was eine typisch solifluktionsgemässe Einregelung des darüber geflossenen Mate- rials zu hemmen vermochte.

4.7. Zusammenfassende Betrachtung der situmetrischen Untersuchungsergebnisse

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen wurde der Situmetrie das Primat zugestanden. Die von den Verfassern ausgebaute und verfeinerte morphologische Untersuchungsmethode (FURRER und BACHMANN, 1968) gelangte im Hinblick auf verschiedene Zwecke zum Einsatz:

a) zur Ermittlung der situmetrischen Merkmale von Solifluktionsformen zwecks Vergleich mit andernorts von andern Autoren durchgeführten Untersuchungen, um so die bereits gewonnenen Erkenntnisse zu erhärten,

b) zur Identifikation von bestimmten Formen der Erdoberfläche (Solifluktionenformen, Moränen usw.), gestützt auf die Erkenntnis, dass die Einregelung ein wesentliches, formtypisches inneres Merkmal darstellt,

c) zur Ermittlung der Beziehungen zwischen Solifluktion und Hangneigung, d. h. zur Abklärung des Problems, bei welchen minimalen Hangneigungen die Solifluktion zum reliefbestimmenden Vorgang zu werden beginnt und bei welchem maximalen Neigungswinkel sie ihren reliefprägenden Charakter verliert und durch andere Vorgänge abgelöst wird,

d) zur Abgrenzung der verschiedenartigen Fließerddecken, die einen Erdstrom aufbauen.

4.7.1. Die charakteristische Einregelung von Solifluktionsmassen

POSER und HÖVERMANN (1951, p. 82) charakterisieren die Einregelung von solifluidalen Schuttmassen «durch eine Zahlenreihe, die mit einem sehr betonten Maximum in der Gruppe I beginnt und in einem... sehr betonten Minimum in der Gruppe IV endigt». Nach denselben Autoren «liegt der Anteil der ersten Gruppe immer zwischen 45 und 55 %, gewöhnlich bei 50 %, der der vierten Gruppe ein wenig unter 10 %».

Wie aus Tabelle 6, welche alle im Raume Munt Buffalora/Munt Chavagl in Solifluktionsschutt ermittelten situmetrischen Untersuchungsergebnisse zusammenfasst, ersichtlich wird, stimmen die vorliegenden Resultate mit denjenigen von POSER und HÖVERMANN überein. Typisch für die solifluktionsgemässe Einregelung ist also, dass der prozentuale Anteil der Steinlängsachsen in dem Masse abnimmt, wie sie in ihrer Orientierung beidseitig von der Falllinie abweichen. Die Sammelgruppe IV braucht nicht mehr berücksichtigt zu werden, da ja bei der Messung die Längsachsen von steilgestellten Komponenten auf die Tafelenebene projiziert worden sind.

Tabelle 6

Ausprägung der situmetrischen Merkmale von Solifluktionsschutt im Vergleich von Messungen im Raum Munt Buffalora/Munt Chavagl mit solchen auf Fuorcla da Fälller.

	I		II		III	
	(6+7) %	(5+8) %	(4+9) %	(3+10) %	(2+11) %	(1+12) %
17 Messungen Munt Buffalora Hangneigung 10–33° (Tabelle 1)	32	25	15½	12½	10	5
54 Messungen Munt Buffalora Hangneigung 10–38° (Tabelle 2)	30	21	17	13	11	8
44 Messungen Munt Chavagl Hangneigung 3–16° (Tabelle 4)	30½	18½	15½	14½	11½	9½
Total 116 Messungen über Hangneigungen von 3–38°	30½	21	16	13½	11	8
	51½		29½		19	
84 Messungen Fuorcla da Fälller Hangneigung 4–36° (ELSASSER, 1968)	50½		30		19½	

roberfläche (Solifluktionen) die Einregelung ein wesent-

on und Hangneigung, d. h. Hangneigungen die Solifluktion d bei welchem maximalen art und durch andere Vor-

lecken, die einen Erdstrom

sen

die Einregelung von soli- em sehr betonten Maximum inimum in der Gruppe IV en Gruppe immer zwischen in wenig unter 10 %».

lora/Munt Chavagl in Soli- ergebnisse zusammenfasst, denjenigen von POSER und : Einregelung ist also, dass : abnimmt, wie sie in ihrer Sammelgruppe IV braucht ; die Längsachsen von steil- en sind.

im Vergleich von Messungen f Fuorcla da Fälller.

	III	
(3+10)	(2+11)	(1+12)
%	%	%
12 ½	10	5
13	11	8
14 ½	11 ½	9 ½
13 ½	11	8
½	19	
	19 ½	

Die im vorliegenden Untersuchungsgebiet erlangten Messergebnisse seien mit den ebenfalls in Tabelle 6 aufgeführten Messergebnissen von ELSASSER (1968, p. 30 ff.) verglichen. Die Vergleichsdaten stammen aus Messungen, die auf dem ausgedehnten Steinstreifenboden (ein bestimmter Strukturbodentypus) der Fuorcla da Fälller vorgenommen wurden, und zwar auf Zwischenstreifen (d. h. zwischen den Steinstreifen liegende Flächenstücke). Vergleichbar sind die Ergebnisse darum, weil sich erfahrungsgemäss auf Zwischenstreifen nicht ein Strukturbodensitogramm (Seite 229) ausprägt, sondern ein Solifluktionssitogramm. Ausgewählt wurde das Vergleichsmaterial aber auch aus folgendem Grund: Auf der Fuorcla da Fälller erfolgt die Solifluktion über Dauerfrostboden. Sodann herrscht freie, also nicht wie im vorliegenden Untersuchungsgebiet durch Vegetation beeinflusste Solifluktion. Schliesslich erfolgen auf der Fuorcla da Fälller die Bewegungsvorgänge in völlig anderem petrographischem Milieu, nämlich auf Bündner Schiefer, Verrucano, Kalk, Flysch und Granit, während im Nationalpark Dolomit vorherrscht. Obschon sich die beiden Vergleichsgebiete in verschiedenen Faktoren grundlegend unterscheiden, stimmen sie im situmetrischen Befund auffällig überein.

Aus diesem Vergleich lässt sich folgern, dass auch bei Unterschieden in Solifluktionsart (frei, gehemmt oder gebunden), in Frostverhältnissen (Permafrost oder nicht) und in petrographischen Belangen die Solifluktion eine einheitlich charakteristische Einregelung bewirkt.

Vergleiche mit Messergebnissen in solifluidalen Schuttmassen Ost-Spitzbergens führen zu prinzipiell gleichen situmetrischen Endergebnissen (FURRER, 1969), was bestätigt, dass Solifluktion allgemein eine formtypische Einregelung bewirkt, die es erlaubt, solifluidale Massen als solche auf Grund der Situmetrie zu erkennen.

4.7.2. Identifizierung von Oberflächenformen

Auf Grund der Erkenntnis, dass die Einregelung ein formtypisches Merkmal darstellt, ist die Identifizierung bestimmter Formen mittels situmetrischen Untersuchungen möglich. So konnte nachgewiesen werden, dass in der stellenweise optisch erkennbaren Musterung der Erdstromrücken am Fusse des Munt Chavagl Sturkturbodenformen enthalten sind. Es handelt sich dabei vorwiegend um Steinzungen, deren randliche Rahmen hangaufwärts steinstreifenartig auslaufen, und um kurze Steinstreifen. Steinringe sind wahrscheinlich auch vorhanden, doch wurde ihnen im Rahmen unserer Untersuchungen keine weitere Aufmerksamkeit geschenkt. Wesentlich ist auch, dass das vom Sondiergraben angeschnittene Steinbett, in welchem auf Grund anderer Anzeichen von Anfang an eine Moräne vermutet wurde, mit Hilfe der Situmetrie als solche identifiziert werden konnte, wobei sich auch die mutmassliche Fliessrichtung des Gletschers im Sitogramm ausprägte.

4.7.3. Bestimmung des Solifluktionsbereichs in Abhängigkeit von der Hangneigung

Da in den Bereichen, wo die Solifluktion sich voll entfalten kann, das charakteristische Solifluktionssitogramm auftreten muss, kann die Situmetrie zur Ermittlung des minimalen und maximalen Neigungswinkels eingesetzt werden, welche den Bereich der Hangsolifluktion in bezug auf die Hangneigung begrenzen. Wo die Häufigkeitsverteilung der eingemessenen Stein-Längsachsen auf die Sammelgruppen I, II und III die Abfolge $I > II > III$ nicht mehr ausgeprägt erkennbar ist und die Verteilung sich der Gleichverteilung nähert, darf geschlossen werden, dass die Solifluktion ihre Dominanz verliert oder gar zu wirken aufhört. Die vorliegenden Untersuchungsergebnisse führten zur Erkenntnis, dass die Solifluktion bereits auf den Flächen mit der geringsten Neigung, welche im Untersuchungsgebiet für die Beobachtung zur Verfügung standen (3° – 5°), schon voll einsetzt und auf Flächen mit der Neigung von 28° – 30° meist ihre

situmetrische Ausprägung verliert. Allerdings scheinen lokale Faktoren den oberen Neigungswinkel, der den Bereich der Hangsolifluktion abgrenzen soll, gelegentlich zu beeinflussen.

Auf Grund der situmetrischen Untersuchung konnte auch nachgewiesen werden, dass sich die Solifluktion bereits nach geringen Transportdistanzen (im Extremfall nach nur 8 m) in der Einregelung auszuprägen vermag.

4.7.4. Abgrenzung von sich überlagernden Solifluktionsdecken

Obschon sich die situmetrische Aufnahme in einem Profilschnitt recht schwierig gestalten kann, war es im vorliegenden Fall möglich, verschiedenaltrige Solifluktionskomplexe gegeneinander abzugrenzen. Auf Grund des Befundes, dass über der Würmmoräne, die das Liegende des Erdstroms bildet, eine älteste Solifluktionsdecke lagert, lassen sich fünf Überwanderungsphasen nachweisen, welche durch vier fossile Bodenhorizonte voneinander getrennt werden. Somit erlaubt die Situmetrie letztlich eine fundierte Aussage über die Genese einer Oberflächenform.

Gesamthaft gesehen kann an dieser Stelle erneut darauf hingewiesen werden, welche Bedeutung der Situmetrie als morphologischer Untersuchungsmethode zukommt und wie vielseitig sie sich einsetzen lässt. Situmetrische Untersuchungen an rezenten Oberflächenformen im subnivalen Bereich dienen darum nicht nur der Erforschung dieser Formen selbst, sondern liefern mit ihren Ergebnissen in vielerlei Hinsicht im Sinne LYELLS den Schlüssel zur Erforschung von fossilen Formen, die sich der oberflächlichen Beobachtung weitgehend entziehen. Damit dienen Untersuchungen wie die vorliegende letzten Endes auch der Rekonstruktion der pleistozänen kaltzeitlichen Landschaften im Mittelland.

5. Untersuchung gegenwärtiger Bewegungsvorgänge auf Erdstromrücken

5.1. Messtechnische Erfassung von solifluidalen Bewegungen

Bisher ist es nicht gelungen, eine allgemein befriedigende Messtechnik für die quantitative Erfassung von solifluidalen Bewegungsvorgängen zu entwickeln. Den wünschbaren Anforderungen, durch Messungen kontinuierlich präzise Informationen über Materialverfrachtungen sowohl an der Oberfläche als auch in tieferen Bodenhorizonten zu erlangen, ohne dass durch die notwendigen technischen Massnahmen das natürliche Bodengefüge und der Bewegungsablauf gestört würden, genügen die derzeit angewandten und nachfolgend erwähnten Messmethoden nur in beschränkter Weise.

Die einfachste Messtechnik besteht darin, dass an der Oberfläche ausgewählte Steine markiert oder an bestimmten Stellen Objekte ausgelegt werden. Hierauf ist deren Anfangsposition irgendwie festzuhalten, z. B. durch Einmessung von fixen Punkten aus oder durch photographische Aufnahmen. In beliebigen Zeiträumen lassen sich durch erneute Feststellung der Position Veränderungen bezüglich der Anfangslage ermitteln

(ELSASSER, 1968; PISSART, 1964; RAPP, 1960; RUDBERG, 1958, 1963 und 1964; SMITH, 1960). So vorgenommene Messungen vermögen oberflächliche Bewegungen relativ genau zu erfassen. Doch liefern sie keinerlei Anhaltspunkte über Materialverfrachtungen, die sich in tieferen Bereichen einer Fliesserdemasse abspielen.

Darum werden oberflächliche Messmarken gern mit Stäben oder Stiften kombiniert, die sich verschieden tief in den Boden einschlagen lassen. So können Hinweise auf Fliessverhältnisse im unter der Oberfläche liegenden Bereich erlangt werden (DEGE, 1943; ELSASSER, 1968; JAHN, 1961; RAPP, 1960; SMITH, 1960; WASHBURN, 1960; ZUBER, 1968). Auf diese Weise gewonnene Messresultate sind aber mit Vorbehalt zu beurteilen. Sie lassen generelle Aussagen über Bewegungscharakter und Grössenordnung der Fliessstrecken zu. Doch vermögen sie kaum exakte Angaben über die absoluten Fliessbeträge zu liefern.

Das erwähnte Vorgehen hat den Vorteil der technischen Einfachheit. Vorbereitungen sind rasch getroffen und Ablesungen leicht zu bewerkstelligen. Auf besondere Apparaturen kann verzichtet werden. Deshalb eignet sich diese Messtechnik als Feldmethode sehr gut.

In der Literatur finden sich allerdings auch Beispiele dafür, dass versucht wurde, Bewegungsvorgänge mit empfindlichen Messeinrichtungen quantitativ zu erfassen (RUDBERG, 1958; WASHBURN, 1960; WILLIAMS, 1957). Auf solche Weise dürften wohl genauere Ergebnisse zu erwarten sein. Doch haften derartigen Methoden schwerwiegende Nachteile an, die ihre Tauglichkeit bei der Feldarbeit in Frage stellen: Entweder müssen einmal im Boden versenkte Instrumente zur Ablesung wieder ausgegraben werden, so dass nur je eine Bewegungsmessung möglich wird, oder dann sind voluminöse und kostspielige elektrische Apparaturen notwendig.

5.2. Bewegungsmessungen auf Erdstromrücken am Fuss des Munt Chavagl

Das Erscheinungsbild des hier eingehend untersuchten Erdstromkomplexes erweckt den Eindruck, dass sich im gegenwärtigen Zeitpunkt auf den Erdstromrücken noch solifluidale Bewegungen vollziehen. Vor allem führt eine Beobachtung zu dieser Annahme: An den Stirnregionen bricht der oberflächliche Schutt verschiedentlich über den Vegetationsrand aus und begräbt die Pflanzen unter sich (vgl. FURRER, 1954, Abb. 41).

Den vorgenommenen Bewegungsmessungen liegt die Frage zugrunde, ob ausser diesem lokalen Überfließen der Stirnränder auf den Erdstromrücken keine Bewegungen mehr ablaufen (Auffassung FURRER, 1954, p. 262) oder ob sich aktuelle solifluidale Verfrachtungen nachweisen lassen. Sollte letzteres der Fall sein, dürften die Messergebnisse auch als Unterlage zum Studium von Fliessvorgängen in durchfeuchteten Schuttmassen dienen.

Die angewandte Messtechnik ist von ZUBER (1968) anlässlich der Untersuchung von Girlanden im Gebiete des Schweizerischen Nationalparks entwickelt worden. Sie besteht darin, mittels einer Führung (quadratische Platte mit 16 dem Durchmesser der Stahlstifte entsprechenden Ausbohrungen) Stahlstifte von 5 und 10 cm Länge alternierend in bestimmter Anordnung in den Boden zu versenken. Der besseren Sichtbarkeit wegen wurden die eingesetzten Stifte mit Farbe markiert. Nach gewissen Zeitabständen (siehe Datangaben in den Figuren 14 und 15) war die nunmehrige Position der Stahlstifte durch Übertragung der vorgefundenen Situation auf transparentes Papier zu ermitteln. Der Vergleich mit der Anfangssituation (durch Führungstafel gegeben) oder mit bereits aufgenommenen Zwischenpositionen erlaubte die Feststellung relativer Lageveränderungen.

Da aber nicht nur relative Lageveränderungen, sondern in erster Linie absolute Fliessbeträge gewünscht wurden, waren Messbasen zu errichten. Als solche dienten im vorliegenden Fall Plastikschnüre, welche auf festem Boden ausserhalb des Erdstroms standsicher fixiert wurden.

Insgesamt beschränkten sich die Beobachtungen auf drei Messstellen, deren Lage in der Planbeilage vermerkt ist. Sie befinden sich in der oberen Partie des durch die detaillierte Aufnahme erfassten Ausschnitts.

Im grossen und ganzen hatte sich die angewandte Messtechnik bewährt. Allerdings ist zu bemerken, dass beim Übertragen der Position von im Boden versenkten Stahlstiften auf Zeichnungspapier zufolge der Bodenunebenheiten kleinere Fehler nicht ganz ausgeschlossen sind. Auch zeigte sich, dass die Stahlstifte teilweise durch den Frost angehoben werden (vgl. Tabelle 7). Dieser dringt, wie im Untersuchungsgebiet durch Temperaturmessungen nachzuweisen war, je nach Winter in Bodentiefen von 30 bis 40 cm ein. Die kurzen Messmarken wurden zumeist während des Fliessvorgangs schief gestellt. So mussten die Stifte nach jeder Messung wieder sorgfältig in den Boden eingedrückt werden.

Tabelle 7

Beobachtungsperiode 4. September 1966 bis 1. Oktober 1967, 391 Tage. Kurze Stifte (5 cm) sind kursiv gesetzt; A-D bedeuten die 4 Zeilen, 1-4 die 4 Kolonnen der Lehre (Figur 14).

Messstelle West				Messstelle Ost			
Stift	deutlich gehoben	schiefgestellt	Fliessbetrag (mm)	Stift	deutlich gehoben	schiefgestellt	Fliessbetrag (mm)
A1	—	—	20	A1	schwach gehoben	—	26
A2	*	*	38	A2	*	—	54
A3	*	*	47	A3	—	—	52
A4	*	—	20	A4	—	—	35
B1	—	—	28	B1	*	—	68
B2	*	—	26	B2	*	—	37
B3	*	—	23	B3	—	—	42
B4	—	*	38	B4	*	—	36
C1	*	—	20	C1	schwach gehoben	—	49
C2	—	—	30	C2	schwach gehoben	*	55
C3	—	*	51	C3	schwach gehoben	leicht schief	51
C4	—	—	20	C4	*	—	41
D1	*	*	42	D1	*	—	52
D2	*	—	32	D2	*	—	46
D3	schwach gehoben	—	23	D3	*	—	52
D4	*	*	43	D4	—	—	50
Fliessbetrag im Mittel: lange Stifte 23 mm kurze Stifte 40 mm				Fliessbetrag im Mittel: lange Stifte 41 mm kurze Stifte 52 mm			

rn in erster Linie absolute
hten. Als solche dienten im
a ausserhalb des Erdstroms

i Messstellen, deren Lage in
Partie des durch die detail-

technik bewährt. Allerdings
n Boden versenkten Stahl-
n kleinere Fehler nicht ganz
teilweise durch den Frost
Untersuchungsgebiet durch
in Bodentiefen von 30 bis
d des Fliessvorgangs schief
orgfältig in den Boden ein-

Page. Kurze Stifte (5 cm) sind
en der Lehre (Figur 14).

st	deutlich gehoben	schief- gestellt	Fliess- betrag (mm)
schwach gehoben	—	—	26
*	—	—	54
—	—	—	52
—	—	—	35
—	—	—	68
*	—	—	37
—	—	—	42
*	—	—	36
schwach gehoben	—	—	49
schwach gehoben	—	*	55
schwach gehoben	leicht schief	—	51
*	—	—	41
*	—	—	52
*	—	—	46
*	—	—	52
—	—	—	50

m Mittel: lange Stifte 41 mm
kurze Stifte 52 mm

Um zusätzliche Informationen zu erlangen, erfolgten noch zwei Messungen nach anderen Anordnungen:

Ausserhalb der nach der Anordnung von ZUBER ausgemessenen Stellen wurde eine Messreihe im Querprofil des Erdstroms ausgelegt, so dass auf einer Strecke (5 m) in regelmässigen Abständen von 10 cm wechselweise versenkte kurze und lange Stahlstifte als Beobachtungsmarken dienen konnten (Fig. 18).

An wiederum anderer Stelle erfolgte schliesslich die Markierung ausgewählter Steine durch auffällige Farbe. Die Ermittlung von Lageveränderungen geschah mittels Photographie, d. h. durch die Aufnahme ein und desselben Flächenstücks zu verschiedenen Zeitpunkten und nachfolgenden Vergleich der Bilder. Dieses Vorgehen ist zwar zur Ermittlung absoluter Fliessbeträge weniger geeignet, doch gibt es die Lageveränderung der Komponenten zueinander sowie der einzelnen Komponenten selbst sehr anschaulich wieder (Fig. 15).

