

MB
204



Geographisches
Institut
MB Universität Zürich 204

BEWEGUNGS- UND TEMPERATURMESSUNGEN AN ERDSTROEMEN AM MUNT

BUFFALORA (SCHWEIZERISCHER NATIONALPARK)

Diplomarbeit von Martin Gamper

Geographisches Institut der Universität Zürich

April 1976

Universität Zürich-Irchel
Geographisches Institut
Winterthurerstrasse 190
8057 Zürich
—BIBLIOTHEK—

104622

Vorwort

Diese Arbeit entstand unter der Leitung meines geschätzten Lehrers Prof. Dr. G. Furrer, dem ich an dieser Stelle für sein reges Interesse an meinen Untersuchungen danken möchte.

Zu Dank verpflichtet bin ich Dr. G. Kasper für die Betreuung meiner Studien, besonders für seine unersetzliche Hilfe bei den Vermessungen mit dem Theodoliten.

Im weiteren gebührt Dr. T. Strüby für seine wertvollen Hinweise und Anregungen bei der Konstruktion der Thermographenanlage Dank, sowie meiner Schwester für die Reinschrift meiner Arbeit.

Nicht unterlassen möchte ich meiner Verlobten, Frl. B. Schollenberger, herzlich zu danken, dass sie mich bei den Feldarbeiten begleitete und unterstützte.

Ein besonderer Dank gebührt meinen Eltern dafür, dass sie mein Studium und damit die vorliegende Arbeit ermöglichten.

1. Einleitung

In meiner Diplomarbeit versuche ich einerseits möglichst genaue Bewegungsbeträge von Erdströmen zu ermitteln und andererseits durch Bodentemperaturmessungen eine Erklärung für diese Solifluktionsbewegungen zu finden.

Mehrere Autoren gaben bereits Ansatzpunkte zur Erklärung von Solifluktionsvorgängen in den Alpen. Die dabei zu Grunde liegenden Temperatur- und Bewegungsmessungen wurden aber mit Ausnahme der Messungen von FURRER (1971) nie auf Erdströmen, sondern auf anderen Solifluktionsformen der subnivalen Höhenstufe durchgeführt. Das frostunabhängige Durchtränkungsfließen des Bodens nach der Schneeschmelze im Frühjahr scheint einen grossen Teil der Bewegungen zu verursachen (vgl. FURRER 1971 und 1954; JAECKLI 1957; SCHMID 1955). ELSASSER (1968) weist auch auf die Bedeutung der sommerlichen Niederschläge als Wasserlieferant für derartige Bewegungen hin. FURRER (1971) beobachtete erhebliche Fliessbeträge im September und Oktober, welche die Bedeutung der Sommerniederschläge zeigten. Auch weist FURRER auf die Wirkung des Bodenfrostes hin. Besonders aktiv sei der tageszeitliche Frost in den Regelationsperioden Frühjahr und Herbst.

Die Feldarbeiten an Erdströmen im Schweizerischen Nationalpark führte ich im Verlauf des Sommers 1975 durch. Für Temperaturmessungen und Beobachtungen zur Schneebedeckung des Untersuchungsgebiets begab ich mich auch während des Winters 1975/76 viermal in den Nationalpark.

2. Problemstellung

Bewegungs- und Temperaturmessungen verlangen Messreihen von mindestens drei bis fünf Jahren Länge, damit die Ergebnisse und die daraus gezogenen Schlüsse nicht zu stark von zufälligen, abnormalen Werten verfälscht werden. In meiner Diplomarbeit befasste ich mich deshalb vorallem mit dem Ausarbeiten von geeigneten Messmethoden. Es ergab sich also die folgende Problemstellung:

- Ausarbeitung einer Methode zur Messung von Bewegungen auf und in Erdströmen
- Konstruktion eines Geräts zur Messung von Boden- und Lufttemperaturen
- Anlegen eines ersten Messfeldes auf Erdströmen im Schweizerischen Nationalpark
- Darstellung und Diskussion erster Messwerte unter besonderer Berücksichtigung der herbstlichen Regelationsperiode
- Vergleich der ersten Ergebnisse mit bereits vorhandenen Daten

3. Lage und morphologische Beschreibung des Untersuchungsgebiets

3.1. Lage des Untersuchungsgebiets

Meine Untersuchungen führte ich an Erdströmen im Schweizerischen Nationalpark durch. Sie befinden sich am Munt Chavagl und Munt Buffalora an der südlichen Parkgrenze (Koordinaten 814 000 / 169 000).

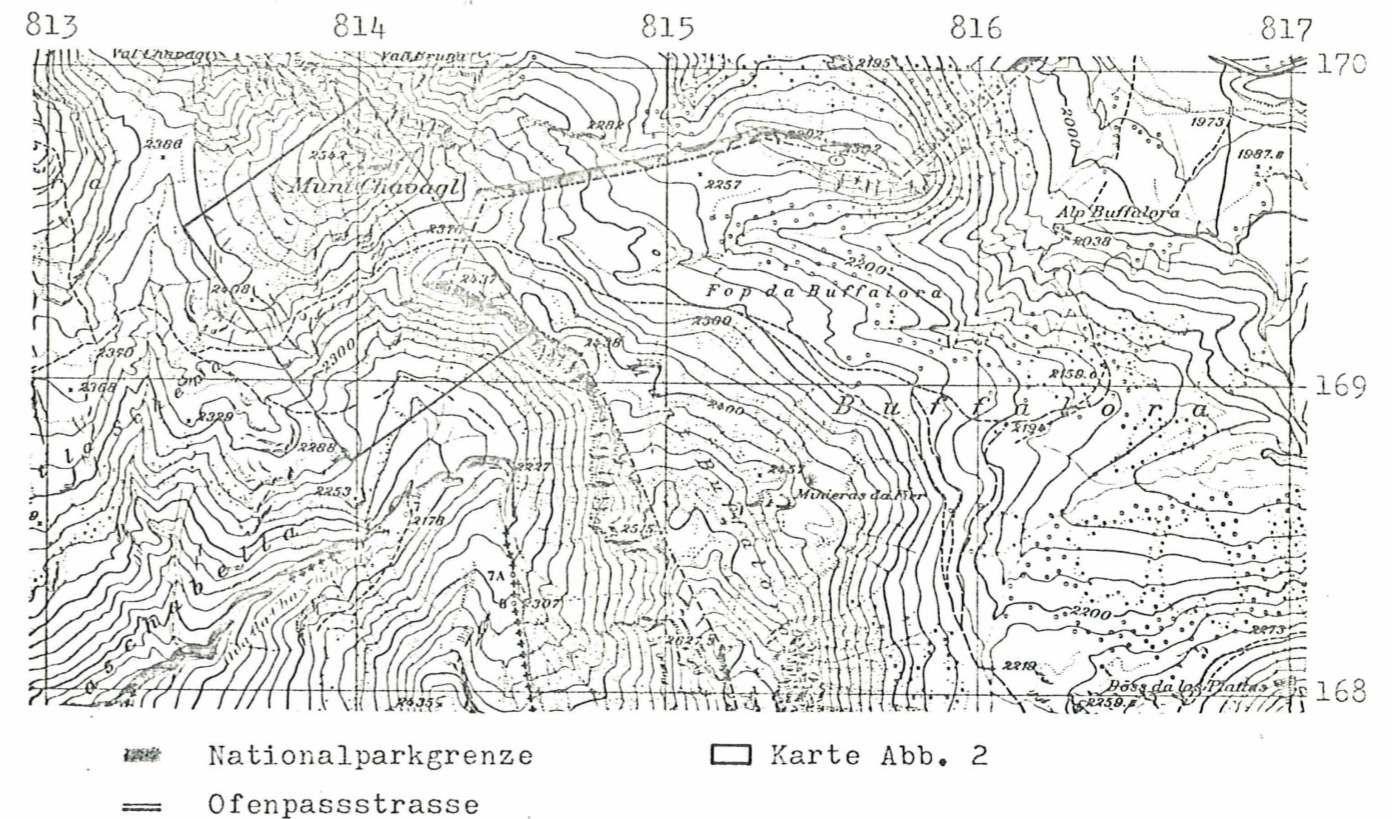


Abb. 1: Ausschnitt aus der Landeskarte 1:25'000 (Blatt 1239)

Die hier auftretenden Erdströme gehören zu einer Art, die hauptsächlich auf Höhen von ca 2500 m/M vorkommt (FURRER 1971, p. 204). In Westexposition reicht das Hauptverbreitungsgebiet von unter 2300 m/M bis über 2600 m/M. Die von mir untersuchten Formen liegen auf einer Höhe von 2380 m/M und sind nach Westen gerichtet.

Die Erdströme am Munt Chavagl wurden von FURRER, BACHMANN und FITZE 1971 ausführlich morphographisch bearbeitet. Aus dieser Arbeit habe ich die Formbeschreibung und die Resultate einiger morphologischer Analysen übernommen.

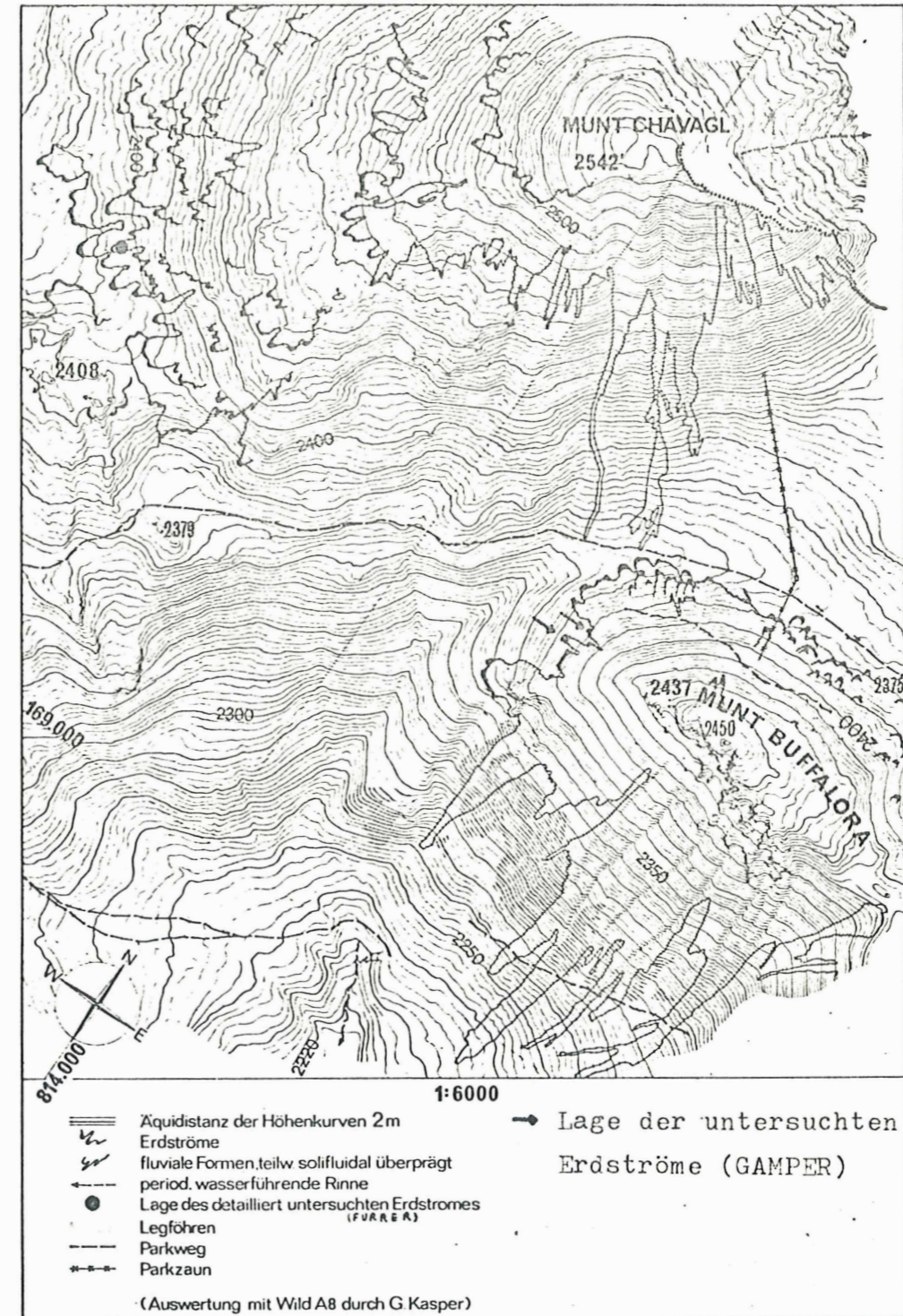


Abb. 2: Karte 1:6'000 (aus FURRER 1971, p. 196).

Wie auf Abb. 2 klar zu sehen ist, breiten sich von den flachen Kuppen des Munt Buffalora und des Munt Chavagl grosse Solifluk-tionsdecken aus. Sie gliedern sich hangabwärts in zungenförmige Erdströme auf. Besonders am Chavagl sind mehrere Generationen von Fliesserdedecken ausgebildet, wobei die älteren von den jüngeren teilweise überfahren worden sind. Dabei überflossen diese die auf den älteren Erdströmen in Warmzeiten ausgebildeten Böden. Da die fossilen Böden FURRER besonders interessieren, wählte er für seine Untersuchungen einen Erdstrom am Fuss des Munt Chavagl (s. Abb. 2). Diese zum Teil sehr alten und heute auch stark von Vegetation überwachsenen Erdströme eignen sich aber nicht besonders gut für die Messung von rezenten Bewegungen. Ausserdem ist am Chavagl kein direkter Zusammenhang von Erdstrom (Akkumulationsgebiet) und Einzugsgebiet vorhanden.

Ich wählte deshalb zwei Erdströme an der Westflanke des Munt Buffalora, welche auf Grund ihrer geringen Bewachsung höchst wahrscheinlich noch aktiv sind (s. Abb. 2). Auch fand ich hier auf ca. 100 m horizontaler Distanz die Abfolge: Anstehendes Gestein, Schutthalde, Solifluk-tionsdecke und Erdstrom - also den direkten Zusammenhang zwischen Einzugsgebiet und Akkumulationsgebiet. Weil Grabungen an einem dieser beiden Erdströme fossile Böden zum Vorschein gebracht haben (FURRER, LEUZINGER und AMMANN; 1975), müssen auch hier mehrere Ströme übereinanderliegen. Die jüngste Generation scheint am weitesten hangabwärts gefahren zu sein und dabei die alten Erdströme vollständig zugedeckt zu haben.

3.2. Zur Morphologie der Erdströme

Ich stütze mich bei dieser Beschreibung neben eigenen Beobachtungen auf die folgende Literatur: FURRER 1954 (p. 256-263); FURRER, BACHMANN, FITZE 1970 und FURRER, LEUZINGER, AMMANN 1975.

Der Name "Erdstrom" wurde von FURRER (1954) geprägt und bezieht sich auf zungenförmige Ausläufer von Fliesserdedecken. Sie sind einige Meter breit und können bis mehrere Dekameter lang sein. Seitlich wird ein Erdstrom von parallel laufenden Steilrändern begrenzt. Die bis zu 60 cm hohe Stirn ist meist abgestuft. Die Steilränder verlieren nach oben ihre Prägnanz und Höhe. In der Wurzelregion geht der Erdstrom in eine ungegliederte Fliesserdedecke über, die bei den von mir untersuchten Formen nach wenigen Metern in eine Schutthalde übergeht. Dies zeigt sich daran, dass praktisch keine Feinerde mehr vorhanden ist. Eine geschlossene Vegetationsdecke findet sich nur an den seitlichen Steilrändern (seltener an der Stirn). Der Rücken des Erdstroms ist bis auf einzelne Polster von *Dryas octopetala* L. und *Carex firma* (nach ZUBER, 1968) vegetationsfrei.



Abb. 3: Erdstrom am Munt Buffalora (Schw. Nationalpark)

Die Oberfläche des Erdstroms wird von Feinschutt und Steinchen von wenigen Millimetern bis zu Blöcken mit ca. 10-20 cm Durchmesser gebildet. Das Skelettmaterial ist stellenweise dichter gepackt. Grössere Blöcke und Pflanzenpolster stauen das feinere Skelettmaterial auf. Auf älteren Erdströmen finden sich oft sekundäre Formen, z. B. Girlanden; also Formen der gebundenen Solifluktion.

Zum innern Aufbau der Erdströme: Wichtig für meine Untersuchung sind vorallem die Korngrössenanalysen (FURRER 1971, p. 205 ff.), die folgendes ergaben: Bei der Feinerde entfällt der Hauptanteil auf die Siltfraktion (5-50 μ), die feinste Fraktion (Ton) enthält nur CaCO₃ und MgCO₃, also keine Tonminerale. Demnach kann die Tonfraktion nur durch physikalische Verwitterung entstanden sein. Die Ergebnisse sämtlicher von FURRER durchgeführten Korngrössenanalysen lassen darauf schliessen, dass die den Erdstrom aufbauenden Materialien frostempfindlich sind (FURRER 1971, p. 213), sofern hinreichender Wassernachschub gewährleistet ist. Ausführliche situmetrische Messungen (FURRER 1971, p. 217 - 236) ergaben u.a., dass die für Solifluktionsmassen typische Einregelung des Schutts bei Hangneigungen von 3 - 30° auftritt.

Bestimmungen der Fließgrenze (FURRER 1971, p. 248 ff.) ergaben sehr niedrige Werte (zwischen 12 und 32% Wassergehalt), was auf den hohen Siltanteil zurückzuführen ist. Die Resultate deuten darauf hin, dass Bewegungen bereits vor dem Erreichen der Fließgrenze stattfinden können.

3.3. Das Messfeld am Munt Buffalora



Abb. 4: Munt Buffalora

I und II: Untersuchte Erdströme

Auf Abb. 4 sind die auf den Erdströmen sitzenden Vegetationspolster gut sichtbar, die geschlossene Vegetation greift von den Steilrändern her etwas auf die Erdstromrücken über. Beide Erdströme weisen allerdings auf ihren Rücken keine sekundär entstandenen Girlanden auf. Zwischen Erdstrom I und Erdstrom II liegt eine kleine Erdstromzunge, die nur schwach ausgebildet ist und fast vollständig bewachsen ist.

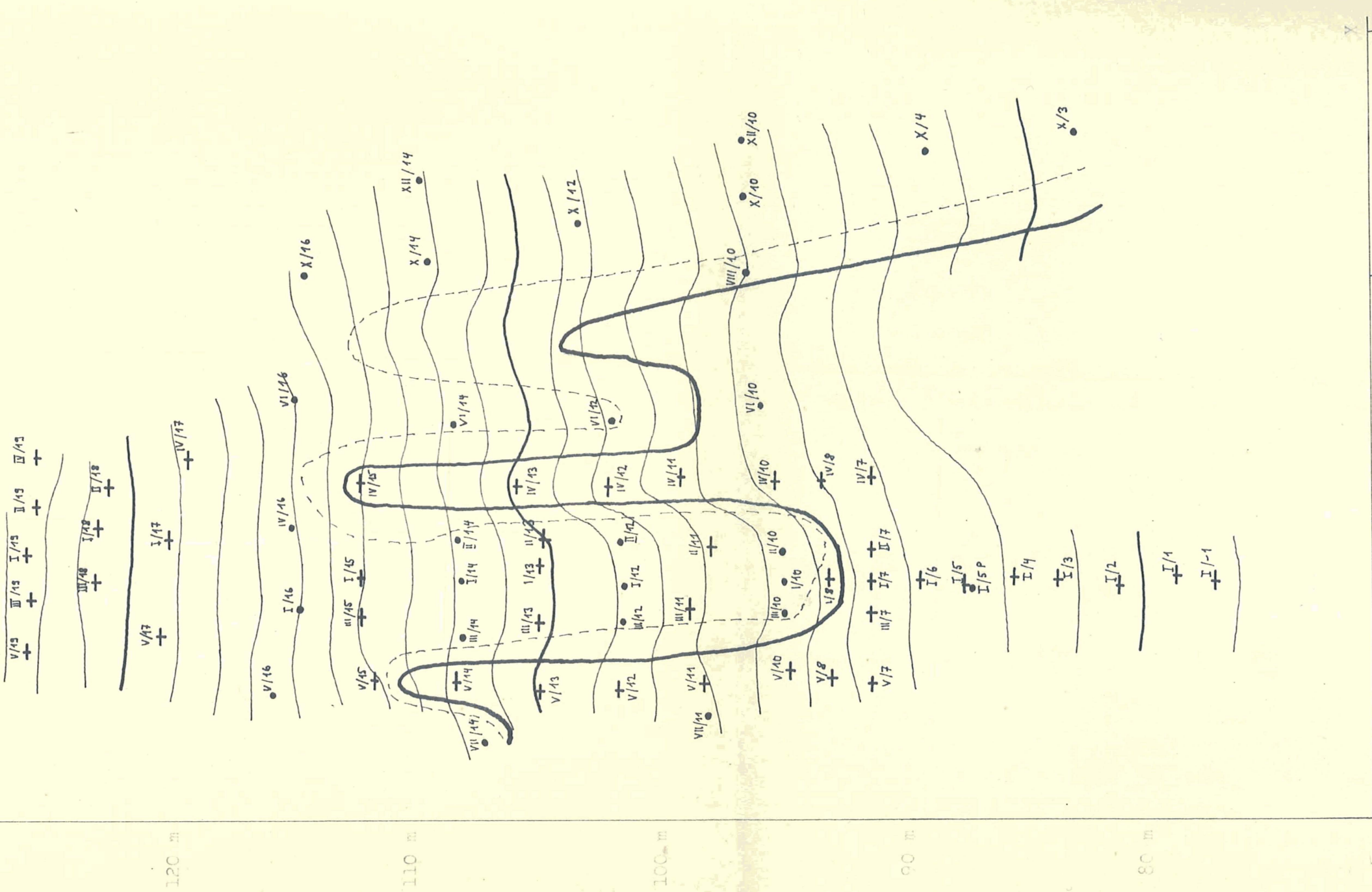
Unterhalb und zwischen den Erdströmen bildet die Vegetation eine geschlossene Decke. Girlanden bedecken diesen Abschnitt des Hanges. Erdstrom II wurde an der Stirne und seitwärts zur Entnahme von Bodenproben angegraben (FURRER 1975). Die auf Abb. 4 sichtbaren Schuttausbrüche sind auf Ausspülung der wieder zugeschütteten Gräben zurückzuführen.



Abb. 5: Uebergang Fliesserde-
decke - Schutthalde (Hang ober-
halb von Erdstrom II), deutlich
sichtbar ist die Auflösung der
Vegetation in einzelne Polster.



Abb. 6: Schutthalde über Erd-
strom II; Gliederung des Gegen-
hanges durch Girlanden.



