

Eine Sonde zur Messung der Temperatur in der Schneedecke

Autor(en): **Thams, C.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Jahresbericht der Naturforschenden Gesellschaft Graubünden**

Band (Jahr): **79 (1942-1944)**

PDF erstellt am: **20.06.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-594843>

Nutzungsbedingungen

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

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

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

Haftungsausschluss

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

Eine Sonde zur Messung der Temperatur in der Schneedecke

Von Chr. Thams

(Aus dem Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung
Weißfluhjoch)

1. Einleitung

An Untersuchungen über die Temperaturverhältnisse in der Schneedecke waren noch bis vor wenigen Jahren vornehmlich Meteorologen und Botaniker interessiert, hat doch die Schneedecke auf Grund ihres großen Wärmeausstrahlungs- und schlechten Wärmeleitungsvermögens einen bedeutsamen Einfluß auf die Temperatur der schneenahen Luftschicht und des Erdbodens (Isolationsfähigkeit der Schneedecke) (1) und damit auf die klimatischen Verhältnisse überhaupt. Durch das Studium der Lawinenbildung, welches in der Schweiz in so großzügiger Weise durch die Eidg. Inspektion für Forstwesen in Verbindung mit verschiedenen wissenschaftlichen Instituten organisiert wurde (2), zeigte sich, wie entscheidend die Temperaturverhältnisse in der Schneedecke für die Metamorphose des Schnees und damit für die gesamten Spannungszustände, die lawinenbildend wirken, sind. So wurde von Anfang an der Bestimmung der Schneetemperatur in den verschiedenen Schichten besondere Aufmerksamkeit geschenkt.

Es sind hier vornehmlich drei Methoden zur Messung der Schneetemperatur zu erwähnen:

1. Messung mit Quecksilberthermometern,
2. Messung mit festeingebauten elektrischen Thermometern (Thermoelemente, Widerstandsthermometer),
3. Messung mit Thermosonden nach dem thermoelektrischen oder nach dem Widerstands-Prinzip.

Bei der ersten Methode wird in die Schneedecke ein senkrechter Schacht gegraben; dann werden die Thermometer, die mindestens eine Länge von 30 cm haben sollten, seitlich in die Schneesichten eingeführt. Diese Methode ist allerdings bei großen Schneehöhen außerordentlich zeitraubend. Auch ist sie nicht vollkommen einwandfrei, da die Temperaturverhältnisse durch die Grabung des Schachtes gestört werden. Ein großer Nachteil besteht ferner darin, daß weitere Messungen an derselben Stelle nicht möglich sind, wird doch die Schneesichtung im größeren Umkreis verändert. Immerhin ist diese Methode ihrer Einfachheit wegen sehr brauchbar, wenn man sich beispielsweise für Zwecke einer Lawinenprognose, wo ohnehin die Schneedecke zur Feststellung der Schichtung geöffnet werden muß, rasch ein Bild über die Temperaturverhältnisse machen will.

Bei der zweiten Methode werden zwischen zwei Pfosten elektrische Thermometer in bestimmten Abständen horizontal ausgespannt. Die Temperatur kann an einem Galvanometer abgelesen oder auch registriert werden. Diese Methode wird man dann anwenden, wenn die Schneetemperaturen an einem bestimmten, festen Ort über längere Zeit verfolgt werden sollen. Eine solche Versuchsanordnung benutzen u. a. *F. Levi* und *U. Chorus* bei ihren Messungen der Schneetemperatur in Davos (3). Sie hat allerdings zwei schwer zu behebende Mängel. Einmal verändert sich durch den Druck der Schneedecke die Lage der Meßelemente in unkontrollierbarer Weise, die Drähte hängen durch; sodann ist die Ablagerung der Schneemassen durch die ganze Versuchsanordnung erheblich gestört, dies natürlich um so stärker, je mehr Wind an dem betreffenden Orte herrscht (Schneeverwehungen).

Die dritte Methode besteht darin, daß man eine feine Sonde von oben in die Schneedecke einführt und die Temperatur in beliebig wählbaren Abständen mißt. Diese Methode vermeidet das umständliche Graben des Schachtes und gestattet im Gegensatz zur zweiten die Lage des Meßelementes genau zu bestimmen. Sie eignet sich besonders für Aufnahmen ganzer Profilsereien in stark kupiertem Gelände (z. B. Lawinhänge), da die Sonde leicht transportierbar und bequem zu handhaben ist. Bei diesem Gerät handelt es sich daher um ein typisches Feldgerät.