5.3. Ergebnisse der Bewegungsmessung

Die Messungen in den drei Messquadraten (vgl. Planbeilage) nach der Anordnung von ZUBER (1968) zeitigten folgende Ergebnisse, die in den Figuren 14 und 15 übersichtlich zusammengestellt sind:

1. Fliessvorgänge sind auf Erdstromrücken deutlich nachweisbar. Damit erledigt sich die früher geäusserte Auffassung, dass – von geringfügigen Verfrachtungen im Bereich der Stirnregionen abgesehen – auf Erdstromrücken in jüngster Vergangenheit keine Bewegungen mehr stattgefunden hätten (FURRER, 1954, p. 262).

Die Erdströme im Raum Munt Buffalora/Munt Chavagl stellen somit noch aktive Soliflukationsformen dar.

2. Fliessbewegungen erfolgen nicht kontinuierlich, sondern ruckweise (vgl. auch ELSASSER, 1968, p. 53). Dies kommt vor allem bei den im Herbst 1968 beobachteten Lageveränderungen zum Ausdruck. Im Jahresverlauf der Bewegungen zeichnet sich im Spätsommer eine Phase besonders intensiver Fliessvorgänge ab (vgl. Quadrat West in Fig. 14, Quadrat Mitte in Fig. 15 und Fig. 16).

3. Übereinstimmend war auf allen drei Messstellen zu beobachten, dass die kurzen Messmarken um grössere Beträge verschoben worden sind als die langen. In Figur 14 wird dieser Umstand durch den eingezeichneten Raster, welcher die in rund einem Jahr von der Bewegung überstrichene Fläche wiedergibt, verdeutlicht (vgl. auch Fig. 16).

Figur 14

Graphische Darstellung der Bewegungsvorgänge innerhalb der quadratischen Messfelder West und Ost (siehe Planbeilage).

Die gerasterten Felder entsprechen den von der Bewegung (ermittelt auf Grund der Lageveränderung der anfänglich in gerader Linie eingesetzten Messmarken) in der Beobachtungsperiode vom 4. September 1966 bis 1. Oktober 1967 überstrichenen Flächen.

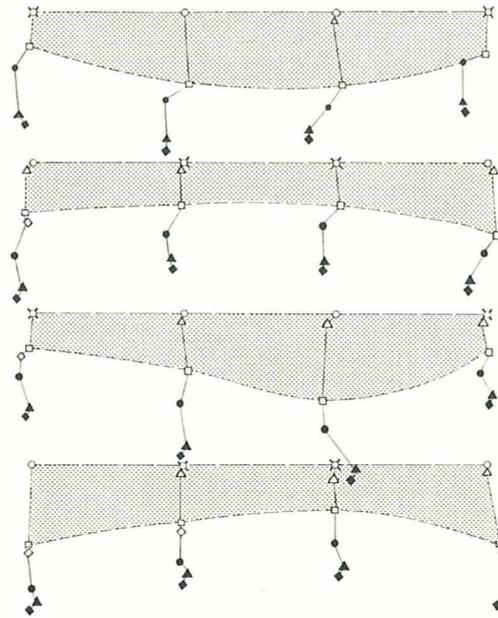
Für Feld West (oben) ist der Fortgang der Bewegung bis zum 8. Oktober 1968 durch schwarze Signaturen angegeben.

Figur 15

Oben: Bewegungsvorgänge im quadratischen Messfeld Mitte während der Zeitperiode vom 1. Oktober 1968 bis zum 8. Oktober 1969 (siehe Legende Figur 14).

Unten: Lageveränderung von markierten Steinen während der Beobachtungsperiode vom 4. September 1966 bis zum 25. September 1968.

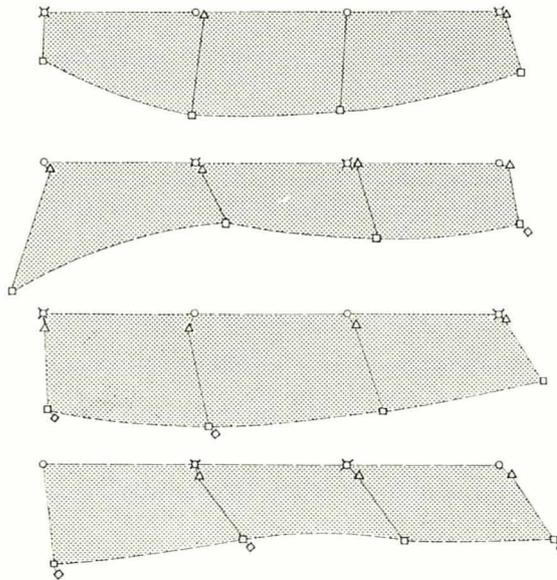
WEST



- ⌘ lange Nägel (10 cm)
- kurze Nägel (5 cm)
- Start am 4.9.1966
- keine Veränderung am 18.9.1966
- △ Lage am 13.10.1966
- Lage am 1.10.1967
- ◇ Lage am 18.10.1967
- Lage am 16.7.1968
- ▲ Lage am 17.8.1968
- keine Veränderung am 18.9.1968
- Lage am 26.9.1968
- ◆ Lage am 8.10.1968
- ▨ Bewegung in einem Jahr (4.9.66-1.10.67)

10 cm

OST



- ⌘ lange Nägel (10 cm)
- kurze Nägel (5 cm)
- Start am 4.9.1966
- keine Veränderung am 18.9.1966
- △ Lage am 13.10.1966
- Lage am 1.10.1967
- ◇ Lage am 18.10.1967
- ▨ Bewegung in einem Jahr (4.9.66-1.10.67)

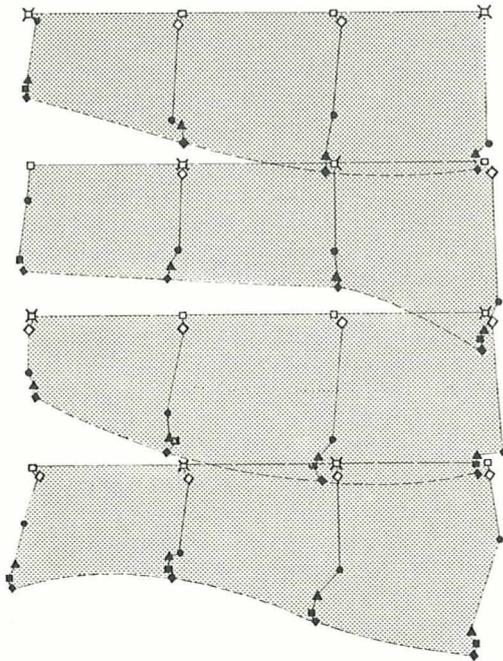
10 cm

Figur 14
Legende siehe Seite 239 unten.

MITTE

- ⊠ lange Nägel (10 cm)
- kurze Nägel (5 cm)
- Start am 4.9.1966
- keine Veränderung am 18.9.1966
- ▲ Lage am 13.10.1966
- Lage am 1.10.1967
- ◇ Lage am 18.10.1967
- Lage am 16.7.1968
- ▲ Lage am 17.8.1968
- keine Veränderung am 18.9.1968
- Lage am 26.9.1968
- ◆ Lage am 8.10.1968
- ▨ Bewegung in einem Jahr (4.9.66-1.10.67)

10cm

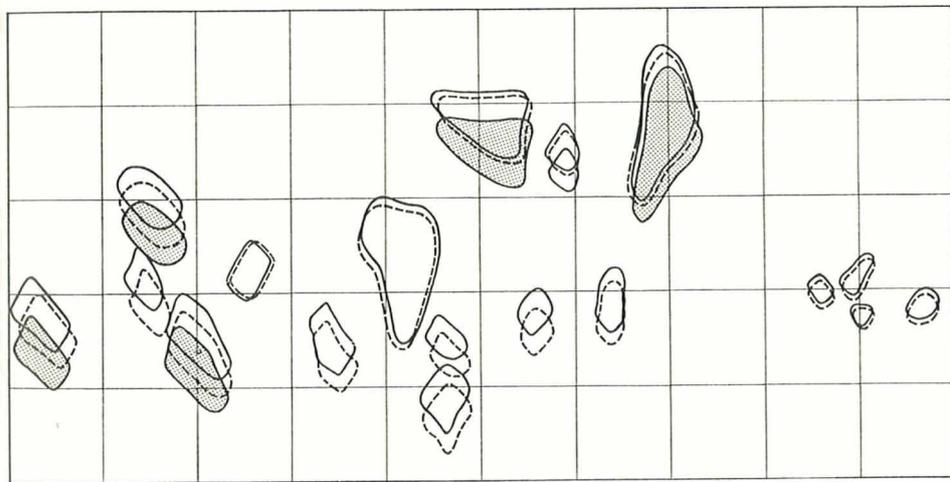


- ⊠ lange Nägel (10 cm)
- kurze Nägel (5 cm)
- Start am 1.10.1967
- ◇ Lage am 18.10.1967
- Lage am 16.7.1968
- ▲ Lage am 17.8.1968
- keine Veränderung am 18.9.1968
- Lage am 26.9.1968
- ◆ Lage am 8.10.1968
- ▨ Bewegung in einem Jahr (1.10.67-8.10.68)

10 cm

- ⊠ lange Nägel (10 cm)
- kurze Nägel (5 cm)
- Start am 4.9.1966
- keine Veränderung am 18.9.1966
- ▲ Lage am 13.10.1966
- Lage am 1.10.1967
- ◇ Lage am 18.10.1967
- ▨ Bewegung in einem Jahr (4.9.66-1.10.67)

10cm

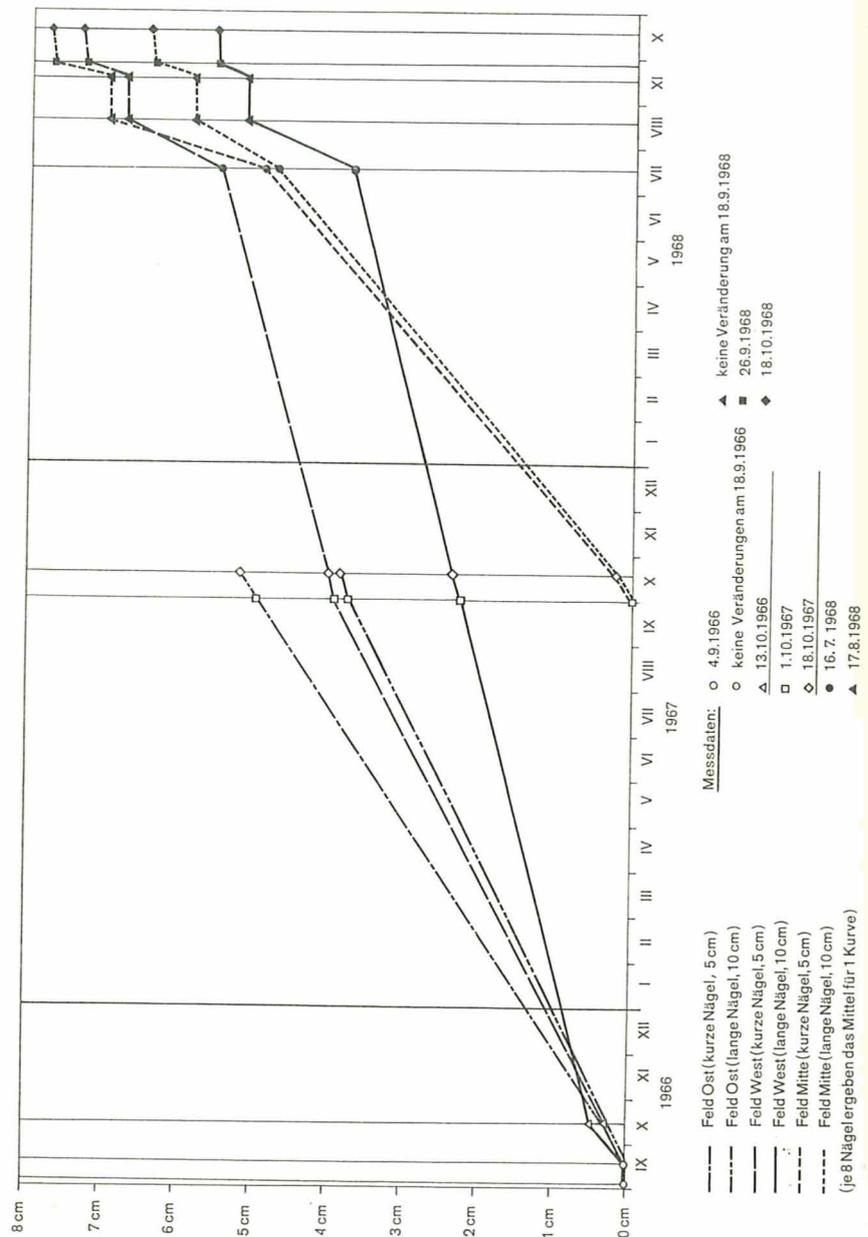


Fließrichtung

- Stand am 4.9.1966
- Stand am 1.10.1967
- keine Bewegungsdifferenz am 16.7.68
- ⊙ Stand am 25.9.1968

10 cm

Figur 15
Legende siehe Seite 239 unten.

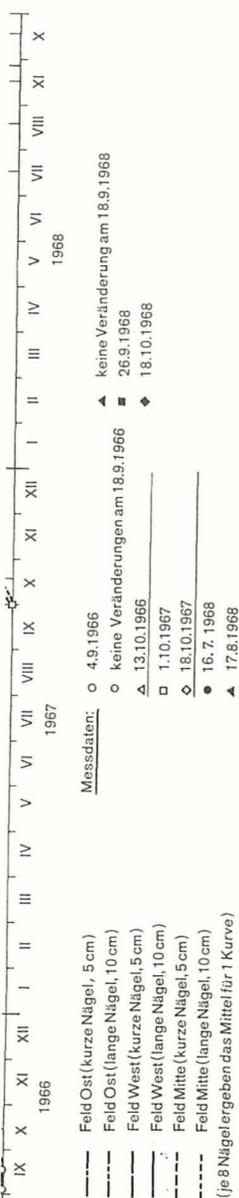


Figur 16

Bodenbewegungen in den drei quadratischen Messfeldern (siehe Planbeilage).

Auf der Abszisse ist die Zeit, auf der Ordinate der absolute Bewegungsbetrag in Zentimetern angegeben. Der Bewegungsablauf ist linear eingetragen. Man beachte, dass im Feld Mitte die grössten Bewegungsbeträge beobachtet werden konnten, wodurch sich ein Soliflukts(strom)-strich zu erkennen gibt.

Die Messungen im Feld Ost mussten im Herbst 1968 eingestellt werden.



anbeilage).
 regungsbetrag in Zentimetern
 eichte, dass im Feld Mitte die
 sich ein Soliflukts(strom)-
 den.

4. Als absolute Fließbeträge wurden ermittelt:

	Seitliche Messstellen Durchschnitt zweier Jahre	Mittlere Messstelle Beobachtung während eines Jahres
kurze Stifte	40 mm pro Jahr	75 mm
lange Stifte	30 mm pro Jahr	63 mm

Im medialen Bereich des Erdstromrückens lassen sich also grössere Messwerte beobachten als in den seitlichen Bereichen.

Die erwähnten Solifluktsbeträge sollen in erster Linie als Angaben über die Gröszenordnung des Bodenfließens aufgefasst werden. Sie sind unseres Erachtens zu sehr mit Unsicherheit behaftet, um als effektive Werte für die Materialverfrachtung zu gelten. Neben den auf Seite 238 erwähnten, durch die Messtechnik bedingten Fehlerquellen ist zu berücksichtigen, dass die Stahlstifte infolge Auffrierens in Zonen grösserer Fließgeschwindigkeit gehoben werden können. Ferner bleibt die Frage offen, ob die Verschiebungen der Messmarken mit der effektiven Verschiebung der Bodenpartikel tatsächlich übereinstimmen, weil sich die Möglichkeit, dass Fließerde eingerammte Stahlstifte teilweise umfließt, ohne sie zu verschieben, nicht ausschliessen lässt.

5. Werden in jedem Messquadrat die Mittelwerte der Verschiebung von langen und kurzen Stiften berechnet, so resultieren folgende Werte: In den seitlichen Messquadraten erfolgte eine durchschnittliche Verstellung von 29 mm/Jahr im westlichen und 42 mm/Jahr im östlichen Feld. Demgegenüber beträgt der Durchschnittswert im mittleren Quadrat 69 mm/Jahr. Das vorliegende Ergebnis führt zum Schluss, dass sich im medialen Bereich eines Erdstroms eine Zone grösster Fließgeschwindigkeit, gewissermassen ein «Stromstrich», ausprägt (Fig. 16). Aus dem Zungenriss kann der «Soliflukts(strom)strich» in seinem Verlauf mehr oder weniger festgelegt werden. Zum gleichen Ergebnis, nämlich dass die Soliflukts im Mittelbereich höhere Geschwindigkeiten erlangt als in den randlichen Zonen, gelangte ELSASSER (1968, p. 55) bei Bewegungsmessungen auf der Oberfläche von Zwischenstreifen im Gebiet der Fuorcla da Fäller.

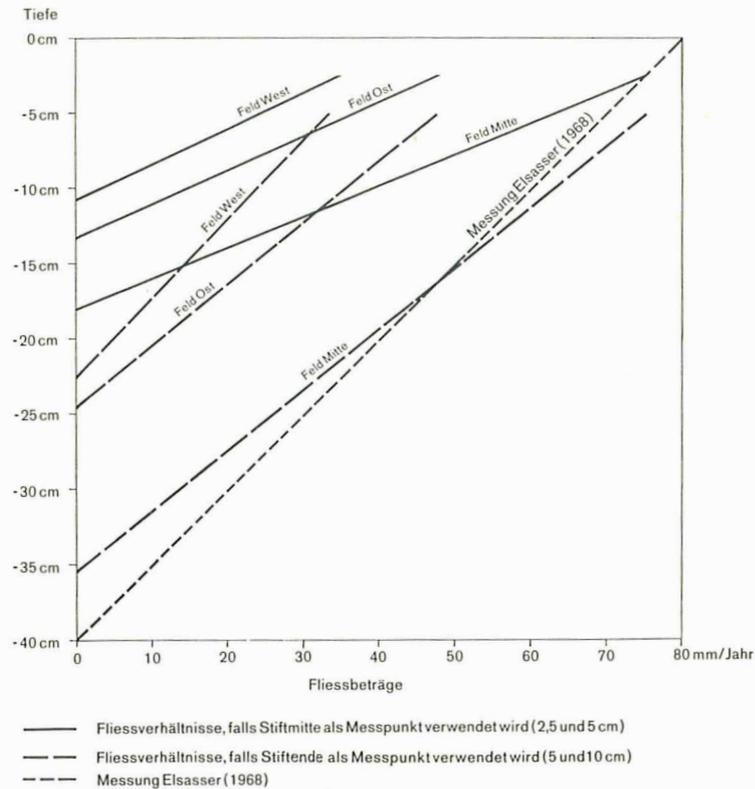
Dass solifluidale Bewegungen an der Oberfläche sehr differenziert verlaufen, geht auch aus dem Verhalten der durch Farbe markierten Steine hervor. Die beobachteten Verschiebungen sind in Figur 15 dargestellt. Bei einer Untersuchungsperiode von zwei Jahren haben sich die markierten Komponenten im Mittel um 11 mm/Jahr relativ zueinander verschoben.

6. Die Berechnung des Tiefgangs der Fließbewegungen soll auf zwei Arten vorgenommen werden (Fig. 17):

a) Es wird von der Annahme ausgegangen, dass die durch Messung ermittelte Bewegung jedes einzelnen Stiftes einen Mittelwert zwischen dessen unterem und dessen oberem Ende darstelle. Aus den durchschnittlichen Bewegungsbeträgen der kurzen und der langen Stifte lässt sich durch lineare Extrapolation die Tiefe ermitteln, in der die Soliflukts offenbar zum Stillstand kommt. Das ist – so berechnet – 10 bis 20 cm unterhalb der Erdstromoberfläche der Fall.

b) Es wird von der Annahme ausgegangen, dass die durch Messung ermittelten Bewegungsbeträge der effektiven Verschiebung der unteren Stiftdenden entsprechen. Bei Berechnung auf dieser Basis gelangt man zum Ergebnis, dass in Tiefen von 20 bis 35 cm je nach lokalen Eigenschaften der jeweiligen Messstellen die Fließbewegung zum Stillstand gelangt.