Y

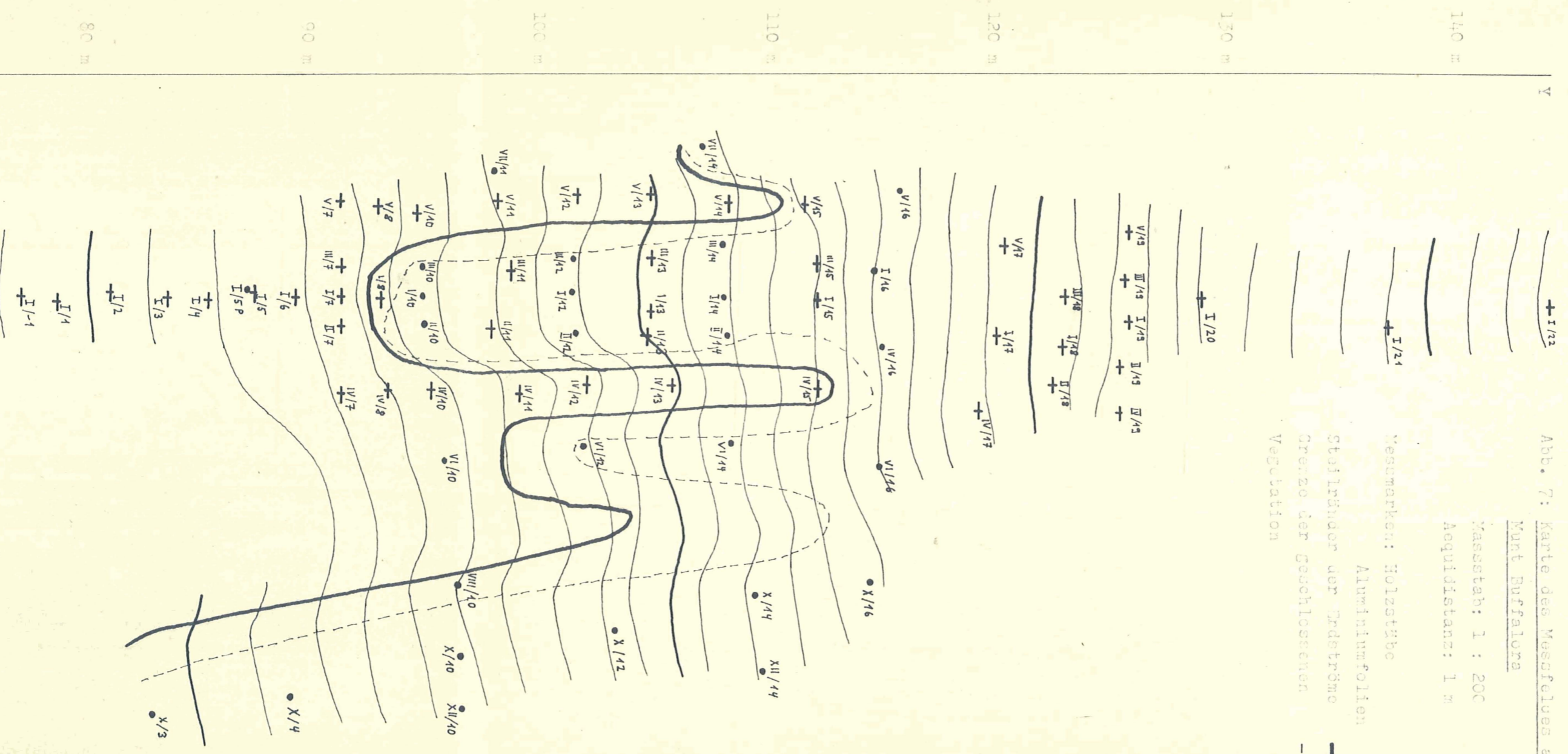
Abb. 7: Karte des Messfeldes am

Munt Bullfalora

Maßstab: 1 : 200

Aquidistanz: 1 m

- Messmarken: Holzstäbe
- + Aluminiumfolien
- Stäbchen der Erdströme
- - - Grenze der Geschlossenen Vegetation



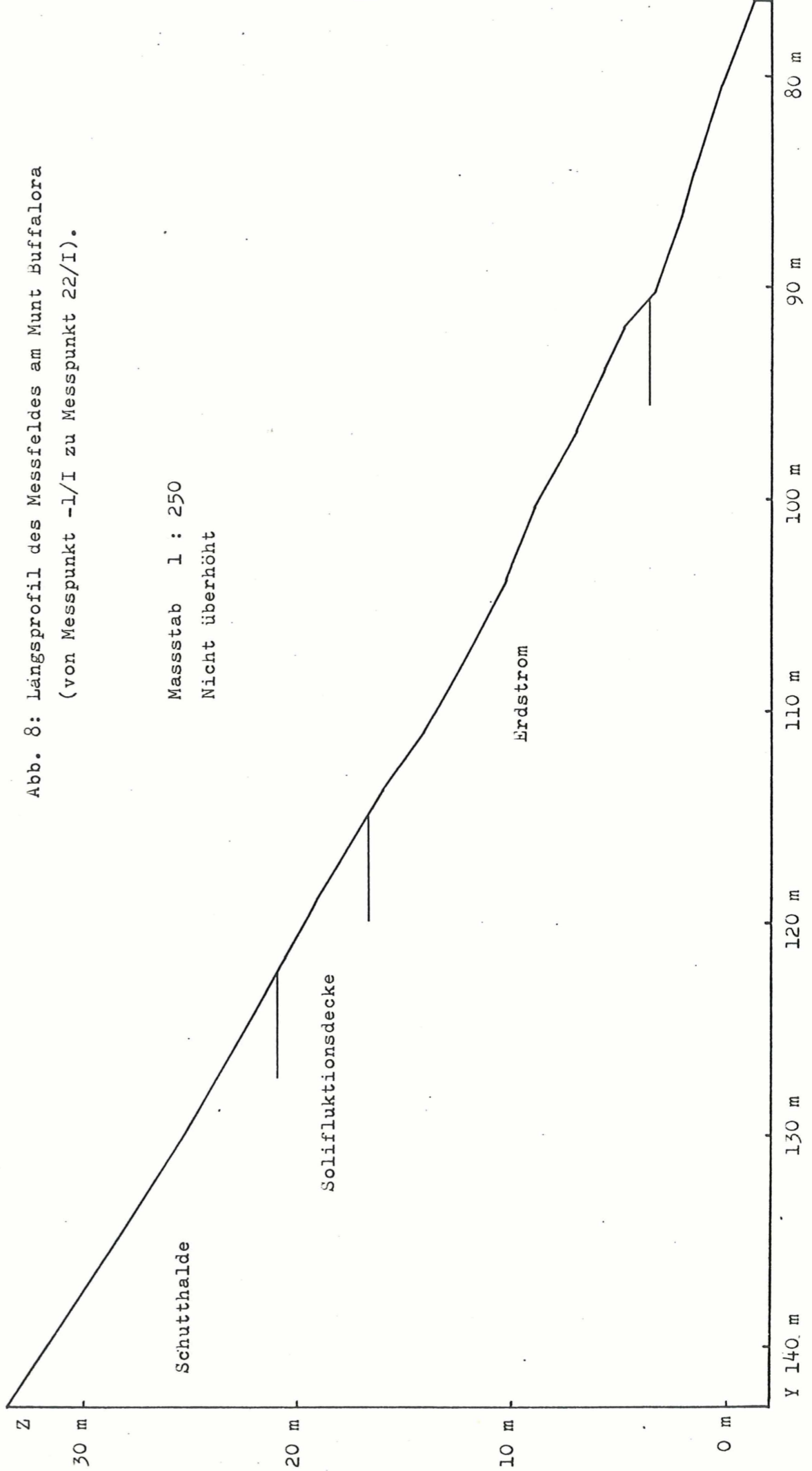


Abb. 8: Längsprofil des Messfeldes am Munt Bufalora
 (von Messpunkt -1/I zu Messpunkt 22/I).

Masstab 1 : 250
 Nicht überhöht

Soliflukationsdecke

Erdstrom

Schutthalde

Mit Hilfe der Höhenkoten der einzelnen Bewegungsmessmarken konstruierte ich eine Höhenkurvendarstellung (Abb. 7) und ein Längsprofil (Abb. 8) des Messfeldes. Das Profil verläuft etwa in der Falllinie des Hanges.

Es fällt auf, dass die Hangneigung der Schutthalde nicht wesentlich grösser ist als im Gebiet der geschlossenen Fliesserdedecke. Lokal treten auf der Fliesserdedecke sogar steilere Abschnitte mit $30 - 42^{\circ}$ Hangneigung auf. Die eigentlichen Erdströme sind jedoch durchwegs flacher. Auf der Zunge des Erdstroms II beträgt die Hangneigung beim Messpunkt X/4 (Abb. 7) nur noch 7° .

Das anstehende Gestein ist das gleiche wie am Munt Chavagl. Es handelt sich vorwiegend um Zellendolomit (unteres Carn bis oberes Ladin) und Rauhwacke. Zellendolomit steht am Beginn der Rauhwackenbildung aus Dolomit. Er enthält in Fugen ca. 20% Calcit, der leichter verwittert als Dolomit: Das Gefüge des Zellendolomits kann durch die Verwitterung leichter zerstört werden. Bei den von FURRER (1971) untersuchten Erdströmen am Chavagl bestand die Unterlage aus einer würmzeitlichen Moräne. Ob dies auch für die Erdströme am Munt Buffalora zutrifft, ist nicht bekannt.

Sondierungen mit einem 1 m langen Schlagbohrer ergaben, dass der Feinerdeanteil von der Erdstromzunge gegen die Schutthalde hin auch in der Tiefe abnimmt. Im Bereich der geschlossenen Fliesserdedecke scheint die feinkörnige Schuttschicht zudem höchstens noch 70 - 90 cm mächtig zu sein, da ich den Bohrer nicht tiefer in den Boden treiben konnte. Der Feinerdeanteil in der Schutthalde ist so gering, dass der Bohrer bis auf einige Steinchen leer blieb. Ausserdem stiess ich jeweils nach wenigen Dezimetern auf den festen Untergrund.

4. Methoden zur Bewegungsmessung

4.1. Zusammenstellung einiger bisher verwendeten Methoden

4.1.1. Matrixmethode (Stahlstifte)

(ZUBER 1968; FURRER 1971 und 1972, p. 89; FITZE 1971)

Durch eine Plexiglasplatte, in der die Positionen der Messmarken vorgebohrt sind, werden 16 stumpfe Stahlstifte (ϕ 3 mm) von 5 und 10 cm Länge im Abstand von 8 cm in Form einer Quadratischen Matrix in den Boden geschlagen. Die Stifte dringen in ihrer ganzen Länge, senkrecht zur Bodenoberfläche, ein. Als Nullpunkt für Bewegungsmessungen dienen Plastikschnüre, die unverrückbar fixiert werden. Da die Stifte oft durch Frosthub ausfrieren, müssen sie vor jeder Messung in den Boden gedrückt werden. Aus den Differenzen zwischen den Bewegungen der langen und kurzen Stifte kann man auf den Tiefgang der Bewegung schliessen.

4.1.2. Markierte Steine und Holzplättchen

(ELSASSER 1968; FURRER 1971 und 1972, p. 90/91)

Holzplättchen und bemalte Steine werden auf der Oberfläche des Messobjekts ausgelegt. Ihre Bewegungen werden wiederum relativ zu einer möglichst gut verankerten Nulllinie gemessen. Man erhält die Resultate entweder direkt im Feld oder auf periodisch gemachten Photographien. Holzplättchen und Steine sollen etwa gleiche Ergebnisse geliefert haben.

4.1.3. Im Boden versenkte Holzstäbchen

(RUBBERG 1958; ELSASSER 1968; JAHN 1974)

Etwa 5 cm lange Holzstäbe werden in einem lotrecht gebohrten Loch versenkt, so dass sie zum Zeitpunkt der Versenkung eine senkrechte Säule bilden. ELSASSER verwendete eine Abart dieser Methode, indem er seine Stifte mit wasserlöslichem Leim zu einem Stab verband und diesen senkrecht zur Erdoberfläche einschlug. Beim Ausgraben der Stäbe nach einem oder mehreren Jahren mass er deren Bewegung gegenüber der rekonstruierten Ausgangslage. Diese Methode gibt exakte Resultate über die Bewegung in verschiedenen Tiefen.

4.1.4. Einmessung von Messmarken mit einem Theodoliten

(WASHBURN 1960, p. 59 ff)

WASHBURN verwendete farbige Holzkegel von 10 cm Höhe und 10 cm Basisdurchmesser. Diese Messmarken sind mit 10 oder 20 cm langen Holzstäben im Boden verankert. Mit einem Theodoliten können die Spitzen der Kegel eingemessen und so periodisch absolute Bewegungsbeträge der oberen Bodenschichten ermittelt werden.

4.1.5. Mass - Wastingmeter

(WASHBURN 1960, p. 62)

Diese Methode erlaubt ein ständiges Ablesen von Bewegungen in tieferen Bodenschichten. Zu diesem Zweck wird eine 1,8 m lange Aluminiumröhre, die an drei Stellen durchbohrt ist, lotrecht im Boden vergraben. Durch diese Oeffnungen führen Drähte, an denen rechteckige Holzklötzchen befestigt sind. Diese Klötzchen werden auf Höhe der Bohrungen ebenfalls im Boden vergraben; die Drähte laufen in der Aluröhre nach oben zu einem Registriergerät. Da die Aluröhre fest im unbewegten Untergrund verankert ist, wird sie durch die Solifluktion nur leicht bewegt. Das Fließerdematerial reisst die Holzklötzchen mehr oder weniger ungehemmt mit. Diese Bewegung relativ zur Aluröhre kann man

jederzeit am Registriergerät ablesen. Die leichte Abwärtsbewegung der Aluröhre kann mit einem Theodoliten bestimmt werden.

4.1.6. Elektrische Bewegungsmessungen

(WILLIAMS 1957)

Elektrische Dehnungsmesssonden, welche an einem 1 m langen Streifen Stahlblech befestigt sind, messen die Verbiegung des Bleches. Die Messsonde wird lotrecht im Boden vergraben. Aus der Verbiegung des Blechstreifens lassen sich relative Bewegungen zwischen höheren und tieferen Bodenschichten bestimmen. Ein Schreiber ermöglicht ein kontinuierliches Ablesen der Bodenbewegungen.

Die beiden zuletzt beschriebenen Messmethoden erlauben ein kontinuierliches Messen von Bewegungen in der Tiefe, sie verlangen jedoch einen grossen apparativen Aufwand. Ausserdem stört das Vergraben der Messsonden die natürlichen Bodenverhältnisse empfindlich, was zwar in der Arktis bei Bewegungsbeträgen von mehreren Dezimetern pro Jahr nicht stark ins Gewicht fällt, wohl aber bei den zu untersuchenden Erdströmen, wo mit kleinen Bewegungsbeträgen von wenigen cm/Jahr gerechnet werden muss. Falls ich wider Erwarten doch grössere Bewegungsbeträge feststellen kann, würde sich der Einsatz einer solchen oder ähnlichen Anlage sicher lohnen.

Demgegenüber liefern die Messmethoden mit Stahlstiften bzw. markierten Steinen nur Bewegungswerte an der Bodenoberfläche. Auch sind nur Messungen relativ zu einer kaum sicher fixierbaren Nulllinie möglich. Die versenkten Holzstäbchen liefern zwar erst nach Ablauf der ganzen Messperiode Resultate - positiv an dieser Methode ist aber, dass sie exakte Werte auch über kleine Bewegungen im Boden ergibt (s. vorallem JAHN 1974). Für meine Messungen kombinierte ich deshalb diese Methode mit der Theodolitmessung. Dadurch erhalte ich ständig absolute Bewe-

gungsbeträge der obersten Bodenschicht und kann gleichzeitig nach Abschluss der Messungen an der Oberfläche die entsprechenden Werte aus den tieferen Bodenschichten ermitteln. Diese Kombination hat zudem den Vorteil, dass sie billig ist und grössere Messfelder rasch und zweckmässig eingerichtet werden können.

4.2. Beschreibung der eigenen Methoden

Bei meiner Arbeit wollte ich absolute Bewegungsbeträge bestimmen. Dies ist nur durch Vermessung mit einem Theodoliten möglich. Damit fallen Stahlstifte, Holzplättchen und markierte Steine als Messmarken weg, da diese meistens zu klein wären für eine direkte Theodolitvermessung. Neben der Kontrolle der oberflächennahen Bewegungen auf den Erdströmen, wollte ich auf Informationen über den Tiefgang der Bewegungen nicht verzichten. Ich verwendete deshalb die beiden im Folgenden beschriebenen Messmarken.

4.2.1. Holzstäbe

Mit einem Schlagbohrer habe ich lotrechte Löcher von ca. 3 cm ϕ und 90 cm Tiefe gebohrt. Darin habe ich zuerst zehn 8 cm lange Holzstäbe (ϕ 2 cm) versenkt. Diese sind mit verschiedenen Farben gekennzeichnet (s. Abb. 9), damit ich sie beim Ausgraben wieder eindeutig identifizieren kann. Ich markierte jeweils nur das obere Ende der Stäbe, damit beim Ausgraben auch eventuell vorkommende Drehungen erkannt werden können. Den Abschluss der Hölzchensäule bildet ein 20 cm langer, weiss bemalter Stab. An seinem oberen Ende trägt er einen 1 cm breiten Ring roter Leuchtfarbe. Diesen Stab habe ich so auf die Hölzchensäule gestellt, dass er noch 10 cm tief in den Boden reicht. Die Linie rot/weiss dient als Ziel für den Theodoliten. Diese Anordnung (s. Abb. 9) erlaubt es nun, die oberflächennahen Bewegungen durch Vorwärtseinschneiden (vgl. Kap. 4.2.3.) zu kontrollieren. Die Holzstäbe liefern zusätzlich zu den hangabwärts gerichteten Solifluktionsbewegungen auch Werte über Frosthebung. Da die Messmarken 10 cm tief im Boden verankert sind, besteht die Möglichkeit, dass sie von der obersten am stärksten bewegten Bodenschicht umflossen werden können, und daher die gemessenen Bewegungsbeträge nicht exakt sind. Aus diesem Grund habe ich noch eine zweite Art von Messmarken benutzt.

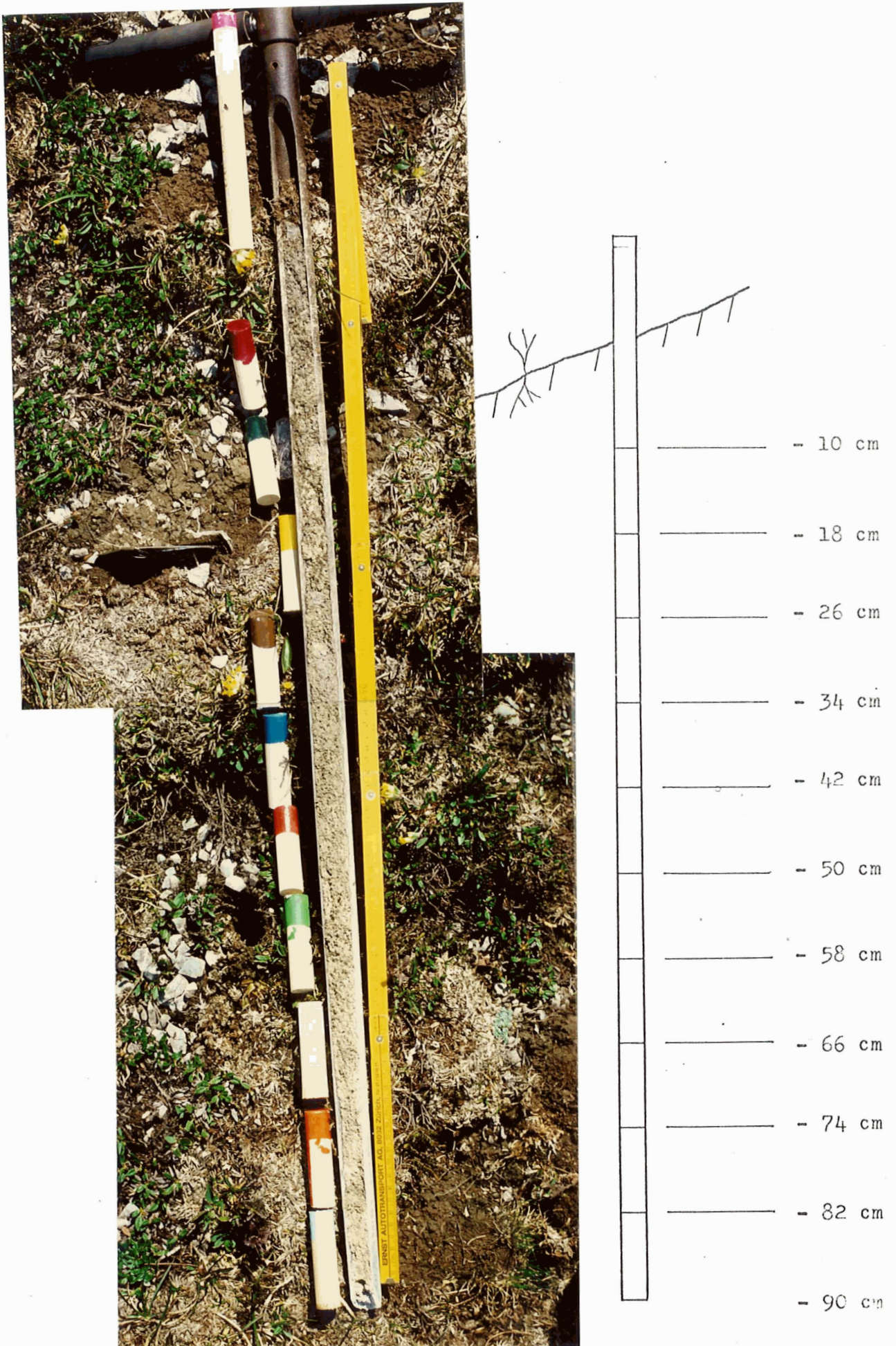


Abb. 9: Holzstäbe und Schlagbohrer (auf der Skizze ist die Anordnung der Holzstäbe im Boden ersichtlich).

4.2.2. Aluminiumfolien

Mit einer 60 cm langen, 10 cm breiten und 1 cm dicken Stahlplatte schlägt man lotrechte Schlitze in den Boden. In einen solchen Schlitz wird jeweils eine Alufolie gestossen.

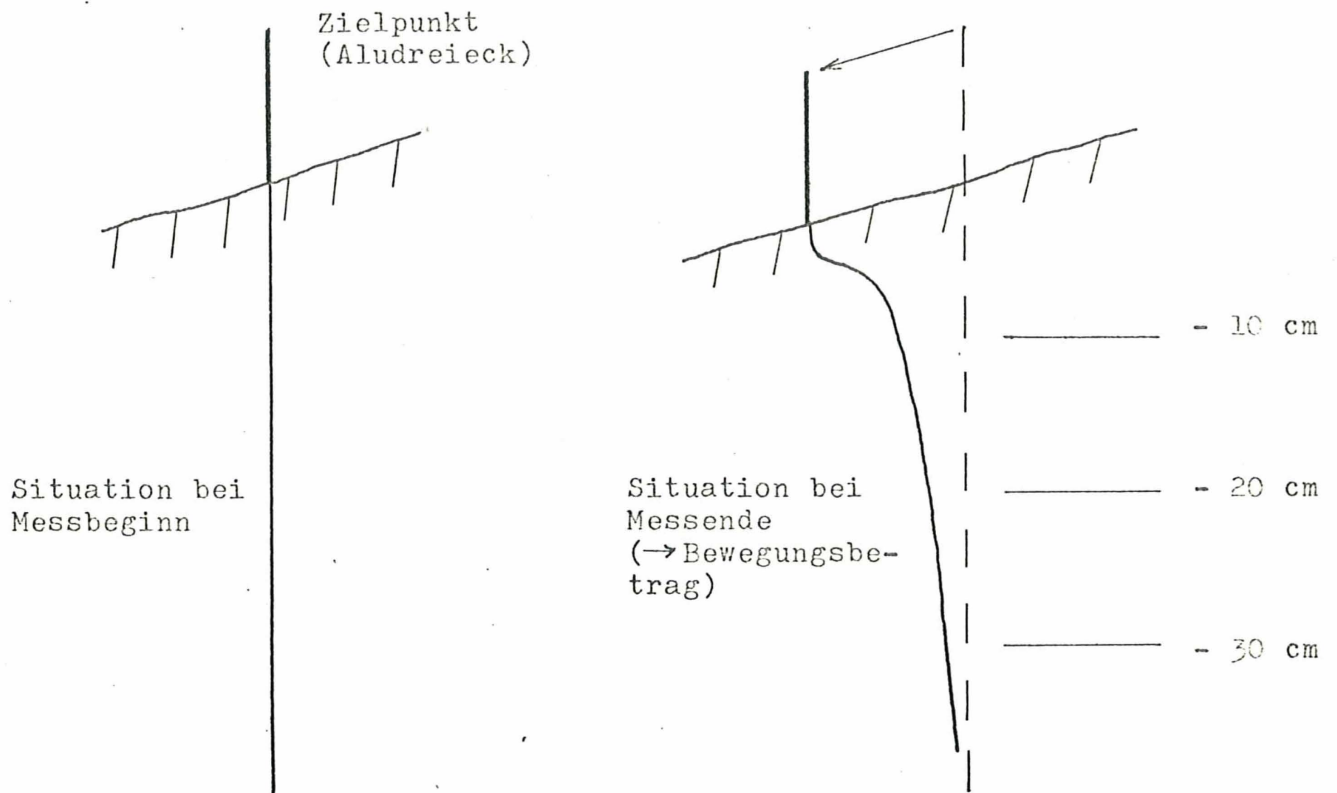


Abb. 10: Alufolie

Diese 10 cm breiten und 60 cm langen Folien werden 40 cm tief im Boden versenkt, die restlichen 20 cm werden über der Oberfläche zu einem 10 cm hohen Dreieck gefaltet. Dessen obere Spitze dient als Zielpunkt für den Theodoliten. Die Folien werden von der Solifluktion mitbewegt. Da die Bewegungen in verschiedenen Tiefen ungleich gross sind, werden sich die Folien diesen Bewegungen anpassen und sich verbiegen. Die Streifen sind so stark, dass sie durch diesen Vorgang oder durch Frost-

hub der obersten Bodenschicht nicht reissen sollten; anderseits sind sie doch genügend flexibel, um den Bodenbewegungen zu folgen.