Im folgenden soll nun über die Konstruktion einer solchen Sonde und über einige Meßergebnisse berichtet werden, da unseres Erachtens dieses Instrument auch für mikroklimatische Untersuchungen mit gutem Erfolg verwendet werden kann.

2. Die Konstruktion der Sonde

(Abb. 1)

Bevor wir auf die Konstruktion im einzelnen eingehen, seien hier kurz die Forderungen aufgestellt, die für den hier vorliegenden speziellen Zweck an die Sonde gestellt wurden. Es sind im wesentlichen folgende:

1. Bestimmung der Schneetemperatur mit einer Genauigkeit von zirka $\frac{1}{5}$ Grad,
2. genügende mechanische Festigkeit der Sonde,
3. kurze Einstelldauer der gesamten Meßanordnung,
4. möglichst guter Schutz gegen die Einwirkung der Strahlung.

Die erste Forderung läßt sich bei elektrischen Thermometern bekanntlich ohne Schwierigkeit erfüllen, wenn man das geeignete Meßelement und ein empfindliches Anzeigergerät wählt und ferner dafür sorgt, daß der Meßdraht selber auf einer gewissen Länge in der Schicht geführt wird, deren Temperatur zu bestimmen ist.

Bei der hier vorliegenden Sonde entschieden wir uns für das Thermoelement-Prinzip und wählten die Kombination Kupfer-Konstantan, die sich ja bei mikroklimatischen Unter-

suchungen sehr bewährt hat. Als Anzeigegerät diente uns ein Weston-Galvanometer mit einem inneren Widerstand von rund 61Ω und einem Gesamtausschlag von 30 Mikroampère. Die Skaleneinteilung gestattete noch eine Schätzung auf $\frac{1}{20}$ Mikroampère. Dieses Weston-Galvanometer, das uns freundlicherweise vom Physikalisch-Meteorologischen Observatorium Davos zur Verfügung gestellt wurde, ist ein spitzen-gelagertes Instrument. Genauere Messungen würde man natürlich mit einem Galvanometer mit Bandaufhängung erreichen, doch haben wir aus Gründen der Feldtüchtigkeit der ganzen Apparatur auf die größere Genauigkeit verzichtet. Für spezielle Untersuchungen wurde zeitweise auch ein hochempfindliches Siemens-Galvanometer mit Bandaufhängung verwendet.

Die Widerstandsänderung, die der äußere Stromkreis durch die Temperaturabhängigkeit des Kupferkabels erfährt, kann bei den herrschenden Temperaturdifferenzen vernachlässigt werden. Der Widerstand des Konstantankabels ist gegenüber dem Kupferkabel sehr groß, sodaß eine durch die wechselnde Temperatur bedingte Widerstandsänderung des Kupferkabels den gesamten Widerstand des Systems nur sehr wenig ändert.

Um die zweite Forderung, die genügender mechanischer Festigkeit, zu erfüllen, mußte auf eine ungeschützte Anordnung des Thermoelementes von vornherein verzichtet werden, können doch die Widerstände, welche die Schneeschichten der eindringenden Sonde entgegensetzen, ganz erheblich sein. Das Meßelement selber erhielt daher wie bei der von *R. Haefeli* (4) konstruierten Rammsonde die Form eines Kegels. Das hier verwendete Material bestand aus rostfreiem Stahl.

Bei der dritten Forderung handelt es sich darum, den bekannten Trägheitsbeiwert

$$\alpha = \frac{K}{\lambda \cdot O}$$

wo K die Wärmekapazität des Meßelementes, λ die äußere Wärmeleitfähigkeit und O die Oberfläche des Thermometerkörpers ist, möglichst klein zu halten. In dem vorliegenden

Fall wurde die Oberfläche sehr groß gewählt (zirka 16 cm^2). Um die Masse des Meßkörpers möglichst klein zu halten, wurde der Kegel bis auf eine Wandstärke von nur $0,45 \text{ mm}$ ausgedreht. Der Kupfer-Konstantan-Draht hat im Kegel selber einen Durchmesser von $0,10 \text{ mm}$ und ist in dem unteren Teil spiralförmig angeordnet, damit ein Teil des Thermo-elementes in der isothermen Schicht liegt (vgl. Forderung 1).

