

Moderne Forschung im Kampfe gegen Lawinen

Autor(en): **Haefeli, R.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal
= Journal forestier suisse**

Band (Jahr): **91 (1940)**

Heft 3

PDF erstellt am: **12.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-768171>

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.

Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen

Organ des Schweizerischen Forstvereins

91. Jahrgang

März 1940

Nummer 3

Moderne Forschung im Kampfe gegen Lawinen.

Von R. Haefeli und E. Bucher.

Mit freundlicher Bewilligung der Redaktion des «Jahrbuch des Schweiz. Ski-Verbandes» abgedruckt aus dessen Band 35, 1939.

(Mitteilung der Station Weissfluhjoch der Schweiz. Kommission für Schnee- und Lawinenforschung.)

I. Einleitung.

Zu den reizvollsten Freuden des Winters gehört es, im tiefverschneiten Gebirge, dem der Zauber der Unberührtheit anhaftet, eine einsame Spur immer höher zu ziehen, dem fernen Ziele entgegen. Jede Geländewelle nützend, wird diejenige Linie gesucht, die ein Minimum an Arbeitsaufwand mit dem kleinsten Risiko verbindet. Zögernd tastet die Spur des Ungeübten, sicher und selbstverständlich diejenige des Erfahrenen. Und doch muss wohl jeder noch so Berggewohnte zugeben, dass ihn schon oft ein Gefühl der Unsicherheit beschlichen hat, das unangenehme Empfinden, auf schwankem Grund zu stehen. Regt sich da nicht unwillkürlich der Wunsch, in die Schneedecke hineinschauen zu können, um zu wissen, wie es mit ihrem Gleichgewicht steht? Hie und da antwortet die Natur selbst auf diese Frage durch ein dumpfes «Wum — Wum» und ein feines, scheinbar harmloses Risslein in der weissen Oberfläche. Dann wissen wir, woran wir sind, aber mitunter ist es auch schon zu spät, das Risslein wird zum Anriss.

Leichter ist es jenem zumute, der über glitzernde Hänge hingleitet in den strahlenden Wintertag, in rhythmischem Spiel Schwung an Schwung reiht, oder mit einheitstechnischer Vorlage über die glatte Piste rast. Unbeschwert, berauscht von Lebensfreude, ist er dem Glanz des Augenblickes hingegeben, und fern sind die Gedanken an all die Gefahren, welche die winterliche Schneedecke in sich birgt.

Und doch ist die Zahl der in Lawinen umgekommenen Menschen erschreckend gross. Es sei nur an jenen unglückbringenden Winter von 1916 erinnert, wo an einem Tag, am 16. Dezember, an der Tiroler Hochgebirgsfront an die 10.000 Offiziere und Soldaten den Lawinentod fanden. Am selben Tage verschüttete eine Lawine ein Kinderheim in Pontresina und beschädigte mehrere Gebäude. Aus allen Gegenden der Bergbevölkerung liegen Lawinenchroniken vor, welche von den vielfach mit allen bösen Geistern in Beziehung gebrachten «Lawinen» erzählen und den dadurch angerichteten Schäden. Ganze Dörfer wur-

den samt ihren Bewohnern verschüttet, 300 Jahre alte Hütten wurden weggetragen und schützende Wälder vernichtet. Aus neuerer Zeit steht manchem noch die Drusatscha-Lawine bei Wolfgang in angstvoller Erinnerung, die am 29. April 1917 einen Zug der Rhätischen Bahn überraschte; dann die grosse Schiahorn-Lawine, die 1919 Davos-Dorf heimsuchte, sowie der lawinenreiche Februar 1935, der in St. Antönien zahlreiche Opfer forderte.

Um den katastrophalen Auswirkungen von Lawinenniedergängen wirksam zu begegnen, wurden schon frühzeitig, insbesondere seit Inkrafttreten des schweizerischen Forstgesetzes von 1876, Abwehrmassnahmen in Form von Verbauungen, Leitwerken und Aufforstungen durchgeführt. Alle diese baulichen Massnahmen und namentlich deren Unterhalt benötigen gewaltige, von Bund, Kantonen und Gemeinden zu tragende Geldmittel.

Dem Kampf gegen die Lawine kommt mit dem Ausbau der Alpenstrassen sowie der Zunahme der militärischen und zivilen Skitouristik erhöhte Bedeutung zu. Aus der Erkenntnis heraus, dass eine Gefahr nur auf Grund einer genauen Kenntnis ihrer Ursachen wirksam bekämpft werden kann, haben weitsichtige Männer der Praxis eine *wissenschaftliche Erforschung* des Schnees in die Wege geleitet. Nachdem durch Paulcke, Welzenbach, Seligman, Hess, Eugster, Oechslein und andere wertvolle Vorarbeit geleistet war, erfolgte 1931 die Gründung der Schweizerischen Kommission für Schnee- und Lawinenforschung, welche unter der Leitung von Oberforstinspektor M. Petitmermet steht.

Die Vielseitigkeit der Problemstellung verlangte eine auf entsprechend breiter Basis aufgebaute Organisation der mit den systematischen Untersuchungen betrauten Arbeitsgruppe. Mit der Schneeablagerung, bedingt durch meteorologische Einflüsse, müssen die Kristallformen und deren Umbildung in ihrer Wechselwirkung mit den mechanischen Beanspruchungen studiert werden. Um diese komplexen Vorgänge, die mehrere Grenzgebiete berühren, zu studieren, kam es in der Folge zu einer engen und fruchtbringenden Zusammenarbeit folgender Institute :

1. Das Mineralogisch-Petrographische Institut der E. T. H.
2. Die Erdbauabteilung der Versuchsanstalt für Wasserbau an der E. T. H.
3. Das Geologische Institut der E. T. H.
4. Das Physikalisch-Meteorologische Observatorium Davos-Platz.

An der Finanzierung dieser Arbeiten haben sich die Eidg. Inspektion für Forstwesen, Jagd und Fischerei, die Stiftung zur Förderung der Volkswirtschaft, die Jubiläumsstiftung der Universität Zürich und diejenige der Eidg. Techn. Hochschule beteiligt. Wertvolle Unterstützungen gewährten ferner der Schweiz. Alpenclub, der Schweiz. Ski-Verband, die Rhätische Bahn, die Berninabahn, die Schweizer. Bundesbahnen, die Davos-Parsenn-Bahn, während das Eidg. Militärdepartement Minenwerfer für die künstliche Loslösung von Lawinen zur Verfügung stellte.

II. Methoden und erste Ergebnisse.

1. Grundlagen.

Die leitende Idee und das gemeinsame Ziel der obenerwähnten Arbeitsgruppe besteht darin, die Physik des Schnees sowie die Mechanik der Lawinenbildung auf Grund einer *Synthese von Theorie, Experiment und Naturbeobachtung* zu erforschen. Dieser Gedanke führte unter der grosszügigen Mithilfe der Davos-Parasenn-Bahn dazu, mitten im Lawinengebiet ein Laboratorium zu errichten, in welchem die in der Natur beobachteten komplexen Erscheinungen unter einfacheren und eindeutig bekannten Bedingungen nachgebildet und studiert werden können. In diesem Laboratorium und den umliegenden Versuchsfeldern galt es nun vorerst die grundlegenden Eigenschaften der Materie Schnee abzuklären. Zu diesem Zweck werden im horizontalen Standard-Versuchsfeld vom ersten bleibenden Schneefall an bis zur vollständigen Abschmelzung im Frühling zirka alle acht Tage möglichst vollständige Profile aufgenommen. Dabei wird die Schneedecke bis auf den Boden angegraben, die durch Fäden markierten, den verschiedenen Schneefällen entsprechenden *Schichten* werden eingemessen, die *Schneetemperaturen* sowie der sogenannte *Rammwiderstand*, welchen der Schnee einer lotrecht eindringenden, mit Kegelspitze versehenen Metallsonde entgegengesetzt, ermittelt (Photo 1) und zur weiteren Untersuchung im Laboratorium eine Anzahl Schneeproben ausgestochen. Im ständig auf etwa -5° abgekühlten Arbeitsraum erfolgt nun die Bestimmung des *Raumgewichtes*, der *Kornformen*, der *Luftdurchlässigkeit* und der *Kohäsionsverhältnisse* des Schnees.

Die Resultate einer Einzelaufnahme werden längs einer vertikalen Achse aufgetragen (Fig. 1). Dabei kommt der Schichtcharakter der Schneedecke und die enorme Variation der physikalischen Eigenschaften der verschiedenen Schichten deutlich zum Ausdruck. Namentlich im Rammprofil und in den Kohäsionsverhältnissen spiegelt sich der Wechsel von mächtigen, stark verfestigten Schichten (z. B. 3, 5 und 7) und weichen, dünneren Zwischenschichten (z. B. 4 und 6). Dieser Schichtaufbau tritt auch in der Natur plastisch in Erscheinung, wenn die Schneedecke durch Triebsschnee und « Gux » wie durch ein Sandstrahlgebläse bearbeitet wird (Photo 1). Werden nun mehrere solcher Einzelaufnahmen längs einer Zeitachse angeordnet, so erhält man ein sogenanntes *Zeitprofil*. Dieses lässt in leicht lesbarer Form die Veränderungen (Metamorphose) der einzelnen Schichten erkennen und bildet deshalb die wichtigste Grundlage, bzw. den Schlüssel, für alle vergleichenden Untersuchungen. Das Zeitprofil stellt gleichsam den roten Faden dar, der die übersichtliche Koordination und Einordnung aller Einzelergebnisse ermöglicht, und liefert ausserdem wertvolle Anhaltspunkte für die Lawinenprognose (Fig. 2).