Da bei dieser Methode ein ungehindertes Umfliessen der Messmarken kaum möglich ist, hoffe ich damit die Bewegungen der obersten 10 cm des Bodens genauer messen zu können als mit den Holzstäben. Durch Ausgraben der Folien nach einigen Jahren wird ebenfalls der Betrag der Bewegungen bis in 40 cm Tiefe ersichtlich (s. Abb. 10). Diese Methode weist natürlich auch gewisse Nachteile auf. Das Aludreieck, das als Messpunkt dient, muss vor jeder Messung wieder lotrecht gestellt werden. Dies ergibt einen zusätzlichen Messfehler. Zudem besteht die Möglichkeit, dass die Wasserzirkulation im Bereich der Messmarken gestört wird, weil Wasser den Alufolien entlang in den Boden eindringen kann. Die Verfälschung der Resultate durch diesen Effekt müsste durch Laborversuche abgeklärt werden, falls allzu grosse Differenzen zwischen den Bewegungen der Alufolien und der Holzstäbe auftreten sollten.

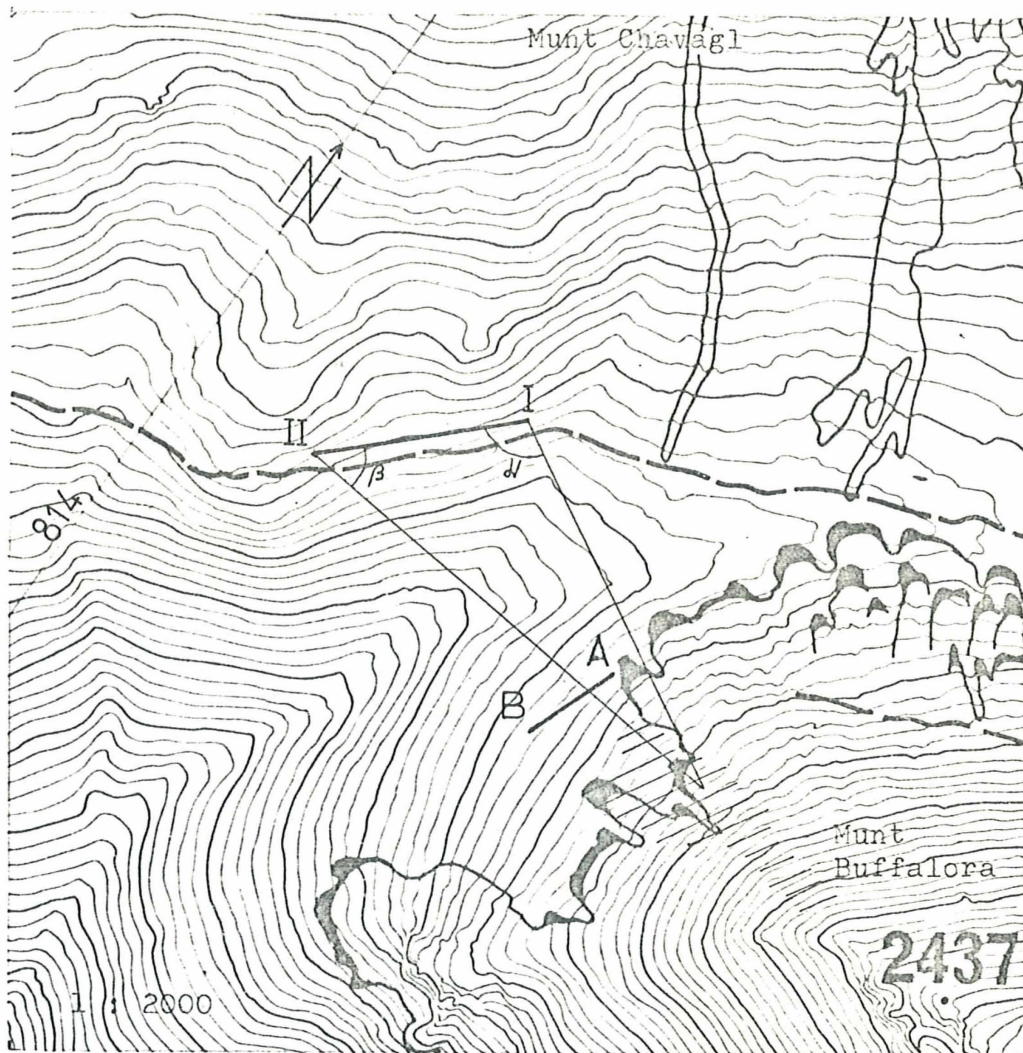
4.2.3. Zur Vermessung mit dem Theodoliten

Die Messmarken werden von einer Basislinie aus durch Vorwärts-einschneiden eingemessen. Dazu muss man zuerst sämtliche Marken vom Basispunkt A (bzw. I) anzielen, danach vom Basispunkt B (bzw. II). Durch die folgenden Gleichungen erhält man aus den Horizontalwinkeln α und β , sowie der Basislänge c die Horizontalabstände a und b :

$$a = \frac{c \cdot \sin \alpha}{\sin \gamma} \quad b = \frac{c \cdot \sin \beta}{\sin \gamma}$$

Die Höhendifferenz des Messpunktes gegenüber dem Basispunkt A ergibt sich aus dem Höhenwinkel δ_A und der Instrumentenhöhe i :

$$z_A = b \cdot \tan \delta_A$$



- I/II Grosse Basis (Theodolit: Wild T2)
- A/B Kleine Basis (Theodolit: Kern DKM 1)
- //// Messfeld
- α/β Horizontalwinkel eines Messpunktes auf Erdstrom I
- Parkweg
- Σ Erdströme

Abb. 11: Uebersichtskarte zur Vermessung mit dem Theodoliten
(Topographische Grundlage: Figur 2, FURRER 1971, p. 196).

Die Polarkoordinaten (a/d) für die Messmarken werden in rechtwinklige Koordinaten (x, y, z) mit dem Basispunkt A (bzw. I) als Nullpunkt umgerechnet. Eine Drehung des Koordinatensystems (Koordinatentransformation) bringt die y -Achse ungefähr in die Falllinie des Messhanges. Durch Wiederholen der Messungen erhält man für jeden Punkt seine Bewegungen gegenüber der Ausgangslage. Die sonst zeitraubenden Berechnungen können mit einem von Dr. G. Kasper ausgearbeiteten Programm auf dem Taschenrechner Hewlett Packard HP - 25 ausgeführt werden.

Die kleine Basis (A, B) wurde für den institutseigenen Theodoliten (Kern DKM 1) eingerichtet. Auf dieser Messdistanz kann damit eine Genauigkeit von $\pm 0,5$ cm erreicht werden.



Abb. 12: Messung beim Basispunkt A (Theodolit: Kern DKM 1)

Da diese Basispunkte nicht auf anstehendem Fels liegen, müssen sie regelmässig von der Basis II (auf anstehendem Gestein) aus nachkontrolliert werden. Die Basislinien wurden mit Hilfe einer Basislatte auf ± 1 mm genau eingemessen.

Da der Messhang von der kurzen Basis (A und B) aus nur schlecht und mit steilen Visuren einzusehen, und zudem die Handhabung des kleinen Kerntheodoliten sehr zeitraubend ist, wurden die Messungen wenn möglich direkt von der Basis II aus durchgeführt. Dazu verwendete ich einen Theodoliten vom Typ Wild T 2 des Institutes für Geodäsie der ETH. Die Messgenauigkeit beträgt dennoch $\pm 0,5$ cm.



Abb. 13: Blick auf den Messhang vom Basispunkt A aus.



Abb. 14: Messhang vom Basispunkt I aus gesehen.

4.2.4. Messgenauigkeit

Die Messfehler halten sich im Rahmen von $\pm 0,5$ cm für die Holzstäbe. Bei den Alufolien vergrössert sich der totale Fehler auf ± 1 cm durch den zusätzlichen Fehler, der beim Aufrichten der Folien entsteht. Bei erwarteten Messbeträgen von 4 - 8 cm/Jahr (vgl. FURRER 1971, p. 243) genügt diese Genauigkeit, denn es handelt sich um absolute Bewegungsbeträge, was die etwas grösseren Messfehler gegenüber den früher durchgeführten relativen Bewegungsmessungen mehr als aufwiegt.

4.2.5. Zusätzliche Bewegungsmessungen an der Oberfläche

Um auch Bewegungen von Steinen und Steinchen an der Oberfläche zu erfassen, wurde von der Umgebung jeder Stabmessmarke im Herbst eine Photographie aufgenommen.



Abb. 15: Beispiel einer solchen Aufnahme (Messmarke $11/12$)

Diese Photos wurden mit lotrechter Aufnahmerichtung gegen die Stabmitten gemacht. Ein ausgelegtes Messband erlaubt nun einzelne Steine von der Messmarke aus in der Photographie einzumessen. Durch Wiederholen dieser Aufnahmen etwa jedes halbe Jahr können so reine Oberflächenbewegungen ebenfalls absolut gemessen werden. Der totale Messfehler dürfte bei ± 1 cm liegen.

4.3. Anordnung des Messfeldes am Munt Buffalora

Insgesamt habe ich 30 Stabmessmarken und 43 Alumessmarken auf den beiden untersuchten Erdströmen aufgestellt. Wie Abb. 7 (p. 10) zeigt, ist vorallem Erdstrom I vom darunterliegenden Girlandenhang bis ins Einzugsgebiet mit Messmarken bestückt. Die wenigen Messstellen auf dem Erdstrom II dienen mehr zur Ergänzung der auf dem Erdstrom I ermittelten Resultate. Ich habe total zehn Messkolonnen parallel zur Fallinie des Hanges eingerichtet (I - XII), wobei die Kolonne I mit 23 Messmarken die wichtigste ist (entspricht dem Längsprofil Abb. 8). Quer zur Fallinie liegen zwölf Messzeilen (8 - 20).

Beim Einrichten der Messstellen zeigte es sich, dass im obern Teil des Messfeldes (Uebergang zur Schutthalde) das Bodenmaterial so locker ist, dass ich keine Löcher mehr mit dem Schlagbohrer machen konnte; beim Herausziehen des Bohrers verstopfte nachrutschendes Feinmaterial die Oeffnung. Hier oben sind deshalb nur noch Alumessmarken vorhanden. Bei sämtlichen Messmarken wurde gemessen, wie hoch die Spitze bzw. der Messring über der Bodenoberfläche lagen. Durch Nachmessen dieser Höhe kann man kontrollieren, ob und um wieviel die Messmarken ausfrieren.

Da beim Setzen der Messpunkte der Boden leicht gestört wurde, und zudem die Marken ca. 1 cm seitlichen Spielraum im Loch hatten, sind während der ersten zwei bis drei Monate zusätzliche Messfehler aufgetreten, bis die Marken vom Bodenmaterial fest umschlossen waren.

5. Geräte zur Temperaturmessung im Boden

5.1. Elektrische Temperaturmessanlage zur Direktablesung

Da elektrische Widerstandsthermometer bei der Messung von Bodentemperaturen die besten Resultate liefern, und derartige Geräte am Geographischen Institut bereits vorhanden sind, verwendete ich ausschliesslich diese Messart.

ELSASSER (1968, p. 46) und FREUND (1972, p. 74) benutzten Geräte der Firma Siemens: Pro Messgerät kann man sechs Platin-Widerstandsthermometer anschliessen; die Geräte werden mit Akkumulatoren gespeist (6 V); die Messskala reicht von $- 20^{\circ}$ bis $+ 20^{\circ}\text{C}$ (Ablesegenauigkeit $1/4^{\circ}\text{C}$). Zwei solche Geräte standen mir zur Verfügung. Man kann die Temperaturen nur direkt ablesen, ein Anschluss an einen Thermographen ist nicht möglich. Die mit Blei isolierten Temperaturfühler hatten sich nicht bewährt, sie wurden daraufhin mit Kunststoffisolierungen versehen.

Diese Geräte verwendete ich für die Abklärung der Temperaturverteilung in den obersten 10 cm des Bodens. Die Temperaturfühler sind dazu in ca. 7 cm Tiefe vergraben, mit Ausnahme eines Fühlers, der in ca. 70 cm Tiefe installiert ist. Ich möchte damit den Temperaturverlauf in gleicher Tiefe auf einer möglichst grossen Fläche wenigstens an einigen Tagen im Jahr messen. Ein Gerät stellte ich dazu auf der Zunge des Erdstromes I auf. Mit der zweiten Anlage mass ich im Einzugsgebiet des Erdstromes, also in der Schutthalde.

5.2. Elektrischer Thermograph

Für die Erfassung des jährlichen und täglichen Temperaturverlaufes im Boden und in der bodennahen Luftschicht eignen sich elektrische Widerstandsthermometer in Verbindung mit einem Thermographen am besten. Auch eine Ermittlung der für die Solifluktion und die Frostsprengung entscheidenden Frostwechselhäufigkeit kann nur so möglichst lückenlos durchgeführt werden. Ich baute deshalb eine Anlage, bestehend aus sechs Widerstandsthermometern, einer Schaltuhr und einem Thermographen. Die Anlage ist so ausgelegt, dass sie jeweils einen Monat ohne Unterbruch arbeitet.

Weil der Thermograph erst im Spätsommer geliefert wurde, konnte ich diese Anlage nicht mehr bei tiefen Temperaturen im Labor testen. Dies führte dazu, dass das Gerät nur während einiger Wochen im Herbst funktionierte. Um den Apparat in der Kälte nicht unnötig zu gefährden, habe ich die Messungen im Dezember 1975 abgebrochen. Die Anlage soll nun für einen neuen Einsatz ab Sommer 1976 im Labor getestet und verbessert werden.

Als Thermographen habe ich ein "Tastotherm - Script 200 B" der Firma Gulton verwendet. Der Schreiber hat einen Anzeigebereich von -60° bis $+70^{\circ}\text{C}$. Die Messgenauigkeit beträgt im Bereich von -10° bis $+10^{\circ}\text{C}$ $\pm 1/4^{\circ}\text{C}$. Die Aufzeichnung der Daten erfolgt auf einen Wachspapierstreifen. Da die minimale Betriebstemperatur bei ungefähr 5°C liegt, wurde ein Heizwiderstand beim Antriebsmotor des Schreibers eingebaut, der über einen Thermostaten gesteuert wird. Als Stromquelle für die Anlage dient eine 12 V / 50 Ah Autobatterie, die für einen Monat Energie liefert (der 15 m lange Wachspapierstreifen reicht ebenfalls für einen Monat). Damit an dieses Gerät nicht nur ein Fühler angeschlossen werden kann, baute ich eine Schaltuhr, welche innert einer Stunde nacheinander sechs verschiedene Fühler auf den Thermographen

schaltet. Die Uhr schaltet dazu Impulsrelais ("PZM - 4" der Firma ITT), indem ein am Minutenzeiger angebrachter Dauermagnet Reedkontakte für das Ein- bzw. Ausschalten der Relais schliesst.

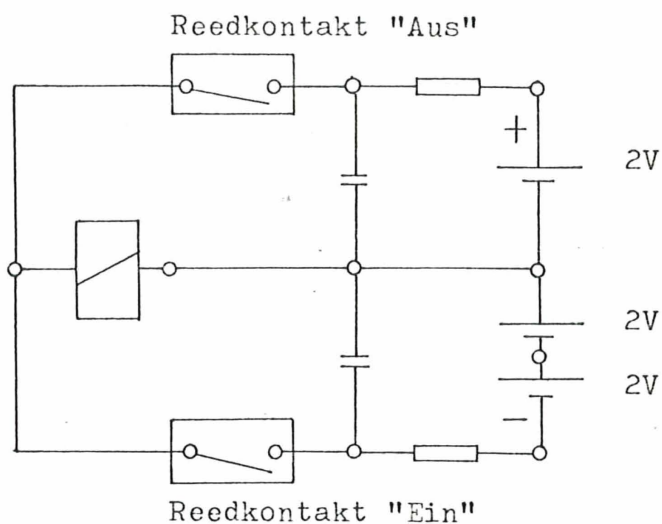


Abb. 16: Schaltschema für eines der Relais (Der Stromverbrauch ist sehr gering bei Verwendung von Haft-Relais zusammen mit Kondensatoren).

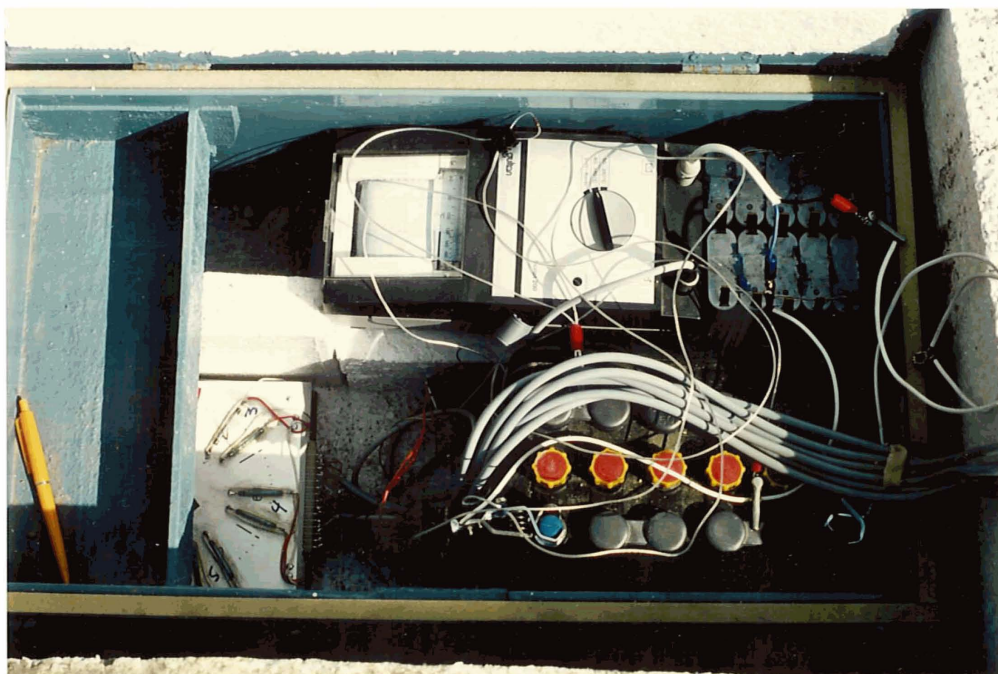


Abb. 17: Einrichtung der Messkiste (Schreiber rechts oben, Schaltuhr links unten).

Das ganze Gerät wurde in eine Holzkiste eingebaut. Zur Isolation gegen die Kälte wurde diese Kiste in einem mit 5 cm dicken Styroporplatten ausgekleideten Loch vergraben.



Abb. 18: Thermographenanlage auf Erdstrom II.

Ich stellte das Gerät auf dem Erdstrom II auf, um die Bewegungsmessungen auf dem Erdstrom I nicht zu stören.

6. Resultate der Messungen am Munt Buffalora

6.1. Literatur zu Bewegungsmessungen

6.1.1. ELSASSER (1966 und 1968)

ELSASSER führte Messungen auf Strukturböden auf der Fuorcla da Fàller (Koordinaten 766 000 / 148 000) nördlich von Juf im Avers durch. Er verwendete dazu markierte Steine, Holzplättchen sowie verleimte Hölzchensäulen (Beschreibung der Methoden s. p. 13). Diese Messungen an Strukturböden über Dauerfrostboden führten zu folgenden Ergebnissen:

- Die Solifluktionsbeträge sind sehr verschieden. Bei gleicher Hangneigung und Exposition ergaben sich Bewegungen, die bis zu 30 cm zwischen den einzelnen Messstellen im Laufe eines Jahres variieren.
- Maximalbeträge: 55 cm/Jahr
5 cm/Tag
- Mit grösserer Hangneigung nehmen die Solifluktionsbeträge i. a. zu.
- Das Bodenfliessen ist nicht kontinuierlich, sondern dieser Vorgang geht ruckartig vor sich.
- Die Bewegung hängt von Niederschlag und Schneeschmelzwasser ab.
- Die Ausbildung eines "Solifluktionsstrichs" (analog zum Stromstrich eines Flusses) durch grössere Bewegungsbeträge in der Mitte zwischen den Steinstreifen war klar zu sehen.
- Die Bewegungsbeträge nehmen in der Tiefe ab und klingen in ca. 30 - 40 cm aus.

6.1.2. ZUBER (1968)

Mit seiner Matrixmethode (vgl. p. 13) mass ZUBER Bewegungen auf Girlanden im Val dal Botsch (Nationalpark).

Zusammenfassung der Ergebnisse:

- Die langen Stahlstifte bewegten sich stärker als die kurzen.
- Die Bewegungen beschränken sich auf die Regelationsperioden, vermutlich vorwiegend nach der Schneeschmelze.
- Als Voraussetzungen für die - ebenfalls gemessene - Frosthebung erkannte ZUBER gute Durchfeuchtung des Bodens und Temperaturen von mindestens -1°C an der Erdoberfläche: Dabei bilden sich eher Kammeis bei weniger tiefen Temperaturen, als dass eine Frosthebung durch kompakte Bodengefrorenis zustande komme.

6.1.3. FURRER (1971)

FURRER führte Messungen auf Erdströmen am Munt Chavagl durch. Er verwendete dazu die Matrixmethode von ZUBER, markierte Steine und Stahlstiftreihen. Die Ergebnisse eignen sich am besten für einen Vergleich mit meinen Daten, da die Messstellen nur einige hundert Meter auseinander liegen:

- Auf dem vermessenen Erdstrom (vgl. p. 4) zeichnete sich ein "Solifluktionsstrich" ab.
- Die Bewegungen am Rande des Erdstroms betragen durchschnittlich 40 mm/Jahr für die 5 cm langen Stahlstifte und 30 mm/Jahr für die 10 cm langen Stahlstifte. In der Mitte liegen die entsprechenden Bewegungsbeträge bei 75 bzw. 63 mm/Jahr.
- Regelmässige Kontrollen der Messmarken ergaben, dass Bewegungen nicht nur nach der Schneeschmelze, sondern auch nach Sommerniederschlägen auftraten. Sicher spielen auch Frostwechselprozesse eine Rolle, da die Stifte ausfroren.
- Die Bewegungen verlaufen ruckartig und sehr differenziert:

"Dicht neben verhältnismässig schnell fliessenden Partien kann sich solifluidale Verfrachtung bedeutend weniger intensiv oder unter Umständen überhaupt nicht äussern." (FURRER 1971, p. 246)

- Die Bewegungen gelangen in Tiefen von 20 - 35 cm zum Stillstand.