Nach Figur 5 befindet sich der oberste fAh-Horizont (IV) in rund 35 cm Tiefe. Er weist keinerlei Spuren solifluidaler Verlagerung auf. Dies gibt einen Anhaltspunkt dafür, dass die gegenwärtige Soliflukts auf keinen Fall tiefer greifen kann.



Figur 17

Tiefgang der solifluidalen Bewegung.

Die nach zwei möglichen Messmethoden (Stiftmitte oder unteres Stiftende als Messpunkt) ermittelten Fließverhältnisse auf dem Erdstromrücken am Munt Chavagl werden mit den von ELSASSER auf der Fuorcla da Fäller beobachteten verglichen.

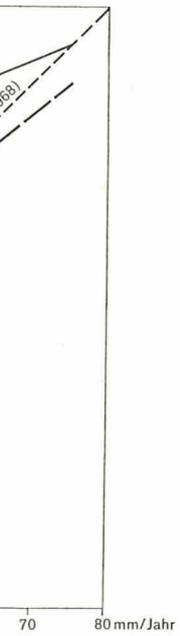
Die Frage, ob lineare Extrapolation zur Berechnung des Tiefgangs der solifluidalen Bewegung zulässig ist, soll offen bleiben. Das Diagramm ist als Ergebnis eines Berechnungsversuchs zu werten.

Vergleiche mit Messungen von ELSASSER (1968, p. 55), der mit zusammengeklebten Stiften solifluidale Bewegungen in noch tieferen Horizonten zu erfassen trachtete, zeigen, dass in Zwischenstreifen auf der Fuorcla da Fäller nicht nur die Fließbeträge, sondern auch der Tiefgang von Fließbewegungen in durchaus ähnlichen Größenordnungen liegen wie beim Erdstrom am Munt Chavagl.

Die vorliegenden Beobachtungen führen zum Schluss, dass die Bewegungsbeiträge mit zunehmender Tiefe abnehmen und in rund 35 cm Tiefe vollständig ausklingen.

Die quer über den gesamten Erdstrom angeordnete Messreihe führte zu folgenden Ergebnissen (Fig. 18):

1. Im allgemeinen wurden die kurzen Stifte um grössere Strecken verschoben als die langen.



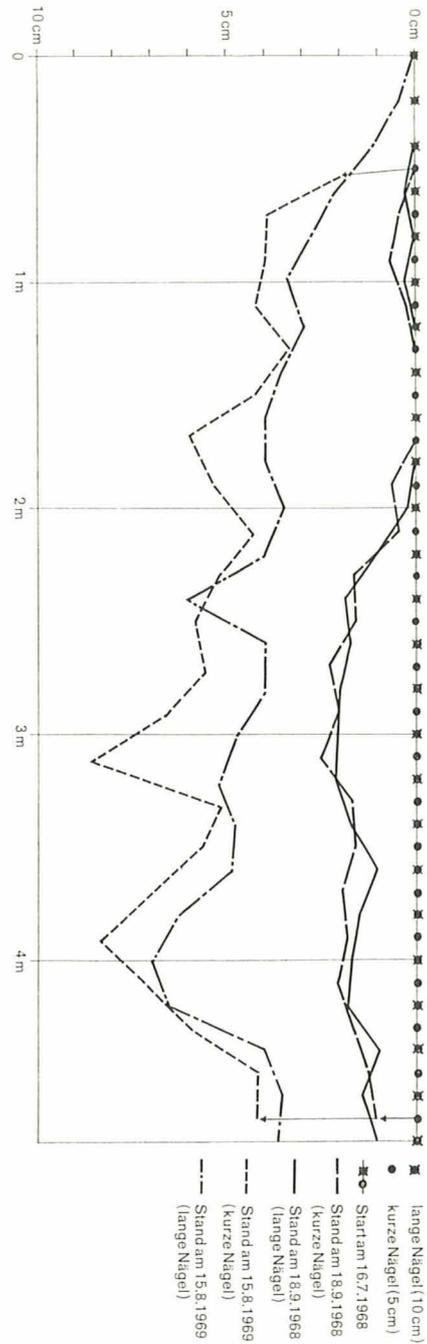
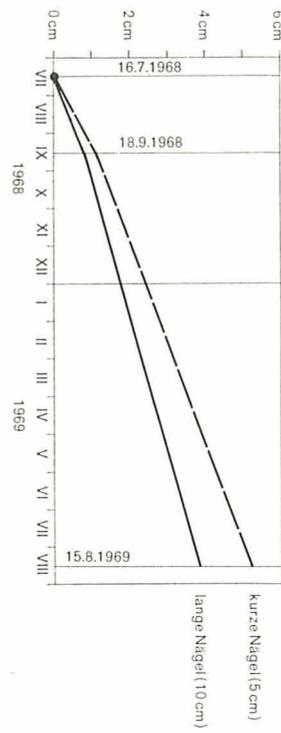
15 cm)
10 cm)

Stiftende als Messpunkt) er-
havagl werden mit den von
s der solifluidalen Bewegung
Berechnungsversuchs zu wer-

r mit zusammengeklebten
en zu erfassen trachtete,
cht nur die Fließbeträge,
us ähnlichen Grössenord-

ass die Bewegungsbeträge
llständig ausklingen.
reihe führte zu folgenden

recken verschoben als die



Figur 18

Lageverschiebung innerhalb der eingesetzten Nagelreihe (siehe Planbeilage) während der Beobachtungsperiode vom 16. Juli 1968 bis zum 15. August 1969.

Zum Ausdruck kommt, dass die kurzen Messmarken sich um grössere Beträge verschoben haben als die langen, d. h. dass die solifluidalen Bewegungen im oberflächennahen Bereich rascher ablaufen als in grösserer Tiefe.

2. Zwei Monate nach dem Einsetzen der Messmarken, also im Herbst, waren bereits messbare Verschiebungen nachzuweisen. Aus diesem Ergebnis geht hervor, dass Fliessbewegungen nicht nur durch Schmelzwasser, sondern auch durch Sommerniederschläge ausgelöst werden können.

3. Der «Solifluktsstrich», der Bereich intensivster Bewegung, zeichnet sich als breites Band ab. Wohl kann, in Fliessrichtung gesehen, vom rechten Erdstromrand gegen die Mitte hin eine deutliche Zunahme der Bewegungsbeträge festgestellt werden. Hingegen stellten sich am linken Erdstromrand relativ hohe Messwerte ein. Auch bei den Messquadraten weist das Feld Ost höhere Verschiebungsbeträge auf als das Feld West, wobei aber die Unterschiede weniger auffallend sind. Als mögliche Fehlerquelle kommt der etwa 10 Meter tiefer als die Messreihe liegende Sondiergraben in Betracht, der an der Ostseite des Erdstroms geöffnet worden war. Bei der jeweils ersten Feldbegehung nach der Schneeschmelze war der Graben regelmässig von der Bergseite her weitgehend zugeschüttet. Es ist nicht von der Hand zu weisen, dass die künstlich bewirkte lokale Hangversteilung in Form der Grabenwand eine Erhöhung der Fliessgeschwindigkeit herbeizuführen vermochte, welche sich hangaufwärts bemerkbar machte.

4. Die nach oben erwähnter Berechnung ermittelte Mächtigkeit der bewegten Bodenschicht beträgt im Maximum auch etwa 35 cm wie im Bereich der Messquadraten.

5. Schliesslich sei noch auf einen weiteren charakteristischen Zug der solifluidalen Bewegung hingewiesen, welcher in den Messergebnissen zur Ausprägung kommt. Auf der Oberfläche einer Fliesserdemasse stellen sich keineswegs über grössere Flächenstücke hinweg gleichartige Verfrachtungsbeträge ein. Die Bewegungen laufen vielmehr äusserst differenziert ab. Dicht neben verhältnismässig schnell fliessenden Partien kann sich die solifluidale Verfrachtung bedeutend weniger intensiv oder unter Umständen überhaupt nicht äussern. Wie aus Figur 18 zu ersehen ist, traten beispielsweise innerhalb einer Bandbreite von 20 cm (quer zur Fliessrichtung gemessen) in der Zeitspanne von 13 Monaten bei Bewegungsbeträgen von durchschnittlich rund 5 cm/Jahr (Mittel aus langen und kurzen Messmarken) Verschiebungsdifferenzen von bis zu 3,5 cm auf.

5.4. Charakteristische Merkmale solifluidaler Bewegungen

Nachdem nun die grundlegenden Ergebnisse der Bewegungsmessungen dargelegt worden sind, drängt sich der Vergleich mit bereits publizierten diesbezüglichen Beobachtungen auf.

Aus vorliegenden Veröffentlichungen lässt sich entnehmen, dass an der Oberfläche von Solifluktsmassen jährliche Fliessbeträge beobachtet worden sind, welche zwischen praktisch 0 cm und 50 cm schwanken. Die Analyse der Messergebnisse führt zur Unterscheidung von zwei Intensitätsstufen der Solifluktion. Der ersten Stufe sind Fliessbeträge in der Grössenordnung von 0 bis 10 cm eigen, während sich in der zweiten Stufe Werte von 40 bis 50 cm/Jahr häufen. Die Vermutung, dass die ersterwähnte Intensitätsstufe solifluidale Bewegungen über nicht dauernd gefrorenem Boden umfasse, die zweite aber in Beziehung zu Solifluktion über Dauerfrostboden stehen könnte, dürfte zum mindesten einer Überprüfung wert sein. Die Abhängigkeit der Solifluktion von der Existenz eines Permafrostkomplexes (Tjäle in polaren Breiten oder Dauerfrostlinsen in Hochgebirgen) ist zwar noch keineswegs erwiesen und kann auf Grund der vorliegenden Beobachtungstatsachen kaum beurteilt werden, da Angaben über den Zustand des Bodens in der Literatur leider häufig fehlen.

Hinweise darauf, dass über Permafrost Solifluktionsvorgänge mit bedeutender Intensität ablaufen, fehlen aber nicht. So konnte DEGE (1943, p. 324) in Spitzbergen eine extreme Fliessgeschwindigkeit von 13 cm im Tag nachweisen. ELSASSER (1968) beob-

achtete auf der Fuorela da Fälller über Permafrost während einer ausgesprochen aktiven Fliessperiode ebenfalls die hohe Geschwindigkeit von 5 cm in einem Tag.

Abgesehen von diesen Extremwerten ist innerhalb des alpinen Bereichs auch aus den durchschnittlichen Bewegungsbeträgen zu ersehen, dass offenbar die Solifluktion über Dauerfrostboden intensiver abläuft als über nicht gefrorenem Boden. Die auf der Fuorela da Fälller über Permafrost festgestellten Fliessgeschwindigkeiten liegen sowohl im Mittel wie auch in den Extremwerten durchwegs höher als die auf dem Erdstrom am Fusse des Munt Chavagl über nicht gefrorenem Boden gemessenen. Dass die Solifluktion, wie ELSASSER zeigt, der bei einer Böschung von 12° doppelt so grosse Verschiebungsbeträge feststellen konnte wie bei einer solchen von 8° (1968, p. 53), in erheblichem Masse von der Hangneigung beeinflusst wird, fällt zur Erklärung der Geschwindigkeitsunterschiede ausser Betracht, da in beiden Arbeitsgebieten die Böschungsverhältnisse durchaus in gleicher Grössenordnung liegen. Auch die Solifluktionsart kann kaum für die unterschiedlichen Fliessgeschwindigkeiten verantwortlich gemacht werden, denn die Messstellen auf dem Erdstrom wurden so angelegt, dass eine Behinderung der Solifluktion durch Vegetation praktisch ausgeschlossen war (siehe Planbeilage). Die Messungen erfolgten also auf Flächen mit vorwiegend freier Solifluktion. Somit darf als Fazit aus diesem Vergleich nochmals betont die Vermutung geäussert werden, dass zwischen den Frostverhältnissen im Boden und der Solifluktion ein wesentlicher Zusammenhang bestehen könnte.

Dass die Fliessgeschwindigkeiten an der Oberfläche einer Solifluktionsmasse die höchsten Werte erlangen und mit zunehmender Tiefe rasch abnehmen, kann in Übereinstimmung mit andern Autoren als allgemeine Erfahrungstatsache festgehalten werden. Ebenso hält sich der Tiefgang der Fliessbewegung, d. h. die Mächtigkeit der erfassten Masse, in der Grössenordnung von wenigen Dezimetern. Während am Munt Chavagl ungefähr 35 cm unter der Oberfläche bereits keine Anzeichen für solifluidale Verfrachtungen mehr vorliegen, ermittelte ELSASSER (1968) einen Tiefgang von rund 40 cm, RUDBERG (1964) einen solchen von 50–70 cm, und sowohl SMITH (1960) wie auch RAPP (1960) stellten Fliessbewegungen bis in 50 cm Tiefe fest.

In voller Übereinstimmung mit den Feststellungen anderer Autoren steht auch die Beobachtung, dass die Solifluktion nicht kontinuierlich erfolgt, sondern sich phasenweise ruckartig vollzieht. Nach JÄCKLI (1957) ist die Intensität der Solifluktion in Hochlagen durch ein Maximum in den Monaten Juli und August und ein Minimum im Winter gekennzeichnet. Die am Munt Chavagl angestellten Beobachtungen vermögen diese Feststellung im wesentlichen zu bestätigen. Doch führt JÄCKLI das Sommermaximum ausschliesslich auf den hohen Anfall von Schmelzwasser anlässlich der Schneeschmelze zurück (Schmelzwassersolifluktion). Im Verlaufe der vorliegenden Untersuchungen konnten jedoch auch in den Monaten September und Oktober erhebliche Fliessbeträge unmittelbar beobachtet werden, zu einer Zeit also, wo der Einfluss der Schneeschmelze längst nicht mehr wirksam war. Die Intensivierung der Solifluktion war einzig und allein durch Sommerniederschläge bedingt. Somit braucht Frost nicht unbedingt das auslösende Moment für solifluidale Bewegungen zu sein. Wesentlicher erscheint vielmehr die Durchfeuchtung des Bodens («Durchtränkungsfließerde» nach TROLL, 1947, p. 166). Auch ELSASSER und DEGE gelangen zu solchem Schluss. Ersterer konnte in den Monaten Juli/August einen eindeutigen Zusammenhang zwischen Solifluktion und Niederschlag nachweisen (1968, p. 54). Die Feststellung JÄCKLIS, dass in Hochlagen dem Schmelzwasser die entscheidende Bedeutung zukomme, erscheint angesichts des nunmehr dargelegten Beobachtungsmaterials zu exklusiv. Die am Munt Chavagl vorgenommenen Messungen lassen erkennen, dass längst nicht alle Bewegungsimpulse vom Schmelzwasser ausgehen.

6. Die Fließgrenze von Solifluktionmaterial

Nachdem diesbezügliche Beobachtungen und Messungen zum eindeutigen Ergebnis geführt haben, dass sich im gegenwärtigen Zeitpunkt auf den Erdstromrücken am Fuss des Munt Chavagl erfassbare solifluidale Materialverfrachtungen abspielen, erhebt sich nun die Frage, welche Umstände dem Boden die Fließfähigkeit verleihen. Setzen Bewegungsvorgänge erst ein, wenn der Wassergehalt die dem Boden eigene Fließgrenze erreicht, oder können Fließvorgänge bereits vor Erfüllung dieser Voraussetzung in Erscheinung treten? ACKERMANN (1955) weist darauf hin, dass ein Boden, dessen Wassergehalt denjenigen der Fließgrenze noch nicht aufweist, in Abweichung vom ATTERBERGSchen Schema fließen kann, vorausgesetzt, dass er Krümelstruktur besitzt. Die geringe Feuchtigkeit kann sich an der Oberfläche der einzelnen «trockenen» Krümel so anreichern, dass eine übernässte Schmierhülle entsteht. Diese bewirkt eine leichtere Verschiebbarkeit der einzelnen Krümel, was sich insgesamt als Fließbewegung äussern kann, doch nur auf steilen Hängen, denn die innere Reibung gestaltet sich in solchen Fällen wesentlich höher als in übernässter Durchtränkungsfließerde.

Die im Rahmen der vorliegenden Arbeit ausgeführten bodenmechanischen Untersuchungen beschränken sich auf die Bestimmung der ATTERBERGSchen Grenzen, nämlich Fließgrenze, Ausrollgrenze und dazwischen liegenden Plastizitätsbereich. Nach SIEDEK und VOSS (1966, p. 46) sind diese Grenzen folgendermassen definiert:

«Die Fließgrenze w_f entspricht dem Wassergehalt am Übergang von der flüssigen zur plastischen (bildsamen) Zustandsform, die Ausrollgrenze w_a dem Wassergehalt am Übergang von der plastischen zur halbfesten Zustandsform.»

Wie sich die erwähnten Grenzen im Laboratorium bestimmen lassen, haben SIEDEK und Voss (1966, p. 46–51) ausführlich dargelegt. Es sei deshalb auf die beiden Autoren verwiesen. Die folgenden Ausführungen befassen sich lediglich mit der Untersuchungsanordnung im Feld und der Diskussion der Untersuchungsergebnisse.

6.1. Die Untersuchungen im Feld

Die Bestimmung der ATTERBERGSchen Grenzen wurde zunächst im Profil vorgenommen, welches durch den im detailliert untersuchten Erdstrom ausgehobenen Sondiergraben aufgeschlossen war, und zwar unter Verwendung von Material aus der Profilsäule A (Fig. 6, Seite 209). Zu diesem Zweck erfolgte die Probenentnahme in vertikalen Abständen von je 5 cm bis in eine Tiefe von 175 cm, d. h. bis in die das Liegende des Erdstroms bildende Würmmoräne hinunter. Bei diesen Proben erübrigte sich die Bestimmung des Wassergehalts. Die Ergebnisse hätten zum vornherein als unzuverlässig bezeichnet werden müssen. Der offene Graben bewirkte nämlich vollkommen andere Drainageverhältnisse, als solche bei unverletzter Form bestanden hätten. So diente diese Versuchsreihe lediglich zur Information über den allgemeinen Zustand des Bodens über die ganze Profiltiefe hinweg, von der Oberfläche bis ins Liegende nieder.

Um nun aber wirklich den im Feld festgestellten momentanen Wassergehalt des Bodens mit Fließ- und Ausrollgrenze in Beziehung setzen zu können, erfolgte die Verlegung der Untersuchungen auf einen benachbarten Erdstrom, dessen Oberfläche sich noch völlig intakt darbot. Zwar sind im dafür ausgewählten Beobachtungsfeld keine Bewegungsmessungen vorgenommen worden. Angesichts der identischen Verhältnisse bezüglich Form, Lage, Hangneigung, Vegetation und Material darf jedoch als höchst wahrscheinlich gelten, dass sich die im Bereich eines ausgewählten Erdstroms ermittelten Bewegungen analog auch auf den benachbarten Erdströmen vollzogen haben.

Untersuchungsmaterial

zum eindeutigen Ergebnis an Erdstromrücken am Fuss abspielen, erhebt sich die Feuchtigkeit verleihen. Setzen Boden eigene Fließgrenze unter dieser Voraussetzung in, dass ein Boden, dessen Fließgrenze, in Abweichung vom Krümelstruktur besitzt. Einzelnen «trockenen» Krümel Diese bewirkt eine leichtere als Fließbewegung äusserer gestaltet sich in solchen Fließerde.

bodenmechanischen Untersuchungen, nämlich Plastizitätsbereich. Nach Massen definiert:

Übergang von der flüssigen w_a dem Wassergehalt am ...»
lassen, haben SIEDEK auf die beiden Autoren mit der Untersuchungsergebnisse.

zunächst im Profil vor Erdstrom ausgehobenem Material aus der Probenentnahme in vertikaler Richtung bis in die das Liegende Proben erübrigte sich die Proben vornherein als unzuverlässig wirkte nämlich vollkommen Form bestanden hätten. So im allgemeinen Zustand des bis ins Liegende nieder. Momentanen Wassergehalt des Material, erfolgte die Verformung, dessen Oberfläche sich Beobachtungsfeld keine identischen Verhältnisse Material darf jedoch als höchst ermittelten Erdstroms ermittelten vollzogen haben.

Die untersuchten Proben entstammen je einem Profil im medialen und im randlichen Teil der Erdstromoberfläche. Da sich, wie im vorangehenden Kapitel dargelegt wurde, unterhalb von etwa 35 cm Tiefe keine Fließvorgänge mehr nachweisen lassen, vermag im Hinblick auf die vorzunehmenden Untersuchungen eine Profiltiefe von 50 cm genügen. Das Untersuchungsmaterial wurde wiederum in vertikalen Abständen von je 5 cm entnommen. Die Beobachtungsperiode erstreckte sich über die Zeit von Mitte Juni bis Oktober 1969. Allmonatlich wurden einmal Proben entnommen.