Eine weitere, grundlegende Untersuchung besteht darin, dass man die Metamorphose eines einzelnen Schneesternes, sowohl bei konstanter wie auch bei veränderlicher Temperatur verfolgt. Dem Kristallographen, Dr. H. Bader, ist es gelungen, von einem solchen Schneestern,

der hermetisch abgeschlossen bei einer mittleren Temperatur von -5° im Laboratorium aufbewahrt wurde, eine Reihe zeitlich um ein bis zehn Tage auseinanderliegender Mikraufnahmen herzustellen, welche die umfassenden Veränderungen deutlich erkennen lassen. Dabei zeigt sich, wie die ursprünglich reich differenzierte, dendritische Form eine rasche Vereinfachung im Sinne einer Verkleinerung der Gesamtoberfläche erfährt, wie einzelne Aeste vollständig abgeschnürt werden, so dass im Endstadium einerseits nur noch ein Rudiment der ursprünglichen Form zurückbleibt, anderseits aber Keime für neues Wachstum entstanden sind.

Aehnliche Prozesse, nur mit viel grösserer Geschwindigkeit, spielen sich an der Oberfläche und im Innern der Schneedecke ab. Sie bilden gleichsam das Urphänomen, auf das sich die meisten äusseren Erscheinungen zurückführen lassen, wie zum Beispiel der rasche Wechsel der Schneebeschaffenheit oder die hohe Plastizität der Schneedecke. Bei allen derartigen Vorgängen darf man jedoch den überragenden Einfluss der Temperatur nie vergessen. Um denselben deutlich zu machen, wurde ein zweiter Schneestern anstatt bei -5° bei -60° aufbewahrt, mit dem Resultat, dass derselbe im Laufe von 30 Tagen kaum merkbare Veränderungen zeigte. Je tiefer somit die Temperatur unter 0° liegt, um so formstabiler ist der Schnee und umgekehrt. Dies dürfte auch den Grund dafür bilden, dass das Kornwachstum einerseits an der Schneeoberfläche und anderseits in Bodennähe am intensivsten ist, weil an diesen Stellen die höchsten Temperaturen im Schneeprofil auftreten (vgl. Fig. 1 u. 2). Bei der Metamorphose der Schneeoberfläche spielt ausser der starken Bestrahlung auch die Verfirnung infolge des Wechsels der Lufttemperatur zwischen positiven und negativen Werten eine wesentliche Rolle. Da besonders die Schneeschichten des Vorwinters (Oktober bis anfangs Dezember) eine starke Verfirnung erleiden, so lassen sich diese später im Schneeprofil am ziemlich schroffen Uebergang vom mittelkörnigen zum grobkörnigen Schnee der untersten Schichten leicht identifizieren. Jedermann kennt ferner das Knirschen des Schnees an kalten Tagen, das auf die grössere Härte und geringere Plastizität der Eiskristalle bei tiefen Temperaturen zurückzuführen ist.

2. Spezielle Untersuchungen über die Lawinenbildung.

Spezielle mechanische Untersuchungen sollen den Einblick in die zur Lawinenbildung führenden Eigengewichtsspannungen der Schneedecke ermöglichen. Zu diesem Zweck werden die im Versuchsfeld und an Lawinenanbrüchen entnommenen Schneeproben einer eingehenden Materialprüfung unterzogen, unter besonderer Berücksichtigung der plastischen Vorgänge.

Die als Versuchsmaterial dienenden Schneeproben von 20 cm Länge und 58 mm \varnothing werden zum Beispiel in Druck- und Zugapparate eingebaut und belastet (Photos 4 u. 5). Aus der Grösse der abgelesenen Deformationen in 24 Stunden (Dehnungsmass, Setzungsmass) lassen sich wertvolle Schlüsse auf die plastischen Vorgänge der natürlichen Schneedecke, zum Beispiel den Setzungsvorgang, ziehen.

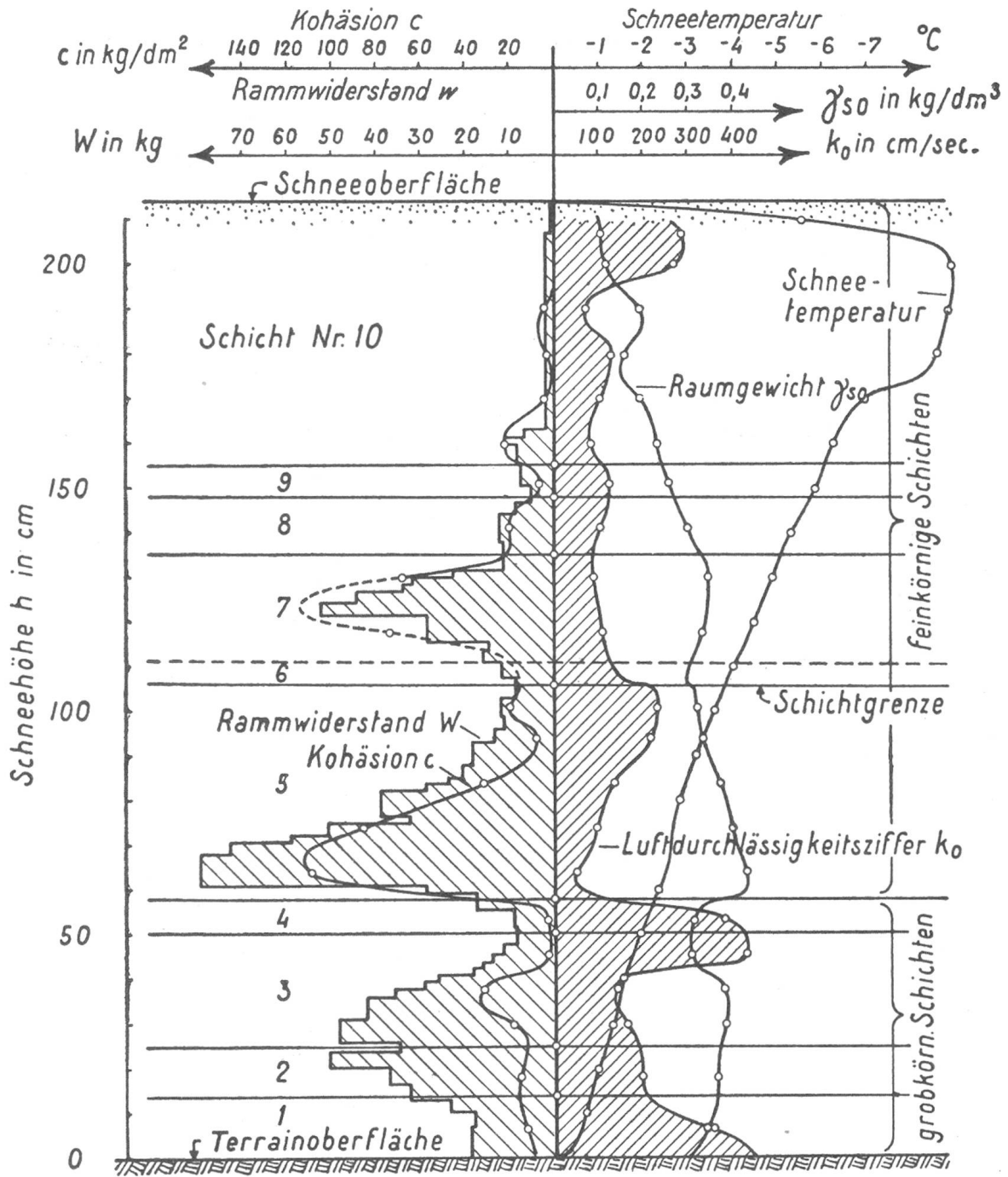


Fig. 1. Beispiel einer Einzelaufnahme aus dem Zeitprofil der Schneedecke 1936/37 (16. Februar 1937, horizontales Versuchsfeld Weissfluhjoch, zirka 2540 m ü. M.).

Das « Setzen » der geneigten Schneedecke hat, wie Laboratoriums- und Naturexperimente übereinstimmend zeigen, eine eigenartige Erscheinung von weittragender Wirkung zur Folge, die man als *Kriechen* bezeichnet. Ein Punkt im Innern der geneigten Schneedecke bewegt sich beim « Setzungsprozess » nicht auf der Lotrechten, sondern kriecht mit einer Geschwindigkeit von etwa 1—20 mm pro Tag (je nach Hangneigung, Schneeart und Temperatur) hangabwärts. Aus Photo 2 ist ersichtlich, wie eine ursprünglich lotrechte Linie, bestehend aus Ping-

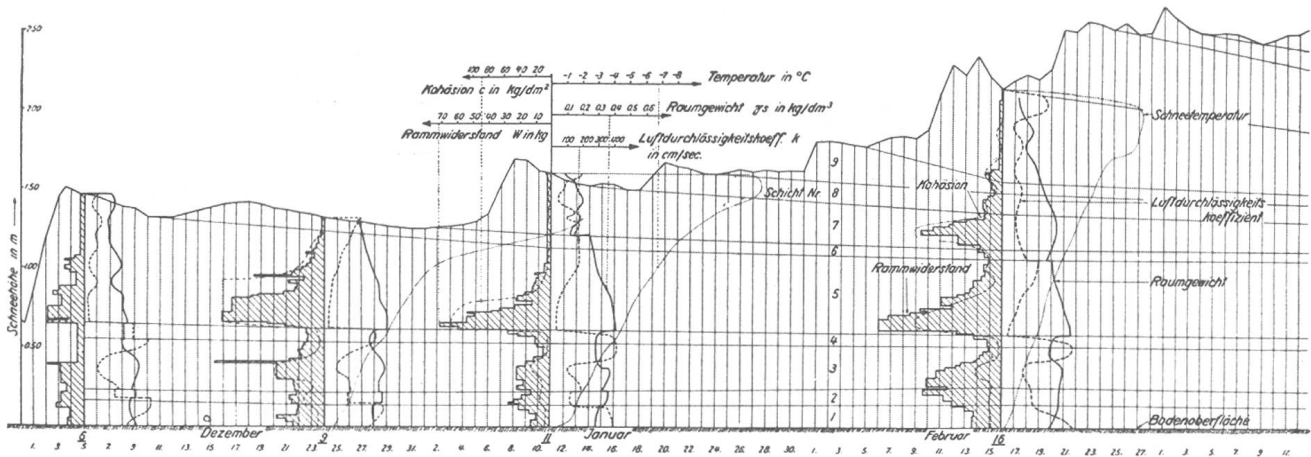


Fig. 2. Zeitprofil des Winters 1936/37.