6.1.4. FURRER (1972)

In dieser Arbeit fasste FURRER verschiedene Bewegungsmessungen auf Solifluktiionsdecken zusammen und kam zu den folgenden Ergebnissen:

- Die Hangsolifluktion wirkt auf Flächen von 3 - 30° Neigung. Der obere Grenzwinkel ist jedoch noch näher zu untersuchen.
- "Im Hochgebirge kommt den Regelationsperioden eine besondere Bedeutung zu, wahrscheinlich besonders jener, die mit der Schneeschmelze zusammenfällt. Die Bewegungen erfolgen nicht kontinuierlich, sondern phasenweise, "ruckartig". (p. 101)
- Bewegungsrichtung und Geschwindigkeit können auf einer Solifluktiionsdecke auf kleinem Raum wechseln.
- Eine direkte Abhängigkeit zwischen Hangneigung und Bewegungsbeträgen ist nicht eindeutig festgestellt worden. Die Wirkung von Frostwechselhäufigkeit, Wassergehalt des Bodens und Materialeigenschaften sind möglicherweise entscheidender als die Hangneigung.

6.2. Resultate der Bewegungsmessungen

Für einen Vergleich mit meinen Messresultaten eignen sich vor allem die Ergebnisse von FURRER (1971) und ZUBER (1968). Die Resultate von ELSASSER (1968), auf der Fuorcla da Fälller gemessen, sind nur bedingt zu Vergleichszwecken verwendbar, da unter seinen Steinstreifen Permafrost liegt.

6.2.1. Einrichtung des Messfeldes und Messzeitpunkte

Das bereits beschriebene Messfeld (s. p. 8) habe ich während des Sommers 1975 eingerichtet. Weil die Erdströme stellenweise aus sehr lockerem Material aufgebaut sind, konnte ich bei manchen vorgesehenen Messstellen kein genügend tiefes Loch bohren, wenn nachstürzendes Material die Oeffnungen gleich wieder verschloss. Gelang es mir auch nach mehreren Versuchen nicht ein genügend tiefes, sauberes Loch für alle zehn Stäbe zustande zu bringen, habe ich einfach so viele Holzstäbe wie möglich vergraben. Ausserdem sind die Löcher nie streng lotrecht. Dies bedeutet, dass der Messfehler mit der Tiefe zunimmt. Da sich die untersten Stäbe aber kaum mehr bewegen werden (vgl. FURRER 1971), kann man beim Ausgraben die Ausgangslage der Holzsäule rekonstruieren und so diesen Fehler eliminieren.

Beim Versenken der Alufolien ergab sich die gleiche Schwierigkeit. Die Schlitze stürzten auch nach, so dass die meisten Folien nur 30 - 40 cm tief in den Boden hinunterreichen. Dies dürfte jedoch genügen, da zumindest die starken Bewegungen nur bis in Tiefen von 20 cm auftreten werden. Ausserdem geben die Folien dadurch, dass sie sich in jeder Tiefe den Bewegungen genau anpassen können ein bedeutend differenzierteres Bild der Bewegungen, wodurch der relativ geringe Tiefgang der Folien mehr als wettgemacht wird. Auch bei den Folien war die Ausgangslage nicht genau lotrecht.

6.2. Resultate der Bewegungsmessungen

Für einen Vergleich mit meinen Messresultaten eignen sich vor allem die Ergebnisse von FURRER (1971) und ZUBER (1968). Die Resultate von ELSASSER (1968), auf der Fuorcla da Fälller gemessen, sind nur bedingt zu Vergleichszwecken verwendbar, da unter seinen Steinstreifen Permafrost liegt.

6.2.1. Einrichtung des Messfeldes und Messzeitpunkte

Das bereits beschriebene Messfeld (s. p. 8) habe ich während des Sommers 1975 eingerichtet. Weil die Erdströme stellenweise aus sehr lockerem Material aufgebaut sind, konnte ich bei manchen vorgesehenen Messstellen kein genügend tiefes Loch bohren, wenn nachstürzendes Material die Oeffnungen gleich wieder verschloss. Gelang es mir auch nach mehreren Versuchen nicht ein genügend tiefes, sauberes Loch für alle zehn Stäbe zustande zu bringen, habe ich einfach so viele Holzstäbe wie möglich vergraben. Ausserdem sind die Löcher nie streng lotrecht. Dies bedeutet, dass der Messfehler mit der Tiefe zunimmt. Da sich die untersten Stäbe aber kaum mehr bewegen werden (vgl. FURRER 1971), kann man beim Ausgraben die Ausgangslage der Holzsäule rekonstruieren und so diesen Fehler eliminieren.

Beim Versenken der Alufolien ergab sich die gleiche Schwierigkeit. Die Schlitze stürzten auch nach, so dass die meisten Folien nur 30 - 40 cm tief in den Boden hinunterreichen. Dies dürfte jedoch genügen, da zumindest die starken Bewegungen nur bis in Tiefen von 20 cm auftreten werden. Ausserdem geben die Folien dadurch, dass sie sich in jeder Tiefe den Bewegungen genau anpassen können ein bedeutend differenzierteres Bild der Bewegungen, wodurch der relativ geringe Tiefgang der Folien mehr als wettgemacht wird. Auch bei den Folien war die Ausgangslage nicht genau lotrecht.

Die erste Vermessung der Marken erfolgte am 30. Juli, die zweite am 17. September. Bei dieser Messung konnten erstmals alle Messmarken erfasst werden. Sie dient mir deshalb als Basis ("Null-lage") für die weiteren Vermessungen. Eine dritte Messung konnte schliesslich noch am 31. Oktober durchgeführt werden. Diese ist besonders interessant, da in der Zeit zwischen dem 11. und 31. Oktober das Messfeld vorübergehend eingeschneit wurde.



Abb. 19: Messfeld am 31. Oktober 1975

Einige zwischen den Zungen liegende Messmarken waren noch vom Schnee zugedeckt und konnten deshalb nicht vermessen werden.

6.2.2. Messwerte

Messmarke	Lage am 30.7.75 bzw. 17.9.75		Lageänderung in den Messperioden	
		m	30.7. - 17.9. cm	17.9. - 31.10. cm
-1/I	X	37.63		0
	Y	76.33		- 0.5
	Z	- 0.915		0
1/I		37.82	0	- 0.5
		77.95	- 6	- 0.5
		- 0.52	- 1	- 0.5
2/I		37.495	0	+ 1
		80.235	- 4.5	+ 0.5
		0.325	- 1	+ 1.5
3/I		37.615	-	-
		82.695	-	-
		1.095	-	-
3/X		55.945		0
		81.92		- 2
		- 0.79		- 1
4/I		37.705	0	- 0.5
		84.520	- 3	+ 1.5
		1.790	+ 1	+ 0.5
4/X		55.12		- 0.5
		88.055		- 2
		1.315		+ 1.5
5/I		37.575	-	0
		86.435	-	0
		2.25	-	+ 3.5
5P/I		37.575	+ 0.5	0
		86.180	- 4.5	0
		2.24	- 1.5	0
6/I		37.615	- 0.5	0
		88.34	- 3.5	- 2
		2.83	0	- 0.5
7/V		33.63	- 1	-
		90.26	- 2	-
		3.665	- 0.5	-
7/III		36.43	- 1.5	-
		90.305	- 4.5	-
		3.665	0	-
7/I		37.68	- 2	0
		90.26	- 5	- 0.5
		3.59	- 0.5	+ 0.5

Messmarke		Lage am 30.7.75	Lageänderung in den Messperioden	
		bzw. 17.9.75	30.7. - 17.9.	17.9. - 31.10.
		m	cm	cm
7/II	X	38.965	+ 4	- 1.5
	Y	90.24	- 2	- 2
	Z	3.525	- 1.5	- 1.5
7/IV		41.92	+ 0.5	- 0.5
		90.295	- 4	- 1.5
		3.135	0	0
8/V		33.825	- 1.5	-
		91.935	- 3.5	-
		4.63	+ 0.5	-
8/I		37.785	0	0
		92.06	+ 0.5	- 1
		4.83	+ 0.5	- 0.5
8/IV		41.72	+ 1	- 0.5
		92.295	- 1	- 1.5
		4.01	- 1	- 0.5
10/V		34.035	- 0.5	-
		93.42	+ 1.5	-
		5.42	+ 1.5	-
10/III		36.445	- 1	0
		93.725	- 0.5	- 1
		5.7	+ 0.5	0
10/I		37.67	- 0.5	+ 0.5
		93.875	- 3	+ 1.5
		5.775	+ 0.5	0
10/II		38.92	- 0.5	+ 1
		93.85	- 3.5	+ 0.5
		5.67	0	+ 0.5
10/IV		41.655	- 1.5	+ 1.5
		94.24	- 4	+ 1
		4.75	0	0
10/VI		44.87	+ 0.5	0
		94.755	- 3	+ 1
		4.525	+ 1	0
10/VIII		50.335		0
		95.285		+ 0.5
		4.96		0
10/X		53.455		-
		95.44		-
		4.61		+ 1
10/XII		55.725		- 0.5
		95.485		- 1.5
		4.465		- 0.5

Messmarke	Lage am 30.7.75 bzw. 17.9.75		Lageänderung in den Messperioden	
		m	30.7. - 17.9. cm	17.9. - 31.10. cm
11/VII	X	32.215	0	- 0.5
	Y	96.975	+ 0.5	- 0.5
	Z	7.095	+ 1.5	- 0.5
11/V		33.585	- 0.5	- 0.5
		97.115	- 3	- 1
		7.11	- 0.5	- 1
11/II		39.17		+ 0.5
		96.865		+ 1
		6.945		- 0.5
11/IV		41.935	+ 1	0
		98.07	- 2.5	- 2
		6.17	- 1.5	- 0.5
12/V		33.325	- 0.5	-
		100.63	- 2.5	-
		8.495	- 6	-
12/III		36.125	0	+ 0.5
		100.435	- 2	+ 0.5
		8.91	+ 0.5	0
12/I		37.475	+ 0.5	- 0.5
		100.375	0	- 2
		8.855	+ 1.5	- 0.5
12/II		39.305	0	- 0.5
		100.55	- 2	+ 0.5
		8.81	+ 0.5	0
12/IV		41.425	+ 2	-
		100.99	- 4	-
		7.525	- 2	-
12/VI		44.225		- 1.5
		100.835		- 3
		7.94		0
12/X		52.23		+ 0.5
		102.15		+ 1.5
		8.175		+ 0.5
13/V		33.33	- 1.5	-
		103.86	- 3.5	-
		9.925	+ 0.5	-
13/III		36.005		- 1
		103.875		- 0.5
		10.245		- 0.5
13/I		38.345		- 0.5
		103.875		+ 1
		10.235		- 1

Messmarke		Lage am 30.7.75	Lageänderung in den Messperioden	
		bzw. 17.9.75 m	30.7. - 17.9. cm	17.9. - 31.10. cm
13/II	X	39.385		0
	Y	103.68		+ 0.5
	Z	10.22		- 0.5
13/IV		41.575	+ 1	-
		104.75	+ 0.5	-
		9.91	- 2.5	-
14/VII		31.18		- 0.5
		106.01		0
		11.575		0
14/V		33.65	- 1.5	-
		107.23	- 5	-
		11.845	+ 0.5	-
14/III		35.555	0	- 0.5
		106.94	- 0.5	- 1.5
		11.695	+ 1	0
14/I		37.825		- 1
		106.965		- 0.5
		11.83		- 0.5
14/II		39.455	0	0
		107.17	- 2.5	+ 0.5
		11.91	+ 1	0
14/VI		44.12		- 0.5
		107.33		- 1.5
		11.785		+ 0.5
14/X		50.675		+ 1
		108.345		+ 1.5
		12.235		+ 1
14/XII		53.97		+ 0.5
		108.69		- 0.5
		12.145		0
15/V		33.705	- 2	+ 0.5
		110.53	- 3.5	+ 1
		14.285	+ 1	0
15/III		36.26		-
		111.07		-
		13.94		-
15/I		37.9		-
		111.05		-
		14.1		-
15/IV		41.625	- 1	-
		111.1	- 1.5	-
		13.965	+ 1.5	-

Messmarke	Lage am 30.7.75 bzw. 17.9.75 m	Lageänderung in den Messperioden	
		30.7. - 17.9. cm	17.9. - 31.10. cm
16/VII	X	33.075	-
	Y	114.595	-
	Z	16.32	-
16/III		36.545	0
		113.505	+ 0.5
		16.005	+ 1.5
16/II		39.815	0
		113.83	+ 0.5
		16.1	+ 2.5
16/VI		45.095	+ 0.5
		113.66	+ 0.5
		16.02	+ 0.5
16/X		50.115	+ 0.5
		113.335	- 1
		15.24	+ 0.5
17/V		35.505	-
		119.255	-
		19.2	-
17/I		39.385	- 1.5
		118.935	- 7
		19.295	- 1.5
17/IV		42.515	- 1.5
		118.075	- 6.5
		18.85	- 2
18/III		37.66	-
		121.94	-
		20.71	-
18/I		39.80	- 0.5
		121.74	- 6
		20.725	- 1.5
18/II		41.45	+ 1
		121.295	- 0.5
		20.66	- 0.5
19/V		34.81	-
		124.7	-
		22.1	-
19/III		36.795	-
		124.555	-
		22.215	-
19/I		38.705	-
		124.68	-
		22.32	-

Messmarke		Lage am 30.7.75 bzw. 17.9.75 m	Lageänderung in den Messperioden	
			30.7. - 17.9. cm	17.9. - 31.10. cm
19/II	X	40.62		- 1
	Y	124.28		- 5
	Z	22.24		- 1.5
19/IV		42.685		- 1
		124.325		- 6.5
		22.525		- 1
20/I		37.63		- 1.5
		129.825		- 9.5
		25.29		- 2.5
21/I		38.88		- 1.5
		136.03		- 7
		29.105		- 1.5
22/I		37.97		+ 1
		143.04		- 1
		33.735		0

Durchschnittliche Bewegungsbeträge:

Messperiode 30.7.75 bis 17.9.75:

Gebiet zwischen den Erdströmen:

$$y = 3 \text{ cm } \begin{matrix} + \\ - \end{matrix} 0.5 \text{ cm}$$

Erdstrom I:

$$y = 1 \text{ cm } \begin{matrix} + \\ - \end{matrix} 0.5 \text{ cm}$$

Messperiode 17.9.75 bis 31.10.75:

Gebiet zwischen den Erdströmen:

$$y = 0.5 \text{ cm } \begin{matrix} + \\ - \end{matrix} 0.5 \text{ cm}$$

Erdstrom I:

$$y = 0.5 \text{ cm } \begin{matrix} + \\ - \end{matrix} 0.5 \text{ cm}$$

Erdstrom II:

$$y = 0.5 \text{ cm } \begin{matrix} + \\ - \end{matrix} 0.5 \text{ cm}$$

Einzugsgebiet:

$$y = 5.5 \text{ cm } \begin{matrix} + \\ - \end{matrix} 0.5 \text{ cm}$$

$$x = 0.5 \text{ cm } \begin{matrix} + \\ - \end{matrix} 0.5 \text{ cm}$$

Abb. 20: Schematische Darstellung der Bewegungen (x/y) auf dem Erdstrom I (Messperiode 30.7.75 bis 17.9.75).

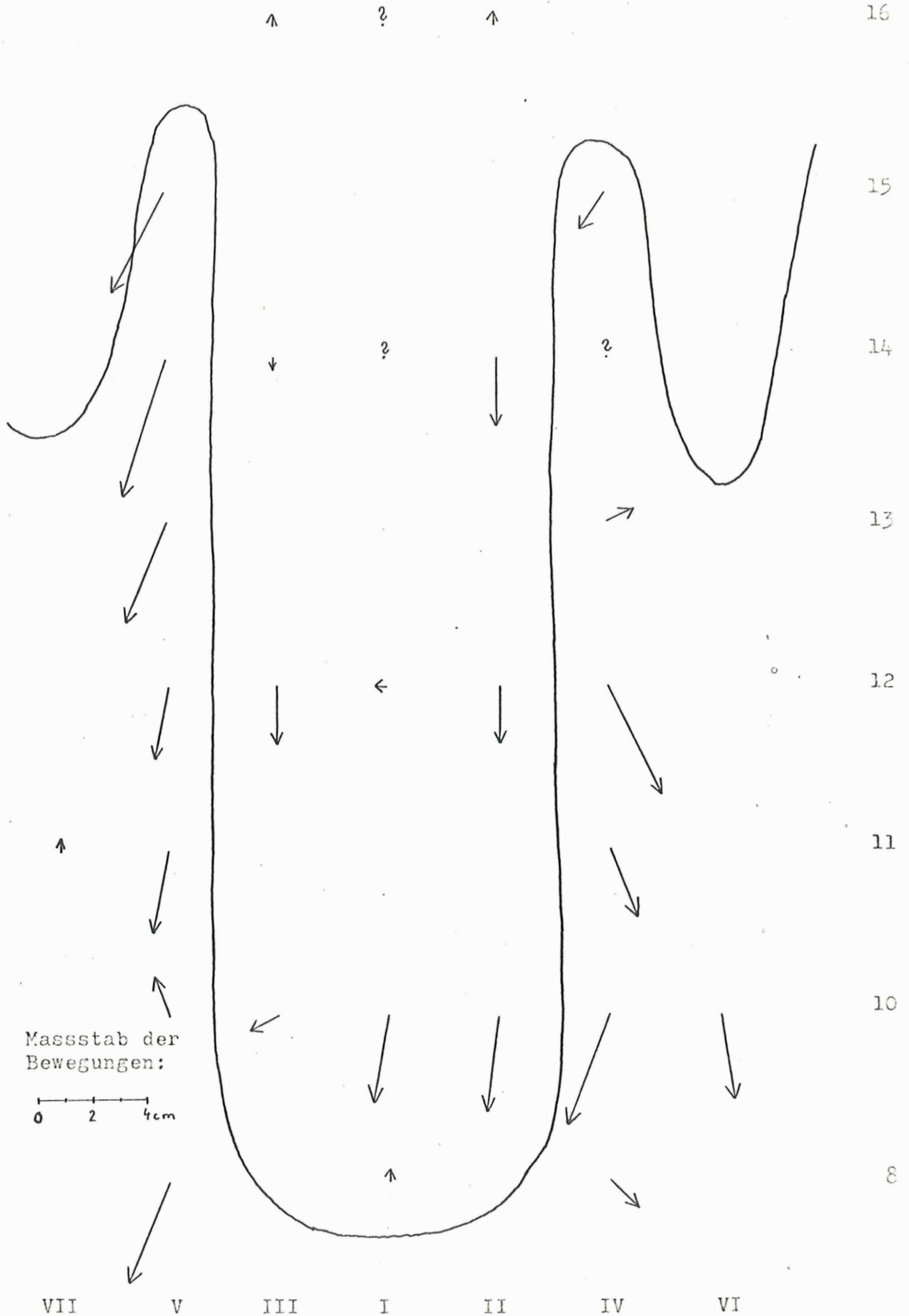


Abb. 21: Schematische Darstellung der Bewegungen (x/y) auf dem Erdstrom I (Messperiode 17.9.75 bis 31.10.75).

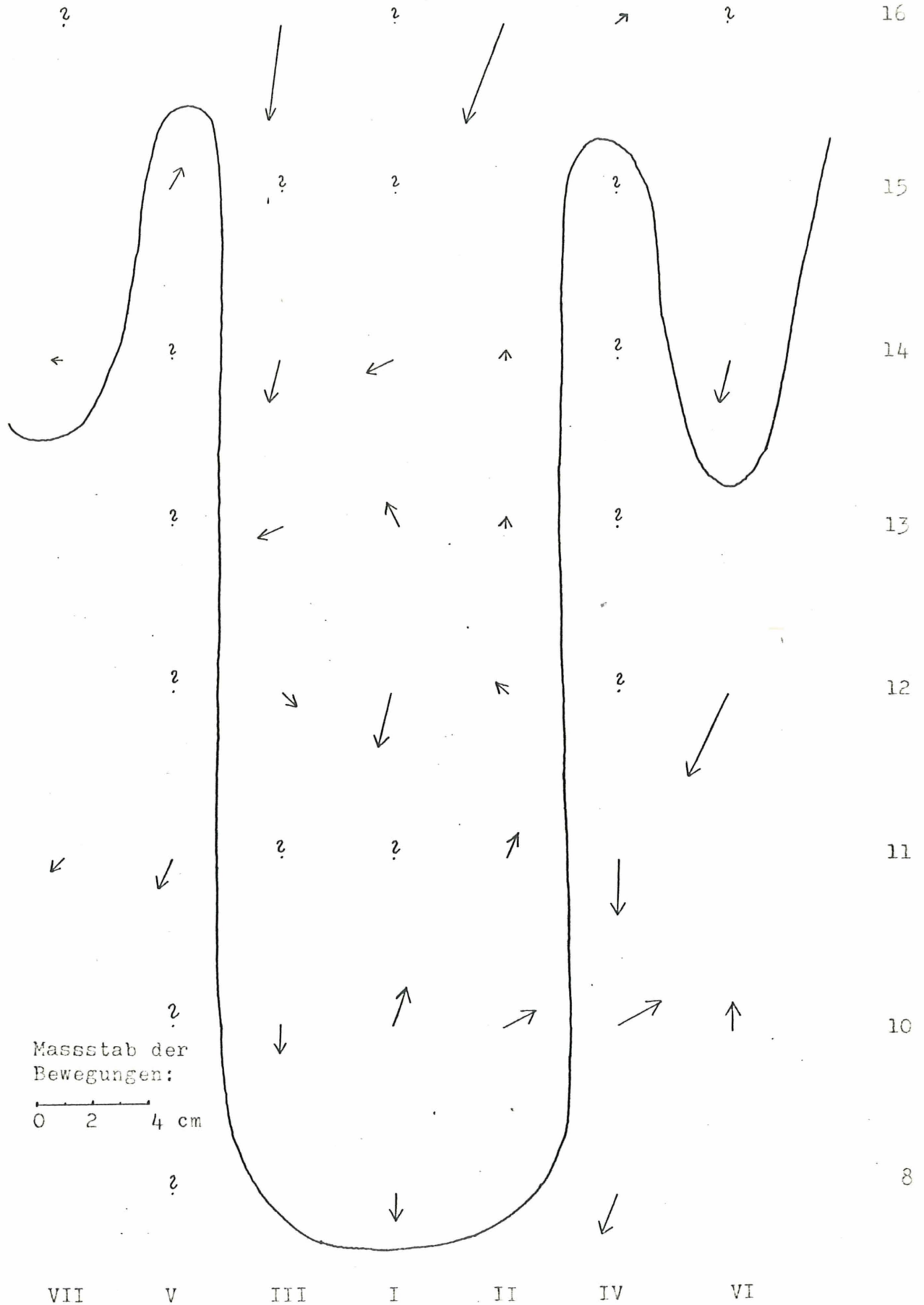
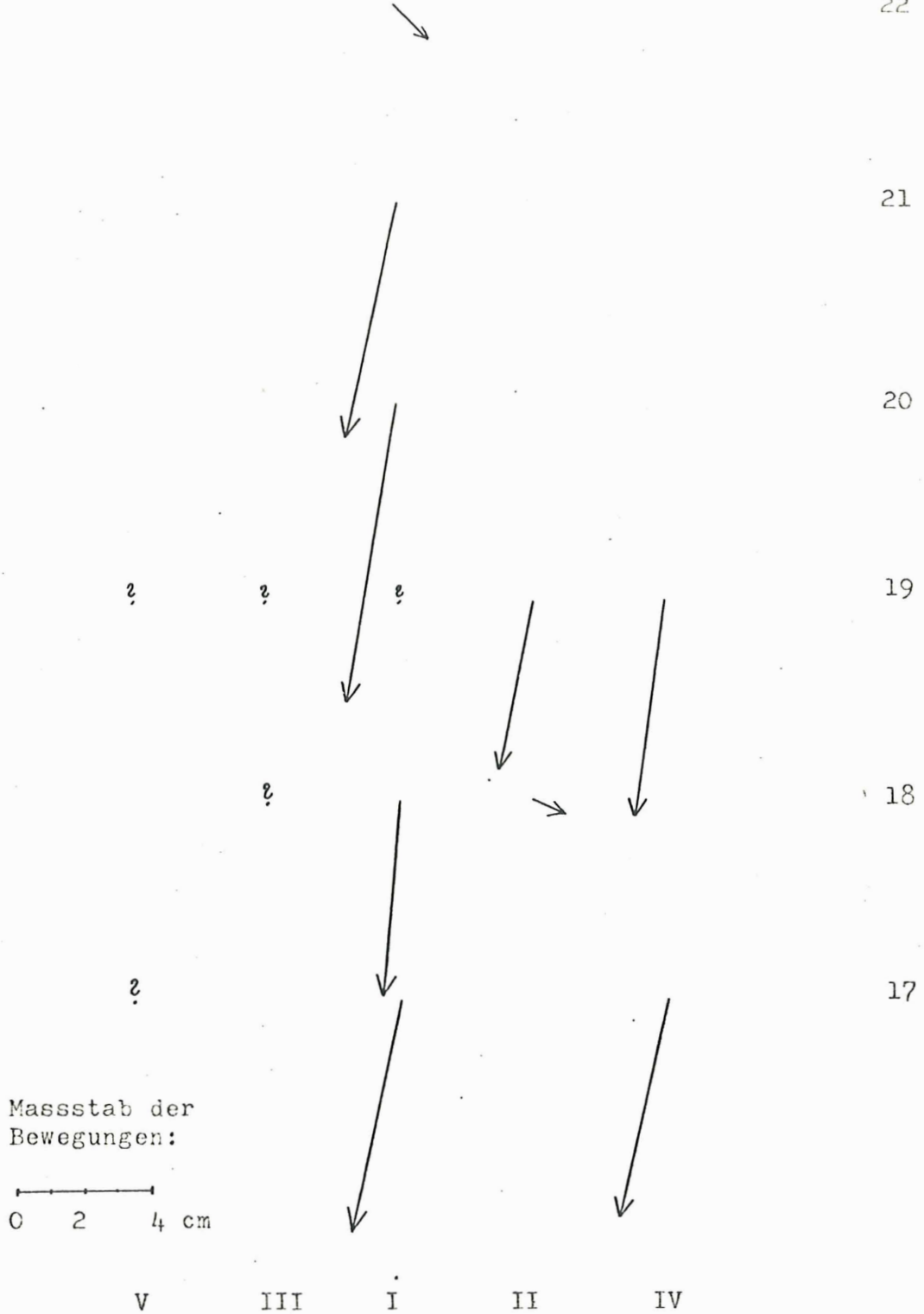


Abb. 22: Schematische Darstellung der Bewegungen (x/y) im Einzugsgebiet (Messperiode 17.9.75 bis 31.10.75).