Da die ganze, etwas mehr als 2 m lange Thermosonde aus einem Antikorodalrohr hergestellt wurde, mußte noch für eine ausreichende Wärmeisolation vom Rohr gegen das Meßelement gesorgt werden. Als Isolationsmaterial hat sich hier Hartgummi sehr gut bewährt. Um den Einfluß der Temperatur des Hartgummis auf das Meßelement selber möglichst herabzudrücken, wurde der Hartgummiteil in der in der Fig. 1 angegebenen Form ausgespart und außerdem die Berührungsfläche Hartgummi-Metall auf das technisch zulässige Minimum reduziert. Wie Versuche im Laboratorium gezeigt haben, ist der Wärmetransport bei den in der Schneedecke vorkommenden Temperaturdifferenzen und unter Berücksichtigung der Meßzeit von Schicht zu Schicht praktisch vernachlässigbar klein.

Die Einstelldauer des ganzen Systems wird natürlich auch noch durch das Verhältnis des elektrischen Widerstandes des äußeren Stromkreises zum inneren Widerstand des Galvanometers beeinflußt. Versuche mit dem ungeschützten Thermoelement ergaben eine Einstelldauer von wenigen Sekunden; dabei betrug der Widerstand des äußeren Stromkreises zirka 12Ω , der des Galvanometers zirka 61Ω .

Die Einstelldauer der gesamten Meßanordnung ist natürlich größer. Bei Eichversuchen im Wasserbad wurde Temperaturgleichheit nach $20\text{--}30$ Sekunden erreicht; im Schnee mit seiner schlechten Wärmeleitfähigkeit wird die Einstelldauer noch etwas erhöht. Doch glauben wir, daß wir hier alle Faktoren technisch genügend berücksichtigt haben, um einen möglichst kleinen Trägheitsbeiwert α zu erreichen.

Die vierte Forderung, die eines guten Strahlungsschutzes, spielt beim Schnee nur bei Messungen in den obersten Schichten eine Rolle, wird doch der größte Teil der Strah-

lung bereits von einer relativ kleinen Schichtdicke absorbiert. Um den Strahlungseinfluß auf ein Minimum herabzusetzen, wurden nicht nur Meßkegel und Antikorodalrohr hochglanzpoliert, auch das Isolationsmaterial aus Hartgummi wurde mit Aluminiumlack überzogen. Zudem wurde bei jeder Mes-

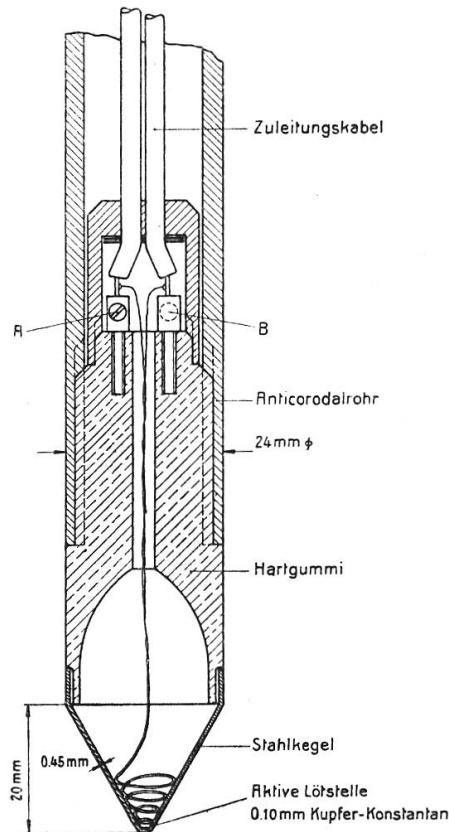


Abb. 1

Die Spitze der Thermosonde

sung dafür gesorgt, daß die ganze Sonde beschattet wurde, indem ein Ski in gehöriger Entfernung aufrecht gestellt wurde. Dieser stabförmige Schatten wird das gesamte Temperaturfeld nur wenig beeinflussen.