Aufgenommen im horizontalen Versuchsfeld (2540 m ü. M.) der Station Weissfluhjoch.

pongekugeln und Sägemehl, im Laufe von 66 Tagen um ihren Fusspunkt hangabwärts gedreht wurde. Demgemäss nimmt *die Verschiebungsgeschwindigkeit eines Schneekorns, die sich in eine Komponente parallel zum Hang (Kriechgeschwindigkeit) und eine lotrechte Komponente (Setzungsgeschwindigkeit) zerlegen lässt, im allgemeinen mit der Höhe des Schneekorns über dem Bodenfixpunkt zu*. Ihre Richtung hängt ausserdem von der Hangneigung und der Schneebeschaffenheit ab. Da nun im kuperten Gelände sowohl die Hangneigung wie auch die Schneehöhe von Ort zu Ort wechseln, so kriechen die einzelnen Punkte ein und derselben Schicht, zum Beispiel der Schneeoberfläche, mit verschiedenen Geschwindigkeiten. Bei kohärentem, zum Beispiel windgepacktem Schnee, werden aber durch die ungleichen Kriechgeschwindigkeiten zweier, auf derselben Fallinie gelegenen Punkte, stets *Längsspannungen* hervorgerufen.

Zur Veranschaulichung dieses wichtigen Resultates stelle man sich zwei am Seil fahrende Skifahrer vor. Wenn der hintere seine Fahrt etwas bremst (ob frei- oder unfreiwillig, tut hier nichts zur Sache), so entstehen Längsspannungen im Seil, die eine gewisse Dehnung desselben bewirken. Etwas Aehnliches geschieht in der Verbindungslinie zweier Punkte der Schneeoberfläche, von denen der untere schneller kriecht als der obere: es entstehen *Zugspannungen*, welche eine Dehnung der Schneedecke und dadurch den Geschwindigkeitsausgleich ermöglichen. Bewegt sich umgekehrt der untere Punkt langsamer als der obere, so bilden sich längsgerichtete *Druckspannungen*, die eine Verkürzung der betreffenden Schneeschicht zur Folge haben.

Je nach der Art der Längsspannungen kann man deshalb zwischen *Zug-* und *Druckzonen* unterscheiden. Die erste entsteht vorzugsweise im oberen Teil des Hanges, sei es, dass die Schneedecke dort nach oben auskeilt und sich an Bodenrauhigkeiten verankert, sei es, dass sie an einer Wächte aufgehängt ist oder im konvexen Terrainprofil nach oben in eine schwächer geneigte Zone übergeht, die den Kriechvorgang abbremsst. Die Druckzone dagegen bildet sich hauptsächlich am Fusse des

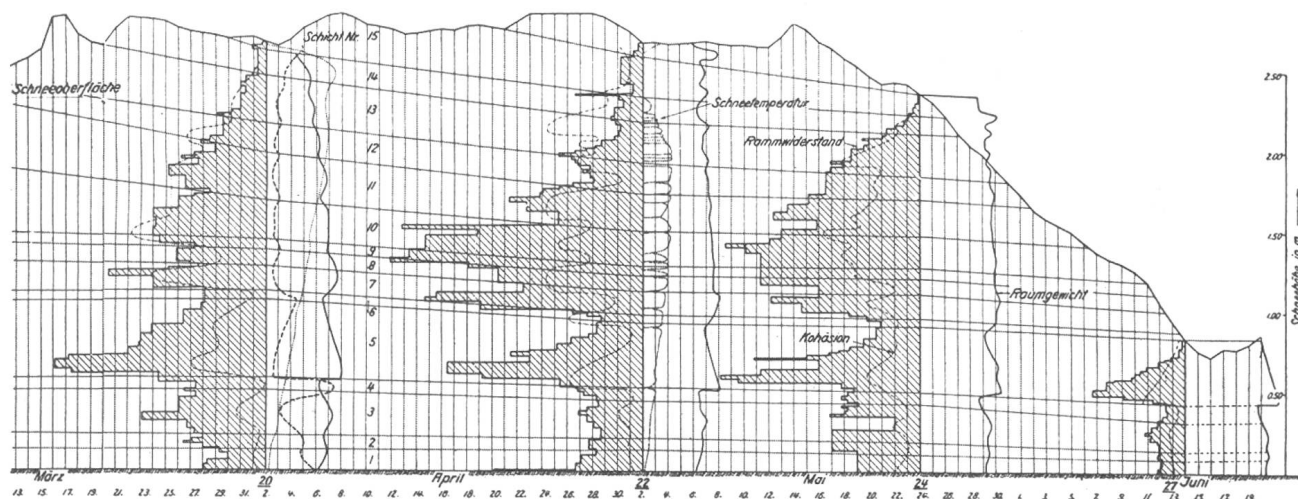


Fig. 2. Zeitprofil des Winters 1936/37.

Aufgenommen im horizontalen Versuchsfeld (2540 m ü. M.) der Station Weissfluhjoch.

Hanges, ferner vor jedem Hindernis, das eine Bremsung der Kriechbewegung zur Folge hat. Zwischen Druck- und Zugzone ist normalerweise eine praktisch spannungsfreie Zone eingeschaltet, die man als *neutrale Zone* bezeichnen kann. Ausserdem sind *Scherzonen* zu unterscheiden, in welchen Scherspannungen vorherrschen. Diese entstehen namentlich dann, wenn der normale Kriechvorgang am seitlichen Rande des Hanges, zum Beispiel durch eine Felsrippe, abgebremst wird.

Nun besitzen die meisten Schneearten (mit Ausnahme von Schwimmschnee und Pulverschnee), wie jeder feste Körper, gewisse Zug-, Druck- und Scherfestigkeiten, welche die Stabilität der Schneeschichten am Hang gewährleisten, bis in irgendeinem Punkte die Festigkeitsgrenze erreicht wird. Während und nach der Bildung *windgepackter* Neuschneesichten tritt infolge des langsam fortschreitenden Kriech- und Setzungs Vorganges eine Umgruppierung der Spannungsverteilung ein. Die anfänglich vorherrschenden Reibungskräfte, welche die parallel zum Hang gerichtete Gewichtskomponente der Neuschneelage stützen, werden, namentlich in den Randgebieten, nach und nach in vermehrter Masse durch Längskräfte abgelöst. Dieser Vorgang ist dadurch zu erklären, dass die Längskräfte eine Bremsung der normalen Kriechvorgänge zur Folge haben, womit stets eine Reduktion der Reibungskräfte zwischen Alt- und Neuschnee verbunden ist. Die Beanspruchung durch die Längskräfte nähert sich innert weniger Stunden oder Tage der Festigkeitsgrenze, es entsteht ein hochgradig labiles Gleichgewicht, bei dem die geringste Störung — eine kleine Lufterschütterung durch Schall, eine schwache Kerbung der Schneeoberfläche durch die Skikante, ein herabfallender Schneebrocken von der Felswand oder einer Wächte — genügt, um den Bruch herbeizuführen. Auch eine scharfe Änderung der Lufttemperatur, im positiven oder negativen Sinne, kann ungünstige Wirkungen haben. Mit der Rissbildung werden die gewaltigen Zugkräfte in den Verankerungszonen plötzlich ausgeschaltet, wodurch eine schlagartige Erhöhung aller übrigen Spannungen, vor allem auch der noch vorhandenen Reibungs-

kräfte in den Schichtgrenzen, entsteht, welchen das gegen Stösse spröde Material nicht standhält. Blitzartig zerbricht der ganze Hang in mächtige Schollen, die mit grosser Beschleunigung über den sich in der unteren Hangpartie bildenden Stauchwall hinaus in die Tiefe gleiten (Fig. 3).