6.2.3. Diskussion der Messwerte

- Die Bewegungsbeträge und -richtungen sind sehr uneinheitlich.
- Für die Messperiode 30.7. - 17.9. ergaben sich Werte, die im Rahmen der von FURRER (1971) gemessenen Beträge liegen.
- In der Messperiode 17.9. - 31.10. zeigte sich nur im Einzugsgebiet (Schutthalde) eine Bewegung. Diese scheint dafür relativ gross zu sein ($5,5 \text{ cm} \pm 0,5 \text{ cm}$ im Durchschnitt). Die Bewegungen weiter unten sind unregelmässig, die Beträge liegen zudem oft innerhalb der Fehlergrenze. Hangaufwärtsgerichtete Bewegungen sind ziemlich häufig.
- Ein "Solifluktionsstrich" konnte bisher nicht festgestellt werden.

Die Bewegungen während des Sommers (Juli - Sept.) fanden in einer Zeit ohne Frostwechsel, dafür mit relativ hohen Niederschlägen, statt. Es handelte sich entweder um kurze Durchtränkungsfließschübe (ruckartig) nach jedem Niederschlag oder um ein langsames, mehr oder weniger gleichförmiges Bodenkriechen. Dass der Hang unterhalb der Erdstromzunge etwa gleich grosse Bewegungsbeträge wie die Erdströme aufweist, ist erstaunlich. Bewegungen sind zwar auch hier zu erwarten (Girlanden, vgl. ZUBER), doch sollten sie durch die relativ geschlossene Vegetation mehr gehemmt werden.

Während der zweiten Messperiode (Sept. - Okt.) deuten die kleinen, mehr oder weniger zufällig verteilten Bewegungsbeträge auf den Erdströmen darauf hin, dass kein eigentliches Bodenfließen stattfand. Es spielte sich eher eine Bewegung durch Frosthub ab; also eine Bewegung in der Vertikalen. Da in dieser Zeit (herbstliche Regulationsperiode) Frostwechsel häufig sind (s. p.), entspricht diese Bewegungsart durchaus den Erwartungen. Die geringe Schneemenge im Oktober von ca. 20 cm lieferte beim Schmelzen zu wenig Wasser für ein Durchtränkungsfließen. Auch fehlte

unter den Erdströmen ein gefrorener Unterboden, was aus den Temperaturmessungen hervorgeht.

Im Einzugsgebiet dagegen fand während dieser Messperiode ein recht kräftiger Rutsch statt. Ob es sich dabei um eine tiefergreifende Bewegung oder nur um ein Abgleiten der obersten Schicht handelt, werden erst die ausgegrabenen Alufolien zeigen (vgl. dazu Hypothese p. 74).

Für eine genauere Erklärung der Bewegungsvorgänge fehlen mir noch wesentliche Daten. Die grossen Bewegungen spielen sich vermutlich erst nach der Schneeschmelze ab, sie wurden bis jetzt noch nicht gemessen. Auch wird es erst nach dem Ausgraben der Messmarken möglich, etwas über den Tiefgang der Bewegungen auszusagen. Für eine Differenzierung der Resultate nach Stäben und Alufolien ist die Messreihe noch zu kurz.

6.3. Literatur zu Bodentemperaturmessungen

6.3.1. FREUND (1969 und 1972)

FREUND gibt in seinen Arbeiten Daten zu Bodentemperaturen in Mittelbünden. Seine Messstellen lagen auf der Lenzerheide (1470 m/M) und auf dem Totälpli (Parpanerthorn, 2810 m/M). Die Messstelle auf der Lenzerheide befand sich unter einer Fettwiese auf einem Schuttkegel. Die zweite Messstelle lag auf einem Erdstreifenfeld ohne Vegetation, in Süd - Exposition. Sie weist im Winter eine verglichen mit der Umgebung überdurchschnittliche Schneebedeckung von 2 bis 3 m auf.

Als Messinstrumente verwendete FREUND zwei "Siemens" - Anlagen (s. p. 27): Auf der Lenzerheide bis in eine Tiefe von 60 cm, auf dem Totälpli bis in 120 cm. Da ihm keine Thermographen zur Verfügung standen, erfolgte die Ablesung der Temperaturen auf der Lenzerheide einmal pro Tag, auf dem Totälpli dagegen nur einmal pro Monat.

Wie aus diesen Angaben hervorgeht, sind die ermittelten Werte nicht direkt mit denen von mir am Munt Buffalora gemessenen vergleichbar. Die aus den Messreihen gezogenen Schlüsse sind jedoch durchaus auch für andere Messorte gültig:

- Die Temperaturen im Boden werden von der Sonnenstrahlung gesteuert und ausserdem noch leicht von der Erdwärme modifiziert. Die oberste Bodenschicht kann dadurch viel stärker erhitzt werden als die darüberliegende Luft.
- Zwei bis drei Tage nach dem Ausapern im Frühjahr beginnen die Temperaturen im Boden zu steigen, mit zunehmender Bodentiefe allerdings verzögert; das gilt sowohl für den Tagesgang als auch für den Jahresgang der Temperaturen.
- Obwohl eine geschlossene Vegetation auf den Wärmehaushalt des

Bodens ausgleichend wirkt, kann es innerhalb eines Tages noch in 10 cm Tiefe zu Temperaturstürzen von bis zu 4°C kommen.

- Die Bodentemperaturen zeigen allgemein viel geringere Amplituden als die Lufttemperaturen. Eine Wärme- oder Kältewelle wird demnach mit der Tiefe abgeschwächt und zeitlich verzögert.
- Beim Jahresgang der Temperatur lässt sich ein Sommertyp (Mai - Sept.) und ein Wintertyp (Okt. - April) unterscheiden: Der Sommertyp zeigt in Oberflächennähe höhere Temperaturen als in grösseren Bodentiefen; beim Wintertyp dagegen verläuft das Temperaturgefälle umgekehrt.
- Der gefrorene Boden (auf dem Totälpli) taute stets Mitte Juni auf, also rund $1\frac{1}{2}$ Monate vor der Ausaperung.
- Der Tagesgang der Temperatur war auf dem Totälpli bis in 30 cm Tiefe feststellbar.
- Der Isoliereffekt der Schneedecke (schlechte Temperaturleitfähigkeit und hohe Albedo des Schnees) war äusserst ausgeprägt. Auch scharfe Luftfröste vermochten den Boden auf der Lenzerheide nicht zum Gefrieren zu bringen. Der Tagesgang der Temperatur im Boden wird vollständig unterbunden. Auf dem Totälpli gefror der Boden zwar unter der Schneedecke, die extremen Temperaturen der Luft wurden aber nie erreicht.

6.3.2. ELSASSER (1966 und 1968)

ELSASSER gibt in seinen Arbeiten Angaben zum Frostverlauf in Strukturböden auf der Fuorcla da Fälller. Unter seinem Messfeld lag eine Dauerfrostbodenlinse, was bei einer Höhe von 2830 m/M durchaus möglich ist. Er mass die Temperaturen mit derselben "Siemens" - Anlage wie FREUND. Ausserdem ermittelte er die Tiefe der Permafrostoberfläche in Gräben. Es zeigte sich, dass die Oberfläche des Dauerfrostbodens im Verlauf des Sommers bis auf

50 - 60 cm Tiefe absinkt. Im Herbst gefror der Boden ausschliesslich von unten her wieder. Ein Eindringen des Frostes von der Oberfläche her beobachtete ELSASSER nicht.

Die folgenden zwei Arbeiten befassen sich nicht mit Bodentemperaturen, sondern im Zusammenhang mit der Frostverwitterung mit Temperaturmessungen im Fels. Da die Frostwechselhäufigkeit bei Gesteinsaufbereitung durch die Frostverwitterung, wie auch teilweise bei der Solifluktion (z.B. Kammeis), ausschlaggebend ist, liefern diese Arbeiten auch für meine Messungen wichtige Hinweise:

6.3.3. VORNDRAN (1969)

VORNDRAN stellte fest, dass Schutt fast ausschliesslich in den oberhalb der Schneegrenze aufragenden Wänden durch Frostsprengung entsteht. Zur Untersuchung der Frostwechselhäufigkeit an der Gesteinsoberfläche wurden am grossen Piz Buin (3312 m/M) und am Ostgipfel des Westlichen Gamshorns (2996 m/M) Thermographen aufgestellt - vier Geräte auf der Nordseite, fünf an den Südwänden. Die Messreihen ergaben für die Nordwände 30 % Frostwechseltage/Jahr, für die Südwände 37 %. Die Frostwechselhäufigkeit (Anzahl Frostwechsel/Beobachtungstag; es können auch mehrere Frostwechsel pro Tag auftreten) betrug dagegen für die Nordwände nur 0,44, für die Südwände aber 0,70, denn diese zeigten auch im Winter Frostwechsel. Es traten zwei Frostwechselmaxima im Herbst und im Frühjahr auf.

"Die Frostwechselhäufigkeit ist in allen Expositionen in der Luft grösser als auf den Gesteinsoberflächen, weil viele Unter- oder Ueberschreitungen des Gefrierpunktes in der Luft zu kurz andauern oder zu gering sind, um einen Frostwechsel auf der Gesteinsoberfläche zu bewirken. Das Verhältnis zwischen Frostwechselhäufigkeit in der Luft und Frostwechselhäufigkeit auf der Ge-

steinsoberfläche betrug im Beobachtungszeitraum in Nordexposition 0,85 : 0,46, in den Südwänden 0,86 : 0,69." (VORNDRAN 1969, p. 111)

6.3.4. MATHYS (1974)

MATHYS untersuchte die thermischen Vorgänge zwischen Atmosphäre und Lithosphäre am Jungfrauostgrat (3700 m/M): Die Oberflächentemperaturen des Felses können den vierfachen Wert der Lufttemperaturen erreichen. Das Eindringen der Wärme in den Fels wird stark abgeschwächt und verzögert. In 40 cm Tiefe betragen die Tagesamplituden an wolkenlosen Sommertagen kaum mehr 6°C, dagegen an der Oberfläche 44°C, wobei die Erwärmung in der Tiefe mit einer Verzögerung von 9 Stunden eintritt.

Die Unterschiede zwischen Süd- und Nordexposition sind enorm (S-Wand 196 Frostwechseltage, N-Wand 22 Frostwechseltage/Jahr). An der Südwand traten auch im Winter Frostwechsel auf. Die Ueberhitzung der Oberfläche hängt stark von der Farbe des Gesteins ab (verschiedene Albedo): Dunkle Oberflächen zeigten im Sommer Spitzenwerte von 43°C, helle dagegen nur solche von 33°C. Schichtung und Klüftung des Gesteins bilden Schwächezonen, an denen die Frostverwitterung besonders gut angreifen kann.

6.4. Resultate der Temperaturmessungen

6.4.1. Aufstellung der Messgeräte

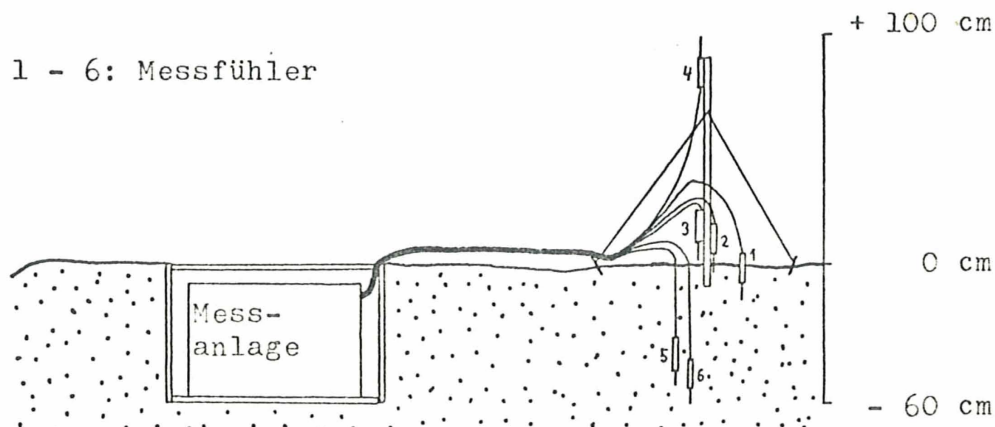
Die zwölf "Siemens" - Messfühler waren wie folgt vergraben:

Fühler:	Tiefe in cm:	Bei Messmarke:	
1	7	I/10	
2	70	I/12	
3	7	I/14	Erdstrom
4	7	I/15	
5	7	I/16	
6	7	I/17	Fliesserdedecke
7	7	III/19	
8	7	1,5 m hangaufwärts	
9	7	"	
10	7	"	Schutthalde
11	7	"	
12	7	"	

Die Temperaturen wurden während des Sommers am 28. und 30. Juli, und am 4., 14., 26. und 28. August gemessen. Ausserdem versuchte ich am 10. Oktober eine Nacht lang stündlich abzulesen. Wegen heftigen Schneefalls musste ich den Versuch jedoch morgens um 1³⁰ abbrechen.

Die Thermografenanlage stand auf dem Erdstrom II bei Punkt X/4:

Abb. 23: Aufstellung der Thermografenanlage.



6.4.2. Die Wärmeverteilung auf dem Erdstrom I
(Resultate der "Siemens" - Anlage)

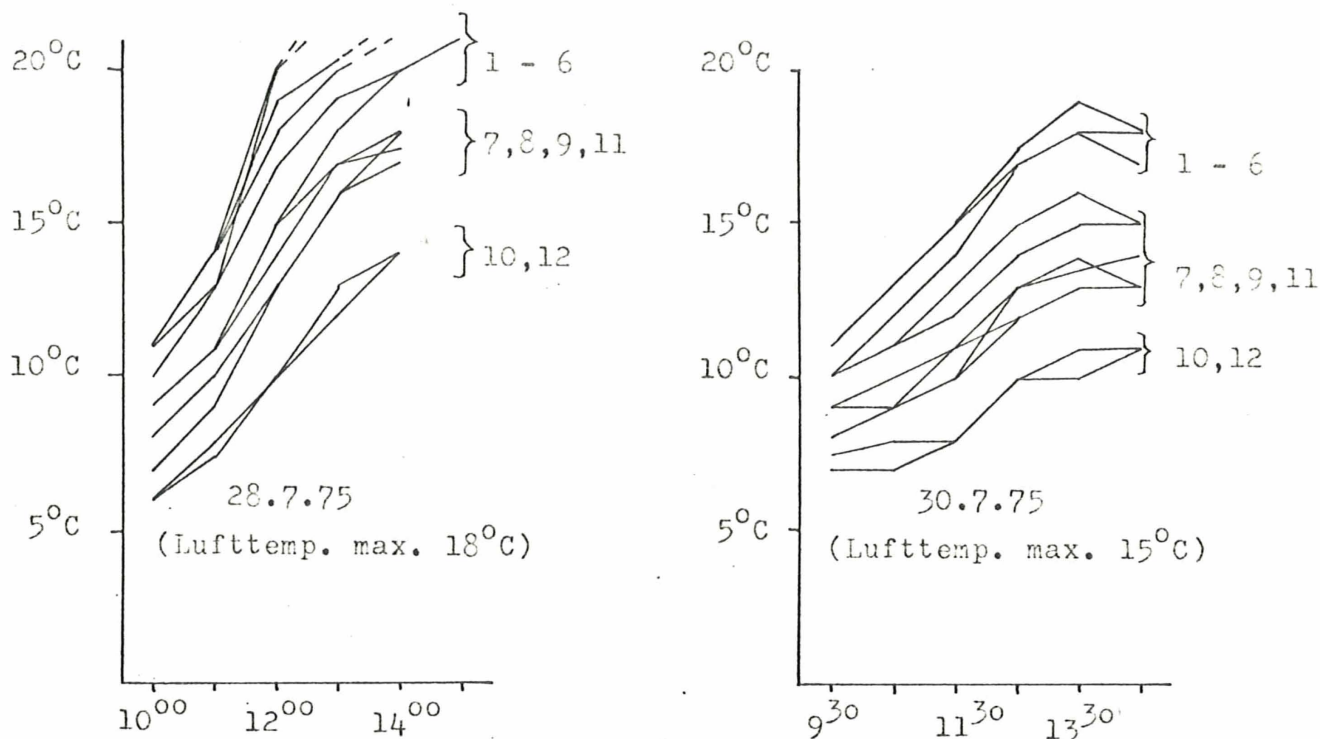


Abb. 24: Temperaturverlauf am 28. und 30. Juli 1975.

Die oberste 7 cm mächtige Erdschicht wird auf dem Erdstrom generell stärker erwärmt als die entsprechende Schicht auf der Schutthalde. Diese Differenz zeigte sich während des ganzen Sommers. Dies ist durch das Fehlen von Feinerde in der obersten Schicht der Schutthalde zu erklären: Die Sonnenstrahlung überhitzt die Bodenoberfläche des Erdstroms. Die bodennahe Luftschicht kann diese Wärme nur teilweise aufnehmen. Sie wird zum grössten Teil in den Boden weggeleitet. In der Schutthalde erwärmt sich die Oberfläche natürlich ebenso, durch die bessere Durchlüftung des Bodens (keine Feinerde) wird diese Wärme zu einem grösseren Teil von der bodennahen Luft aufgenommen und dient deshalb weniger zur Erwärmung des Bodens als im Erdstrom.

Die Temperaturunterschiede innerhalb des Erdstroms bzw. der Schutthalde sind auf Inhomogenität der obersten Bodenschicht, verschiedene Hangneigung und nicht exakt gleich tiefe Anordnung der Messfühler zurückzuführen.