Von Mitte Juni bis Mitte August, in einer Zeitspanne von 62 Tagen, ergaben die Bewegungsmessungen auf der Oberfläche des eingehend untersuchten Erdstroms in der quer über den Erdstromrücken angelegten Messreihe (Seite 239) einen durchschnittlichen Verschiebungsbetrag von 4 mm bei Berücksichtigung sämtlicher Messmarken (kurze und lange Stahlstifte). Der ermittelte Wert liegt zwar offensichtlich unter dem Durchschnitt, d. h. die Bewegungen waren in diesem Zeitabschnitt verhältnismässig bescheiden. Immerhin belegen sie zusammen mit den Beobachtungen im Herbst des Vorjahres, dass im Spätsommer und im Herbst mit einer gewissen Sicherheit solifluidale Materialverfrachtungen stattfinden. Diese Feststellung ist im Hinblick auf die nachfolgend erörterten Untersuchungsergebnisse nicht unerheblich.

6.2. Darlegung der Untersuchungsergebnisse und Folgerungen

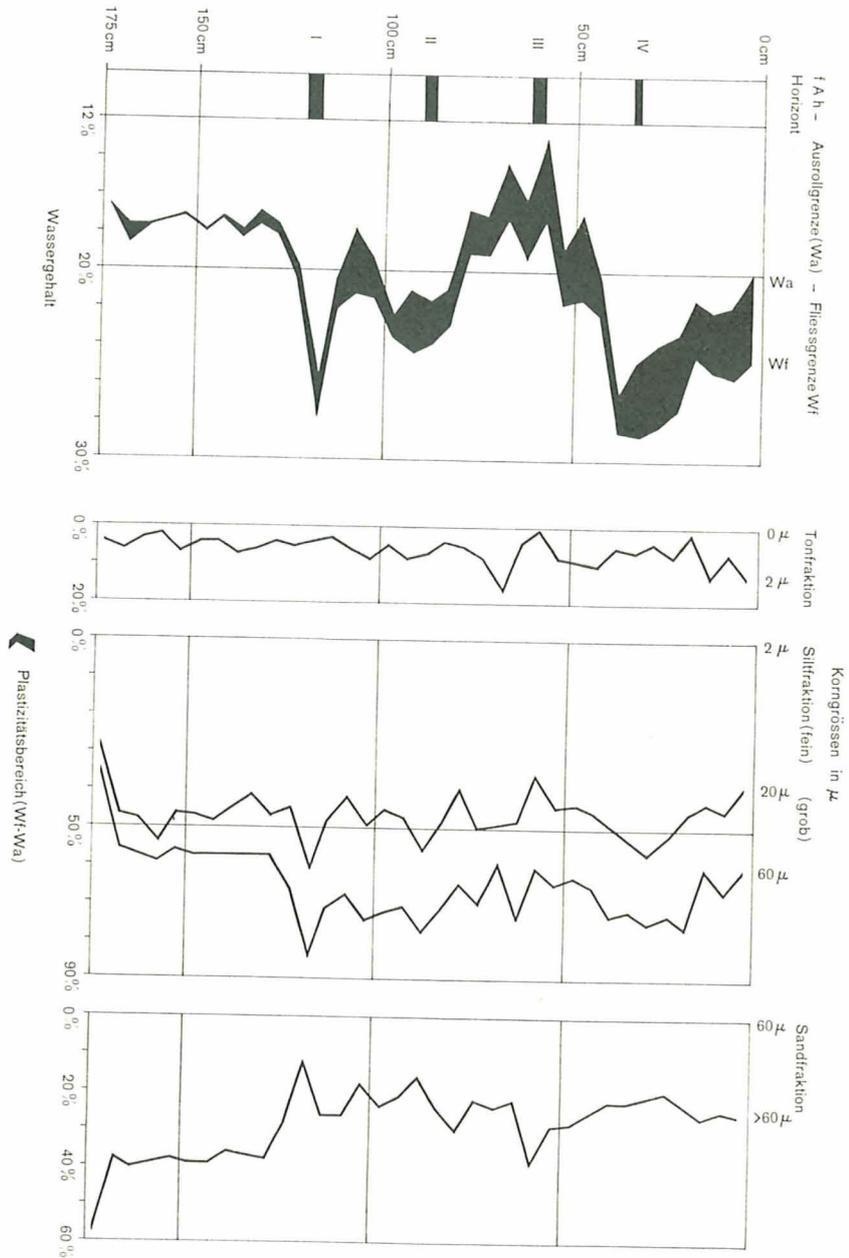
Im folgenden seien die im Sondiergraben und die auf dem benachbarten Erdstrom ermittelten Untersuchungsergebnisse gesondert behandelt. Aus den bereits erwähnten Gründen unterblieb bei den Proben aus dem Sondiergraben die Bestimmung des Wassergehalts. Somit konnte dieser Wert nur im Material aus dem benachbarten Erdstrom ermittelt werden. Im Laboratorium wurde alles Probenmaterial einheitlich untersucht. Es erfolgte die Bestimmung von Ausrollgrenze w_a und Fließgrenze w_f und somit als Differenz zwischen den beiden Werten die Bestimmung des Plastizitätsbereichs. Parallel dazu wurde die Korngrössenanalyse vorgenommen. Die ermittelten Werte sind in den Figuren 19 und 20 zusammengestellt, wobei die Korngrössenanteile in Ton- (unter 0,002 mm), Silt- (0,002–0,06 mm) und Sandfraktion (0,06–2,0 mm) aufgeteilt erscheinen.

An Hand der Proben aus der Profilsäule A des Sondiergrabens, dargestellt in Figur 19, ergeben sich folgende Feststellungen:

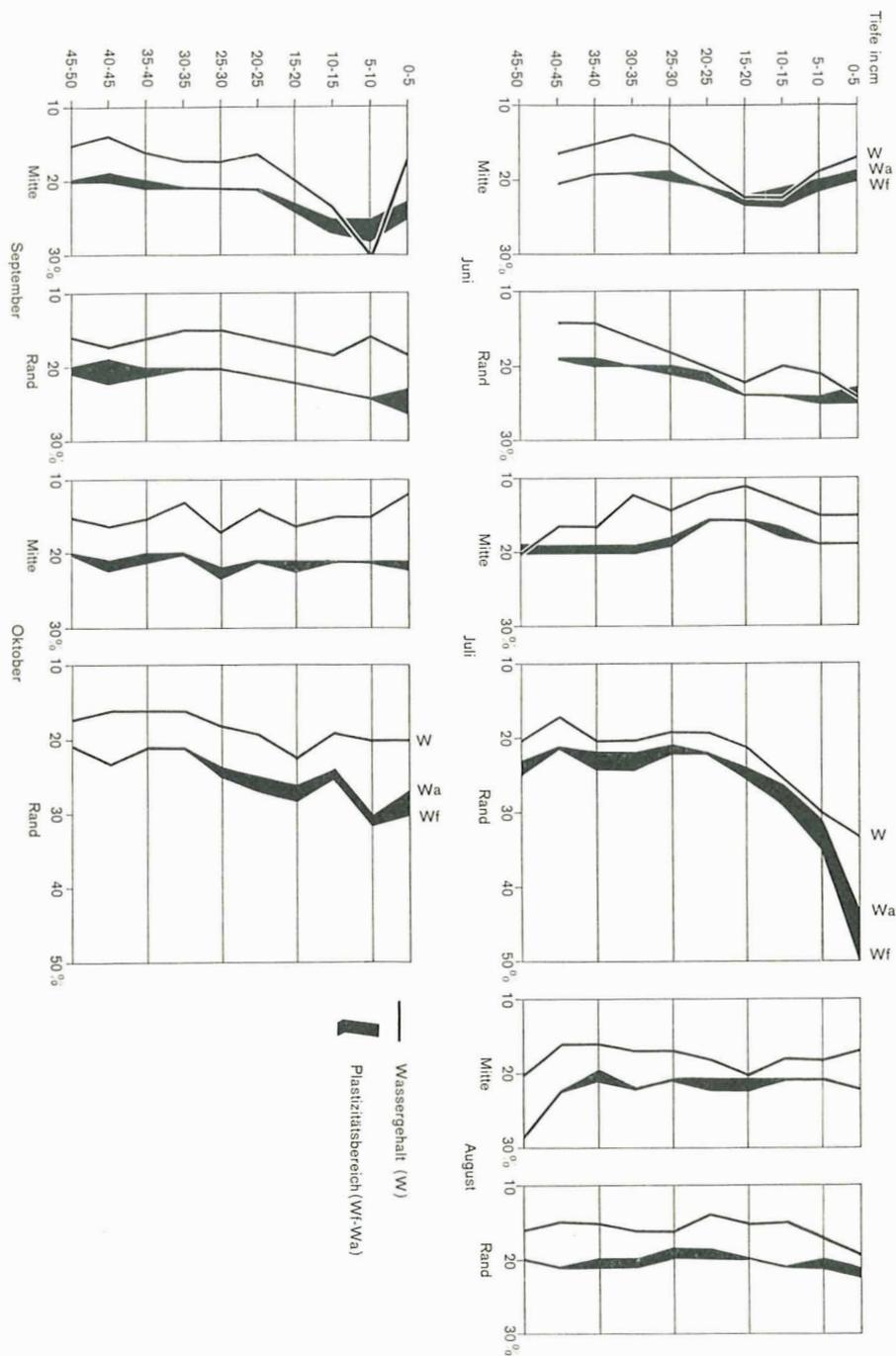
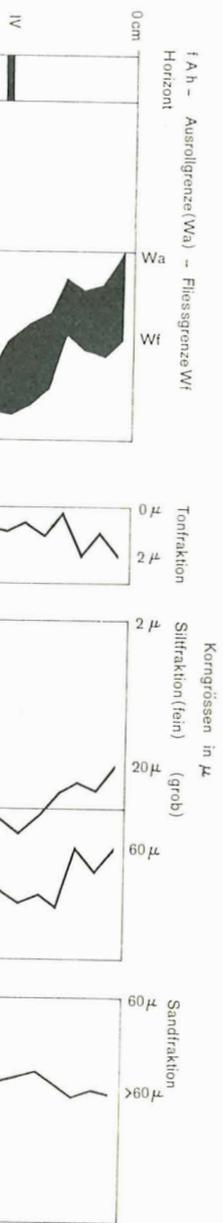
1. Die Fließgrenze ist durchwegs sehr niedrig, d. h. bereits ein geringer Wassergehalt führt den Boden in eine flüssige Zustandsform über. Zur Illustration sei erwähnt, dass in einem Boden von 12 % Ton und 70 % Silt eine Fließgrenze von 71 % ermittelt werden konnte (Wassergehalt ausgedrückt in Gewichtsprozenten des Trockengewichts der Probe).

2. Der Plastizitätsbereich ist im allgemeinen sehr eng. Er beträgt im Maximum rund 5 %. Nach dem sogenannten Plastizitätsdiagramm nach CASAGRANDE, wo auf der Ordinate der Plastizitätsbereich und auf der Abszisse die Fließgrenze eingetragen sind (Fig. 21), ist eine Beurteilung des Bodens leicht möglich. An Hand der Eichung nach bekannten typischen Bodenarten lässt sich jeder unbekannte Boden mit Hilfe dieser beiden Werte klassifizieren. Zugleich lässt das Plastizitätsdiagramm Rückschlüsse auf die Korngrössenzusammensetzung zu. Die untersuchten Proben sollen nach ihren Fließgrenzen und ihrem Plastizitätsbereich einen geringen Ton-, aber einen hohen Silt- (bzw. Schluff-) und Sandgehalt aufweisen. Die Korngrössenanalyse ergab tatsächlich den auf Grund des Plastizitätsdiagramms vermuteten Befund: Das untersuchte Material besteht zur Hauptsache aus Silt (= Schluff) und bindigem Sand.

3. In der Tiefe von etwa 130 cm ist insofern eine Veränderung der Materialeigenschaften festzustellen, als der Plastizitätsbereich praktisch auf Null absinkt. Das Mate-

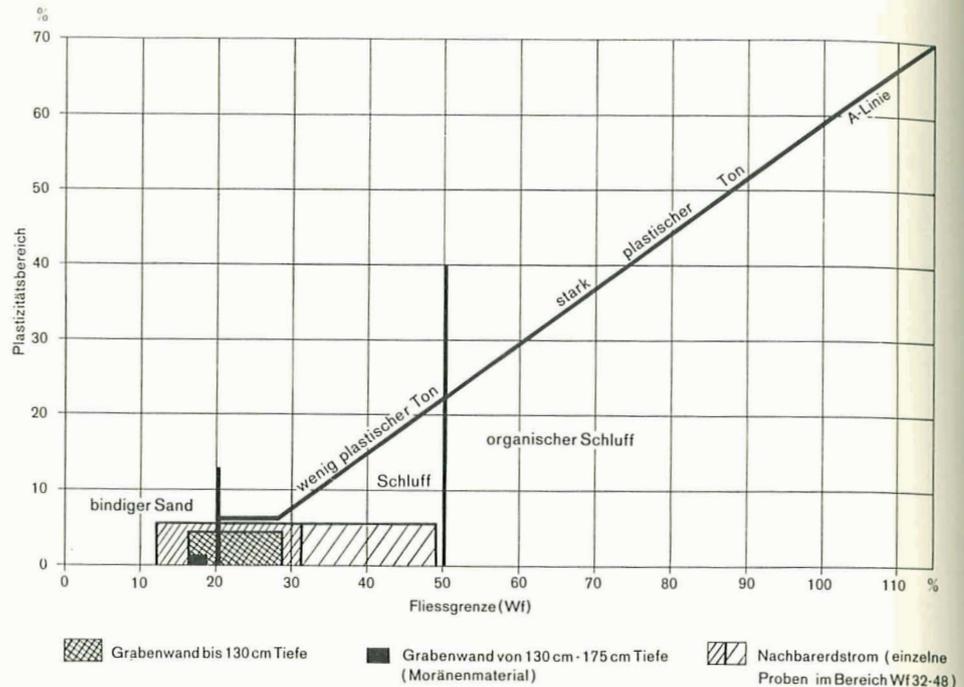


Figur 19
 Ausroll- und Fließgrenze sowie Plastizitätsbereich des der Probensäule A des Sondiergrabens entnommenen Materials. Zur Interpretation die Korngrößenverteilung, gegliedert nach Ton-, Silt- und Sandfraktion.



Figur 20
 Wassergehalt und Plastizitätsbereich von Proben aus einem benachbarten Erdstrom. Die Entnahmen erfolgten auf zwei Feldern (Erdstrommitte und randlicher Bereich) zu verschiedenen Zeiten (Monatsangabe). Die fünf Profile sind nicht identisch, liegen aber in engstem Umkreis beisammen.

...äule A des Sondiergrabens
 ...ung, gegliedert nach Ton-,



Figur 21

Situation der ermittelten Untersuchungsergebnisse im Plastizitätsdiagramm (nach CASAGRANDE).

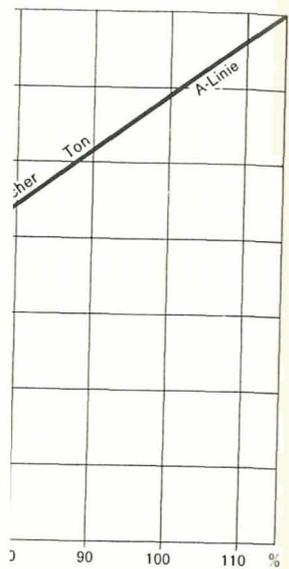
rial, welches der das Liegende des Erdstroms bildenden Moräne zugeordnet werden muss, weist auch eine andere Korngrössenzusammensetzung auf. Allerdings verändert sich nicht, wie vielleicht vermutet werden könnte, der Anteil der Tonfraktion, sondern die Siltfraktion (0,002–0,06 mm) tritt zugunsten der Sandfraktion (über 0,06 mm) eindeutig zurück.

Diese Feststellung lässt die Vermutung zu, dass möglicherweise vor allem die Siltfraktion die Plastizität des Materials bestimmt und nicht der Anteil der Tonfraktion.

Die auf dem benachbarten Erdstrom vorgenommenen Beobachtungen und die Untersuchung des diesbezüglichen Materials führten zu folgenden Feststellungen (Fig. 20):

1. Die Fließgrenze ist sehr niedrig. Die Werte entsprechen den im Sondiergraben des ersten Erdstroms ermittelten.

Obwohl die Probenentnahme nicht immer an derselben Stelle möglich war, stimmen die Werte von Fließ- und Ausrollgrenze von zu verschiedenen Zeiten in gleicher Tiefe entnommenem Material überein. Da es sich bei diesen Grenzen um Materialkonstanten handelt, ist diese Übereinstimmung an sich nicht weiter erstaunlich. Allerdings ergaben sich im Randbereich des Erdstroms gewisse Variationen, vor allem an der Oberfläche. In Figur 20 kommt dies am Beispiel des Monats Juli besonders gut zum Ausdruck. Die Erhöhung der beiden Werte macht sich hauptsächlich auf vegetationsbestandenen Flächen bemerkbar.



▨ Nachbarerstrom (einzelne Proben im Bereich Wf32-48)

agramm (nach CASAGRANDE).

foräne zugeordnet werden auf. Allerdings verändert l der Tonfraktion, sondern ktion (über 0,06 mm) ein-

erweise vor allem die Silt-er Anteil der Tonfraktion. Beobachtungen und die nden Feststellungen (Fig.

en den im Sondiergraben

elle möglich war, stimmen en Zeiten in gleicher Tiefe en um Materialkonstanten unlich. Allerdings ergaben r allem an der Oberfläche. rs gut zum Ausdruck. Die f vegetationsbestandenen

2. Häufig erlangte der Wassergehalt an der Oberfläche einen geringeren Wert als unmittelbar darunter. Diese Beobachtung liess sich vor allem im medialen Bereich des Erdstroms anstellen, wo die Vegetationsbedeckung fehlt. Einerseits könnte dieser Umstand mit der oberflächlichen Austrocknung zusammenhängen, andererseits aber mit der Beeinflussung der Drainageverhältnisse durch die vorangegangenen Probeentnahmen im gleichen Beobachtungsfeld.

3. Nur eine Beobachtung im medialen Bereich des Erdstroms zeitigte als Ergebnis, dass der im Feld gemessene natürliche Wassergehalt die Fließgrenze überstieg. Dies war im September 1969 in der Tiefe von 5 bis 10 cm der Fall.

In Anbetracht des Umstandes, dass im Herbst mit grosser Wahrscheinlichkeit Fließvorgänge stattfinden, könnte diese eine Probeentnahme im Gegensatz zu den übrigen während einer Fließphase erfolgt sein. In diesem Zusammenhang sei nochmals darauf hingewiesen, dass zu einer Zeit, wo die Schneeschmelze beendet ist und keine Schneeflecken mehr vorhanden sind, auch Sommerregen Fließvorgänge auszulösen vermögen. Auch ist auf den nicht kontinuierlichen Charakter der Solifluktion Bedacht zu nehmen. Sollten sich aber, was im Rahmen der Untersuchung nicht festgestellt werden konnte, Materialverfrachtungen auch im Zeitraum der andern Beobachtungen ereignet haben, müsste der Boden bereits in Bewegung geraten sein, bevor dessen natürlicher Wassergehalt die Fließgrenze erreicht hatte. Allerdings sollte wohl der Ausdruck «Fließen» erst dann angewendet werden, wenn der natürliche Wassergehalt die Fließgrenze überschritten hat (mdl. Empfehlung von Dr. Ryf vom Geologischen Büro Dr. Jäckli, dem an dieser Stelle für die Bereitschaft, bodenmechanische Probleme zu diskutieren, bestens gedankt sei). Welcher Bewegungsmechanismus bei solchen «unterschwelligem» Bewegungen spielt und welchen Einfluss die Hangneigung auf die Fließbereitschaft des Bodens ausübt, muss dahingestellt bleiben. Es resultiert, dass gerade wegen der bisher noch nicht untersuchten Beziehung zwischen Bodenfließen und Hangneigung der Nachweis allfälliger Bewegungen auf Grund von Wassergehalt und Fließgrenze allein noch nicht zu führen ist.

4. Der Versuch, die Wassergehaltsbestimmungen im Feld mit den Niederschlägen in den jeweiligen Beobachtungsperioden zu korrelieren, liess sich aus technischen Gründen nicht realisieren, da für das Untersuchungsgebiet keine meteorologischen Daten zu erlangen waren. Hingegen sei vermerkt, dass den beiden Messungen im Juli und Oktober, bei welchen im Durchschnitt (Berücksichtigung aller Proben bis in 40 cm Tiefe) der festgestellte Wassergehalt am beträchtlichsten unter der ermittelten Fließgrenze lag, je eine Schönwetterperiode von mehreren Tagen vorausgegangen ist, was bei den übrigen Beobachtungen nicht der Fall war. Somit wäre in diesem speziellen Fall eine Beziehung zwischen Niederschlag und Bodenfließen nicht von der Hand zu weisen.