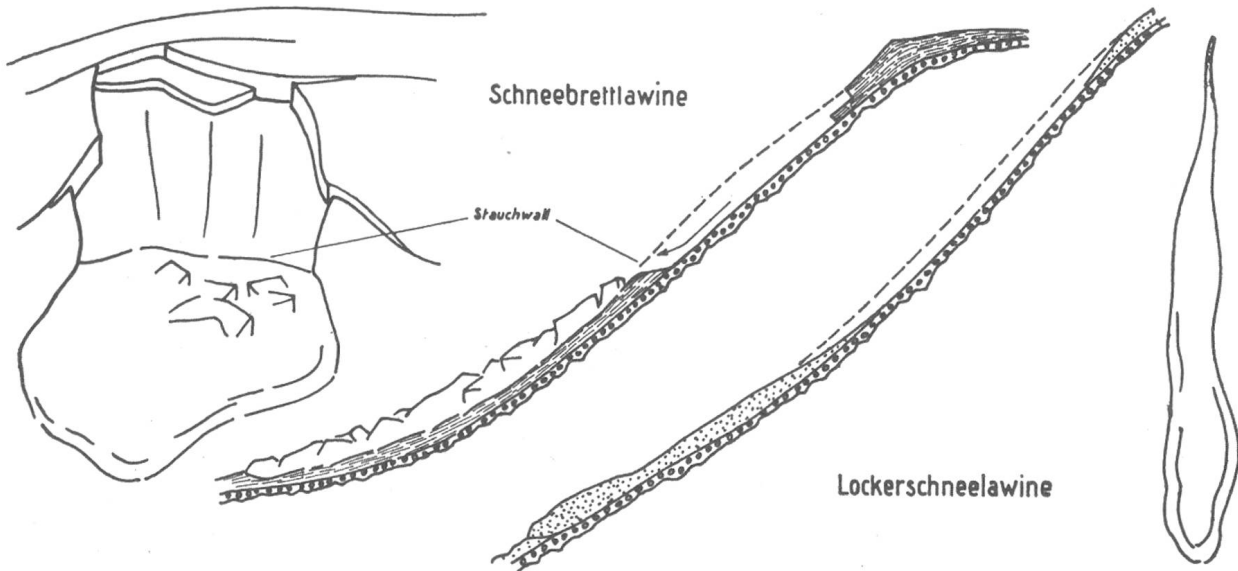


Fig. 3. Grundformen : Schneebrett- und Lockerschneelawine (Schema).

So entsteht die weitaus häufigste und gefährlichste Lawinenart, die *Schneebrettlawine*, die bei Unglücksfällen in Skigebieten meistens durch den Skifahrer selbst ausgelöst wird, was in Anbetracht der oben beschriebenen Spannungserscheinungen leicht verständlich ist. In der Literatur wurde bisher der Ausdruck Schneebrettlawine gewöhnlich nur da verwendet, wo die abgleitenden Schneemassen ausschliesslich aus windgepackten Schichten bestehen. Pauleke definiert den Begriff Schneebrett und Schneebrettlawine in noch engerem Sinne: Windgepresster Schnee, bzw. Schneebrettlawine nur auf Luv, im Gegensatz zum Packschnee bzw. Packschneelawine auf Lee. Vgl. Pauleke W.: Praktische Schnee- und Lawinenkunde, Berlin 1938.

Sowohl vom wissenschaftlichen wie vom praktischen Standpunkt aus ziehen wir es vor, den Begriff Schneebrettlawine etwas allgemeiner zu fassen: Das Wesentliche an dieser Lawinenart ist die brettartige Verfestigung der abgleitenden, zugfesten Schichten und die scharfe, in die Breite ausgedehnte Anrisslinie, durch die sie sich äusserlich von der *Lockerschneelawine*, welche nach oben spitz ausläuft (Birnenform), deutlich unterscheidet (Fig. 3). Je nach dem Grad der Verfestigung erfolgt die Rissbildung lautlos, unter dumpfem oder scharfem Knall, gefolgt von blitzschnellem Zerbrechen der in Bewegung geratenen Schneemassen in mächtige Schollen, die sich beim Sturze in kleine Brocken auflösen, oder dank ihrer Festigkeit dieser Auflösung weitgehend widerstehen. Die brettartige Verfestigung der Oberflächen-

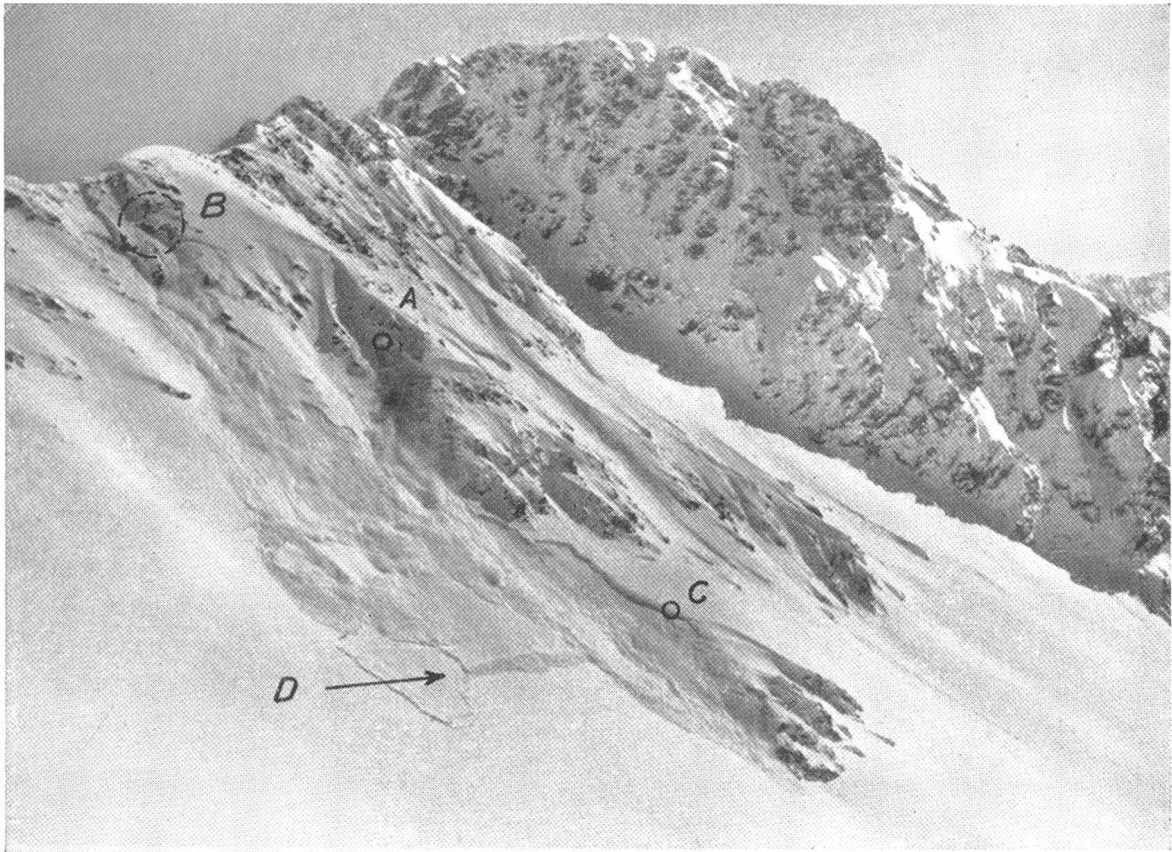


Photo G. Seligman.

Photo 7. Schneebrettlawine in der Strelahalde. Künstliche Loslösung durch Minenwerfer am 16. März 1937, 14 Uhr. Aufgenommen zirka 5 Sekunden nach Einschlag. A Einschlagstelle, B sekundäre Störungszone, C Profilstelle (vgl. Fig. 5), D Stauchwallbildung.



Photo E. Bucher.

Photo 8. Lawinenreihe, künstlich ausgelöst durch Minenwerfer. A Einschlagstelle, B Detailaufnahme (vgl. Photo 9) Hauptertäli, 31. Januar 1938.

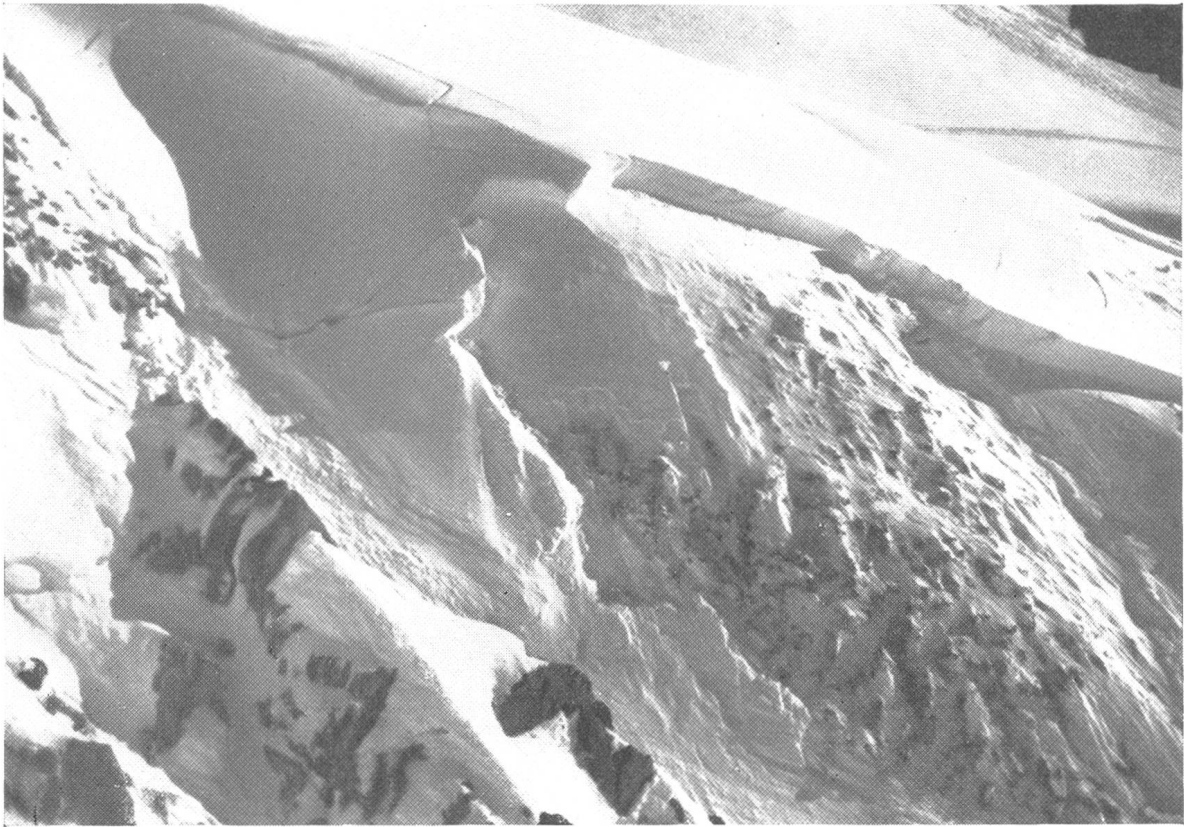


Photo E. Bucher.