6.4.3. Die Nachtmessung vom 11. Oktober 1975
("Siemens" - Anlage)

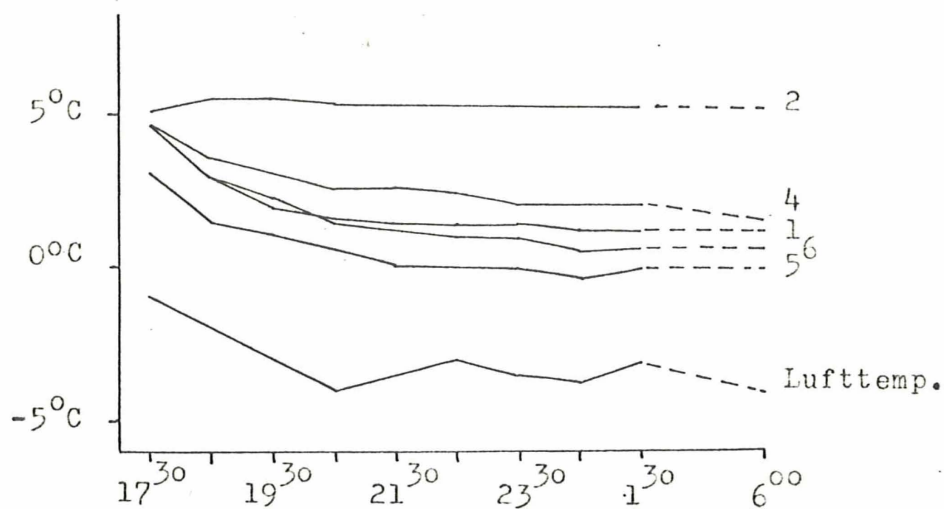


Abb. 25: Resultate der Messung vom 11. Oktober
(ab 1³⁰ bis 6⁰⁰ Uhr fielen 8 cm Schnee)

Die Ablesung der Temperaturen erfolgte stündlich. Die Lufttemperatur schwankte während der ganzen Nacht nur zwischen -4° und -5°C , nachdem sie sich von 18³⁰ bis 20³⁰ Uhr um 3°C abgekühlt hatte. Die Temperaturen im Boden fielen ebenfalls nur bis ca. 21³⁰ Uhr (Verzögerung gegenüber der Luft) und blieben den Rest der Nacht konstant. Die oberste Bodenschicht (1 - 2 cm) war bei Messbeginn bereits gefroren. Wie die Abb. 25 zeigt, vermochte der Boden nur bei Fühler 5 bis in 7 cm Tiefe zu gefrieren. Die Temperatur in 70 cm Tiefe blieb gänzlich unbeeinflusst vom

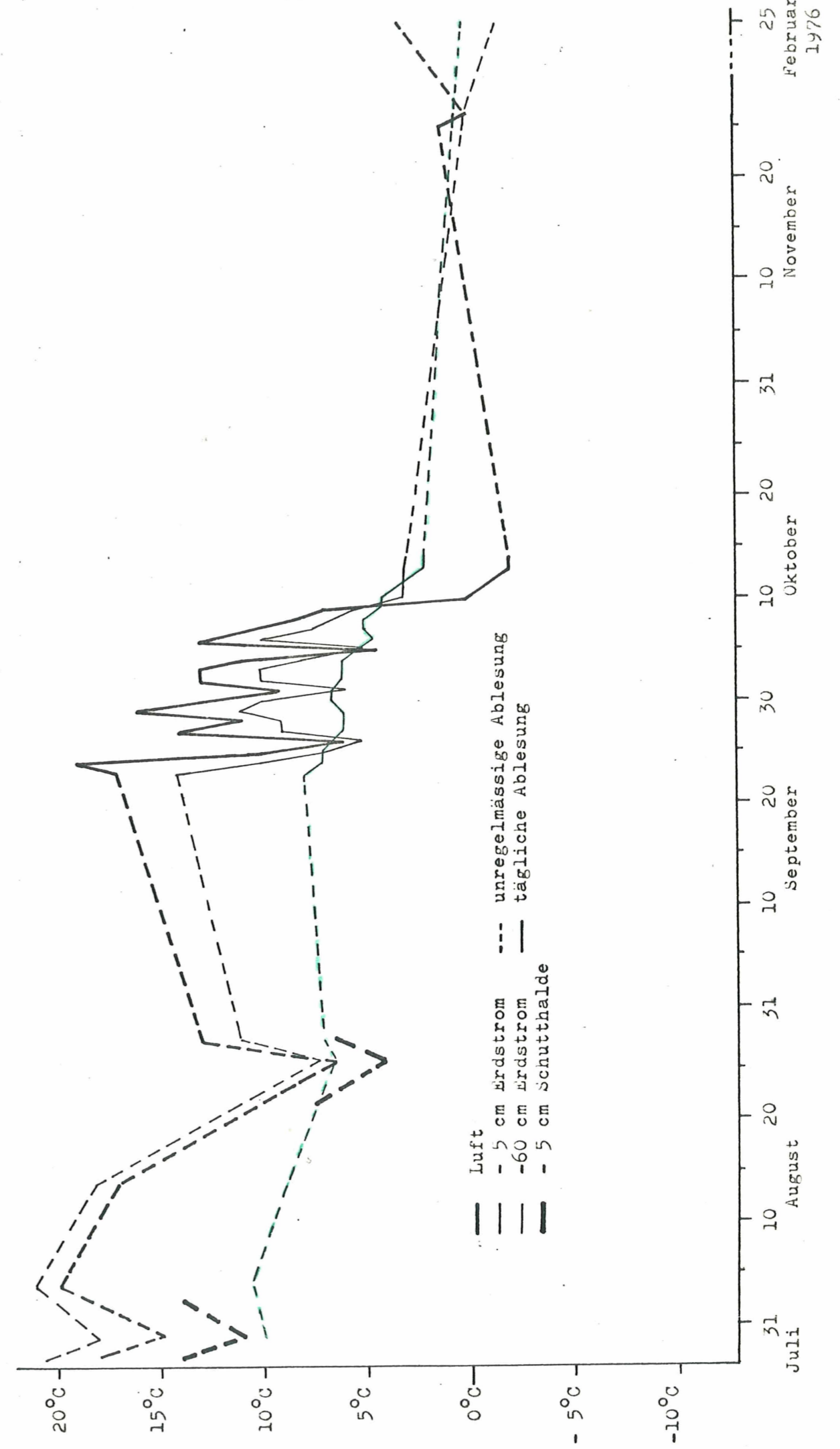
Temperaturverlauf in den oberen Bodenschichten. Das kleine Temperaturmaximum (Fühler 5) zwischen 18³⁰ und 19³⁰ Uhr kommt von der Erwärmung des Bodens tagsüber. Ob aber hier eine Verzögerung von 6 oder 30 Stunden gegenüber dem Temperaturmaximum an der Luft vorliegt, lässt sich nicht feststellen.

Diese Nachtmessung zeigt, dass auch bei Temperaturen von - 4°C der Boden nicht tiefgreifend gefriert.

6.4.4. Der Temperaturverlauf während des Jahres
(s. Abb. 26, p. 55)

In dieser Darstellung sind die Tagesmaximaltemperaturen der Luft, der obersten 10 cm des Bodens (Erdstrom und - soweit vorhanden - Schutthalde) und des Bodens in 70 cm Tiefe eingetragen. Deutlich zeigt sich wie während des Sommers die Temperaturen der obersten Bodenschicht mit der jeweiligen Lufttemperatur eng zusammenhängen. Im Winter (Messungen im November und Februar) isoliert die Schneedecke (vgl. FREUND 1972, p. 82), die den gefrorenen Boden gegen die täglichen Temperaturschwankungen (teilweise auch Frostwechsel) abschirmt. Die grüne Kurve, die den Temperaturverlauf in 70 cm Tiefe wiedergibt, zeigt nur geringe Schwankungen, die von den täglichen Wärmewellen hervorgerufen werden. Hingegen dominiert die jahreszeitlich bedingte Abkühlung des Bodens. Der Wechsel vom Sommertyp der Wärmeverteilung im Boden zum Wintertyp (vgl. FREUND 1972, p. 84) findet etwa in der Zeit vom 10. Oktober bis zum 25. November statt. Die Isolationswirkung der Schneedecke ist bereits erwähnt worden, doch darf man sie nicht überschätzen: Das Gefrieren des Bodens kann sie nicht verhindern.

Abb. 26: Der Temperaturverlauf während des Jahres (Juli bis November 1975 und Februar 1976).



6.5. Die täglichen Temperaturschwankungen während der herbstlichen Regelationsperiode

(Resultate der Thermografen-Messanlage)

Da der Thermograf ab Oktober nicht mehr funktionierte, besitze ich nur von 24 Tagen Messwerte. Die genaue Analyse dieser kurzen Messreihe ist aber besonders interessant, da die Daten genau die herbstliche Regelationsperiode von Ende September bis zum Einschneien am 11. Oktober umfassen.

6.5.1. Zur Darstellung

Da reine Zahlenreihen nicht besonders anschaulich sind, wählte ich drei sich ergänzende Temperaturdarstellungen (nach GEIGER 1961, p. 59, 60):

Isothermendarstellung (Abb. 27, 28, 29):

Diese Darstellungsart (x-Achse = Zeit; y-Achse = Bodentiefe) erlaubt den zeitlichen Ablauf von Erwärmung und Abkühlung in den verschiedenen Boden- und Luftschichten klar darzustellen. GEIGER (1961, p. 59) schreibt dazu: "Das Rechtsdrängen der Isothermen mit der Tiefe lässt die Verzögerung der Eintrittszeit der Temperaturextreme mit der Tiefe erkennen. Die Kreuzkurven verbinden die Punkte der höchsten bzw. tiefsten Temperatur in den verschiedenen Tiefen und lassen in dieser Darstellungsweise die Verzögerung besonders deutlich werden. Bei ideal homogenem Boden sind sie gerade Linien."

Beim Zeichnen dieser Darstellung ging ich wie beim Erstellen einer Höhenkurvenkarte vor, wobei ich zwischen den einzelnen Messpunkten linear interpolierte. Dieses Vorgehen entspricht besonders beim Uebergang Boden/Luft und beim Sprung von der bodennahen Luftschicht in einen Meter über der Bodenoberfläche

nicht der Wirklichkeit.

Nach Farben abgestufte Temperaturkurven wirken optisch besser und sagen unmittelbar mehr aus als bloss beschriftete Isothermen. Der Gegensatz ruhiger Temperaturverlauf im Boden - Wechsel von kalt und warm in der Luft wird besonders eindrücklich.

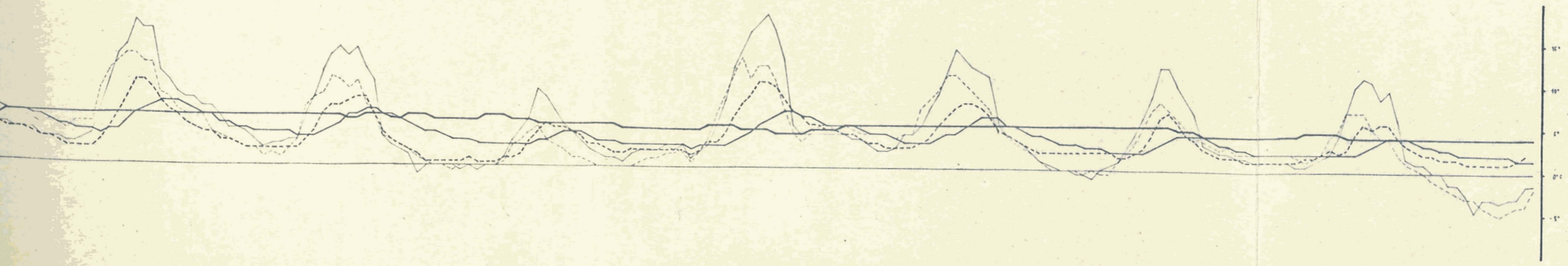
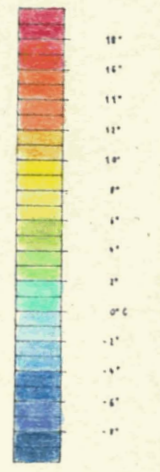
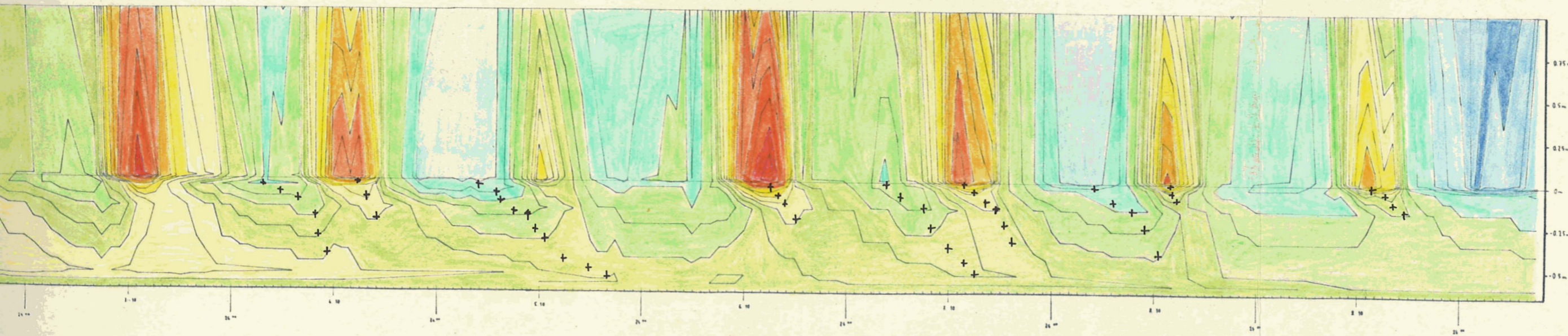
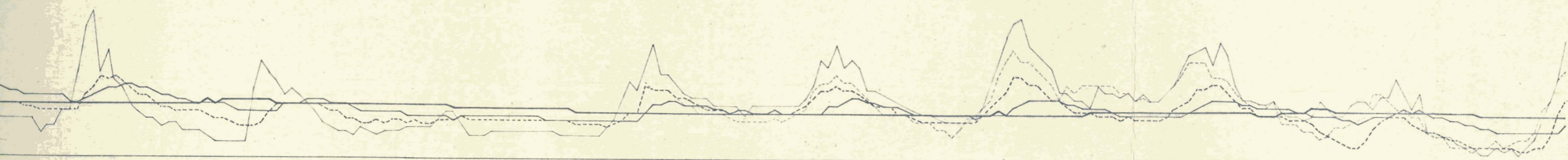
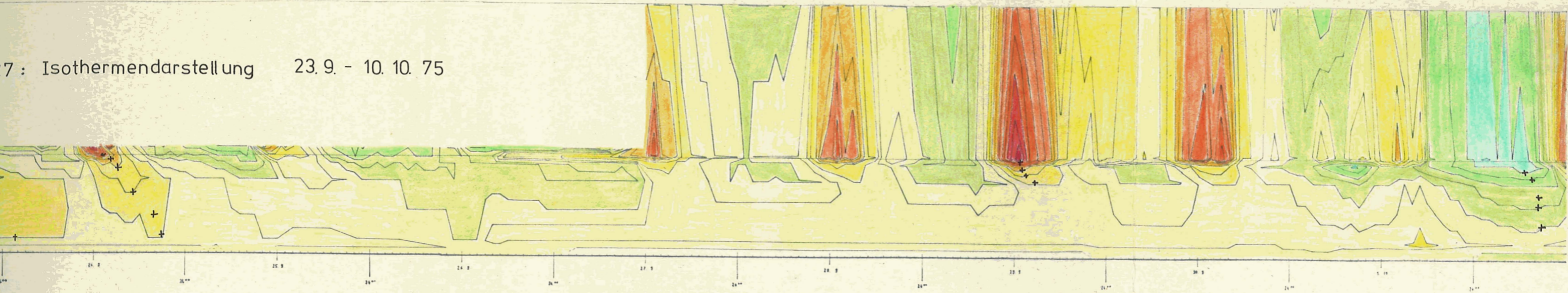
Temperaturkurven (Abb. 27, 28, 29):

Diese Kurven machen den Temperaturverlauf an den einzelnen Messfühlern (Tagesamplituden u.ä.) sichtbar. Ausserdem können aus dieser Darstellung die Werte exakt herausgelesen werden.

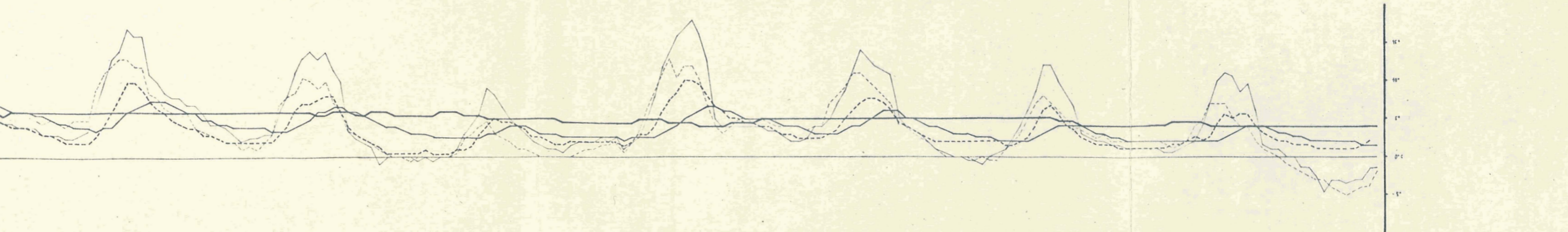
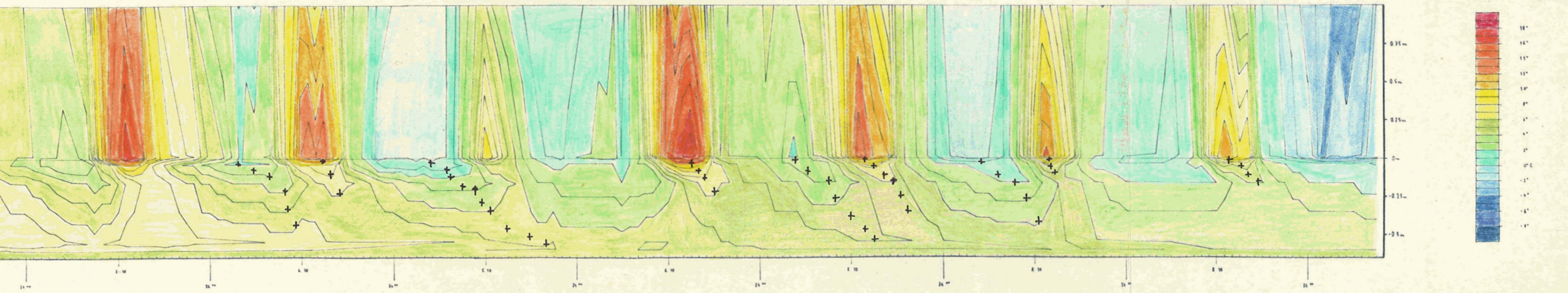
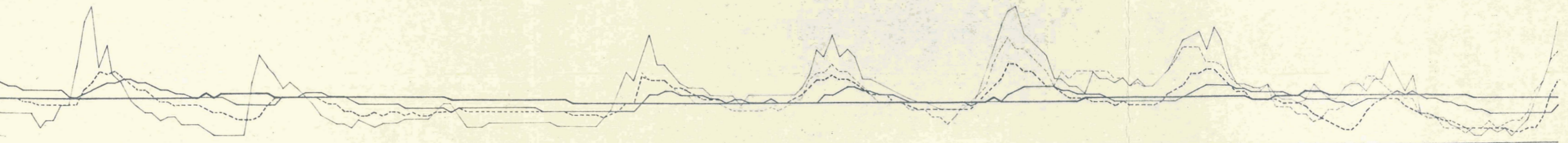
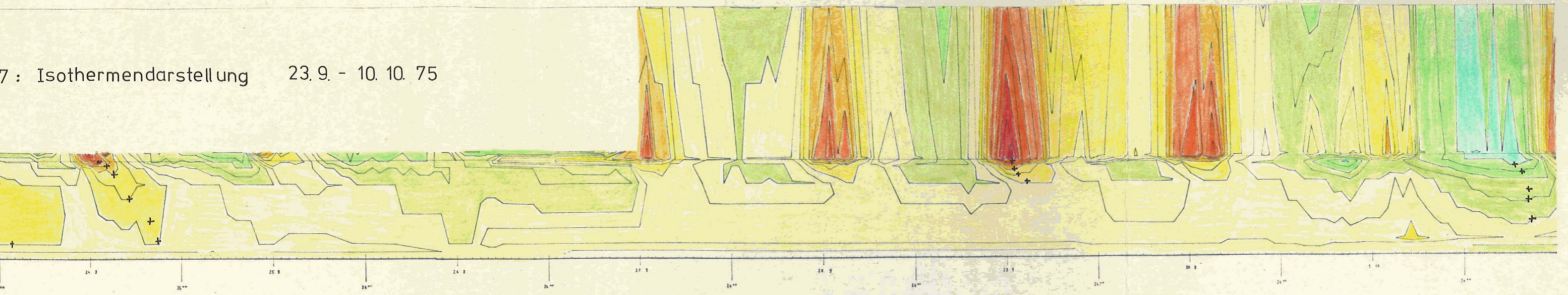
Tautochronendarstellung (Abb. 30):

Bei dieser Darstellung werden die Temperaturen auf der Abszisse (x), die Bodentiefen auf der Ordinate (y) aufgetragen. Diese Darstellungsweise eignet sich besonders für die Wiedergabe des Temperaturverlaufs einzelner Tage.