7. Morphometrische Untersuchungen

7.1. Zweck und Durchführung der Untersuchungen

POSER und HÖVERMANN (1951) haben nachgewiesen, dass sich in Solifluktionsschutt nicht nur ein charakteristisches Sitogramm einstellt, sondern auch ein materialspezifisches Morphogramm ausprägt. In Anlehnung an diese Feststellung erfolgte im Rahmen der Untersuchung von Erdströmen im Raume Munt Buffalora/Munt Chavagl auch eine morphometrische Behandlung von stichprobenweise entnommenem Material. Dies geschah im Hinblick auf folgende Ziele:

1. Es sollte festgestellt werden, ob sich das von den erwähnten Autoren als charakteristisch für Solifluktionsschutt erkannte Morphogramm einstellt.
2. Es sollte ermittelt werden, ob sich die Transportbeanspruchung der Gerölle in einer Variation des Morphogramms manifestiert. Sind solche Veränderungen der Grundindizes zu erkennen, erhebt sich die Frage, ob morphometrische Befunde Rückschlüsse auf die Transportdistanz erlauben könnten.

Die Probenentnahme erfolgte einerseits auf dem eingehend untersuchten Erdstrom am Fusse des Munt Chavagl und andererseits auf einem Erdstrom am Hang des Munt Buffalora.

Am Munt Chavagl wurden unter- und oberhalb des Sondiergrabens zwei Untersuchungsflächen ausgewählt, die in der Fallinienrichtung rund 15 Meter auseinander lagen, ungefähr 400 Meter vom Gipfel entfernt. Diese Distanz entspricht der maximal möglichen Transportdistanz des untersuchten Skelettmaterials. Während in diesen beiden Fällen nur oberflächliches Material erfasst wurde, konnten im Sondiergraben zwei Proben tieferen Bereichen entnommen werden, die erste in einer Tiefe von 15 cm und die zweite in einer solchen von 150 cm. Die Situation der Entnahmestellen und die zugehörigen Untersuchungsergebnisse sind in Figur 22 festgehalten.

Am NW-Hang des Munt Buffalora wurden einer Fallinie entlang vier Proben entnommen: Probe A unmittelbar unterhalb der Krete, wo die Steine noch keinen Transport erfahren haben, und Probe D in einer Stirnregion eines Erdstroms. Die Probeentnahmestellen sind zusammen mit den entsprechenden Untersuchungsergebnissen in Figur 23 wiedergegeben. Es soll aber beachtet werden, dass die vermerkten Distanzen, welche die Entfernung der Messstellen von der Krete betreffen, nicht a priori als Transportstrecken aufgefasst werden dürfen. Nur unter der Voraussetzung, dass das gesamte untersuchte Material vom Gebiet der Krete her in die Tiefe befördert worden wäre, dürften die angegebenen Distanzen mit den maximal möglichen Transportstrecken übereinstimmen.

Ermittelt wurde von sämtlichen Proben die Korngrössenzusammensetzung, wobei die Gruppeneinteilung auf der grössten Länge (L) der einzelnen Komponenten beruht. In erster Linie aber erfolgte die Ermittlung von Zurundungs- und Abplattungsindizes nach der Methode von CALLEUX (vgl. KÖSTER, 1964).

7.2. Untersuchungsergebnisse

Nach POSER und HÖVERMANN (1951, p. 73) zeichnet sich bezüglich des Zurundungsindex' in Solifluktionsschutt ein ausgesprochenes Maximum in der ersten Indexgruppe ab, während von der vierten Indexgruppe an (Indizes über 150) nur noch geringfügige Werte auftreten. Die auf Grund der Messungen im Untersuchungsgebiet Munt Buffalora/Munt Chavagl ermittelten Morphogramme (Fig. 22 und 23) weisen indessen mit

einer Ausnahme das Maximum in der zweiten Indexgruppe auf. Nur auf der Krete des Munt Buffalora (Entnahmestelle A in Fig. 23), d. h. beim Material, das kaum einen Transport erfahren hat, stellt sich das Maximum in der ersten Indexgruppe ein. Hingegen sind auch in den vorliegenden Morphogrammen die höhern Indexgruppen äusserst schwach vertreten. So stimmen also die ermittelten Ergebnisse nicht in allen Teilen mit dem Befund überein, den POSER und HÖVERMANN als für Solifluktionsschutt charakteristisch erkannt haben.

Allerdings muss die numerische Divergenz der Messwerte zwischen den hier vorliegenden Untersuchungen und den grundlegenden Untersuchungen der erwähnten Autoren mit gewissen Vorbehalten interpretiert werden. Es ist wohl nicht gleichgültig, welche Korngrössenzusammensetzung das untersuchte Material aufweist. CAILLEUX (zit. in KÖSTER, 1964, p. 152) berücksichtigte für die Messungen Steine mit grössten Längsachsen von 20 bis 150 mm. Kritisch ist bei der Bestimmung des 'Zurundungsindex' die Erfassung des kleinsten Krümmungsradius, welcher im Quotient dem Wert des Zählers zugrunde liegt. Nach VALETON (zit. in KÖSTER, 1964, p. 147) lässt sich eine Messgenauigkeit von 1 mm nicht mehr mit Sicherheit erreichen, um so weniger eine solche von 0,5 mm. Da beim vorliegenden Dolomitschutt eine Unterscheidung zwischen 1 mm und 0,5 mm praktisch nicht zu bewerkstelligen war, musste durchwegs mit kleinsten Krümmungsradien von 1 mm gerechnet werden. Setzt man diesen Wert in die Formel

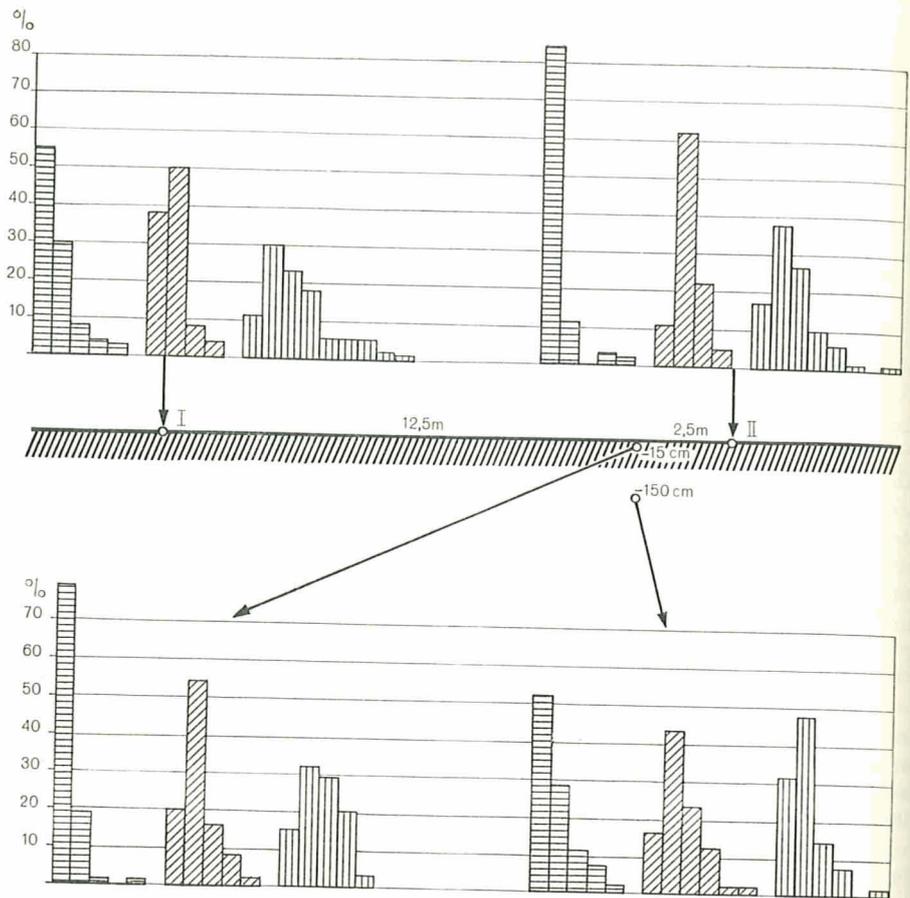
$$Z_i = \frac{2 r \cdot 1000}{L} \quad (r = \text{kleinster Krümmungsradius})$$

ein, so fallen alle Komponenten mit grössten Längsachsen von $L = 20$ bis 40 mm zum vornherein für die erste Indexgruppe ausser Betracht. Sie werden also, rein messtechnisch bedingt, den höheren Indexgruppen von Werten über 50 zugewiesen. Deshalb sollten grundsätzlich nur Steine von mehr als 40 mm grösster Längsachse berücksichtigt werden, wenn der kleinste Krümmungsradius nicht präziser bestimmbar ist. Die Beschränkung auf solche Korngrösse war jedoch, wie aus den Ergebnissen der Korngrössenbestimmung hervorgeht, im vorliegenden Fall kaum möglich.

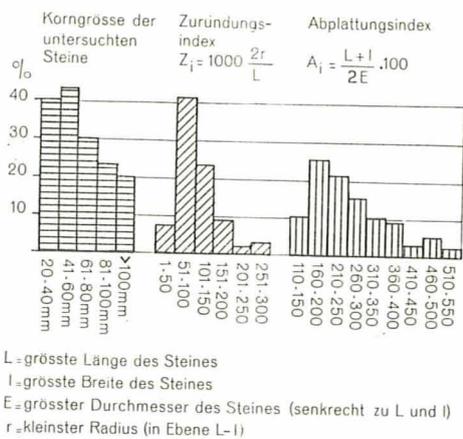
In Würdigung dieses Umstandes darf festgehalten werden, dass sich im untersuchten Material – wenn auch nicht so eindeutig, wie POSER und HÖVERMANN es formuliert haben – bezüglich des 'Zurundungsindex' ein Morphogramm ausprägt, das als charakteristisch für Solifluktionsschutt gelten darf. Es zeichnet sich durch ein Maximum in den niederen Indexgruppen aus (Gruppe 1 in Probe A vom Munt Buffalora und Gruppe 2 in sämtlichen andern Proben) sowie durch geringfügige oder fehlende Werte in den höhern Indexgruppen, also durch eine Einengung auf wenige niedere Indexgruppen.

Gewisse Anhaltspunkte deuten darauf hin, dass sich mit zunehmender Transportdistanz eine ausgeprägtere Zurundung bemerkbar macht. Am Munt Chavagl sind zwar auf den Messfeldern an der Oberfläche des Erdstroms keine Veränderungen zu erwarten, da eine Entfernung in Falllinienrichtung von bloss 15 Metern einen zu geringen Unterschied der möglichen Transportdistanzen bedeutet, als dass sich eine unterschiedliche Materialbeanspruchung in der Zurundung äussern könnte. Hingegen manifestiert sich in den aus 15 cm und 150 cm Tiefe stammenden Proben ein Morphogramm, in dem die höheren Indexgruppen deutlicher in Erscheinung treten (Fig. 22). Dieser Umstand lässt den Schluss auf eine gewisse Materialbeanspruchung zu.

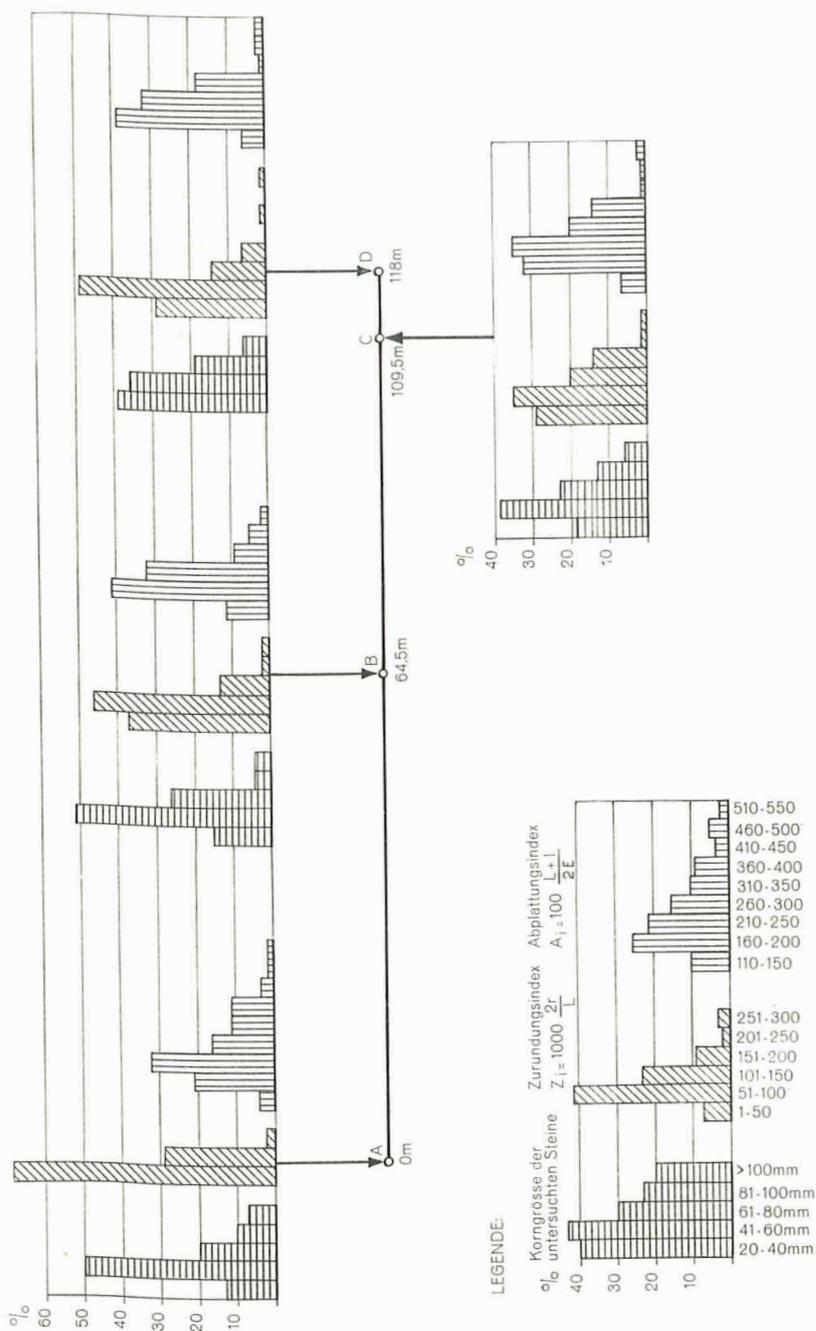
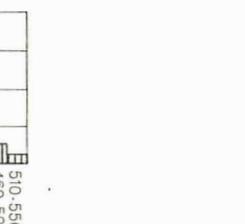
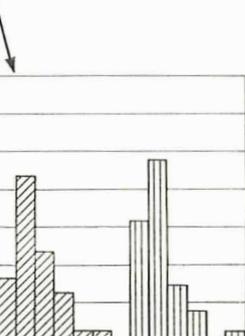
Am Munt Buffalora zeichnet sich an der Erdstromoberfläche eine offensichtliche Veränderung der Zurundungsverhältnisse in Relation zur möglichen Transportdistanz ab. Mit zunehmender Entfernung von der Krete prägt sich im Morphogramm eine erkennbare Verschiebung der Indexgruppen aus. Die Maxima in den ersten zwei Index-



LEGENDE



Figur 22
Erdstrom am Munt Chavagl.
Korngrössen, Zurundungs- und Abplattungsindizes von vier Proben, deren Entnahmestellen unter dem oberen Säulendiagramm schematisch wiedergegeben sind.



Figur 23
 Erdströme am Munt Buffalora.
 Morphometrische Untersuchungen: Korngrösse, Zurundungs- und Abplattungsindex. Die Entnahmestellen A, B, C und D sind schematisch angegeben. Die Entfernungen beziehen sich auf die grösstmöglichen Transportdistanzen des untersuchten Materials.

L = grösste Länge des Steines
 l = grösste Breite des Steines
 E = grösster Durchmesser des Steines (senkrecht zu L und l)
 r = kleinster Radius (in der Ebene L-l)

d)

en, deren Entnahmestellen

gruppen verringern sich zugunsten der höhern Gruppen, die nun stärker in Erscheinung treten (Fig. 23). Auf Grund der vorläufigen Ergebnisse ist festzuhalten, dass sich bereits nach Transportdistanzen von grössenordnungsmässig 50 bis 100 Metern bei morphometrischen Untersuchungen eine nachweisbare Materialbeanspruchung zu äussern vermag. Die wirkliche Transportdistanz ist im Einzelfall allerdings kaum zu ermitteln. Um Fehlbeurteilungen vorzubeugen, sei nochmals darauf hingewiesen, dass die in Figur 23 vermerkten Distanzangaben nicht die effektiven Transportwege betreffen, sondern nur als grösstmögliche Transportdistanzen zu interpretieren sind. Selbstverständlich beruht diese Aussage auf einer sehr schmalen Beobachtungsbasis. Immerhin vermögen die vorstehenden Äusserungen darzutun, dass im Hinblick auf die Formanalyse systematische morphometrische Untersuchungen zu durchaus informativen Ergebnissen führen können.

Der Vollständigkeit halber sind von allen Proben auch die Abplattungsindizes bestimmt worden (Diagramme in den Figuren 22 und 23). Mit Ausnahme von Probe A am Munt Buffalora (Fig. 23) zeigen alle untersuchten Proben ausgeprägte Maximalwerte zwischen 160 und 250 (2. und 3. Indexgruppe). Die Abplattungsindizes ergeben nach KÖSTER (1964, p. 162) keine unmittelbaren Anhaltspunkte zur Bestimmung von Transportmedien.

8. Probleme und Möglichkeiten von pollenanalytischen Untersuchungen

An geeigneten Profilen vorgenommene pollenanalytische Untersuchungen vermögen Aufschlüsse über die Vegetationsbedeckung vergangener Zeitperioden zu geben. Die in ihrer (lückenlosen) Abfolge wechselnde floristische Zusammensetzung der verschiedenen Zeitabschnitten zugehörigen Vegetation spiegelt den vegetationsgeschichtlichen Ablauf wider. Deshalb erlaubt der Niederschlag von Pollen und Sporen Rückschlüsse auf die klimatischen Verhältnisse, welche zur Zeit der Ablagerung geherrscht haben. Die pollenanalytische Untersuchung gezielt entnommener Bodenproben dürfte somit bei geeigneter Aufbereitung und wohlüberlegter Auswertung Anhaltspunkte für die zeitliche Einstufung bestimmter Bodenhorizonte in die mitteleuropäische Grundsukzession liefern.

Die zeitliche Einstufung von Bodenhorizonten auf pollenanalytischer Grundlage stützt sich vor allem auf den Vergleich von lokal ermittelten Ergebnissen mit gesicherten Profilen und auf den charakteristischen Wechsel im Artenbestand während des vegetationsgeschichtlichen Ablaufs. In waldlosen Gebieten – so in unserem oberhalb der Baumgrenze gelegenen Untersuchungsraum – müssen alle nur möglichen Pollenmerkmale Berücksichtigung finden, vor allem die krautigen Pflanzen, während sonst die pollenanalytischen Aussagen hauptsächlich auf Baum- und Strauchpollen basieren. Wenn eine zeitliche Eingliederung in die mitteleuropäische Klimasukzession angestrebt wird, muss grundsätzlich die gesamte Pollenzahl in Betracht gezogen werden. Die Erfassung des Gesamtpollenbestandes ist auch wesentlich für die Ausscheidung von kälte-

un stärker in Erscheinung zuhalten, dass sich bereits

100 Metern bei morphologischen Aussagen kaum zu ermitteln. Um festzustellen, dass die in Figur 23 angeführten Ergebnisse betreffen, sondern nur die Selbstverständlichkeit beruht. Immerhin vermögen die Ergebnisse der Formanalyse systematischen Ergebnissen führen

1 die Abplattungsindizes mit Ausnahme von Probe A ausgeprägte Maximalwerte der Abplattungsindizes ergeben nach der Bestimmung von Trans-

den Untersuchungen

Untersuchungen vermögen die verschiedenen Zeitaltern zu geben. Die in der Untersuchung der verschiedenen geologischen Abschnitte des geologischen Ablaufes Rückschlüsse auf die verschiedenen Zeitaltern gelehrt haben. Die Untersuchungen dürften somit bei der Bestimmung der zeitlichen Abfolge der geologischen Zeitalter die geologischen Zeitalter

analytischer Grundlage der Ergebnisse mit gesicherten Ergebnissen während des vegetationshistorischen Ablaufes in unserem oberhalb der verschiedenen Zeitalter möglichen Pollenmerkmalen, während sonst die Ergebnisse auf der Basis von Strauchpollen basieren. Die Ergebnisse der Untersuchungen gezogen werden. Die Ergebnisse der Untersuchungen von kälte-

ren und wärmeren Klimaphasen, ist doch in dieser Hinsicht die Artenkombination oft von entscheidenderer Bedeutung als die gesamte Pollenzahl.