Photo 9. Detailaufnahme bei B (vgl. Photo 8). Die dunklen Partien des Anbruchgebietes, wo der Schnee bis auf die Felsunterlage mitgerissen wurde, lassen die Ausbreitung der mächtigen Schwimmschneenester erkennen.



Photo R. Haefeli.

Photo 10. Untersuchung eines Lawinenanbruches im Meierhoftäli (2. Januar 1939). Die leicht windgepackten Neuschneesichten ruhen auf Schwimmschnee, der an seinem grobkristallinen Charakter, der dunkleren Färbung und der fehlenden oder schwachen Kohäsion erkennbar ist.

schicht ist auf die dichte Packung von Neuschnee oder Triebsschnee infolge Windwirkung zurückzuführen. Sehr häufig reisst jedoch nicht nur die windgepackte Neuschneesicht, sondern es werden auch darunterliegende Schichtpakete mitgerissen, deren Verfestigung unter Um-

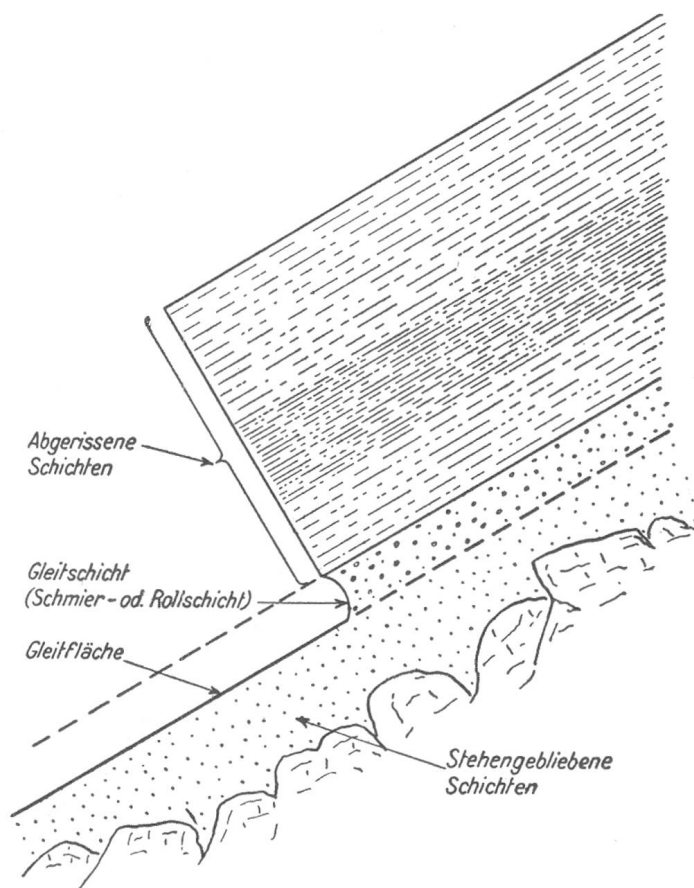


Fig. 4. Schema des Anrisses einer Schneebrettlawine.

ständen nicht durch den Wind, sondern durch das Altern des Schnees unter Druck (Druckmetamorphose) erfolgt ist. Immerhin bildet der Wind den wichtigsten Faktor bei der Entstehung von Schneebrettlawinen.¹ Durch die ungleichmässige Schneeablagerung und die Verfestigung einzelner Schichten schafft er die notwendigen Voraussetzungen für die Bildung gefährlicher Längsspannungen. Diese Tatsache findet im oft zitierten Motto, mit dem Zdarsky seine Lawinenkunde einleitet: « Der Wind ist der Baumeister der meisten Lawinen », ihren treffendsten Ausdruck.

Gegenüber der Windwirkung, die natürlich in hohem Masse durch die Exposition des Hanges und das spezielle Relief des Geländes bedingt ist, spielt die Hangneigung selbst nur eine untergeordnete Rolle. Am häufigsten sind Schneebrettlawinen an Hängen von mittlerer Neigung (25° — 45°) zu beobachten. Sehr steile Hänge (namentlich unter-

¹ Es ist zu beachten, dass Schneebrettlawinen in dem oben definierten Sinne sowohl auf Luv wie auf Lee entstehen.

halb von Felswänden) werden in der Regel schon während des Schneefalls durch zahlreiche kleinere oder einzelne grössere Lawinen entlastet, die den normalen Schichtaufbau stören und dadurch eine gewisse Stabilisierung der Schneedecke bewirken. Wichtiger als der absolute Grad der Hangneigung ist deren Veränderlichkeit im Längenprofil, d. h. die spezielle Form des letzteren.

Gemäss dem in Fig. 4 dargestellten Schema müssen wir zwischen den abgerissenen Schichten, die als Schneebrett abgleiten, der Gleitschicht, welche als Schmier- oder Rollschicht wirksam ist, und den stehengebliebenen Schichten unterscheiden. Selbstverständlich spielt der Grad der Haftung zwischen den zum Abgleiten neigenden Schichten und der Unterlage, bzw. die Scherfestigkeit der meist vorhandenen Zwischenschicht (Gleitschicht), bei der Bildung von Schneebrettlawinen neben den Längsspannungen eine ausschlaggebende Rolle. Die abgerissenen Schichten können stellenweise sehr hohe Zugfestigkeiten von über 100 kg/dm² aufweisen. Die Gleitschicht ist nicht zu verwechseln mit der Gleitfläche.

Im Hochwinter, d. h. unter Ausschluss von wassergeschmierten Gleitschichten, die während der Schneeschmelze entstehen, lassen sich hauptsächlich drei Typen von gefährlichen Diskontinuitäten unterscheiden :²

Ein erster Typus liegt vor bei denjenigen Schneebrettlawinen, die während oder kurze Zeit nach dem Neuschneefall, der über einer Harstfläche erfolgt ist, niedergehen. Hier wird gewöhnlich die Gleitschicht durch eine unmittelbar auf der Harstschicht liegende, lockere Zwischenschicht gebildet, deren Entstehung oft dadurch begünstigt wird, dass der Wind erst einige Zeit nach Beginn des Schneefalles einsetzt; in diesem Fall ist die Gleitfläche im wesentlichen mit der alten Harstoberfläche, die durch die Gleitschicht eine trockene Schmierung erfährt, identisch. Sobald die Harstschicht von Neuschnee überdeckt ist, nimmt ihre Metamorphose eine andere Richtung. Dabei macht sich eine fortschreitende *Auflösung des Kornverbandes* bemerkbar, so dass nach Stunden oder Tagen die Harstschicht den grössten Teil ihrer Kohäsion eingebüsst hat und als Schmierschicht figuriert. Damit entsteht der zweite Typus der Diskontinuität, der massgebend sein kann für die Bildung jener Schneebrettlawinen, die den Neuschneefällen zeitlich nicht unmittelbar folgen. Die stetig fortschreitende Auflösung der Harstschichten wird unter Umständen durch die Bildung von *Schwimm-schnee*, einer vollständig metamorphen Schneeart, unterstützt. Dieser Prozess führt zu einem dritten Typus kritischer Diskontinuität, bei welchem einzelne Schneeschichten ganz oder teilweise, oft sogar mächtige Schichtkomplexe, in mehr oder weniger kohäsionslosen Schwimmschnee umgewandelt sind. Diese Metamorphose beginnt in Bodennähe, kann aber, wie dies im Dezember 1937 der Fall war, sich über die ganze Schneedecke ausbreiten.

² R. Haefeli, Schneemechanik, 1939.

3. Beispiele von Schneebrettlawinen (vgl. Fig. 2 und 6).

Zur Illustration der obigen Ergebnisse sollen nachstehend einige Lawinensituationen und einzelne Schneebrettlawinen der drei vergangenen Winter beschrieben werden. Solche Situationen wiederholen sich immer wieder und haben namentlich dann zahlreiche Unglücksfälle zur Folge, wenn eine Aufheiterung gerade auf das Wochenende oder auf Festtage fällt.