7: Isothermendarstellung 23.9. - 10.10.75



7: Isothermendarstellung 23.9. - 10.10.75



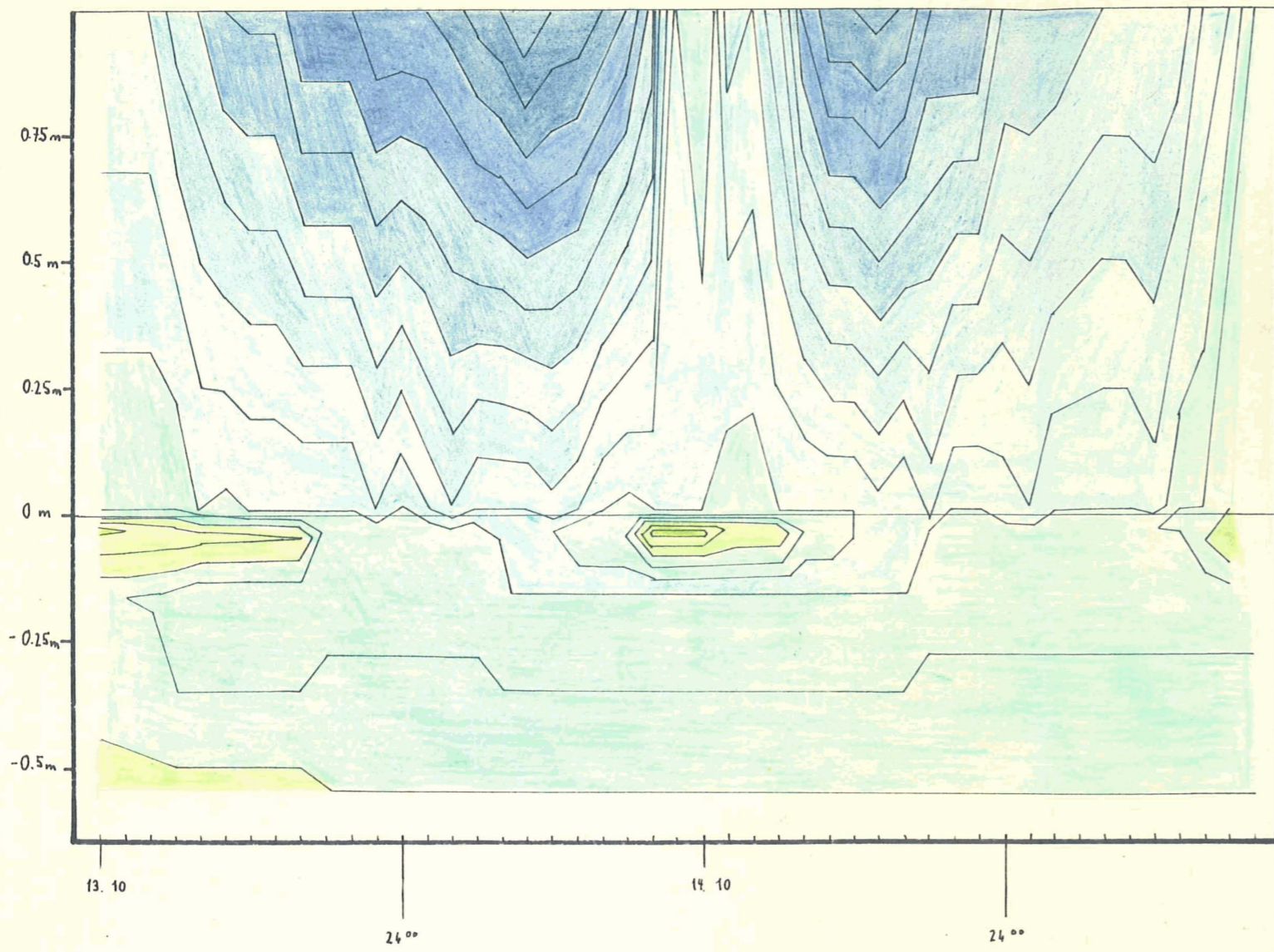


Abb. 28: Isothermendarstellung 13.10. - 14.10.75

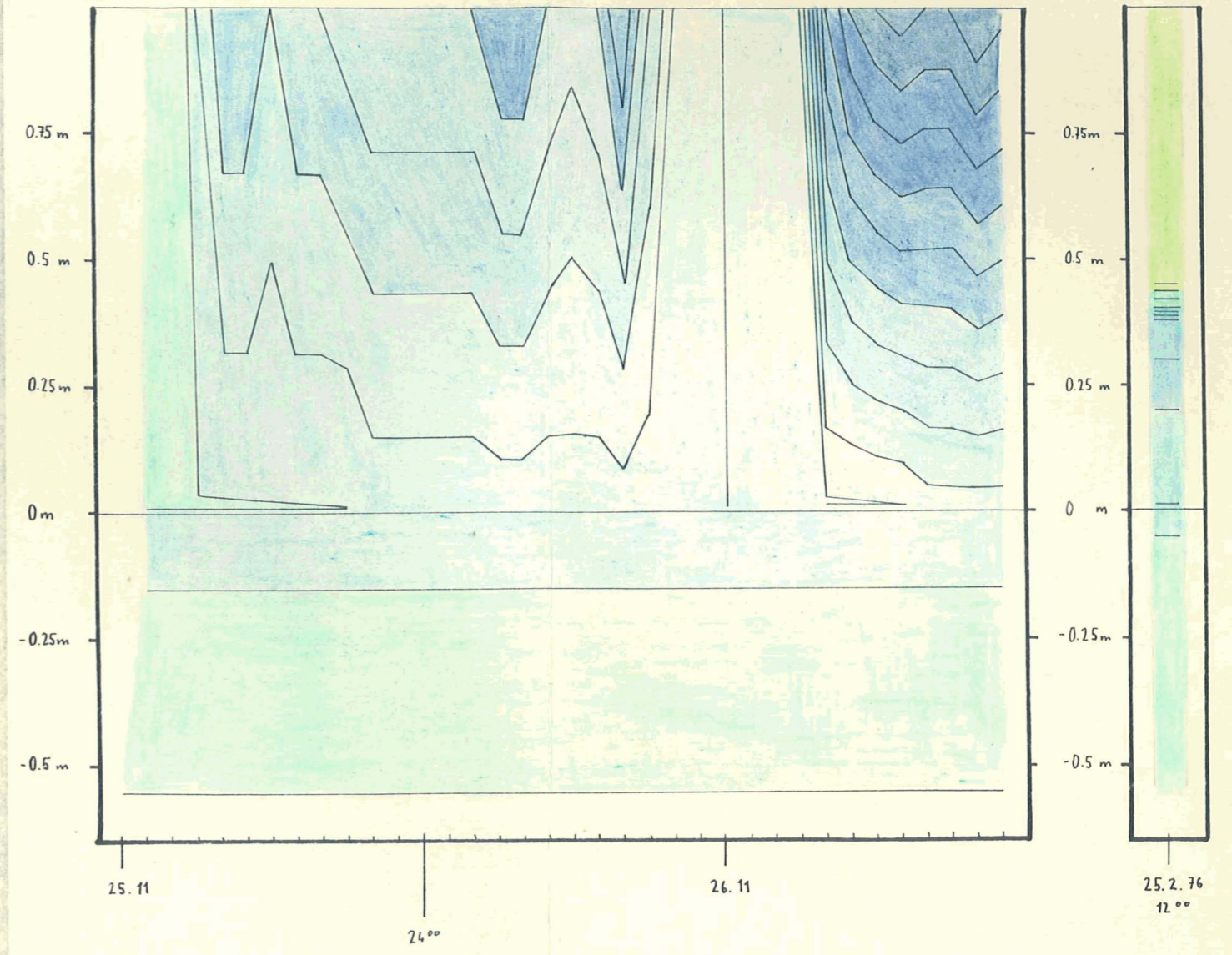
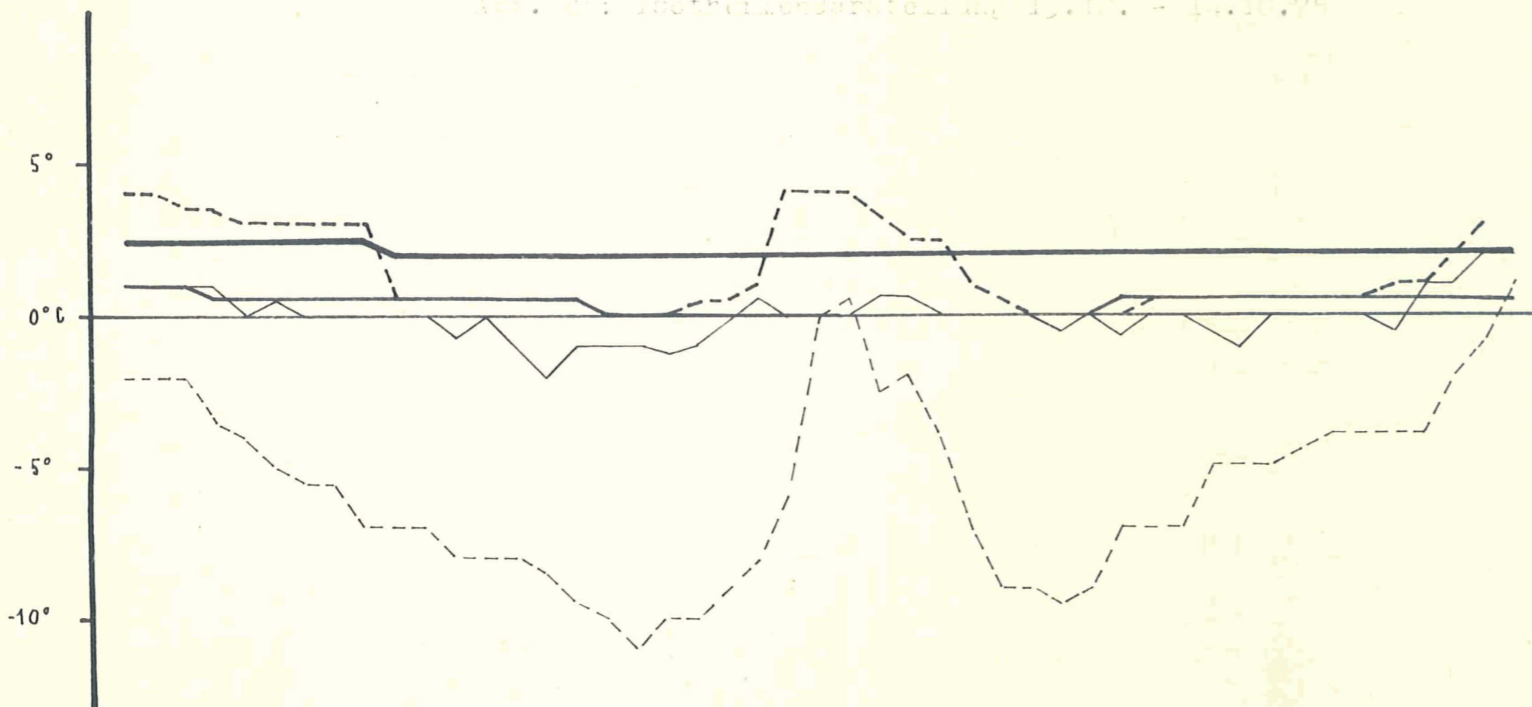
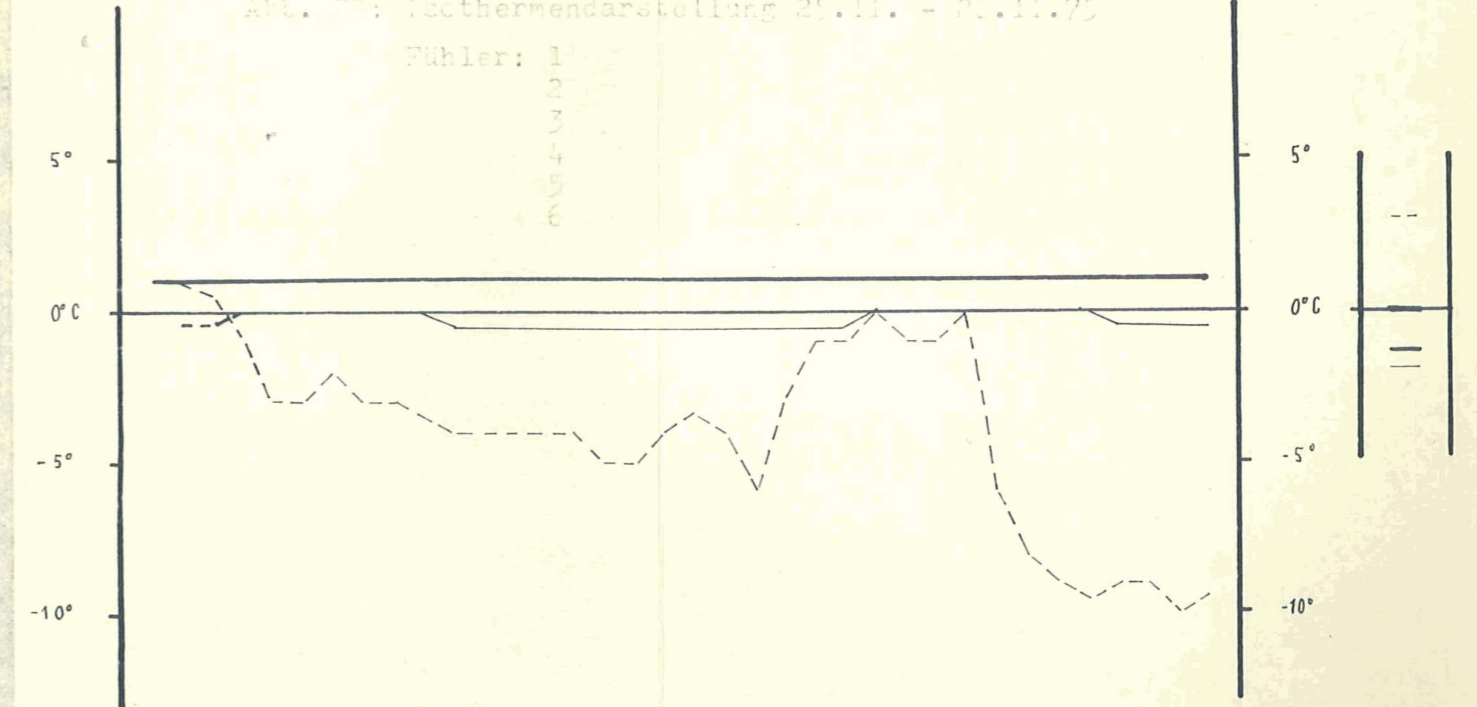


Abb. 29: Isothermendarstellung 25.11. - 26.11.75



Fühler: 1
2
3
4
5
6

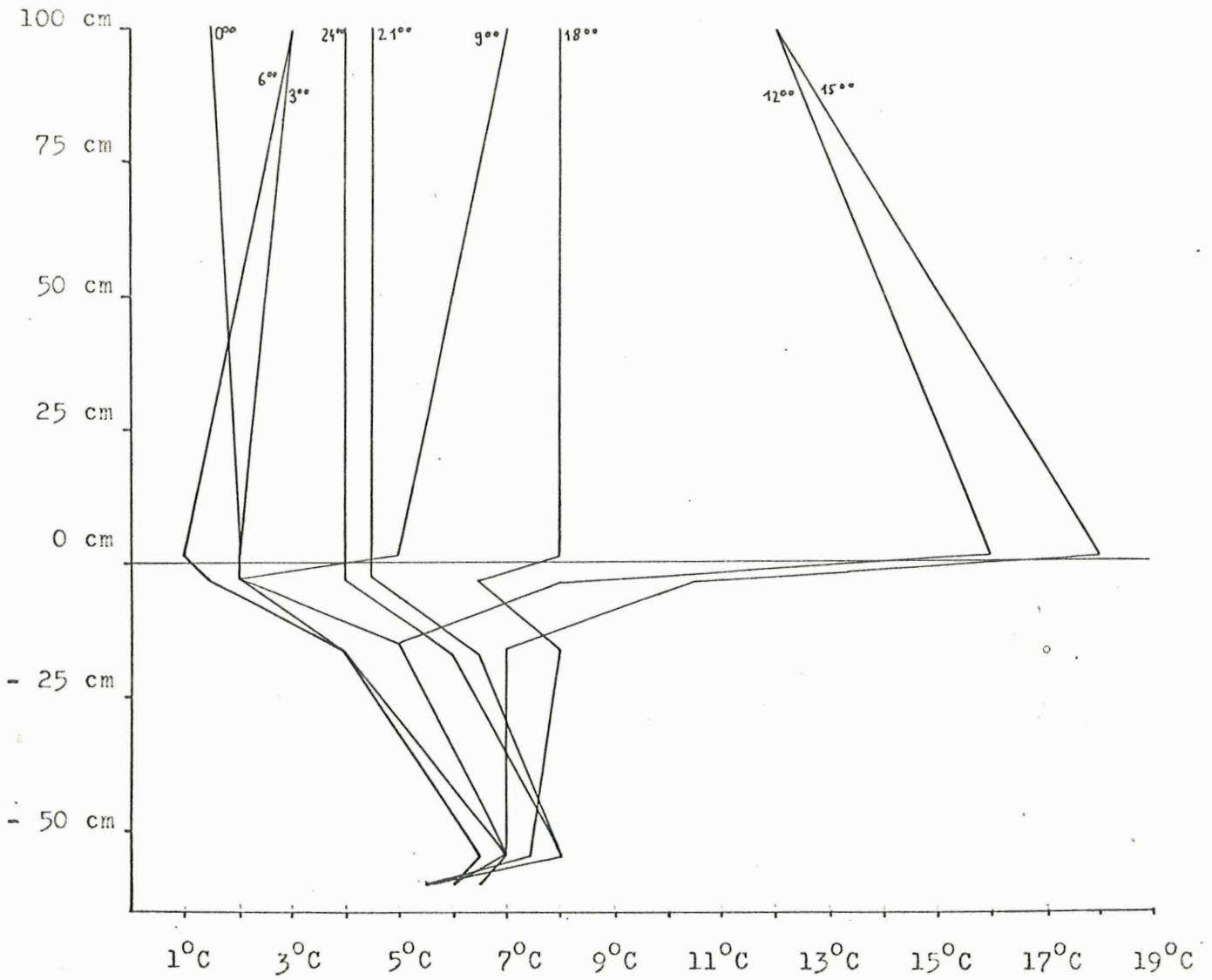


Abb. 30: Tautochronendarstellung der Temperaturdaten des 2. Oktober 1975 (0⁰⁰ bis 24⁰⁰).

6.5.3. Diskussion der Resultate

Lufttemperaturen:

- Während des Tages wird die Bodenoberfläche am stärksten durch die Sonnenstrahlung aufgeheizt (vgl. MATHYS, sowie Tautochronendarstellung des 2. 10. 75). Diese Wärme gibt die Oberfläche an den Boden und, die bodennahe Luftschicht ab (s. GEIGER, p. 14).
- In der Nacht kühlt sich diese Luftschicht und die oberste Bodenschicht wegen Wärmeentzug durch die Erdoberfläche stärker ab als die höheren Luft- und die tieferen Bodenschichten. Diese Ausstrahlungsabkühlung funktioniert nur in klaren, windstillen Nächten (z.B. Nacht vom 2. auf den 3. Oktober; s. GEIGER, p. 14). Fällt die Temperatur zusätzlich advektiv, d.h. durch Zufuhr von Kaltluft (Kaltfront), kühlt sich die Luft als Ganzes viel stärker ab als durch die reine Wärmeausstrahlung der Erdoberfläche. Auch im Boden setzt sich dann diese Abkühlung durch (z.B. Nacht vom 30. Sept. auf den 1. Okt. 1975).
- Der stärkste Temperaturanstieg bzw. -abfall fällt mit dem Beginn bzw. Ende der direkten Sonnenbestrahlung der Messstelle zusammen (s. Temperatursprung in der Tautochronendarstellung von 9⁰⁰ bis 12⁰⁰ Uhr).
- Nach dem ersten Schneefall vermögen die Tagesschwankungen der Lufttemperatur nur noch abgeschwächt bis an den Boden vorzudringen (s. Isothermendarstellung vom 13. bis 15. Oktober). Der Fühler in + 1 cm Höhe liefert von da an nicht mehr Luft- sondern Schneetemperaturen.
- Schönwettertage zeigen sich durch höhere Tagesmaximaltemperaturen; Schlechtwettertage bringen dagegen nur eine geringe Erwärmung der Luft. Auch ist die Ueberhitzung der bodennahen Luftschicht nur unbedeutend oder überhaupt nicht vorhanden. An Schönwettertagen zeigen sich auf den Thermografenmessstreifen bei den beiden Messfühlern an der Luft Temperatursprünge von mehreren Graden innerhalb der Ablesezeit von 2-3 Minuten. Diese

Sprünge sind auf Wärmetransport durch Konvektionsaustausch der Luft zurückzuführen (s. GEIGER, p. 39 ff.).

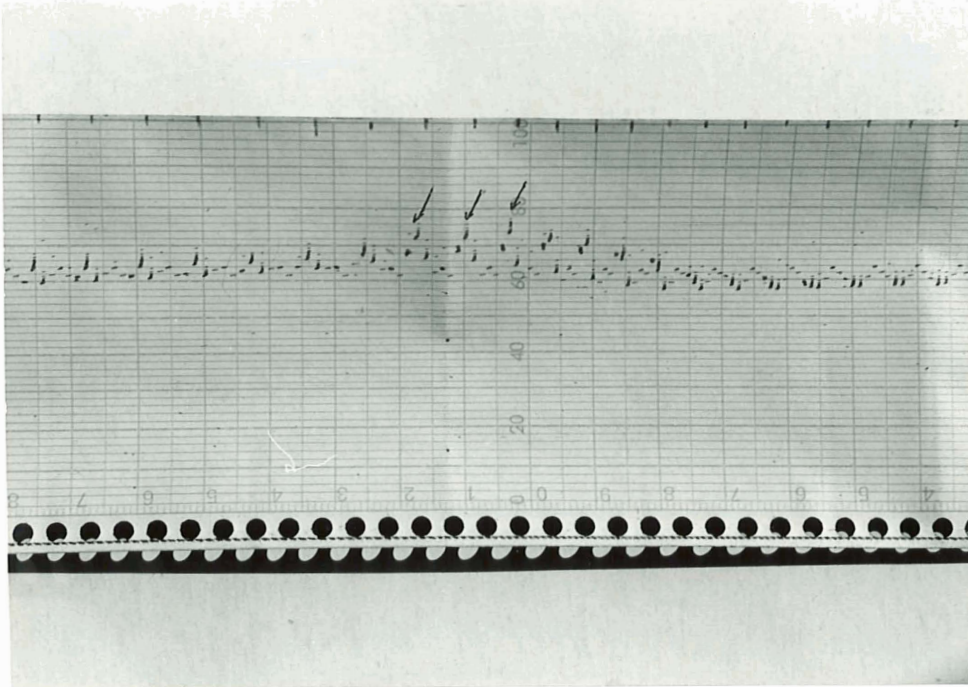


Abb. 31: Photo eines Messstreifens mit Temperatursprüngen.

Bodentemperaturen:

- Die täglichen Temperaturschwankungen werden nach unten immer schwächer (s. FREUND und MATHYS). Temperatursprünge von 4°C und mehr in 10 cm Bodentiefe, welche von FREUND als aussergewöhnlich angesehen wurden, erscheinen als durchaus normal. Für die herbstliche Regulationsperiode ergaben sich die folgenden Temperatursprünge innerhalb von 12 Stunden:

Durchschnittliche Temperatur- sprünge (23. 9. - 10. 10. 75):		Maximal:	Minimal:
+ 100 cm	8 $^{\circ}\text{C}$	13 $^{\circ}\text{C}$	2 $^{\circ}\text{C}$
+ 1 cm	11,9 $^{\circ}\text{C}$	8,5 $^{\circ}\text{C}$	3 $^{\circ}\text{C}$
- 3 cm	5,4 $^{\circ}\text{C}$	9 $^{\circ}\text{C}$	1 $^{\circ}\text{C}$
- 16 cm	2,7 $^{\circ}\text{C}$	5 $^{\circ}\text{C}$	0,5 $^{\circ}\text{C}$
- 60 cm	0,8 $^{\circ}\text{C}$	2 $^{\circ}\text{C}$	0 $^{\circ}\text{C}$

- Die Verzögerung, mit der das Tages- bzw. Nachtmaximum in den verschiedenen Bodentiefen erreicht wurde, beträgt (vgl. FREUND und MATHYS):

Bodentiefe:	Verzögerung:
- 3 cm	0 - 1 Stunde
- 16 cm	2 - 3 Stunden
- 60 cm	16 - 24 Stunden

- Bodentemperaturen unter Null wurden erst registriert, nachdem Schnee gefallen war. Da sich die Oberflächenschicht noch stärker abkühlt als der Boden in 3 cm Tiefe (Fühler 2), muss in Nächten mit Lufttemperaturen unter 0°C mit Eisbildungen zuoberst im Boden gerechnet werden (s. Nachtmessung vom 10. 10. 75, p. 53). Ausserdem tritt Kammeis bereits bei Bodentemperaturen über 0°C auf (vgl. FURRER 1954, p. 220).
- In 60 cm Tiefe sind die Tagesschwankungen nur noch minim. Die jahreszeitlich bedingte Abkühlung (von 8°C am 23. Sept. 75 auf 0°C am 25. Feb. 76) dominiert.
- Beim ersten Schneefall am 10. Oktober war der Boden nur bis in ca. 1 cm Tiefe gefroren. Innert 2-3 Tagen gefror er bis in mindestens 16 cm Tiefe. Wobei beachtet werden muss, dass der Boden, "wo Wasser hauptsächlich kapillar auftritt, dieses Unterkühlung (um 1 bis 5°C) benötigt, um zu gefrieren." (FURRER 1954, p. 222).
- An der Messstelle in 3 cm Tiefe wird der Boden tagsüber unter dem Schnee noch maximal 4°C warm, obwohl der Fühler im Schnee 0°C zeigt. Ich erkläre mir dies dadurch, dass Schmelzwasser in den Boden eindrang und diesen erwärmte.
- Die gekreuzten Linien in der Isothermendarstellung (s. p. 58) zeigen gegen unten ein Abbiegen nach rechts. Die Temperaturleitfähigkeit des Bodens nimmt also mit der Tiefe ab (s. GEIGER, p. 32 ff.). Dies könnte unter anderem auf eine Feuchtigkeitszunahme in den tieferen Bodenschichten zurückzuführen sein.
- Die Temperaturleitfähigkeit des Bodens lässt sich, allerdings nur näherungsweise, aus der Verzögerung der Temperaturwellen

im Boden berechnen. Die Temperaturleitfähigkeit liegt etwa bei $0,008 \text{ cm}^2 \text{ sec}^{-1}$. Das würde etwa derjenigen von nassem Sand oder Lehm entsprechen (s. GEIGER, p. 33).

- Die Isothermendarstellungen zeigen eindrücklich, wie die Tageswärme am 23. September das Temperaturgeschehen im Boden dominiert, und wie diese Dominanz bis zum 10. Oktober allmählich ganz auf die Nachtkälte übergeht. Dieser Vorgang entspricht dem Wechsel vom "Sommertyp" der Wärmeverteilung im Boden zum "Wintertyp" (nach FREUND 1972, p. 84).