Doch bereiten Einstufungsversuche, die allein auf pollenanalytischer Grundlage beruhen, auch bei einwandfreier Bearbeitung der Bodenproben erhebliche Schwierigkeiten, insbesondere wenn – wie im vorliegenden Fall – keine gesicherten Vergleichsprofile zur Verfügung stehen. Es ist deshalb erforderlich, pollenanalytische Untersuchungsergebnisse mit detaillierten morphologischen Untersuchungsergebnissen und allfälligen C_{14} -Datierungen in Beziehung zu setzen, um letztlich zu brauchbaren Resultaten zu gelangen.

Im Rahmen der hier vorgenommenen Untersuchungen lassen sich derart weitreichende Verknüpfungen vorderhand noch nicht vornehmen. Zwar wurden die im Sondiergraben den Profilsäulen A und C entnommenen Bodenproben einer summarischen Pollenanalyse unterworfen. Ein gewisser Aussagewert kann dabei aber vorerst höchstens der Gesamtpollenzahl zugesprochen werden. In der Moräne, welche das Liegende der Solifluktsdecke bildet, treten keine Pollen auf. Vereinzelt finden sich aber in den braunen Schmitzen zwischen dem unveränderten Moränenmaterial und der untersten Solifluktsmasse, welche grösstenteils aus solifluidal aufbereitetem Moränenmaterial besteht. Somit wird durch Pollenfunde bestätigt, was bereits aus anderen Beobachtungsstatsachen zu folgern war: Über der Würmmoräne bestand Vegetation, welche zu Bodenbildung zu führen vermochte, bevor die erste Solifluktsphase die Bildung des Erdstroms einleitete. Während sich die unterste Solifluktsmasse wiederum pollenfrei präsentiert, setzt im Bereich des fAh-Horizonts I die Pollenführung schlagartig ein, um bis zur heutigen Oberfläche nicht mehr abzurechnen. Der fAh-Horizont I prägt sich durch einen auffallend markanten Anstieg der Gesamtpollenzahl aus. Die höherliegenden fAh-Horizonte allerdings erscheinen weniger eindeutig durch Ausschläge in der Pollenführungskurve (Gesamtpollenzahl) charakterisiert, da auch in den Solifluktsmassen verschiedentlich Anstiege und Rückgänge in der Pollenführung festzustellen sind. Offenbar wirken sich die aus tieferen Lagen eingewehten Pollen beträchtlich aus. So kann im Bereich des fAh-Komplexes III sogar beobachtet werden, dass die Gesamtpollenzahl etwa 10 cm über dem fossilen Bodenhorizont beträchtlich grösser ist als im Bodenhorizont selbst.

Generell kann jedoch festgehalten werden, dass die pollenanalytischen Ergebnisse (Gesamtpollenzahl) im wesentlichen den bereits bodenkundlich nachgewiesenen Befund bestätigen: Der Erdstrom baut sich aus verschiedenen Solifluktsmassen auf, welche durch deutlich nachweisbare (fossile) Bodenhorizonte voneinander getrennt werden.

Für die detaillierte pollenanalytische Untersuchung von Bodenproben und die sichere Beurteilung der ermittelten Untersuchungsergebnisse sind grundlegende Kenntnisse der systematischen Botanik unerlässlich. Wir dürfen daher ohne Vorbehalt das Ergebnis einer pollenanalytischen Untersuchung wiedergeben, welche durch Vermittlung von V. MARKGRAF in verdankenswerter Weise am Systematisch-Geobotanischen Institut der Universität Bern vorgenommen wurde: Bearbeitet wurde eine Bodenprobe, welche im Sondiergraben dem fAh-Horizont I (Profilsäule A, 120 cm unter Oberfläche) entnommen worden war. Das aufbereitete Präparat enthielt 570 Pollen und eine Spore von *Botrychium lunaria* (Mondraute, zur Klasse der Farne gehörend). Auf die Auszählung der reichlich vorhandenen *Selaginella*-Sporen (*Selaginella selaginoides*) wurde verzichtet. Die Sporen sind teilweise schlecht erhalten und dann schwer kenntlich. Pilzsporen sollen nach MARKGRAF (mdl. Mitt.) nur «Stillstandsproben» anzeigen, d. h. bei langsamer Ablagerung treten sie häufiger auf als bei schnellem Wachstum. Ob das Klima einen Einfluss auf die Häufigkeit von Pilzsporen auszuüben vermag, erscheint recht zweifelhaft.

Von der Pollensumme gelangte ungefähr die Hälfte (genau: 249 Pollen) zur Auszählung:

Baumpollen: 63		Nichtbaumpollen: 181	
Quercus	1	Gramineae	40
Fagus	1	Cyperaceae	30
Pinus	7	Artemisia	6
Betula	15	Compositae liguliflorae	
Alnus	36	(z. B. Löwenzahn)	81
Corylus	2	Compositae tubuliflorae	2
Salix	1	Umbelliferae	1
		Plantago	1
		Chenopodiaceae	2
		Helianthemum	4
		Cruciferae	1
		Rosaceae	7
		Rumex	3
		Caryophyllaceae	3

Die Nichtbaumpollen (NBP) stehen zu den Baumpollen (BP) im Verhältnis von 75% zu 25%. In der untersuchten Probe sind die Baumpollen im wesentlichen durch Erle und Birke vertreten. Diese Baumarten bilden keine eigentlichen Waldbestände. Es muss wohl angenommen werden, dass feuchte Rinnen in der näheren Umgebung des Untersuchungsgebietes Birken- und Erlenvegetation aufwiesen. Die Kombination der NBP legt den Schluss nahe, dass das Untersuchungsgebiet von einem ziemlich dichten alpinen Rasen überzogen war. Es bestand also eine ähnliche Vegetation, wie sie heute in gleicher Höhenlage zu finden ist. Bei solchem Vegetationsschluss darf Solifluktion mit hoher Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden.

Das vorliegende pollenanalytische Ergebnis belegt also eine solifluktionslose Phase und erhärtet damit die Erkenntnis, dass der Bildungsprozess der am Munt Chavagl vorliegenden Solifluktionsdecke ein diskontinuierlicher Vorgang war, d. h. dass Fließphasen und Ruhephasen miteinander abwechseln (vgl. auch Analysen der fAh-Horizonte). Allerdings kann mit einer Stichprobe allein der pollenanalytische Nachweis dieser Abfolge nicht vollständig zu Ende geführt werden. Es wäre nun zu prüfen, ob sich in den Horizonten unter- und oberhalb der fAh-Horizonte eine wesentliche Veränderung und vor allem eine Verarmung der Vegetation feststellen liesse.

Diese Fragen müssen aber vorderhand offen bleiben. Doch soll abschliessend darauf hingewiesen werden, dass eine fachgerechte pollenanalytische Bearbeitung von Bodenproben unter Berücksichtigung aller Pollenmerkmale aussagekräftige Pollenprofile zu liefern vermag. Es ist sogar – auch nach Ansicht von V. MARKGRAF – nicht ausgeschlossen, dass man zur Alterseinstufung bestimmter Horizonte auf pollenanalytischer Grundlage gelangen kann.

9. Der Erdstrom als Spiegel der postglazialen Landschaftsentwicklung

Erdströme gehören dem solifluidalen Formenschatz der subnivalen Höhenstufe an. Sie bilden die talwärts niederreichenden, zungenförmigen Ausläufer grosser Solifluk-tionsdecken. Voraussetzung für die Bildung solcher Formen sind somit nicht verglet-scherte Hänge, auf denen sich die Solifluktion manifestieren kann.

Die Eisbedeckung des Untersuchungsgebietes im Raum Munt Buffalora/Munt Chavagl während der Würm-Kaltzeit ist durch die Moräne belegt, welche im Liegenden der Erdströme nachgewiesen werden konnte. Somit konnte die Solifluktion erst nach dem Abschmelzen der Eisbedeckung einsetzen. Im Bestreben, diesen Zeitpunkt festzustel-len, sei zunächst auf eine wesentliche Feststellung von BOESCH (1937, p. 92) verwiesen: Zur Zeit des Champ löng-Stadiums, welches der Autor dem Bühl-Stadium gleichsetzt, ragte «das ganze Massiv von Munt la Schera bis Munt Buffalora» «als vom Eis umflossene Insel aus dem Gletscher empor».

Somit darf gelten, dass unser Untersuchungsgebiet im Spätglazial nicht mehr ver-gletschert war und in der Folge nie mehr überfahren wurde. Zwar soll nach HANTKE (mdl. Mitt.) eine Lokalvergletscherung nicht auszuschliessen sein, doch müssen wir eine solche als unwahrscheinlich betrachten. BOESCH (1966) hält fest, dass im Spätglazial vor dem Alleröd nur noch der Inngletscher tief ins ausgeaperte Ofenbergland vor-gestossen sei. Hinweise auf lokale Vergletscherung lassen sich keine finden. Auch wenn nach HANTKE für die letzten Stadiale beträchtliche Schneegrenzdepressionen berück-sichtigt werden, lägen die jeweiligen Höhen über dem Gipfel des Munt Chavagl. Deshalb setzen wir den theoretischen Beginn der formbildenden Prozesse im Bereich der Soli-fluktionsdecken am Munt Chavagl dem Abbau der Eisbedeckung am Ende des Hoch-würm gleich.

Ein Erdstrom ist aus mehreren Fliesserdekomplexen aufgebaut, die durch fossile Bodenhorizonte voneinander getrennt werden. Durch ihre braune Färbung heben sich die fAh-Horizonte deutlich von den grauen Solifluktionsmassen ab. In ihren Bereichen steigt der organische Kohlenstoffgehalt merklich an, während gleichzeitig der Karbonat-gehalt absinkt. Unmittelbar unter den karbonatarmen Horizonten tritt ein Anreiche-rungshorizont in Erscheinung (Cc-Horizont). Abgesehen von vereinzelt Frostauf-brüchen konnten keine wesentlichen Störungen innerhalb der fossilen Bodenhorizonte festgestellt werden. Die Untersuchungsergebnisse erlauben daher den Schluss, dass die heutigen fAh-Horizonte in situ erfolgte Bodenbildungen repräsentieren.

Die Fliesserdekomplexe sind vor allem durch die situmetrische Untersuchung erfasst worden. Nur auf Grund der Einregelung lässt sich die Basis des Erdstroms ermitteln. Allem Anschein nach besteht die unterste und somit älteste Solifluktionsmasse aus umgelagertem Moränenmaterial. Moräne und unterste Fliesserde stimmen material-mässig in verschiedener Beziehung miteinander überein. Im Skelettanteil lassen sich weder in Form noch in Grössenordnung der Komponenten wesentliche Unterschiede erkennen, höchstens dass im Liegenden eine dichtere Steinpackung vorliegt und teil-weise recht grosse Steine auftreten. Auffallend ist das Vorkommen von Verrucano- und Buntsandsteinkomponenten (Seite 213), welche als Leitgesteine des aus der Gegend um den Piz Turettas herkommenden Gletschers zu deuten sind (BOESCH, 1937). Innerhalb der Feinerde liegen praktisch dieselben Korngrössenverhältnisse vor. Ebenso waren die gleichen Plastizitätsbereiche zu ermitteln. Von spurenartigen Pollenvorkommen in humosen Schmitzen zwischen Moräne und solifluidal umgelagertem Moränenmaterial abgesehen, die möglicherweise auf das Alleröd hindeuten (Seite 264), fehlen sowohl in der liegenden Moräne wie in der untersten Fliesserdemasse Pollen und Sporen. Demgegen-

au: 249 Pollen) zur Aus-

aumpollen: 181

ae	40
ae	30
ia	6
tae liguliflorae	
owenzahn)	81
tae tubuliflorae	2
ferae	1
o	1
diaceae	2
emum	4
ae	1
e	7
	3
yllaceae	3

(BP) im Verhältnis von
en im wesentlichen durch
ntlichen Waldbestände. Es
r näheren Umgebung des
en. Die Kombination der
on einem ziemlich dichten
vegetation, wie sie heute in
luss darf Solifluktion mit

ne solifluktionslose Phase
ss der am Munt Chavagl
ung war, d. h. dass Fliess-
Analysen der fAh-Hori-
llenanalytische Nachweis
äre nun zu prüfen, ob sich
wesentliche Veränderung
e.

soll abschliessend darauf
Bearbeitung von Boden-
ekräftige Pollenprofile zu
GRAF – nicht ausgeschlos-
pollenanalytischer Grund-

über steht aber ein unterschiedlicher situmetrischer Befund. In den tiefsten Bereichen des untersuchten Profils weist die Einregelung charakteristische Merkmale auf, die sich bei Eistransport ausprägen, deutlich genug, um die generelle Fliessrichtung des Gletschers (vom Piz Turettas her) erkennen zu lassen. Über den erwähnten fAh-Schmitzen erfolgt aber schlagartig eine Umorientierung der Steinlängsachsen (Fig. 13). Es bildet sich ein eindeutiges Solifluktionssitogramm aus, in dem die Fallinie des überflossenen Hanges als betonte Hauptrichtung der Materialverfrachtung zum Ausdruck kommt. Das vorliegende Untersuchungsergebnis ist dahin zu interpretieren, dass die auf höher liegenden Hangpartien abgelagerte Moräne von solifluidalen Bewegungen erfasst und umgelagert worden ist, wobei dieser Vorgang offensichtlich in der verschiedenartigen Einregelung zum Ausdruck kommt.

Innerhalb der jüngeren Fliesserdekomplexe zeigt sich in der Einregelung eine bestimmte Variation, dank der die einzelnen Fliesserdedecken auch nach dem situmetrischen Befund auseinanderzuhalten sind. In ihren basalen Partien, d. h. in den Horizonten, die den liegenden fossilen Bodenhorizonten überlagert sind, prägen sich Solifluktionssitogramme nur andeutungsweise aus. Erst in höheren Horizonten weisen eindeutige situmetrische Merkmale auf volle Entfaltung der Fliessbewegung hin. Offenbar übte der liegende Bodenhorizont beim Einsetzen einer Fliessphase anfänglich einen bewegungshemmenden Einfluss aus, der erst nach und nach ausgeschaltet wurde.

Die fAh-Horizonte liegen in guter Konservierung vor. Im Längsprofil lassen sie sich durchverfolgen, ohne dass nennenswerte Veränderungen in ihrer Mächtigkeit festzustellen wären. Diese Beobachtung lässt den Schluss zu, dass die fossilen Oberflächen keinen wesentlichen Abtrag erfahren hatten, als sich Fliesserdemassen darüber ergossen. Die Vegetationsbedeckung und die höhere Fliessgrenze des die Bodenhorizonte bildenden Materials verliehen wohl den ehemaligen Oberflächen eine wirksame Resistenz gegen die solifluidale Beanspruchung. So ist auch die ehemalige Vegetationsdecke weder aufgerissen noch eingerollt worden. Daraus geht hervor, dass eine Fliesserdelage, auf der sich während einer Ruhephase eine Vegetationsdecke zu bilden vermochte, in der nachfolgenden, durch Klimaverschlechterung ausgelösten Fliessphase nicht eine Wiederbelebung erfuhr, sondern von den zufließenden Solifluktionssmassen begraben wurde. Dabei erlitt die durch solche Überdeckung fossilisierte Oberfläche keine merklichen Veränderungen. Hätte sich eine Neubelebung eingestellt – indem die oberen Horizonte der liegenden Fliesserdemasse in die Bewegung einbezogen worden wären –, müssten die fAh-Horizonte infolge von Stauchungen, Aufreissen und Überwälzen der Vegetationsdecke unterschiedliche Mächtigkeit aufweisen und eine unregelmässige Verteilung des Humus' erkennen lassen.

Während die fAh-Horizonte I, II und IV eine mehr oder weniger homogene Ausprägung erfuhren, weist der fAh-Horizont III einen komplexen Bau auf. Humose Horizonte wechseln in letzterem mit schwächtigen, feinkörnigen mineralischen Horizonten. In dieser Wechsellagerung scheinen sich mehrere kurzfristige Ruhe- und Fliessphasen zu widerspiegeln.

Auf Grund der vorliegenden Untersuchungsergebnisse sind Erdströme als Formen zu betrachten, deren Bildung über längere Zeiträume hinweg in mehreren Phasen erfolgte. Ruhephasen, die lange genug währten, um eine kräftige Bodenbildung zu ermöglichen, alternieren mit Fliessphasen, bei deren Beginn die bestehenden Oberflächen fossilisiert worden sind. Insgesamt baut sich die untersuchte Form aus fünf in verschiedenerlei Hinsicht eindeutig gegeneinander abgrenzbaren Fliesserdekomplexen auf. Jeder Fliesserdekomplex liegt einem fAh-Horizont auf, der ein höheres Alter aufweist als die Solifluktionsdecke, die ihn überlagert. Andererseits trägt jeder Fliesserdekomplex – mit Ausnahme des obersten – einen fAh-Horizont, der nunmehr jünger als die darunter

lieg
dur
der
(193
tion
Mo
zwi
sch
unc

folg
gur
sch
Zeit
geg
Fro
fluk
ist
gur
beit
rück
vie
Bev

Kli
bes
bild
Hä
höl
fus
bild
De
wu
me
zu
ist
ma
tre
Tra
zor
geg
De
len
Ha
sol
all
spä
Kli
gel

. In den tiefsten Bereichen
 che Merkmale auf, die sich
 le Fließrichtung des Glet-
 erwähnten fAh-Schmitzen
 achsen (Fig. 13). Es bildet
 Fallinie des überflossenen
 ng zum Ausdruck kommt.
 etieren, dass die auf höher
 n Bewegungen erfasst und
 in der verschiedenartigen

der Einregelung eine be-
 auch nach dem sitometri-
 Partien, d. h. in den Hori-
 ert sind, prägen sich Soli-
 ren Horizonten weisen ein-
 essbewegung hin. Offenbar
 essphase anfänglich einen
 ausgeschaltet wurde.

Längsprofil lassen sie sich
 ihrer Mächtigkeit festzu-
 s die fossilen Oberflächen
 emassen darüber ergossen.
 ie Bodenhorizonte bilden-
 wirksame Resistenz gegen
 getationsdecke weder auf-
 ne Fließerdelage, auf der
 n vermochte, in der nach-
 phase nicht eine Wieder-
 smassen begraben wurde.
 che keine merklichen Ver-
 die oberen Horizonte der
 en wären -, müssten die
 erwälzen der Vegetations-
 gelmässige Verteilung des

weniger homogene Aus-
 lexen Bau auf. Humose
 igen mineralischen Hori-
 fristige Ruhe- und Fließ-

nd Erdströme als Formen
 g in mehreren Phasen er-
 Bodenbildung zu ermög-
 bestehenden Oberflächen
 orm aus fünf in verschied-
 Fließerdekomplexen auf.
 n höheres Alter aufweist
 jeder Fließerdekomplex
 hr jünger als die darunter

liegende Solifluktionsmasse ist. Nur die älteste (unterste) Fließerdemasse ist nicht durch einen eindeutigen fossilen Bodenhorizont von ihrem Liegenden getrennt, d. h. der Würmmoräne, die, gestützt auf eingangs erwähnte Feststellungen von BOESCH (1937), älter als das Bühl-Stadium sein dürfte. Offenbar war die Moräne von Vegetation überzogen, bevor sie in der ersten Solifluktionsphase von talwärts verfrachtetem Moränenmaterial überwandert worden war. Der geringfügige Pollenfund im Bereich zwischen Moräne und unterster Fließerdedecke und vereinzelt beobachtete Humus-schmitzen erlauben eine diesbezügliche Aussage. Die fossilen Bodenhorizonte I, II, III und IV bilden offensichtliche Zäsuren im Ablauf der Formbildung.