Mancher Leser wird sich an die tragischen Tage vom 9. und 10. Januar 1937 (Samstag/Sonntag) erinnern, an welchen in der Schweiz elf Menschenleben den Lawinen zum Opfer fielen (Furka, Brisen, Spitzmeilen, Alvier). Photo 6 zeigt eine kleine Schneebrettlawine von leichter Windpackung im Hauptertäli, die am 9. Januar, 13.40 Uhr, niederging. Aus dem Tagebuch entnehmen wir: Am 5. Januar leichter Schneefall, am 7. Januar Schneefall bei -6° mittlerer Lufttemperatur, am 8. Januar starker Schneefall bei heftigem Westwind, am 9. Januar klar und kalt (8 Uhr: -17°). Die nähere Untersuchung ergab: Mittlere Hangneigung am Anbruch 36° , maximale Höhe der Anrissfläche 1 m, grösste Zugfestigkeit der abgerissenen Schicht 8 kg/dm^2 , scharf ausgesprochene Diskontinuität zwischen altem und neuem Schnee (Schichtgrenze 6/7) mit fehlender Haftung und beginnender Auflösung der alten Schneeoberfläche in grobkörnigen, kohäsionslosen Schnee. (Erster Typus der Diskontinuität, mit Uebergang zum zweiten.) Der fortschreitende Auflösungsprozess war deutlich erkennbar an einer späteren Schneebrettlawine, die am 13./14. Februar auf der Ostseite der Weissfluh niederging. Sie wurde wie folgt charakterisiert: Hangneigung 33° , maximale Anbruchhöhe 1,7 m, Gleitfläche 6/7, grösste Zugfestigkeit der abgerissenen Schichten 47 kg/dm^2 . Unmittelbar über der Gleitfläche lag die grobkörnige, nahezu kohäsionslose Gleitschicht, welche als die in Auflösung begriffene Harstoberfläche von Schicht 6 anzusprechen war (zweiter Typus der Diskontinuität).

In den folgenden Wochen griff der Auflösungsprozess weiter um sich und erfasste namentlich die untersten Schichten 1—4, welche teilweise vollständig in Schwimmschnee umgewandelt wurden. Diese kritische Situation ermöglichte am 16. März die künstliche Auslösung einer mächtigen Schneebrettlawine am Strelahang durch den Minenwerfer, deren Sturz in Photo 7 festgehalten wurde. Die ausgedehnte Schwimmschneebildung, die den dritten Typus der Diskontinuität erkennen lässt, kommt im geringen Rammwiderstand der zum Teil stehengebliebenen, zum Teil mitgerissenen Schichten 1—4 deutlich zum Ausdruck (Fig. 5). Durch diese künstlich ausgelöste Lawine war die unverminderte Gefährlichkeit der mehrere Monate alten, tiefliegenden Diskontinuitätsfläche zwischen Schicht 4 und 5 und die lokal erhöhte Disposition zu mächtiger Lawinenbildung erwiesen. Das Andauern der kritischen Situation wurde bestätigt durch eine gewaltige Schneebrettlawine am Schwarzhorn-Westhang, die am 30. März, d. h. mehrere Tage nach einem ganz unbedeutenden Neuschneefall, einen Teil der Abfahrtsroute Weissfluhjoch—Kreuzweg verschüttete. Das unmittel-

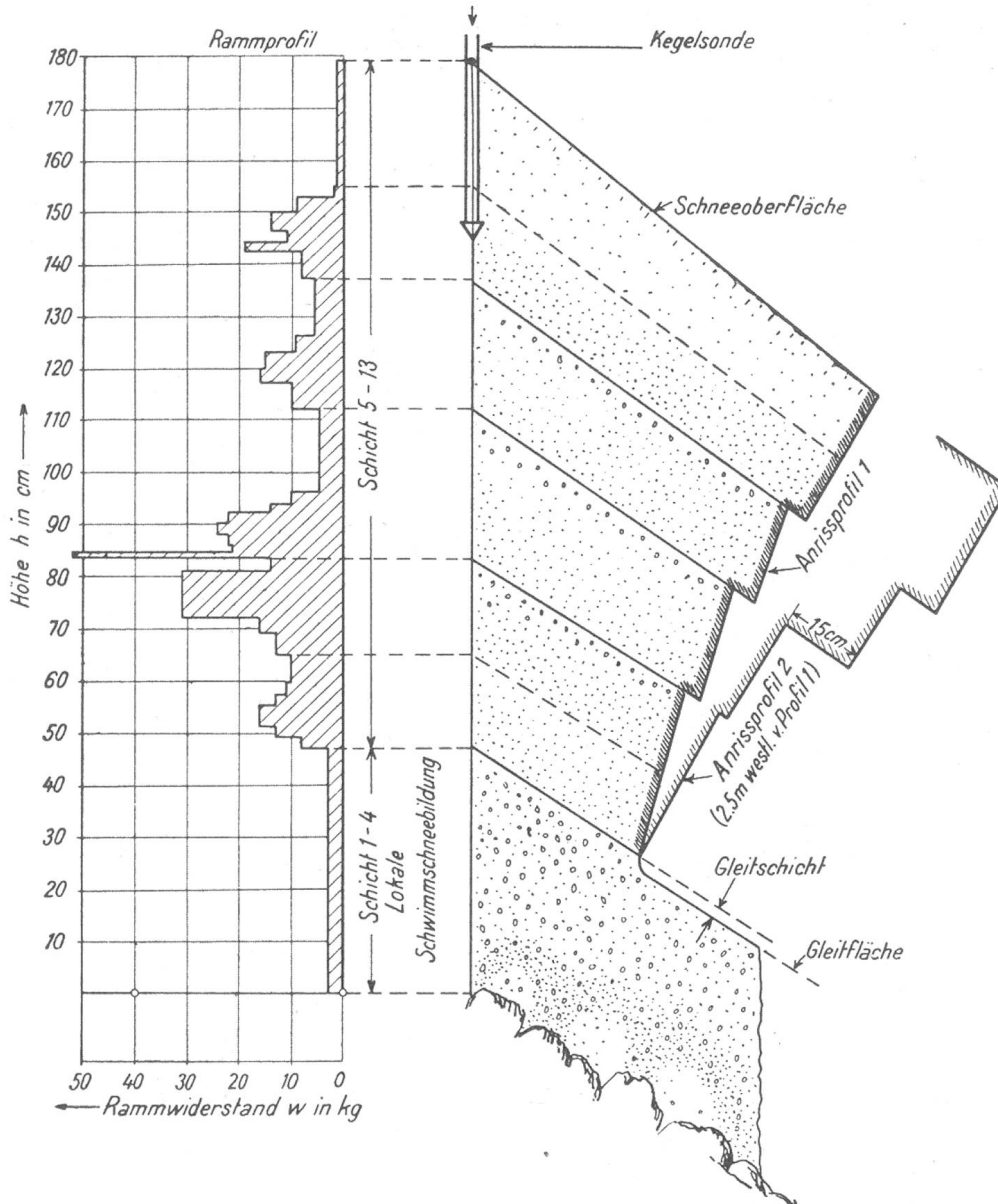


Fig. 5. Rammprofilaufnahme oberhalb eines Lawinenanrisses (Schneebrettlawine in der Strelahalde vom 16. März 1937. Stelle der Profilaufnahme bei Punkt C in Photo 7).

bar oberhalb der Anrissfläche aufgenommene Rammprofil zeigte deutlich, dass es sich hier um denselben Lawinentypus handelte wie bei der vorgängig beschriebenen Schneebrettlawine. Die grösste gemessene Zugfestigkeit der abgerissenen, zum Teil 2 m starken Schichten betrug 68 kg/dm^2 . Eine weitere Lawine derselben Art, bei der die abgerissenen Schichten (5—16) ebenfalls aus stark verfestigtem, aber feuchtem Schnee bestanden, wurde am 19. Mai 1937, 16.40 Uhr, am Schiawang beobachtet. Dieses letzte Beispiel gibt Flaig recht, wenn er sagt, dass « der Begriff des Schneebrettes nicht einmal an trockenen Schnee, wohl aber an scholligen Bruch gebunden ist. »³

³ W. Flaig: Lawinen! Abenteuer und Erfahrung. Erlebnis und Lehre. F. A. Brockhaus, Leipzig 1935.

Es zeigt sich also immer wieder, dass grobkörnige, kohäsionslose Zwischenschichten, deren Metamorphose durch oberflächliche Verfirnung und Harstbildung eingeleitet und später zur Kornauflösung führte, während mehrerer Monate als schwächste Elemente der Schneedecke erhalten bleiben. *Wohl durch nichts kann die Bedeutung der Metamorphose eindringlicher vor Augen geführt werden als durch die Tatsache, dass gerade die härtesten Oberflächenschichten (Harst) im Innern der Schneedecke zu den lockersten werden.* So wurden die beiden gefährlichsten Diskontinuitätsflächen des Winters 1936/37 durch diejenigen Schichten gebildet, welche während der Schönwetterperiode vom November und Dezember eine besonders starke Oberflächenmetamorphose erfahren haben. (Schicht 4 und 6.) Grundsätzlich, jedoch in erweiterter Form, wird dadurch die bereits von E. Hess festgestellte Tatsache bestätigt, wonach Trennungsflächen zwischen Schneeschichten den ganzen Winter über ihre Gefährlichkeit beibehalten können.⁴

Durch einige weitere Beispiele mag der nicht zu unterschätzende Einfluss der Schwimmschnee-Metamorphose⁵ auf die Lawinenbildung beleuchtet werden. Nachdem im Winter 1937/38 am 11. bis 12. Dezember infolge eines über einer Harstfläche erfolgten Neuschneefalles sehr zahlreiche, meist kleinere Schneebrettlawinen entstanden waren (längs der Strecke Weissfluhjoch—Schwendi wurden deren etwa dreissig beobachtet und zum Teil untersucht),⁶ folgte eine Periode intensiver Schwimmschneebildung, die offenbar mit der geringen Schneehöhe und starken Kälte in ursächlichem Zusammenhang stand. Zwischen Schneeoberfläche und Boden wurden in dieser Zeit Temperaturunterschiede von über 25° bei zirka 1 m Schneehöhe gemessen. Durch diese Metamorphose, die der Bergbewohner oft als ein «Durchfrieren» der Schneedecke bezeichnet, entstehen vielfach stockwerkartige Gebilde, wobei der Schwimmschnee durch in Auflösung begriffene Harste unterteilt wird. Dieser Auflösungsprozess ist deshalb von grosser Wichtigkeit, weil durch die Auflockerung, die ausserdem von einer Orientierung der Schwimmschneekristalle begleitet ist (ihre Längsachsen stellen sich senkrecht zum Boden), sowohl in der Ebene wie auch am Hang ein äusserst unstabil aufgebautes Gerüst entsteht, das bei der geringsten Ueberlastung der darüberliegenden Schichten plötzlich zusammensackt.