6.6. Vergleich meiner Temperatur-Messreihen mit den Temperatur- daten der Klimastationen Buffalora (Ofenpass) und Bernina Hospiz

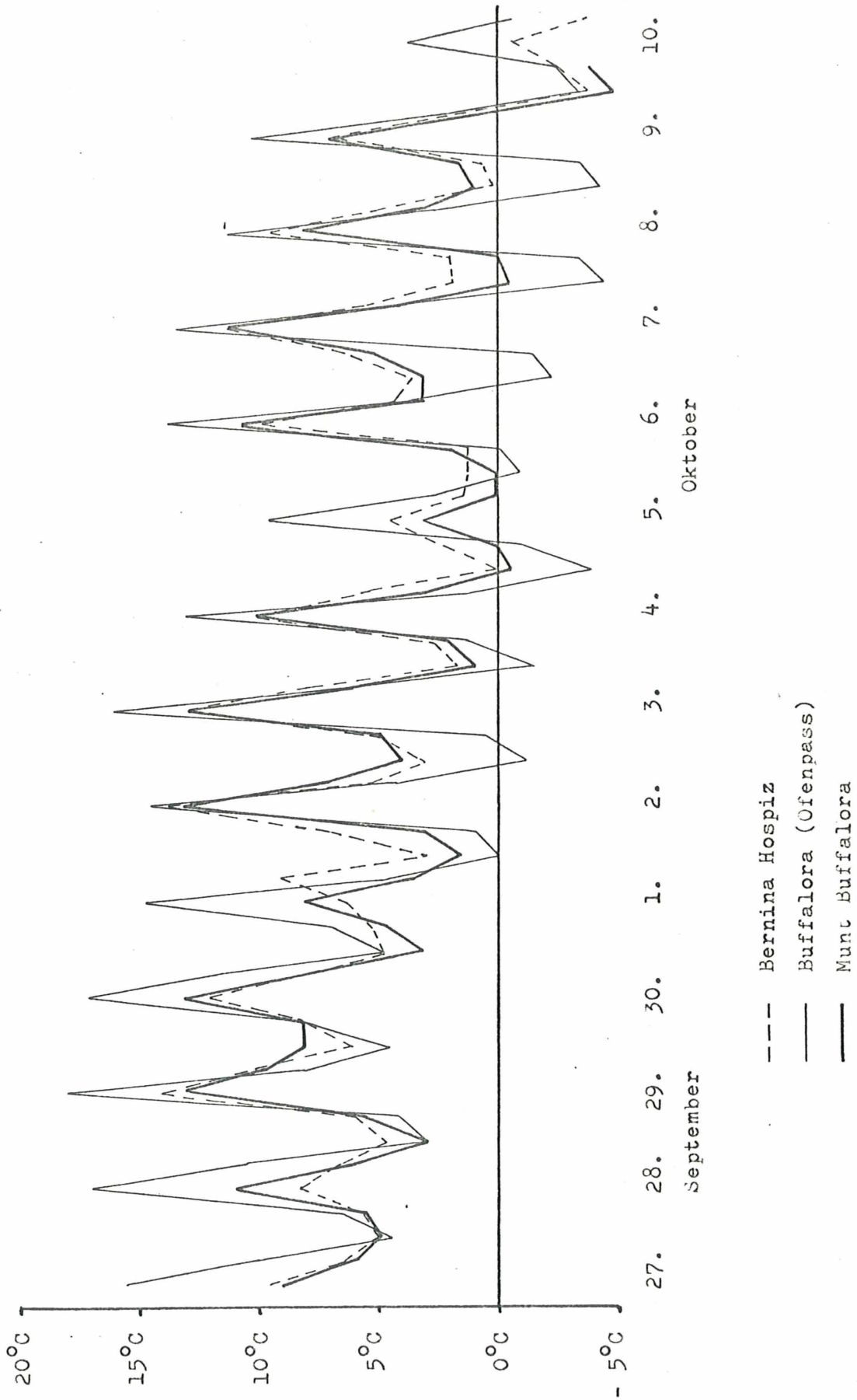
Da ich nur durchgehende Messungen aus den Monaten September und Oktober besitze, möchte ich durch einen Vergleich meiner Daten mit den Messwerten von Buffalora und Bernina Hospiz feststellen, welche der beiden Stationen sich zur Ergänzung meiner Messreihen eignet.

Abbildung 32 (p. 67) zeigt, dass die Station Bernina die eher vergleichbaren Daten liefert: Die Station Bernina und meine Messanlage liegen nur etwa 100 Höhenmeter auseinander; Bernina 2256 m/M, Buffalora 1968 m/M, Munt Buffalora 2370 m/M; ausserdem bildet sich im Talkessel von Buffalora beinahe jede Nacht ein Kaltluftsee, der dazu führt, dass die Nachtminima von Buffalora wegen der Temperaturinversion nicht mit den Daten von Munt Buffalora verglichen werden können. Beim Bernina Hospiz besteht diese Komplikation nicht - diese Station liegt auf einer Passhöhe, wie meine Messanlage.

Um eine Angabe über die Frostwechselhäufigkeit^{*)}, die am Munt Buffalora zu erwarten ist, zu erhalten, benutzte ich die Temperaturdaten der Station Bernina. Da der Höhenunterschied ca. 100 m beträgt, erniedrigte ich sämtliche Temperaturwerte um $0,6^{\circ}\text{C}$ (dies entspricht dem klimatischen Temperaturgradienten). Dabei muss beachtet werden, dass es sich um die Frostwechselhäufigkeit in 2 m Höhe über dem Boden handelt. Nach VORNDRAN 1969 (p. 62) wären demnach nur etwa 80 % dieser Frostwechsel auch im Boden wirksam.

*) Unter Frostwechsel versteht man einen Durchgang der Temperatur durch den Nullpunkt, gleichgültig ob der Wechsel von positiven zu negativen Temperaturen oder umgekehrt stattfindet (GEIGER 1961, p. 106).

Abb. 32: Vergleich der Temperaturdaten der Klimastationen Buffalora und Bernina Hospiz mit den Daten der Thermografenanlage (27. September bis 10. Oktober 1975).



Wingetragen in der Darstellung sind jeweils die Ablesungen um 7⁵⁰, 13³⁰, 19³⁰ und das Nachtminimum.

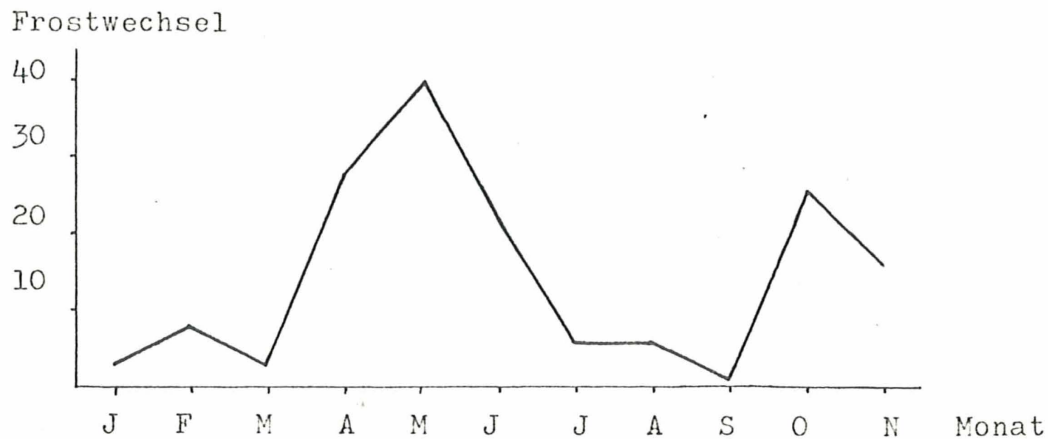


Abb. 33: Monatliche Anzahl Frostwechsel (Daten der Klimastation Bernina Hospiz, umgerechnet auf Munt Buffalora).

Diese Darstellung ist nur als grobe Näherung für die Verhältnisse am Munt Buffalora zu verstehen. Die Zahlen zeigen, dass zwei Frostwechselmaxima auftreten: Einerseits in den Monaten April bis Juni, andererseits im Oktober und November. Dies entspricht durchaus dem normalen Temperaturgang in dieser Höhe (vgl. VORNDRAN 1969, p. 57).

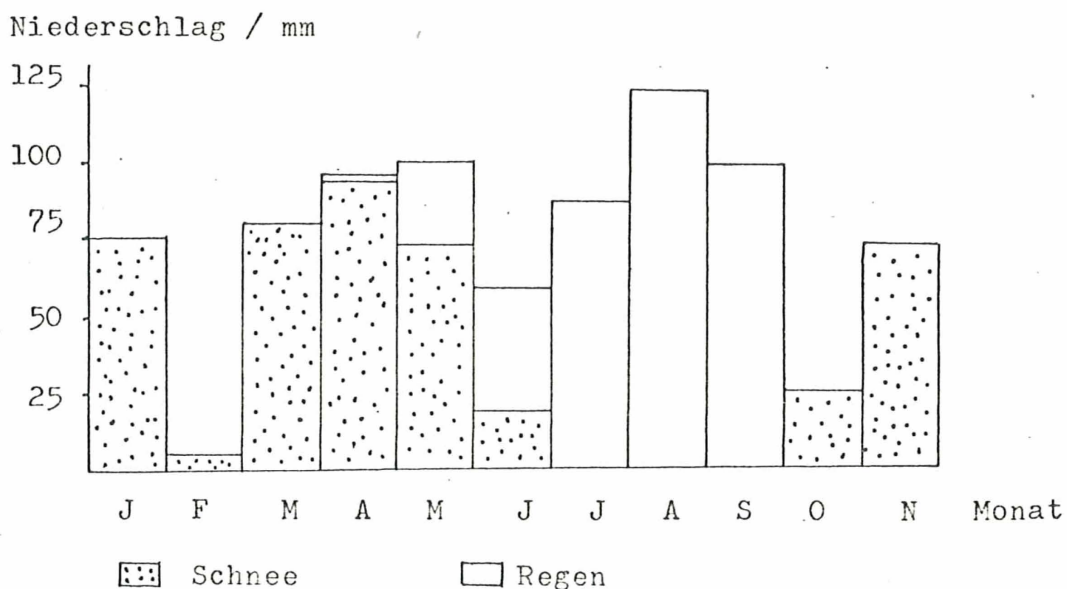


Abb. 34: Monatliche Niederschlagsmengen 1975 (Daten der Klimastation Buffalora (Ofenpass)).

Vergleicht man die Frostwechselhäufigkeit mit der Niederschlagsverteilung während des Jahres, so zeigt es sich, dass die herbstliche Regelationsperiode in ein Niederschlagsminimum fällt. Der Niederschlag fällt bereits als Schnee; dieser schmilzt nur noch teilweise im Herbst und kann deshalb nichts zur Solifluktion beitragen. Die Frostwechselperiode im Frühsommer fällt mit der Schneeschmelze und relativ hohen Niederschlägen zusammen.

6.7. Die Schneebedeckung des Untersuchungsgebietes (Winter 75/76)

Im Winter begab ich mich bisher fünfmal ins Untersuchungsgebiet (Feb., Nov., Dez. 1975 und Feb. 1976). Die Schneedecke war im Winter 75/76 auf den Erdströmen nie mächtiger als 30 cm (gemessen bei Punkt X/4, s. p. 10). Zwischen den Erdströmen lag bedeutend mehr Schnee, schätzungsweise 80-100 cm. Der Wind verfrachtete den Schnee und egalisierte so alle Unebenheiten des Hanges. Im Einzugsgebiet der Solifluktiionsdecken war der Schnee jeweils beinahe vollständig weggeblasen.



Abb. 35: Munt Buffalora am
31.10.75



Abb. 36: Messfeld am 21.12.75
(Im Vordergrund Messfühler
der Thermografenanlage).



Abb. 37: Der Höhenzug des Munt Buffalora im Februar 1975. Im Einzugsgebiet der Erdströme ist die Schneedecke nur sehr dünn oder sie fehlt ganz.



Abb. 38: Kuppe des Munt Chavagels im Februar 1975. Auch hier ist die Schneebedeckung im Einzugsgebiet der Erdströme nur gering.

7. Schlussbemerkungen

Diese Zusammenfassung soll als Arbeitshypothese verstanden werden. Die dabei von mir gezogenen Schlüsse beruhen noch auf sehr wenigen Daten und sind deshalb provisorisch:

- Der Boden gefror erst bis in grössere Tiefen beim ersten Schneefall im Herbst. Ob es sich hier um einen Zufall handelte, wird sich erst nach einigen Messjahren zeigen. Allerdings stellte auch ELSASSER fest, dass der Boden im Herbst nicht von oben her gefriert.
- Im Verlaufe des Winters gefriert der Boden mindestens 60 cm tief (Messung vom 25. Februar 1976). Die Bodengefrorenis scheint nur sehr langsam bis in diese Tiefe zu dringen (am 25. November betrug die Temperatur in 60 cm Tiefe noch $+1^{\circ}\text{C}$).
- Wie Beobachtungen am 25. Februar 1976 ergaben, kann die oberste Bodenschicht an Tagen mit Lufttemperaturen über 0°C auch im Winter auftauen.



Abb. 39: Einzugsgebiet des Erdstroms II mit kleinen schneefreien Partien.

- Weil der Boden nur langsam bis in grössere Tiefen gefriert, besteht die Möglichkeit, dass er auch entsprechend langsam wieder auftaut. Dabei wird der Boden in der Tiefe noch gefroren sein, während er weiter oben bereits aufgetaut ist (s. GEIGER, p. 188). Das staut das Schneeschmelzwasser in den oberen centimetern des Bodens. So entstehen in den Erdströmen für die Solifluktion ähnliche Voraussetzungen, wie über Permafrostboden.
- Die herbstliche Frostwechselzeit dürfte wegen der geringen Eindringtiefe des Bodenfrostes nur bei Mikrosolifluktionsvorgängen in der obersten Bodenschicht und beim Ausfrieren von Steinen durch Frosthebung eine Rolle spielen.
- Für diese Mikrosolifluktion und die Frostverwitterung im Einzugsgebiet der Erdströme ist die Frostwechselhäufigkeit entscheidend. Da grosse Flächen meines Untersuchungsgebiets auch im Winter schneefrei bleiben, sind auch die Frostwechsel im Winter von Bedeutung (s. VORNDRAN und MATHYS). Allerdings bewirkt ein Frostwechsel in der Luft noch nicht unbedingt einen Frostwechsel im Boden (s. VORNDRAN 1969, p. 62), da einerseits die Fröste oft zu kurz sind, und andererseits beim Gefrieren des Bodenwassers die Schmelzwärme von 80 cal/g weggeführt werden muss, was das Gefrieren des Bodens noch zusätzlich verzögert (GEIGER, p. 184). Dagegen fördert die frostgefährliche Zusammensetzung des Bodens die Bildung von Bodeneis. Damit das Auftauen des Bodens dann auch noch eine morphologische Aktivität auslöst, muss der Boden genügend feucht sein. Gerade diese wichtige Voraussetzung ist in der relativ trockenen herbstlichen Frostwechselzeit nicht an jedem Frostwechseltag erfüllt. Durch Nachsaugen von Bodenwasser aus der Tiefe während des Gefrierens wird die morphologische Wirkung in den obersten centimetern des Bodens zwar verstärkt, dafür aber trocknet der Boden in der Tiefe aus.
- Die während des Sommers gemessenen Bewegungen sind auf frostunabhängiges Durchtränkungsfließen nach Niederschlägen zurückzuführen.

Aus allen diesen Ergebnissen ergibt sich, dass die herbstliche Regelationsperiode zumindest in der Höhenlage meines Untersuchungsgebietes keinen besonderen Einfluss auf die Bewegung der Erdströme hat und nur in Ausnahmefällen überhaupt eine Bodenbewegung auslösen kann. Wie gross die indirekte Wirkung des täglichen Frostwechsels durch Lockerung des Bodens auf den Bewegungsablauf im Frühjahr ist, bleibt vorläufig noch dahingestellt.

Das Gefrieren des Bodens scheint für eine mächtigere Bodenschicht erst wichtig zu werden, wenn genügend Feuchtigkeit vorhanden ist und der Boden durch einen längeren Frost nach den ersten Schneefällen im Herbst bis in einige Dezimeter Tiefe gefriert. Erforderlich dazu ist eine Frostdauer von drei oder mehr Tagen. Darauf kann während einer Schneeschmelzphase im Herbst der Boden von oben her auftauen, was zu einem bedeutenden Durchtränkungsfließschub des Oberbodens über gefrorenem Unterboden führen kann. Dieser Vorgang spielte sich vermutlich diesen Herbst im unteren, feinerdehaltigen Schutthaldenteil über den Erdströmen ab (Bewegungen von $5,5 \text{ cm} \pm 0,5 \text{ cm}$, s. p. 41). Begünstigend wirkte, dass die Kälte auf der Schutthalde besser eindrang als auf den Erdströmen. Ausserdem wurde der Schnee auf der Schutthalde weitgehend weggeweht, so dass am ersten sonnigen Tag der wenige Schnee schmolz, der Boden oben auftaute und ins Fliessen kam. Auf den Erdströmen dagegen gefror der Boden nur bis in 16 cm Tiefe. Auch taute er bereits unter der Schneebedeckung wieder auf. Das oben beschriebene Durchtränkungsfließen konnte sich auf den Erdströmen deshalb nicht abspielen; das Schmelzwasser wirkte nur wie ein sommerlicher Niederschlag. Es wurden demzufolge auch nur geringe Bewegungen zwischen dem 27. Sept. und dem 31. Oktober gemessen. Die hier aufgestellte Arbeits-Hypothese muss sich aber in den weiteren Messjahren erst noch bestätigen.

Meine Beobachtungen zum Temperaturverlauf im Boden zeigen eine gewisse Uebereinstimmung mit den Messungen von FREUND. Allerdings ist zu beachten, dass seine Messungen auf der Lenzerheide

unter einer Vegetationsdecke durchgeführt wurden, auch liegt die Messstelle rund 900 m tiefer; die Messstelle auf dem Totälpli liegt dagegen 500 m höher. Nicht die absoluten Werte der Temperatur, sondern die aus diesen Daten gezogenen Schlüsse sind durchaus ähnlich: Die Höhe der Schneedecke scheint für den Verlauf der Bodentemperaturen entscheidend zu sein.

Zur weiteren Abklärung der Bewegungsvorgänge auf Solifluktiionsdecken sind neben der Fortführung der Temperatur- und Bewegungsmessungen noch folgende Untersuchungen durchzuführen:

- Bodenfeuchtheitsmessungen
- Einrichtung weiterer Messfelder, insbesondere zur Abklärung des Einflusses der Hangneigung auf die Bewegungen.
- Quantifizierung der Schuttproduktion im Einzugsgebiet der Erdströme (nahbereichsphotogrammetrische Untersuchungen am anstehenden Fels oberhalb des Messfeldes am Munt Buffalora durch Dr. G. Kasper).

8. Literaturverzeichnis

- ELSASSER, H. Untersuchungen an Erdbülten und Strukturböden im Avers.
Dipl.arbeit, Manuskript, Univ. Zürich, 1966.
- Untersuchungen an Strukturböden im Kanton Graubünden.
Diss. Univ. Zürich, 1968.
- FITZE, P. Messungen von Bodenbewegungen auf West-Spitzbergen.
Geogr. Helv., Heft Nr. 3, 26. Jahrgang, 1971.
- FREUND, R. Soliflukationsformen am Parpaner Rothorn.
Dipl.arbeit, Manuskript, Univ. Zürich, 1968.
- Vergleichende Betrachtung von Kleinformen der Soliflukation im Raume Mittelbünden (Schweiz), auf West-Spitzbergen und am Kilimandjaro.
Diss. Univ. Zürich, 1972.
- FURRER, G. Soliflukationsformen im Schweizerischen Nationalpark.
Diss. Univ. Zürich, 1954.
- Bewegungsmessungen auf Soliflukationsdecken.
Z. Geomorph. N.F., Suppl. Bd. 13, 1972.
- ; BACHMANN, F. Soliflukationsdecken im schweizerischen Hochgebirge als Spiegel der postglazialen Landschaftsentwicklung.
Z. Geomorph. N.F., Suppl. Bd. 13, 1972.

- ; -; FITZE, P. Erdströme als Formelemente von Solifluk-
tionsdecken im Raume Munt Chavagl/Munt
Buffalora (Schweiz. Nationalpark).
Ergebn. d. wiss. Unters. im Schweiz. Nat.
Park, Heft 65.
- ; LEUZINGER, H.;
AMMANN, K. Klimaschwankungen während des alpinen
Postglazials im Spiegel fossiler Böden.
Vierteljahresschrift der Naturforschenden
Gesellschaft in Zürich, Jg. 120, Heft 1,
1975.
- GEIGER, R. Das Klima der bodennahen Luftschicht.
Braunschweig, 4. Auflage, 1961.
- JAECKLI, H. Gegenwartsgeologie des bündnerischen
Rheingebietes.
Beitr. z. Geol. d. Schweiz, Geotechn.
Serie, Nr. 36, 1957.
- JAHN, A.;
CIELINSKA, M. The Rate of Soil Movement in the Sudety
Mountains.
Abh. d. Akademie d. Wiss. in Göttingen,
Math. - Phys. Klasse, III. Folge, Nr. 29,
1974.
- MATHYS, H. Klimatische Aspekte zu der Frostverwit-
terung in der Hochgebirgsregion.
Geog. Inst. Univ. Bern, 1974.
- Klimatische Aspekte zur Frostverwitterung
in der Hochgebirgsregion.
Mitteilungen der Naturforschenden Gesell-
schaft in Bern, N.F., Bd. 31, 1974.

- RUDBERG, S. Some Observations concerning Mass-Movement on Slopes in Sweden.
Meddelan fran Uppsala Universitets Geografiska Institution, Ser. A, No. 126, 1958.
- SCHMID, J. Der Bodenfrost als morphologischer Faktor.
Heidelberg, 1955.
- VORNDRAN, E. Untersuchungen über Schuttentstehung und Ablagerungsformen in der Hochregion der Silvretta (Ostalpen).
Diss. Univ. Kiel, 1969.
- WASHBURN, A. L. Instrumentation for mass-wasting and patterned-ground studies in Northeast Greenland.
Biuletyn Peryglacjalny, Nr. 8, Łódź, 1960.
- WILLIAMS, P. J. The direct recording of solifluktion movements.
American Journal of Science, Vol. 255, 1957.
- ZUBER, E. Pflanzensoziologische und ökologische Untersuchungen an Strukturrasen im Schweiz. Nationalpark.
Diss. Univ. Zürich, 1968.

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	Seite 1
2.	Problemstellung	2
3.	Lage und morphologische Beschreibung des Untersuchungsgebiets	3
3.1.	Lage des Untersuchungsgebiets	3
3.2.	Zur Morphologie der Erdströme	6
3.3.	Das Messfeld am Munt Buffalora	8
4.	Methoden zur Bewegungsmessung	13
4.1.	Zusammenstellung einiger bisher verwendeten Methoden	13
4.1.1.	Matrixmethode (Stahlstifte)	13
4.1.2.	Markierte Steine und Holzplättchen	13
4.1.3.	Im Boden versenkte Holzstäbchen	13
4.1.4.	Einmessung von Messmarken mit einem Theodoliten	14
4.1.5.	Mass - Wastingmeter	14
4.1.6.	Elektrische Bewegungsmessungen	15
4.2.	Beschreibung der eigenen Methoden	17
4.2.1.	Holzstäbe	17
4.2.2.	Aluminiumfolien	19
4.2.3.	Zur Vermessung mit dem Theodoliten	20
4.2.4.	Messgenauigkeit	24
4.2.5.	Zusätzliche Bewegungsmessungen an der Oberfläche	25
4.3.	Anordnung des Messfeldes am Munt Buffalora	26
5.	Geräte zur Temperaturmessung im Boden	27
5.1.	Elektrische Temperaturmessanlage zur Direktablesung	27
5.2.	Elektrischer Thermograph	28

6.	Resultate der Messungen am Munt Buffalora	Seite 31
6.1.	Literatur zu Bewegungsmessungen	31
6.1.1.	ELSASSER (1966 und 1968)	31
6.1.2.	ZUBER (1968)	32
6.1.3.	FURRER (1971)	32
6.1.4.	FURRER (1972)	33
6.2.	Resultate der Bewegungsmessungen	34
6.2.1.	Einrichtung des Messfeldes und Messzeitpunkte	34
6.2.2.	Messwerte	36
6.2.3.	Diskussion der Messwerte	45
6.3.	Literatur zu Bodentemperaturmessungen	47
6.3.1.	FREUND (1969 und 1972)	47
6.3.2.	ELSASSER (1966 und 1968)	48
6.3.3.	VORNDRAN (1969)	49
6.3.4.	MATHYS (1974)	50
6.4.	Resultate der Temperaturmessungen ("Siemens" - Anlage)	51
6.4.1.	Aufstellung der Messgeräte	51
6.4.2.	Die Wärmeverteilung auf Erdstrom I	52
6.4.3.	Die Nachtmessung vom 11. Oktober 1975	53
6.4.4.	Der Temperaturverlauf während des Jahres	54
6.5.	Die täglichen Temperaturschwankungen während der herbstlichen Regulationsperiode (Resultate der Thermografen-Messanlage)	56
6.5.1.	Zur Darstellung	56
6.5.2.	Messdaten	58
6.5.3.	Diskussion der Resultate	62
6.6.	Vergleich meiner Temperatur-Messreihen mit den Temperaturdaten der Klimastationen Buffalora (Ofenpass) und Bernina Hospiz	66
6.7.	Die Schneebedeckung des Untersuchungsgebietes	70
7.	Schlussbemerkungen	72
8.	Literaturverzeichnis	76