In der Wechselfolge von Solifluktions- und Ruhephasen äussert sich die Wechselfolge von verschiedenen Klimaphasen. Auslösung und Stillstand solifluidaler Bewegungen sind in entscheidendem Masse durch das Klima bedingt. Als naheliegend erscheint zunächst, Solifluktionsphasen kühlen bis kalten Klimaperioden gleichzusetzen – Zeitabschnitten mit länger dauernder und kräftigerer Frost- und Auftauwirkung. Demgegenüber entsprechen Bodenbildungsphasen wärmeren Klimaperioden, während denen Frosteinwirkung und Wasserdurchtränkung zum mindesten keine nennenswerten Solifluktionsvorgänge mehr auszulösen vermochten. Wie die Untersuchungen gezeigt haben, ist aber Frosteinwirkung nicht das alleinige auslösende Moment für solifluidale Bewegung. Auch Regen nebst Schmelzwasser kann den kritischen Durchtränkungsgrad herbeiführen, bei dem der Boden in fließende Bewegung gerät. Es muss darum auch berücksichtigt werden, dass eine Zunahme der Niederschläge die Solifluktion zu intensivieren vermag, während bei trockenerem Klimaregime eine Verminderung solifluidaler Bewegungen eintritt.

Im Aufbau des Erdstroms widerspiegelt sich somit die Abfolge von verschiedenen Klimaphasen. Die älteste Solifluktionsdecke liegt nicht nur einer Moräne auf, sondern besteht selbst aus aufbereitetem, solifluidal verlagertem Moränenmaterial. Die Formbildung kann somit erst eingesetzt haben, nachdem die heute Erdströme tragenden Hänge von ihrer Eisbedeckung befreit worden waren. Zuerst floss offenbar von den höheren Hangpartien die aufgelagerte Moräne ab und gelangte im Bereich des Hangfusses auf noch intakter Moräne zur Akkumulation, die ältesten Fließerddecken bildend. Hierauf griff die Verwitterung im Abtragungsbereich ins Anstehende hinunter. Der Verwitterungsschutt gelangte durch solifluidale Verfrachtung hangabwärts und wurde dem älteren Fließerdekomplex aufgelagert. Dieser Vorgang wiederholte sich mehrmals, unterbrochen durch Ruhephasen, die lange genug währten, um Bodenbildung zu ermöglichen. Dass zu Beginn der Formbildung Moränenmaterial verfrachtet worden ist und in späteren Phasen Verwitterungsschutt aus dem Anstehenden die Fließerdemassen bildet, lässt sich eindeutig nachweisen: Im Profil des untersuchten Erdstroms treten Verrucano- und Buntsandsteinkomponenten – Material, das nur durch glazialen Transport ins Untersuchungsgebiet gelangt sein kann – in den tiefer liegenden Horizonten häufig und teilweise in ansehnlicher Grösse auf. In den oberen Horizonten hingegen sind sie nur noch sporadisch und in Form von sehr kleinen Partikeln zu finden. Der erwähnte Ablauf von Hangverwitterung und solifluidalem Abtransport des anfallenden Verwitterungsschuttes ist somit durch die Akkumulationsabfolge in der unteren Hangpartie belegt. Phasenweise haben die abtragenden Vorgänge im höherliegenden solifluidalen Denudationsbereich tiefer gegriffen, nach der glazigenen Hangüberdeckung allmählich ins anstehende Material. Fließ- und Ruhephasen folgen sich synchron zur spät- und postglazialen Landschaftsentwicklung, die ihrerseits durch den Einfluss des Klimas in entscheidendem Masse gesteuert wird.

Wenn nachfolgend eine zeitliche Einstufung der vorgefundenen fAh-Horizonte dargestellt wird, kann es sich dabei nur um einen ersten Versuch handeln. Wie aus dem vor-

angehenden Abschnitt hervorgeht, lässt sich eine chronologische Gliederung des Formbildungsprozesses der Erdströme auf pollenanalytischer Grundlage wegen vorderhand noch unzulänglichen Untersuchungsergebnissen nicht bewerkstelligen. Deshalb soll ein anderer Weg beschritten werden.

Erdströme bilden ein Element des subnivalen Formenschatzes. Entstehung und Veränderung von subnivalen Formen unterliegen denselben Klimaeinflüssen, die auch das Verhalten der Gletscher bestimmen. Eisflächen reagieren auf Klimaveränderungen durch Vorstoss oder Schwund. So dürfte die Genese von Erdströmen zu den postglazialen Gletscherschwankungen in enger Beziehung stehen.

Das Verhalten der alpinen Gletscher im Spät- und Postglazial ist im Gebiet um Innsbruck gut untersucht (vgl. HEUBERGER, 1968, und Literaturangaben daselbst, ferner MAYR, 1964, und BORTENSCHLAGER und PATZELT, 1969). In Graubünden sind allerdings noch eingehende Untersuchungen vorzunehmen. Es sei ausserdem auf die von ZOLLER (1966, 1968) erwähnten Kaltphasen hingewiesen. Bedeutung erlangt auch die Beobachtung von HANTKE (1970), dass wahrscheinlich in der älteren Dryaszeit der Vorderrheingletscher nach vorheriger Freigabe der Talsohle erneut bis Chur vorgestossen ist, wo er durch den Plessurgletscher aufgestaut wurde. Zu berücksichtigen ist aber für das Gebiet des Nationalparks vor allem die Feststellung von BOESCH (1937), dass dort im ausgehenden Hochglazial eine rasche Enteisung erfolgte und dann keine nennenswerten Vorstösse von Lokalgletschern mehr zu verzeichnen sind. Die Moräne, welche das Liegende des untersuchten Erdstroms bildet, wurde demnach im Spätglazial nicht mehr von Gletschereis überfahren. Die Formbildung des Erdstroms spielte sich somit im Zeitraum vom Spätglazial bis zur Gegenwart ab. In Figur 24 sind die aus der Literatur ersichtlichen Gletscherschwankungen, die in die erwähnte Zeitspanne fallen, sowie die von ZOLLER (1966, 1968) erarbeiteten Kältephasen graphisch zusammengestellt. Unsere Frage lautet nun dahin, wie sich die im Profilschnitt durch den Erdstrom festgestellten fAh-Horizonte und Solifluktionmassen in dieses chronologische System eingliedern lassen. Dabei wird von der Überlegung ausgegangen, dass zur Zeit von Gletschervorstössen auch intensive Solifluktion erfolgte, während zur Zeit von Gletscherschwund die Solifluktion zum Stillstand kam, so dass sich geschlossene Vegetationsdecken bilden konnten, welche durch fAh-Horizonte bezeugt sind.

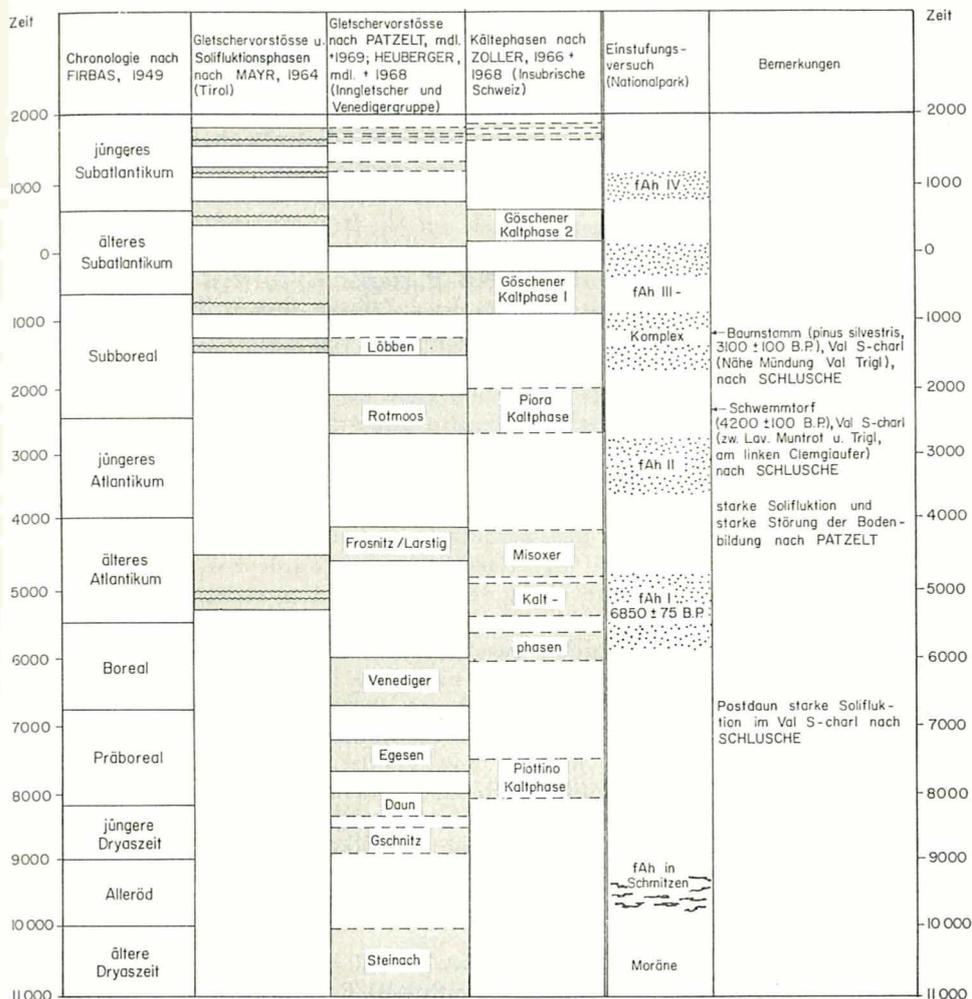
Der älteste humose «Schmitzen-Horizont» liegt der Würmmoräne auf. Er ist im Gegensatz zu den höherliegenden, welche sich durchverfolgen lassen, nur noch in einzelnen Schmitzen erhalten, die sich durch ihre braune Färbung vom übrigen Material abheben. Organischer Kohlenstoff konnte keiner nachgewiesen werden. Hingegen führen die Schmitzen vereinzelt Pollen. Wir neigen dazu, diesen Horizont ins Alleröd einzustufen, sind uns aber bewusst, dass der pollenanalytische Nachweis für die Einordnung in eine pollenanalytisch definierte Zeitepoche nicht erbracht ist. Hingegen können wir uns aber auf die mündliche Mitteilung von SCHLUSCHE stützen, dass im Unterengadin im Postdaun eine beachtliche Solifluktion nachzuweisen sei. Diese Solifluktionsphase dürfte unseres Erachtens für die Abtragung der Moräne an den oberen Partien des Munt Chavagl massgebend sein. Von dieser Annahme ausgehend, kann wohl kaum eine andere der früheren Zeitepochen als das Alleröd günstige klimatische Bedingungen für die Entstehung einer (geschlossenen) Vegetationsdecke geboten haben, an der auch höhere Pflanzenarten Anteil hatten.

Für den fAh-Horizont I liegt eine radiokarbonische Datierung (Dr. GEYH, Hannover) vor. Sein Alter wird mit 6850 ± 75 Jahren B. P. angegeben. Im Begleitkommentar wird dieses Ergebnis als zuverlässig beurteilt, doch wird darauf hingewiesen, dass die Akkumulation von organischen Stoffen um Jahrtausende früher eingesetzt haben kann. Setzen wir das ermittelte Alter ein, so fällt die Bildung des Bodenhorizontes zwischen

ische Gliederung des Form-
undlage wegen vorderhand
kstelligen. Deshalb soll ein
schatzes. Entstehung und
Klimaeinflüssen, die auch
n auf Klimaveränderungen
Erdströmen zu den post-
n.
stglazial ist im Gebiet um
Literaturangaben daselbst,
1969). In Graubünden sind
s sei ausserdem auf die von
edeutung erlangt auch die
der älteren Dryaszeit der
rneut bis Chur vorgestossen
u berücksichtigen ist aber
g von BOESCH (1937), dass
olgte und dann keine nen-
nen sind. Die Moräne, welche
nach im Spätglazial nicht
dstroms spielte sich somit
24 sind die aus der Litera-
Zeitspanne fallen, sowie die
zusammengestellt. Unsere
en Erdstrom festgestellten
ische System eingliedern
ur Zeit von Gletschervor-
von Gletscherschwund die
Vegetationsdecken bilden

rmmoräne auf. Er ist im
lassen, nur noch in einzel-
ng vom übrigen Material
a werden. Hingegen führen
horizont ins Alleröd einzu-
chweis für die Einordnung
ist. Hingegen können wir
en, dass im Unterengadin
Diese Solifluktionsphase
a oberen Partien des Munt
nn wohl kaum eine andere
che Bedingungen für die
aben, an der auch höhere

ng (Dr. GEYH, Hannover)
n Begleitkommentar wird
ngewiesen, dass die Akku-
eingesetzt haben kann.
Bodenhorizontes zwischen



Figur 24
Bei dieser Darstellung handelt es sich um einen Versuch, die fAh-Horizonte und die dazwischenliegenden Solifluktionshorizonte in die von verschiedenen Autoren nach verschiedenen Gesichtspunkten für die nähere und weitere Umgebung des Untersuchungsgebietes vorgenommene klimatische Gliederung von Spät- und Postglazial einzuordnen. Dabei ergeben sich verschiedene Ungereimtheiten, namentlich beim fAh-I-Horizont, der als einziger datiert worden ist und im Schema mit den Misoxer Kaltphasen zusammenfällt. Ob es sich bei den Misoxer Kaltphasen zum Teil um lokale Erscheinungen handelt oder ob unsere Zeitangabe einen zu geringen Aussagewert besitzt, kann nicht ermesssen werden. (Dr. M. A. GEYH teilte uns in einem Brief am 28. August 1970 mit, dass der Beginn der Akkumulation um Jahrtausende vom ermittelten Wert abweichen kann.) Zwei Zeitangaben, die relativ gut mit unserem Einstufungsversuch in Einklang stehen, wurden uns von SCHLUSCHE (briefliche Mitteilung) aus dem Val S-charl angegeben, ebenso der wichtige Hinweis auf starke Solifluktion im Postdaun. Die Literatur PATZELT (1969) ist unter BORTEN-SCHLAGER zu finden, dem wir auch den Hinweis auf die Rotmooschwankung verdanken.

zwei in den Ostalpen erkannte Vorstossphasen, nämlich die ältere Venediger und die jüngere Frosnitz/Larstig. Hingegen fällt leider die Bodenbildung mit den von ZOLLER (1966, 1968) für das Gebiet der insubrischen Alpen erwähnten Misoixer Kaltphasen zusammen (Fig. 24).

Eine dem fAh-Horizont II entnommene Probe soll radiokarbonisch untersucht werden, doch liegt bei Fertigstellung des Manuskripts noch kein Ergebnis vor. Wir können uns daher nur auf indirekte Hinweise stützen. So hat SCHLUSCHE im Unterengadin einen Schwemmtorf gefunden, dessen Alter nach der C_{14} -Methode auf 4170 Jahre B. P. bestimmt wurde (mdl. Mitteilung). Andererseits weisen neuere österreichische Arbeiten (HEUBERGER, PATZELT) zur Zeit nach 6520 B. P. starke Solifluktion nach. Wir dürfen somit annehmen, dass in der zweiten Hälfte des 6. Jahrtausends B. P. die Bildung der Solifluktionsmasse einsetzte, welche den fAh-Horizont I überfahren hat. Die Solifluktion dürfte gegen das 4. Jahrtausend B. P. wieder zum Stillstand geraten sein. Der fAh-Horizont II lässt sich demgemäss (auf Grund der Hinweise von PATZELT und SCHLUSCHE, s. Fig. 24) hypothetisch ins jüngere Atlantikum einstufen.

Der fAh IV bildete sich unseres Erachtens vor dem um 1650 einsetzenden subrezentem Gletschervorstoss. Dass diesem eine wärmere Klimaphase vorausging, ist durch eindeutige Funde belegt. Beispielsweise kamen zwei in situ vom Aletschgletscher überfahrene Wurzelstöcke 1935 unter dem zurückschmelzenden Eis wieder zum Vorschein (OESCHGER und RÖTHLISBERGER, 1961). Radiokarbonisch wurde deren Alter bestimmt. In einem Fall erfolgte die Eisüberdeckung um 1150 n. Chr., im andern um 1230 n. Chr.

Die jüngste Fließphase steht wohl, ohne dass besondere Vorbehalte gemacht werden müssen, im Zusammenhang mit den Gletscherhochständen zwischen 1600 und 1850. Auch ACKERMANN (1955) hält fest, dass nach bisherigen Befunden alle jüngeren Fließerddecken im alpinen Bereich zwischen 1550 und 1850 entstanden seien. Die erhöhte Intensität der Solifluktion ist während dieser Zeitspanne durch kalte, niederschlagsreiche Winter und kühle, nasse Sommer bedingt (FLOHN, 1952).

Unsicher bleibt die Zuordnung des fAh-Horizonts III oder besser des fAh-Komplexes III. Auffallend sind dabei die nur wenig mächtigen, alternierenden Lagen von humosem und mineralischem Material, welche diese Bildung charakterisieren. Vorderhand erscheint keine Korrelation mit andern Befunden möglich. Theoretisch bleibt nur die Zeitspanne zwischen Subboreal und älterem Subatlantikum offen, was uns veranlasst, den Horizont vorläufig dort einzugliedern.

Der dargelegte Einstufungsversuch verfolgt nicht in erster Linie den Zweck, das absolute Alter von Formbildungsphasen zu erfassen. Er will vielmehr grundsätzlich darauf hinweisen, dass Untersuchungen von der Art der hier vorgenommenen weitreichende Bedeutung erlangen könnten. Ein Erdstrom ist eine komplex aufgebaute Form, gegliedert in verschiedenaltige Fließerdeteildecken. Diese können durch fossile Bodenhorizonte voneinander getrennt sein. Im Formaufbau gibt sich die Mehrphasigkeit der Genese zu erkennen. Fließerdedecken entsprechen Solifluktionsphasen, Bodenhorizonte bedeuten als Ruhephasen mehr oder weniger lang währende Zäsuren im Formbildungsprozess. Die Wechselphasigkeit ist durch Klimaschwankungen bedingt. Die Formbildung hat nach der letzten Enteisung begonnen und ist im gegenwärtigen Zeitpunkt noch keineswegs abgeschlossen, wie die Bewegungsmessungen zeigen. Somit repräsentieren Erdströme einen bestimmten Abschnitt der Landschaftsentwicklung und bezeugen in ihrem Aufbau den Klimaablauf während dieser Periode. Sollte es gelingen, das Alter der fAh-Horizonte mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit zu bestimmen, so dürften diese als Zeitmarken eine wesentliche Bedeutung erlangen.

Die Gliederung des Postglazials stützt sich bisher im alpinen Bereich auf die glazialen Ablagerungen (Moränen, Schotter). Mit der detaillierten Kenntnis des Aufbaus von

Erdströmen eröffnet sich eine neue Perspektive. In diesen Formen hat die Landschaftsentwicklung im nicht oder nicht mehr vergletscherten Gebiet besondere Spuren hinterlassen. Noch ist wenig bekannt, welche Anteile die einzelnen Perioden an der spät- und postglazialen Solifluktion haben (MAYR, 1964, p. 280). Mit Hilfe der Erdströme dürfte möglicherweise dieses Problem der Lösung näher gebracht werden. Fossile Bodenhorizonte, einwandfrei miteinander korreliert, könnten über weitere Flächen und Distanzen hinweg willkommene Leit Horizonte abgeben. Nicht zuletzt vermöchte auch die eingehende Untersuchung von Erdströmen neue Erkenntnisse über den Klimaablauf im Postglazial zu liefern.