Abb. 1 zeigt die Spitze der Thermosonde. Die Details der Konstruktion wurden bereits besprochen. Hier soll nur noch erwähnt werden, daß nur die aktive Lötstelle aus feinem Draht (0,10 mm) besteht, die anderen Leitungen sind aus wesentlich dickerem Kupfer-Konstantan-Draht aufgebaut. Die feinen Drähte sind an den mit A und B bezeichneten Stellen

an die dickeren angelötet. Da es sich hier um das gleiche Material handelt, kann eine zusätzliche EMK nicht entstehen. Außerdem wurden diese Verbindungsstellen in den wärmeisolierenden Hartgummitteil verlegt. Die Verwendung von dickeren Zuleitungsdrähten war einmal aus Festigkeitsgrün-

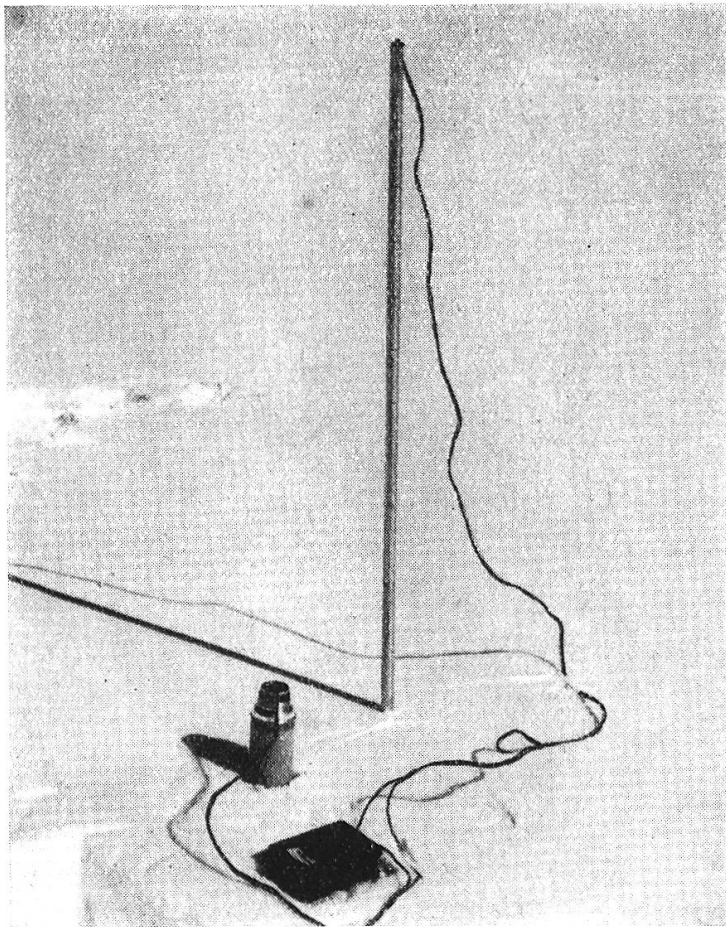


Abb. 2

**Thermosonde mit Thermosflasche und Weston-Galvanometer
im Schneefeld**

den geboten, dann aber auch, um den Widerstand des äußeren Stromkreises nicht zu groß werden zu lassen.

Abb. 2 zeigt eine Aufnahme der ganzen Versuchsanordnung im Schneefeld. Die Temperatur der inaktiven Lötstelle wurde durch ein Gemisch von Schnee und Wasser in einer Thermosflasche ständig auf 0° gehalten. In den meisten Fäl-

len wurden die Temperaturen in Schichtabständen von 10 zu 10 cm gemessen, bei besonders interessanter Schichtbildung jedoch auch in Abständen, die durch die Schichtung gegeben waren. Die Einsenktiefe der Sonde wird an einem Maßstab abgelesen, der direkt auf dem Antikorodalrohr angebracht ist. Die Sonde selber ist in zwei Teile zu zirka 1 m zerlegbar. Die Teile können durch einen Bajonettverschluß rasch miteinander verbunden werden. Die ganze Sonde kann mit dem nötigen Zubehör bequem in einem Rucksack transportiert und auf Skitouren mitgenommen werden.

Für die Messung sehr kleiner Temperatursprünge, wie sie an den Grenzen von Schneeschichten verschiedener Dichte und Korngröße auftreten, eignet sich unsere Thermosonde nicht, da sie wegen der relativ großen vertikalen Erstreckung des Meßelementes (2 cm) die Temperatur über einem größeren Bereich mittelt. Für die Untersuchung solcher Temperatursprünge müßte man ganz anders geformte Meßelemente von großer Empfindlichkeit herstellen.