Im Januar 1938 machte sich beim Betreten der Schneedecke während mehrerer Wochen das Zusammenbrechen des lockeren Schwimmschneegerüstes durch den bekannten dumpfen Knall (Wum) bemerkbar.

Eine ähnliche Erscheinung wird ja auch beim Begehen windgepackter Neuschneesichten, unter denen sich infolge ungleicher

⁴ E. Hess: Schneeprofile. Jahrbuch des Schweiz. Skiverbandes 1933. — E. Hess: Schneebrettlawinen. «Die Alpen», 1934, S. 81--95.

⁵ W. Paulcke: Praktische Schnee- und Lawinenkunde. Julius Springer, Berlin 1938.

⁶ Am 14. Dezember 1937 ereignete sich ein schweres Lawinenunglück am Pardoi-Joch, dem acht junge Ski- und Bergführer zum Opfer fielen.

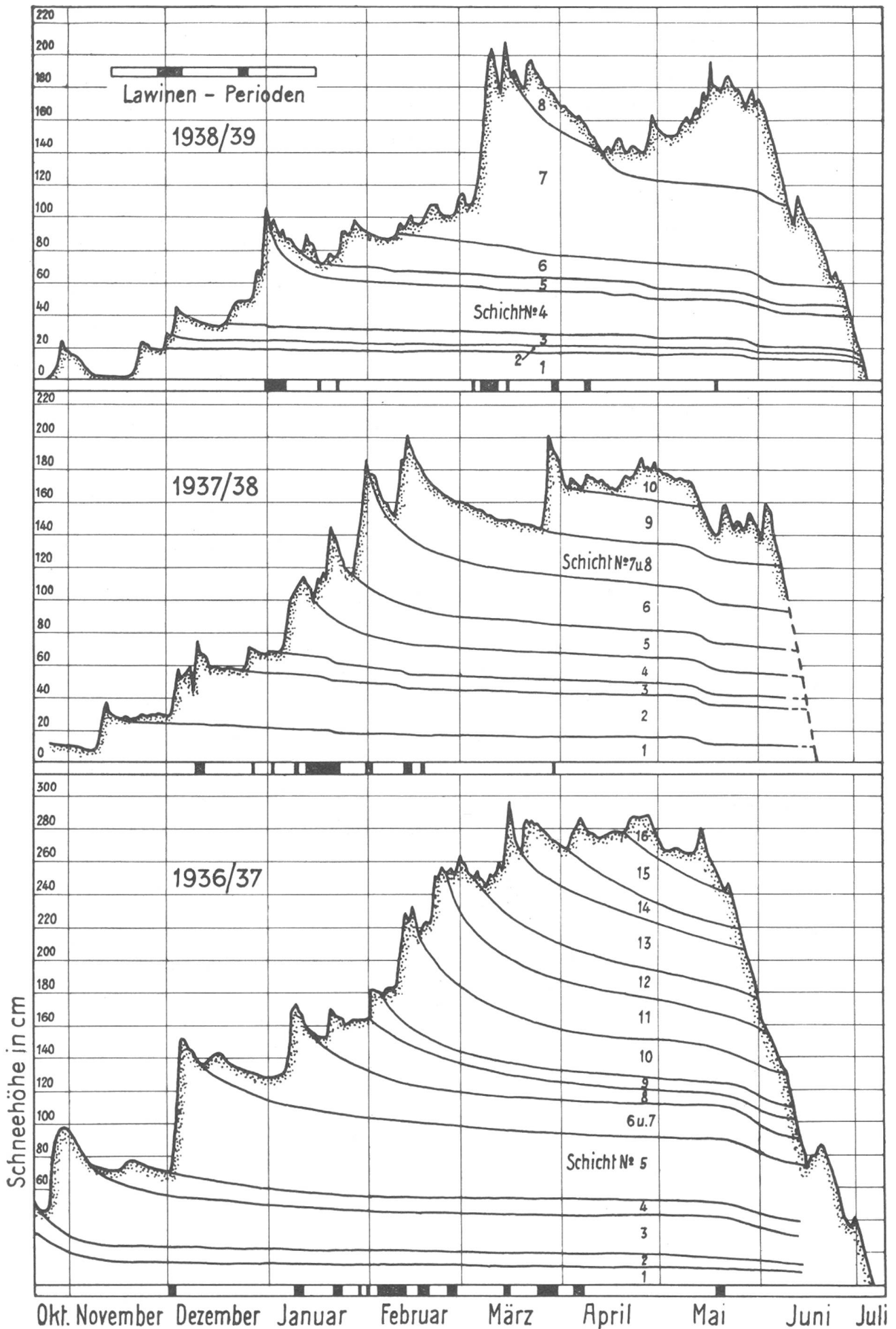


Fig. 6. Höhe und Schichtverlauf der Schneedecken 1936/37, 1937/38 und 1938/39. Station Weissfluhjoch, horizontales Versuchsfeld, Hauptertäli, 2540 m ü. M.

Setzungsvorgänge Hohlräume gebildet haben, beobachtet, nur tritt in diesem Falle meist schon wenige Tage nach der Bildung dieser Schichten (brettiger Neuschnee oder Triebsschnee) eine Stabilisierung ein. Da wie dort wird bei der plötzlichen Setzung der oberen kompakten Schichten die in den darunterliegenden Hohlräumen enthaltene Luft nach der Seite verdrängt. Es entstehen dabei Druckstösse, die sich im Innern der Schneedecke mit Schallgeschwindigkeit fortpflanzen, und es ist sehr wahrscheinlich, dass die oft beobachtete Fernauslösung von Lawinen, abgesehen von der direkten mechanischen Uebertragung des Stosses durch die Festsubstanz, auf solche Druckstösse der Porenluft zurückzuführen ist. Während sich die Fernauslösung oft dadurch äussert, dass beim Betreten eines mehr oder weniger horizontalen Geländes das beschriebene Einsacken der Schneeoberfläche erfolgt, wobei am Rande des Setzungsgebietes feine Risse entstehen, die sich blitzschnell bis an den benachbarten Hang erstrecken und dort die Auslösung einer Schneebrettlawine zur Folge haben, zeigt Photo 8 eine andere Art von Fernauslösung. Nachdem die Schwimmschneeschichten durch grössere windgepackte Neuschneesichten überdeckt waren, wurde am 31. Januar am Strelahang durch einen einzigen Schuss mit dem Minenwerfer eine ganze Lawinenreihe ausgelöst.

Die in der Einschlagstelle A erfolgte Explosion der 3,3 kg schweren Minenwerfer-Wurfgranate bewirkte eine lokale Abgleitung der Schneemassen in der Nähe des Felskopfes. Erst nachdem dieselben den Talboden erreicht hatten, griff die Bewegung, sich rückwärts und seitlich ausbreitend, auf weitere Gebiete über und hatte eine umfassende Säuberung zur Folge. Photo 9 zeigt ein Detail eines der vielen Anbrüche. Die dunkeln Partien, in denen der Schnee bis auf den Boden weggefegt wurde, lassen deutlich die lokale Ausdehnung der Schwimmschneester erkennen. Dass diese Verhältnisse damals nicht nur auf das Parsennggebiet beschränkt waren, beweisen die Meldungen und unsere anschliessenden Untersuchungen in Zuoz (Engadin), wonach ebenfalls am 31. Januar im obersten Teil des Val Buera, offenbar durch Skifahrer, eine kleine Lawine losgelöst wurde, die weitere Rutsche aus seitlichen Couloirs zur Folge hatte. Die vereinigten Schneemassen, welche durch die Schmierung der unterliegenden Schwimmschneeschichten beträchtliche Geschwindigkeiten aufwiesen, haben in ihrem Ausfluss eine Gruppe von Skifahrern überrascht, wovon zwei nur noch als Leichen geborgen werden konnten.

Auf ganz analogen Verhältnissen beruht der Unglücksfall vom 2. Januar 1939 im Meierhoftäli, der sich bei gesperrter Route ereignete (Photo 10), sowie derjenige im Dorftäli (ebenfalls bei Davos) vom 7. Januar. Die beiden letzten Unglücksfälle waren um so tragischer, als nur relativ wenig Schnee die Hänge bedeckte und deshalb die Touristen auch nach eingehenden Warnungen an eine Lawinengefahr nicht glauben wollten. Dass auch diese Lawinensituation nicht lokaler Natur war, geht daraus hervor, dass sich in der Zeit vom 1. bis 7. Januar 1939 eine ganze Reihe von Lawinenunglücken ereignete, die zusammen 36 Todesopfer forderten.

Derart kritische Situationen können oft sehr lange andauern, bis eine allmähliche Erwärmung der Schneedecke auf wenig unter 0° eine langsame Verfestigung und Stabilisierung derselben bewirkt. Eine rasche und radikale Aenderung kann dagegen nur durch einen kräftigen Warmlufteinbruch (besonders bei Regenfall) herbeigeführt werden, der die Schneedecke vollständig durchnässt und damit bei nachfolgend sinkender Temperatur (unter 0°) eine erneute durchgreifende Harstbildung ermöglicht. Dabei bleibt die Situation solange kritisch, bis der Gefrierprozess vollzogen ist. (Schluss folgt.)