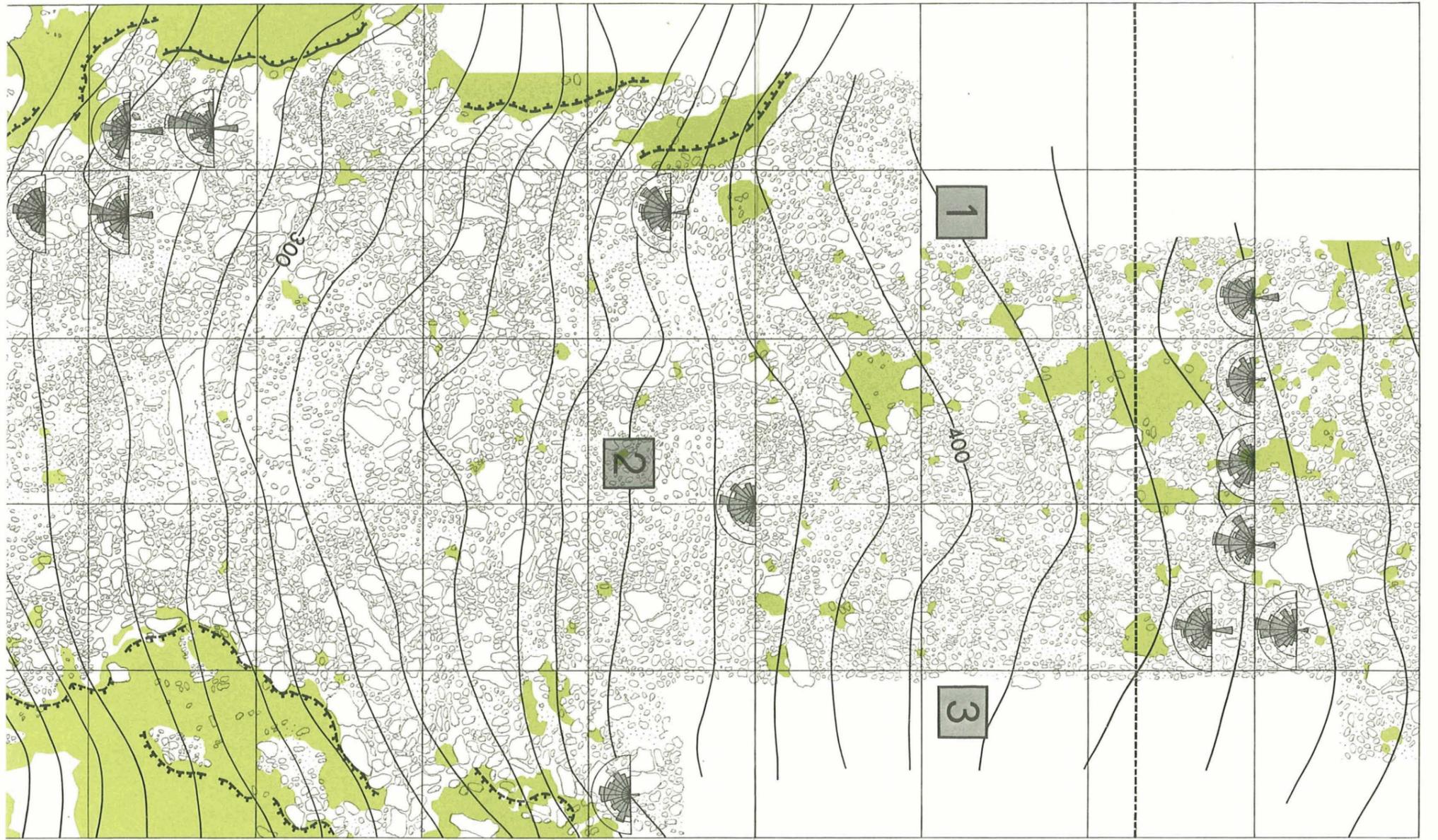
Damit soll zum Abschluss angedeutet werden, dass die in dieser Arbeit dargelegten, streng auf eine Form bezogenen Untersuchungsergebnisse einen Beitrag darstellen, der über das ursprünglich gesteckte Ziel hinauszureichen vermag. Im Hinblick auf eine der vornehmsten Aufgaben der Geomorphologie, nämlich das gegenwärtige Erscheinungsbild der Landschaft rückblickend aus der landschaftlichen Entwicklung zu deuten, könnten Erdströme als zentrale Untersuchungsobjekte eine nicht unwesentliche Geltung erlangen.

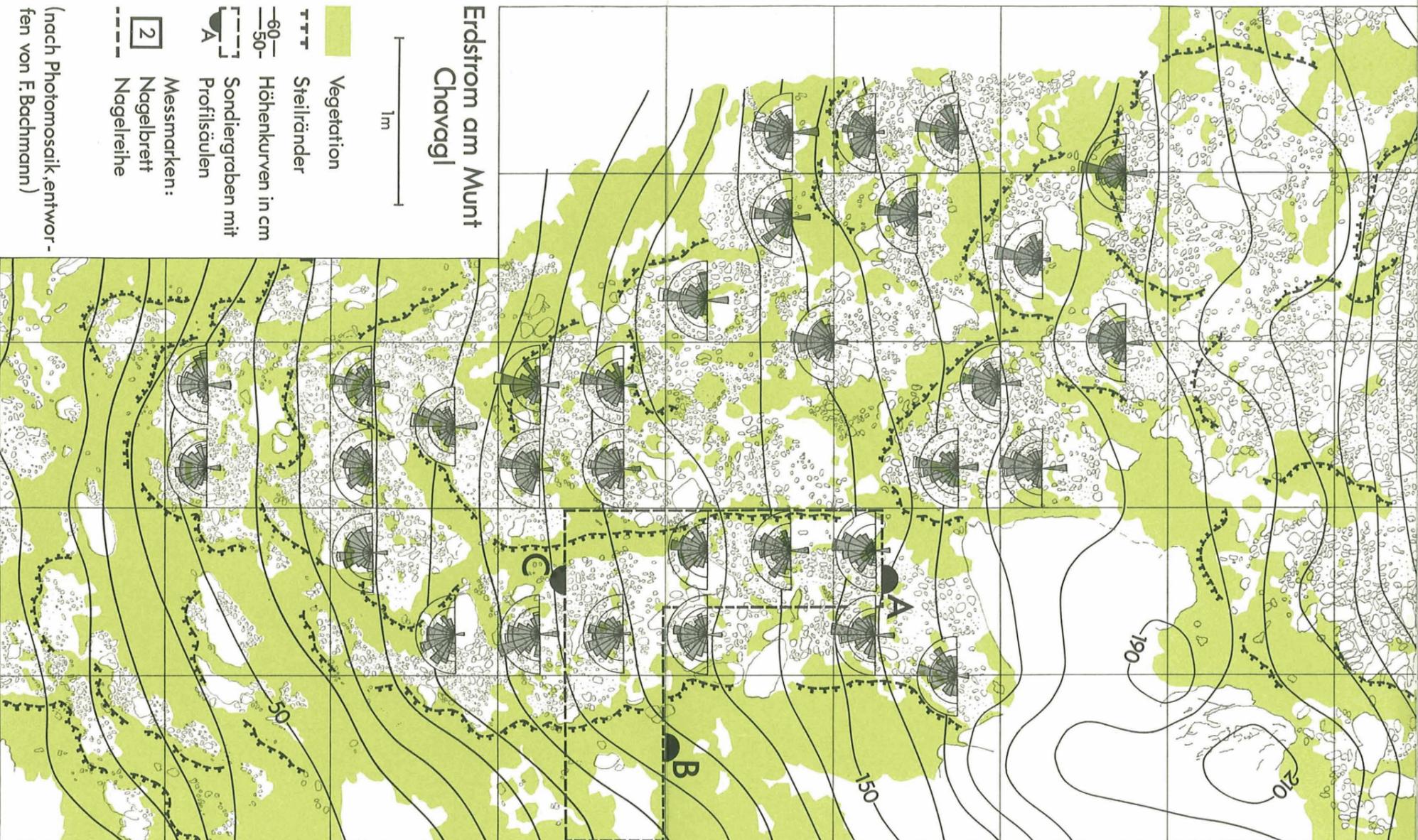
Literaturverzeichnis

- ACKERMANN, E.: Zur Unterscheidung glazialer und postglazialer Fließerden. *Geolog. Rundschau*, 2, 1955.
- ANDERSSON, J. G.: Solifluction, a component of subaerial denudation. *The Journ. of Geol.*, 14, 1906.
- BACHMANN, F.: Fossile Strukturböden und Eiskeile auf jungpleistocänen Schotterflächen im nordostschweizerischen Mittelland. Diss. Univ. Zürich, 1966.
- BERTSCH, K.: Lehrbuch der Pollenanalyse. Verlag Ferd. Enke, Stuttgart, 1942.
- BEUG, H. J.: Leitfaden der Pollenbestimmung. Gustav Fischer-Verlag, Stuttgart, 1961.
- BOESCH, H.: Geologie der Zentralen Unterengadiner Dolomiten. Diss. Univ. Zürich, 1937.
- In: *Durch den Schweiz. Nationalpark. Ein wissenschaftl. Führer.* Neuchâtel, 1966.
- BOESCH, M.: Beobachtungen an subnivale Bodenformen im Gebiet Weissfluhjoch/Davos (GR). Diplomarbeit, Manuskript Univ. Zürich, 1967.
- Girlandenböden zwischen Prättigau und Puschlav. Diss. Univ. Zürich, 1969.
- BORTENSCHLAGER, S. und PATZELT, G.: Wärmezeitliche Klima- und Gletscherschwankungen im Pollenprofil eines hochgelegenen Moores der Venedigergruppe. *Eiszeitalter und Gegenwart*, Bd. 20, 1969.
- BÜDEL, J.: Klimamorphologische Zonen der Polarländer. *Erdkunde*, Bd. II, Lfg. 1/3, 1948.
- Periodische und episodische Solifluktion im Rahmen der klimatischen Solifluktionstypen. *Erdkunde*, 13, 1959.
- Die Abtragungsvorgänge auf Spitzbergen im Umkreis der Barents-Insel auf Grund der Stauferland-Expedition 1959/60. *Dt. Geographentag Köln 1961, Tagungsberichte und wissenschaftl. Abh.*, 1962.
- CASAGRANDE, A.: Bodenuntersuchungen im Dienste des neuzeitlichen Strassenbaus. *Der Strassenbau*, 25, 1934.
- DEGE, W.: Über Ausmass und Art der Bewegung arktischer Fließerde. *Zschr. f. Geomorph.*, Bd. XI, 1943.
- DOMARADZKI, J.: Blockströme im Kanton Graubünden. *Erg. d. wissensch. Unters. des Schweiz. Nationalparks*, 1951.

- ELSASSER, H.: Untersuchungen an Strukturböden im Kanton Graubünden. Diss. Univ. Zürich, 1968.
- ERDTMANN, G.: Pollen Morphology and Plant Taxonomy. Almqvist & Wiksell, Stockholm, 3 Bde., 1952, 1957, 1965.
- An Introduction to Pollen Analysis. Almqvist & Wiksell, Stockholm, 1954.
- , PRAGLOWSKI, J., NILSSON, S.: An Introduction to a Scandinavian Pollen Flora. Almqvist & Wiksell, Stockholm, Bd. I und II, 1961, 1963.
- FIRBAS, F.: Waldgeschichte Mitteleuropas. Gustav Fischer-Verlag, Jena, 1949.
- FITZE, P.: Untersuchungen von Solifluktionserscheinungen im Alpenquerprofil zwischen Säntis und Lago di Como. Diss. Univ. Zürich, 1969.
- FLOHN, H.: Allgemeine atmosphärische Zirkulation und Paläoklimatologie. Geol. Rundschau, Bd. 40, Heft 1, 1952.
- FOEGRI, K. und IVERSEN, J.: Textbook of Pollenanalysis. Munksgaard, Kopenhagen, 1964.
- FREUND, R.: Solifluktionsformen am Parpaner Rothorn. Diplomarbeit, Manuskript Univ. Zürich, 1968.
- FURRER, G.: Solifluktionsformen im Schweizerischen Nationalpark. Diss. Univ. Zürich, 1954.
- Die Höhenlage von subnivalen Bodenformen. Habilitationsschrift Univ. Zürich, 1965a.
- Die subnivale Höhenstufe und ihre Untergrenze in den Bündner und Walliser Alpen. Geogr. Helv., Heft 4, 1965b.
- Beobachtungen an rezenten und fossilen (kaltzeitlichen) Strukturböden. Experientia, Nr. 22, 1966.
- Untersuchungen an Strukturböden in Ostspitzbergen, ihre Bedeutung für die Erforschung rezenter und fossiler Frostmusterformen in den Alpen bzw. im Alpenvorland. Polarforschung, Jg. 38, Nr. 1/2, 1968.
- Vergleichende Beobachtungen am subnivalen Formenschatz in Ostspitzbergen und in den Schweizer Alpen. Franz Steiner Verlag GmbH., Wiesbaden, 1969.
- FURRER, G. und BACHMANN, F.: Die Situmetrie (Einregelungsmessung) als morphologische Untersuchungsmethode. Geogr. Helv., Heft 1, 1968.
- GRAF, K.: Untersuchungen an Solifluktionsformen im Raum Ofenpass/Unterengadin. Diplomarbeit, Manuskript Univ. Zürich, 1970.
- HANTKE, R.: Allgemeines zur Erd- und Vegetationsgeschichte. Archäologie der Schweiz, Bd. 1, 1968.
- Zur Diffluenz des würmeiszeitlichen Rheingletschers bei Sargans und die spätglazialen Gletscherstände in der Walenseetalung und im Rheintal. Viert. d. Naturf. Ges. in Zürich, Heft 1, 1970.
- HEUBERGER, H.: Die Alpengletscher im Spät- und Postglazial. Eiszeitalter und Gegenwart, Bd. 19, 1968.
- HÖGBOM, B.: Einige Illustrationen zu den geologischen Wirkungen des Frostes auf Spitzbergen. Bull. of the Geol. Inst., Uppsala, IX, 1908–1909.
- Über die geologische Bedeutung des Frostes. Bull. of the Geol. Inst., Uppsala, 12, 1914.
- HÖLLERMANN, P.: Rezente Verwitterung, Abtragung und Formenbildung im oberen Suldental (Ortlergruppe/Südtirol). Zschr. f. Geomorph., NF Suppl. Bd. 4, 1964.
- Zur Verbreitung rezenter periglazialer Kleinformen in den Pyrenäen und Ostalpen. Göttinger Geogr. Abh., Heft 40, 1967.
- JÄCKLI, H.: Gegenwartsgeologie des bündnerischen Rheingebietes. Beitr. z. Geol. d. Schweiz, Geotechn. Serie, Nr. 36, 1957.
- JACKSON, M. L.: Soil Chemical Analysis. London, 1962.
- JAHN, A.: Polish I. G. Y. Spitsbergen expeditions in 1957, 1958, and 1959. Uniwersytet Wrocławski, Seria B, Nr. 5, Warszawa, 1961.
- KELLETAT, D.: Rezente Periglazialerscheinungen im Schottischen Hochland. Göttinger Geogr. Abh., Heft 51, 1970.
- KÖSTER, E.: Granulometrische und morphometrische Messmethoden. Ferd. Enke-Verlag, Stuttgart, 1964.
- LINDER, A.: Statistische Methoden für Naturwissenschaftler, Mediziner und Ingenieure. Birkhäuser, Basel und Stuttgart, 1960.

- aubünden. Diss. Univ. Zürich,
- Almqvist & Wiksell, Stockholm,
- Almqvist & Wiksell, Stockholm, 1954.
- Swiss Pollen Flora. Almqvist & Wiksell, Jena, 1949.
- Querschnittsprofil zwischen Säntis und Säntis. Geol. Rundschau, 1954.
- Geograph. Anst., Kopenhagen, 1964.
- Manuskript Univ. Zürich,
- Diss. Univ. Zürich, 1954.
- Manuskript Univ. Zürich, 1965a.
- Geogr. Anst., Kopenhagen, 1964.
- Experientia, Nr. 22,
- deutung für die Erforschung der Periglazialmorphologie. Geol. Rundschau, 1954.
- Archäologie der Schweiz, Bd. 1,
- messung) als morphologische Faktoren. Geol. Rundschau, 1954.
- pass/Unterengadin. Diplomarbeit, 1964.
- Archäologie der Schweiz, Bd. 1,
- s und die spätglazialen Gletscher. Geol. Rundschau, 1954.
- Naturf. Ges. in Zürich, Heft 1,
- Eiszeitalter und Gegenwart, 1964.
- des Frostes auf Spitzbergen. Geol. Rundschau, 1954.
- st., Uppsala, 12, 1914.
- bildung im oberen Suldenalpe. Geol. Rundschau, 1954.
- älteren und Ostalpen. Göttinger Geogr. Anst., 1964.
- Beitr. z. Geol. d. Schweiz, 1964.
- und 1959. Uniwersytet Wrocławski, 1959.
- Hochland. Göttinger Geogr. Anst., 1964.
- n. Ferd. Enke-Verlag, Stuttgart, 1964.
- ziner und Ingenieure. Birkhäuser, 1964.
- MAYR, F.: Untersuchungen über Ausmass und Folgen der Klima- und Gletscherschwankungen seit dem Beginn der postglazialen Wärmezeit. Zschr. f. Geomorph., NF Bd. 8, Heft 3, 1964.
- Muséum National d'Histoire naturelle: Pollen et Spores. Ed. du Muséum, Paris, 1960.
- OESCHGER, H. und RÖTHLISBERGER, H.: Datierung eines ehemaligen Standes des Aletschgletschers durch Radioaktivitätsmessung an Holzproben und Bemerkungen zu Holzfunden an weiteren Gletschern. Zschr. f. Gletscherkunde u. Glazialgeologie, Heft 4, Innsbruck, 1961.
- PISSART, A.: Vitesses des mouvements du sol au Chambeyron (Basses Alpes). Biuletyn Peryglacjalny, Nr. 14, Łódź, 1964.
- POSER, H.: Die Periglazialerscheinungen in der Umgebung der Gletscher des Zemmgrundes. Göttinger Geogr. Abh., Heft 15, 1954.
- POSER, H. und HÖVERMANN, J.: Untersuchungen zur pleistozänen Harz-Vergletscherung. Abh. d. Braunschweigischen wissensch. Ges., Bd. III, 1951.
- RAPP, A.: Recent development of mountain slopes in Kärkevagge and surroundings, Northern Scandinavia. Geografiska Annaler, V. XLII, Nr. 2-3, 1960.
- RAPP, A. und RUDBERG, S.: Recent periglacial phenomena in Sweden. Biuletyn Peryglacjalny, Nr. 8, Łódź, 1960.
- RUCKLI, R.: Der Frost im Baugrund. Wien, 1950.
- RUDBERG, S.: Some observations concerning mass movement on slopes in Sweden. Meddelanden fran Uppsala Universitets Geografiska Institution, Ser. A, No. 126, 1958.
- Morphological Processes and slope development in Axel Heiberg Island, Northwest Territories Canada. Nachr. d. Akad. d. Wiss. in Göttingen, Math.-Physik. Klasse, Nr. 14, 1963.
- Slow mass movement processes and slope development in the Norra Storfjäll area, southern Swedish Lappland. Zschr. f. Geomorph., Suppl. Bd. 5, 1964.
- SCHLAEFFER, D.: Der Bergbau am Ofenpass. Erg. d. wissensch. Unters. d. schweiz. Nationalparks, Bd. VII, 43, 1960.
- SCHMID, J.: Der Bodenfrost als morphologischer Faktor. Heidelberg, 1955.
- SCHWARZENBACH, G.: Komplexometrische Titration. Die chemische Analyse, Bd. 45, 1960.
- SCHWEIZER, G.: Der Formenschatz des Spät- und Postglazials in den Hohen Seealpen. Zschr. f. Geomorph., Suppl. Bd. 6, 1968.
- SEMMELE, A.: Verwitterungs- und Abtragungserscheinungen in rezenten Periglazialgebieten (Lappland und Spitzbergen). Würzburger Geogr. Arb., Heft 26, 1969.
- SIEDEK, P. und VOSS, R.: Die Bodenprüfverfahren bei Strassenbauten. Werner-Verlag, Düsseldorf, 1966.
- SMITH, J.: Cryoturbation data from South Georgia. Biuletyn Peryglacjalny, Nr. 8, Łódź, 1960.
- STINGL, H.: Ein periglazialmorphologisches Nord-Süd-Profil durch die Ostalpen. Göttinger Geogr. Abh., Heft 49, 1969.
- STRÜBY, T.: Untersuchungen zur Verwitterung auf Würmterrassen im Rafzerfeld. Diss. Univ. Zürich, 1969.
- TROLL, C.: Strukturböden, Solifluktion und Frostklima der Erde. Geol. Rundschau, Bd. 34, Heft 7/8, 1944.
- Die Formen der Solifluktion und die periglaziale Bodenabtragung. Sep. Erdkunde, Bd. I, Lief. 4/6, 1947.
- WASHBURN, A. L.: Instrumentation for mass-wasting and patterned-ground studies in Northeast Greenland. Biuletyn Peryglacjalny, Nr. 8, Łódź, 1960.
- WILLIAMS, P. J.: Preliminary Report of investigations into certain solifluktion and patterned ground features in Norway. Cambridge, 1956.
- Some investigations into solifluktion features in Norway. Geogr. Journ., Vol. CXXIII, 1957.
- ZOLLER, H.: Postglaziale Gletscherstände und Klimaschwankungen im Gotthardmassiv und Vorderrheingebiet. Verh. d. Naturf. Ges. in Basel, Bd. 77, Nr. 2, 1966.
- Die Vegetation vom ausgehenden Miozän bis ins Holozän. Archäologie der Schweiz, Bd. 1, 1968.
- ZUBER, E.: Pflanzensoziologische und ökologische Untersuchungen an Strukturrasen im Schweiz. Nationalpark. Diss. Univ. Zürich, 1968.





**Erdstrom am Munt
Chavagl**

1m

- Vegetation
- Steilränder
- Höhenkurven in cm
- Sondiergraben mit Profilsäulen
- Messmarken:
- Nagelbrett
- Nagelreihe

(nach Photomosaik, entworfen von F. Bachmann)