Die Eichung der Thermosonde erfolgte im Laboratorium mit Kältemischungen. Die Eichkurve ist in dem uns hier interessierenden Temperaturbereich (0 bis -40°) praktisch eine Gerade. Bei dem Weston-Galvanometer belief sich 1 Skalenteil auf $1,86^{\circ}$ Temperaturdifferenz, bei dem Siemens-Galvanometer mit Bandaufhängung auf $0,36^{\circ}$ C.

Die Thermosonde wurde mit großer Sorgfalt in der Werkstatt der Physikalischen Sammlung der Kantonsschule Chur von Mechaniker *F. Schlapbach* hergestellt. Herrn *Prof. A. Kreis*, Chur, der den Bau dieses Gerätes überwachte, bin ich für manche Anregung und Hilfe zu Dank verpflichtet. Das Instrument ist seit 1941 in dem «Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung Weißfluhjoch» mit gutem Erfolg in Betrieb.

3. Einige Meßergebnisse mit der Thermosonde

Aus den zahlreichen Temperaturprofilen, die im Laufe von drei Wintern in dem Gebiet von Davos-Weißfluhjoch aufgenommen wurden, seien zur Illustration zwei Meßserien mit-

geteilt, die in mikroklimatischer Hinsicht besonders interessant sind.

In der ersten Meßserie wurden über dem obersten Teil eines Grates in unmittelbarer Nähe der Endstation Weißfluhjoch auf einer Höhe von zirka 2690 m/M vier Temperaturprofile aufgenommen. Es handelt sich hier um einen Nord- und einen Südhang. Der Untergrund besteht aus anstehendem Fels. Die kleine in der Abb. 3 a dargestellte Skizze zeigt

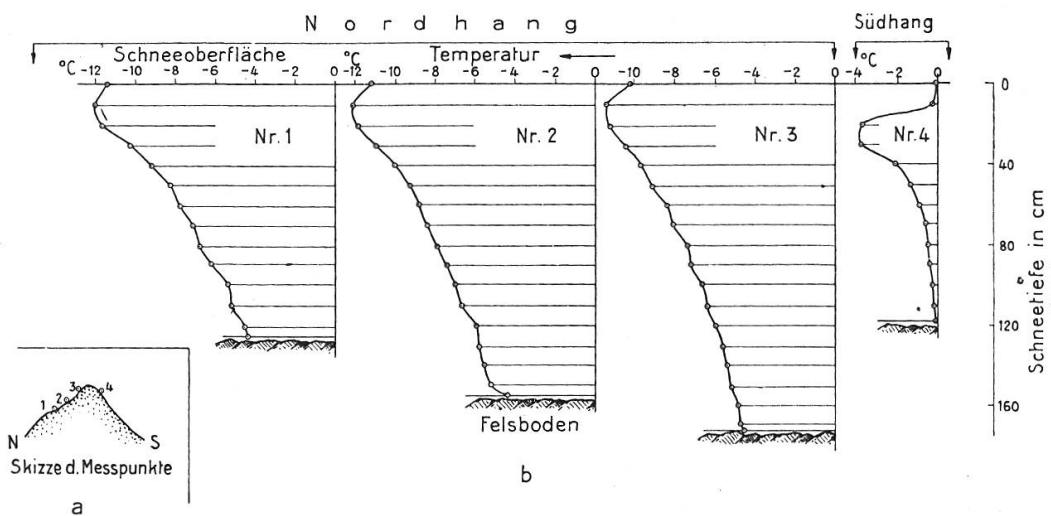


Abb. 3

Die Schneedeckentemperaturen über einem Grat

die ungefähre Lage der Meßpunkte, deren Distanz voneinander in der Hangrichtung zirka 2 m betrug. Auf der Nordseite wurden drei, auf der Südseite wurde ein Profil aufgenommen.

Diese Untersuchung wurde am 21. März 1941 gemacht. An meteorologischen Daten seien folgende angegeben: Bewölkung 0, Sonne 4, Wind 0—1 m pro Sekunde. Bei den Messungen, die von 10.15—11.22 Uhr durchgeführt wurden, lag der Nordhang noch teilweise im Schatten. Die Schneedeckenhöhe betrug bei den Profilen Nr. 1, 2, 3 und 4: 125, 155, 173 und 119 cm.

In der Abb. 3 b sind die Temperaturprofile dargestellt. Bei allen vier Profilen handelt es sich um den Tautochronentypus, wie er nach klaren Nächten an Strahlungstagen ge-

funden wird; hierfür ist namentlich das Profil Nr. 4 charakteristisch. Was an dieser Meßserie jedoch beachtenswert ist, sind nicht nur die enormen Temperaturdifferenzen zwischen Nord- und Südhang, sondern vor allem die tiefen Temperaturen, die an der Begrenzungsfläche Schneedecke–Boden bei den Profilen 1–3 auftreten. Dieser Tautochronentypus wurde häufig von uns festgestellt und auch bei Messungen nach der auf S. 2 beschriebenen Methode gefunden (Quecksilberthermometer).

Die in der Literatur vielfach vertretene Auffassung, an der Schichtgrenze Schnee–Boden herrsche immer eine Temperatur um 0° , kann also in dieser allgemeinen Form nicht aufrecht erhalten werden. Doch scheint diese Behauptung für horizontale Schneefelder, deren Böden größere Feuchtigkeit aufweisen, zuzutreffen. Wir haben in dem großen horizontalen Versuchsfeld, das am Fuße des hier erwähnten Südhanges liegt, auch bei scharfer andauernder Kälte nie solch tiefe Temperaturen am Boden gefunden.

Bei der zweiten, am 20. März durchgeführten, Meßserie wurden an einem nach Süden geneigten felsigen Hang (Neigungswinkel zirka 33°), der sich ebenfalls in unmittelbarer Nähe der Endstation der Davos–Parsenn-Bahn auf Weißfluhjoch befindet, 18 Profile aufgenommen. Auch hier handelte es sich um einen klaren, wolkenlosen Tag. Die Numerierung der Profile ist nach der Zeit geordnet. Begonnen wurden die Messungen um 10.30 Uhr, beendet um 13.20 Uhr. Der ganze Hang lag im vollen Sonnenschein. Die Distanz der einzelnen Meßpunkte in Hangrichtung betrug zirka 4 m.

In der Abb. 4 sind in dem Längsprofil des Hanges die einzelnen Temperaturaufnahmen eingezeichnet, wobei zu bemerken ist, daß die Schneedecke stark überhöht dargestellt ist. Letztere schwankt zwischen 88 cm (Profil Nr. 12) und 192 cm (Profil Nr. 17) Höhe.

Schon ein flüchtiger Blick auf die in der Abb. 4 dargestellten Profile zeigt, wie außerordentlich verschieden die Temperaturen auch bei einem relativ gleichmäßig geneigten Hang sind. Die Temperaturverteilung bei den Profilen 7–12 ist die für Strahlungstage charakteristische; dann folgen bei den

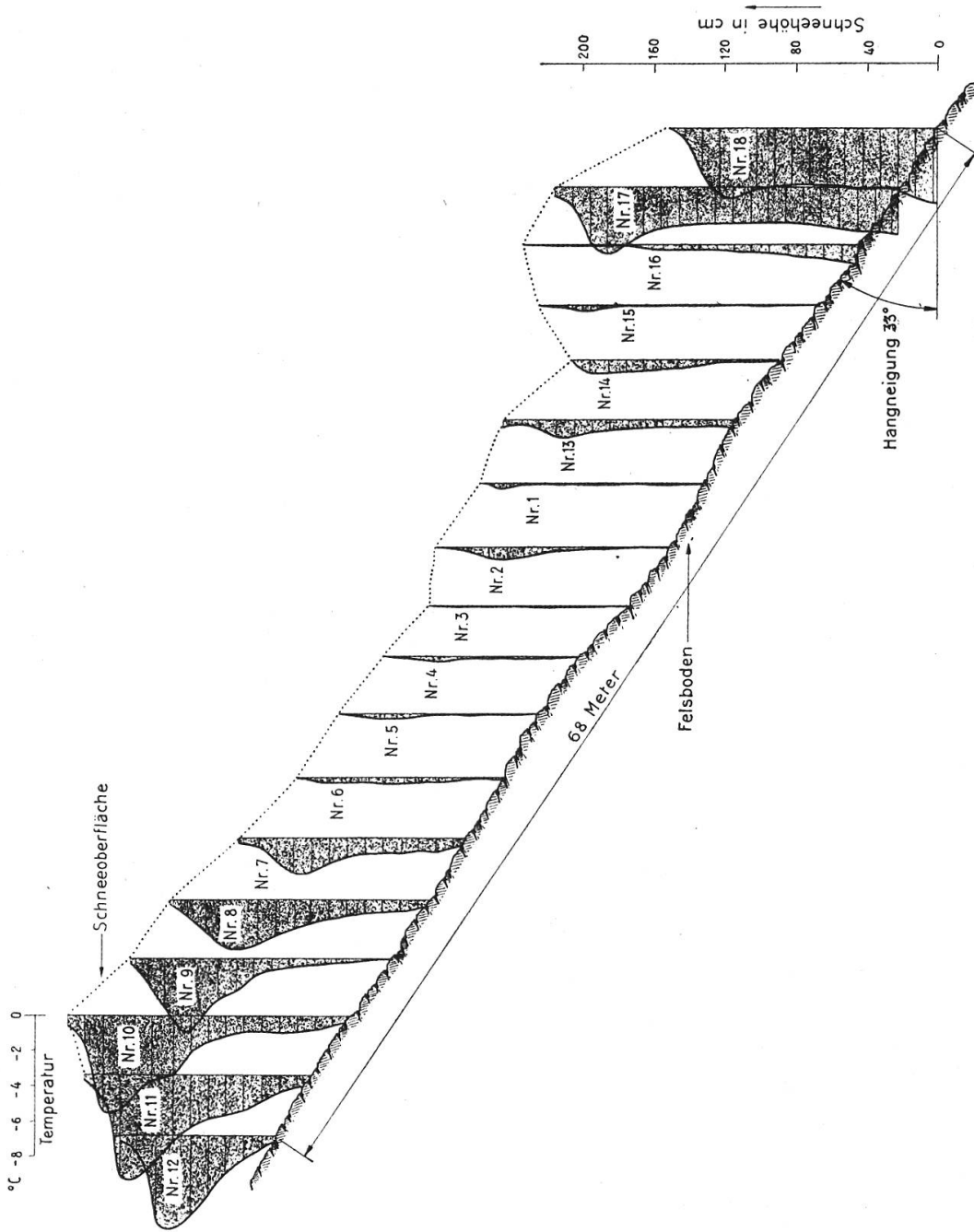


Abb. 4

Die Schneedeckentemperaturen an einem Südhang

Profilen 1—6 und 13—16 Schneeschichten, die bereits eine starke, durch Schmelzen hervorgerufene Durchnässung aufweisen. Ganz andere Temperaturverhältnisse treffen wir bei den Profilen 17—18 an; auffallend sind hier vor allem auch wieder die relativ niedrigen Temperaturen am Erdboden.

Aus den beiden hier angeführten Beispielen geht sehr eindrücklich hervor, wie kompliziert die Temperaturverteilung in der Schneedecke bei stark kupiertem Gelände ist. Diese Feststellung ist nicht nur für den Lawinenforscher von Interesse, sondern auch für den Meteorologen, der sich mit mikroklimatischen Fragen beschäftigt.

Wir sehen hier von dem Versuch ab, diese eigentümliche Temperaturverteilung zu erklären; es bedürfte dazu noch weiteren Materials, vor allem auch was die zeitliche Änderung der Temperaturen anbetrifft. Zweck der vorliegenden Mitteilung war in erster Linie, die Brauchbarkeit der hier beschriebenen Sonde an zwei Beispielen zu zeigen.

Literatur

1. R. Geiger, Das Klima der bodennahen Luftschicht, S. 155, Braunschweig 1942.
2. R. Haefeli, Die Arbeiten der Station Weißfluhjoch der Schweiz. Schnee- und Lawinenforschungskommission 1934—1940. Intersylva 1941.
Bader, Haefeli, Bucher, Neher, Eckel, Thams, Der Schnee und seine Metamorphose, mit einer Einleitung von Prof. Dr. P. Niggli, Bern 1939.
R. Haefeli, Neues Forschungsinstitut auf dem Weißfluhjoch der Schweiz. Schnee- und Lawinenforschungskommission. Schweiz. Bauzeitung, Bd. 119, Nr. 26, 1942.
3. F. Levi et U. Chorus, Températures hivernales dans l'intérieur et sous la couche de neige, Archives des Sciences physiques et naturelles, S. 199, 1933.
4. R. Haefeli, Schneemechanik mit Hinweisen auf die Erdbaumechanik, S. 143, Zürich 1939.