Die reinen Fichtenbestände im fünften aargauischen Forstkreise. Von Kreisförster Bruggisser in Zofingen.

Dreieinhalb Jahrzehnte lang war ich im V. aargauischen Forstkreise (Zofingen) als Verwalter von 427 ha Staatswald und als Inspektionsbeamter von 30 Gemeinden mit 5271 ha Gemeinde- und Korporationswald tätig. Die im Forstkreis liegende Stadtgemeinde Zofingen mit 1448 ha Gemeindewald hat eine eigene technische Verwaltung.

Schon vor einer Reihe von Jahren wurde ich aufgefordert, meine langjährigen Beobachtungen über die Waldungen dieses Forstkreises zu veröffentlichen. Wenn ich nun dieser Aufforderung nachkomme, so hat mich dazu auch die Arbeit von Dr. *Rohmeder*, von der forstlichen Versuchsanstalt in München, über die Stammfäule der Fichtenbestockung in Deutschland, veranlasst.

Die Waldungen des V. aargauischen Forstkreises enthalten sehr ausgedehnte reine Fichten-Pflanzbestände, namentlich im Bezirk Zofingen, in den sogenannten altbernischen Vogtwaldungen des Amtes Aarburg, die im Jahre 1812 unter die holzberechtigten Gemeinden und den Staat aufgeteilt worden sind.

Im Jahre 1903 waren laut Wirtschaftsplänen folgende Waldflächen und Holzmassen vorhanden :

427 ha Staatswald mit . . .	121 834 Fm. Vorrat
5271 ha Gemeindewald mit . .	1 548 591 Fm. Vorrat
1447 ha Zofingen-Stadt mit . .	430 720 Fm. Vorrat
<u>7145 ha</u>	<u>2 101 145 Fm. Vorrat</u>

Hiervon waren 1869 ha (25 %) reine Fichtenbestände mit 713 855 Fm. (32 %) Masse, gleich 382 Fm. pro Hektare. Einzelne Gemeindewaldungen enthalten bis 64 % der Fläche reine Fichtenbestände. Schon bald nach meinem Amtsantritt fiel mir auf, dass in diesen reinen Fichtenbeständen immer mehr und unverhältnismässig viel rotfaules Abgangholz anfiel. Die Masse stieg von Jahr zu Jahr, bis im Jahre 1927 durch Windfall über 30 000 Fm. 40—60jährige Fichtenstangen geworfen worden sind. Windbruch konnte nur vereinzelt festgestellt werden. Der Windwurf erfolgte in Kesseln, an Hängen, wie in der Ebene. Ueberall waren nun Lücken in die Bestände dieser Fichten-

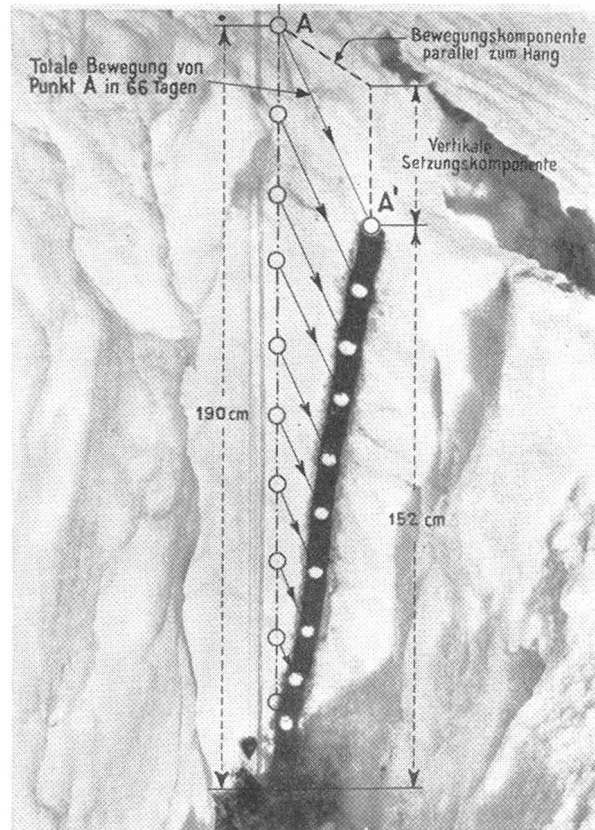
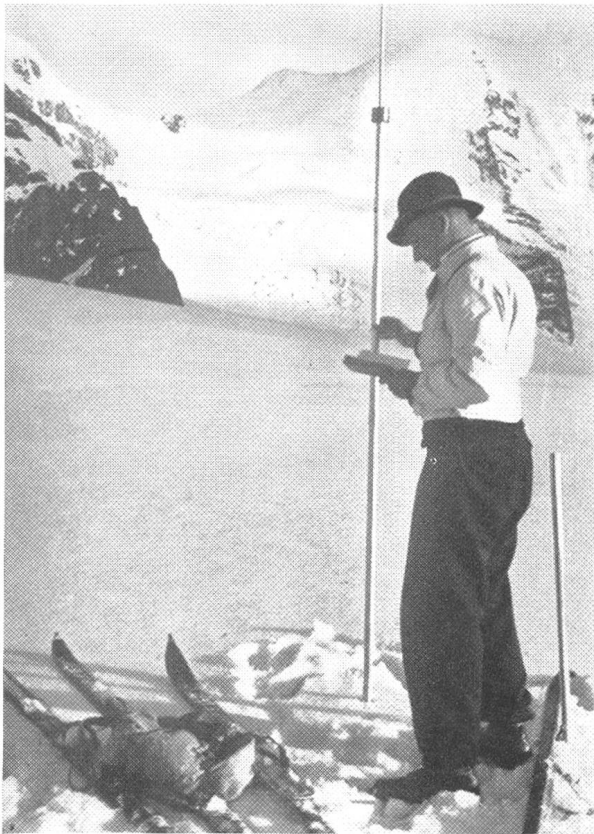


Photo 1 (links). Aufnahme eines Rammprofils (Rammsonde).

Photo R. Haefeli.

Photo 2 (rechts). Kriechprofil. Hangexposition: Südost, 2660 m ü. M. Versetzen der Pingpongkugeln am 23. März 1937, ausgegraben am 29. Mai 1937. Messzeit 66 Tage. Infolge rauher Bodenoberfläche (Geröllhalde) trat kein Gleiten (« süeggen ») der Schneedecke auf den Boden ein, wie dies bei Grashalden, namentlich bei Südexposition (höhere Bodentemperatur) häufig vorkommt.



Photo R. Haefeli.

Photo 3. Durch « Gux » erodierte Schneedecke. Rings um diese Schneeinsel ist die Schneedecke vollständig wegerodiert. Alp Grüm, 6. Januar 1939.

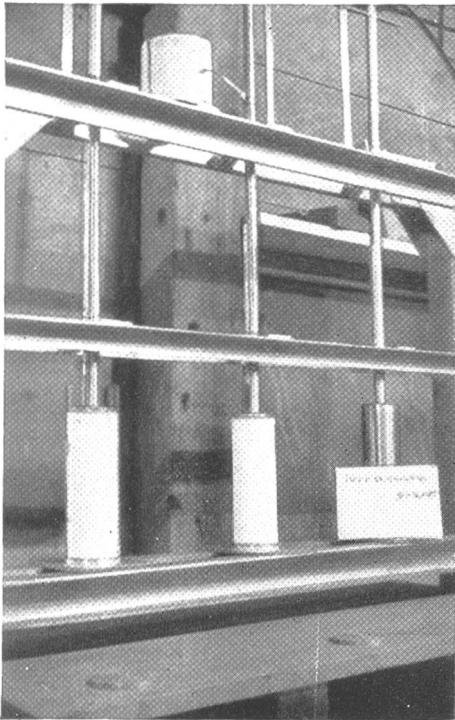


Photo E. Bucher.

Photo 4. Druck- oder Kompressionsapparat. Die zylindrischen Schneeproben werden durch Gewichte, die auf den vertikalen Führungsstangen ruhen, belastet. Auf der oben sichtbaren Trommel wird der zeitliche Verlauf der Setzung (Setzungskurve) registriert.

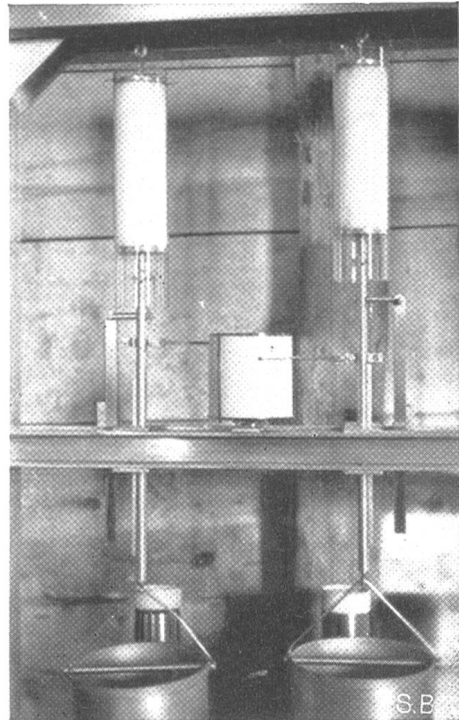


Photo E. Bucher.

Photo 5. Zug- oder Dehnungsapparat. Die zylindrischen Schneeproben werden an Metallplatten angefroren und aufgehängt. An der unteren Platte werden Gewichte angehängt, die sich in den zuunterst sichtbaren Kesseln befinden.

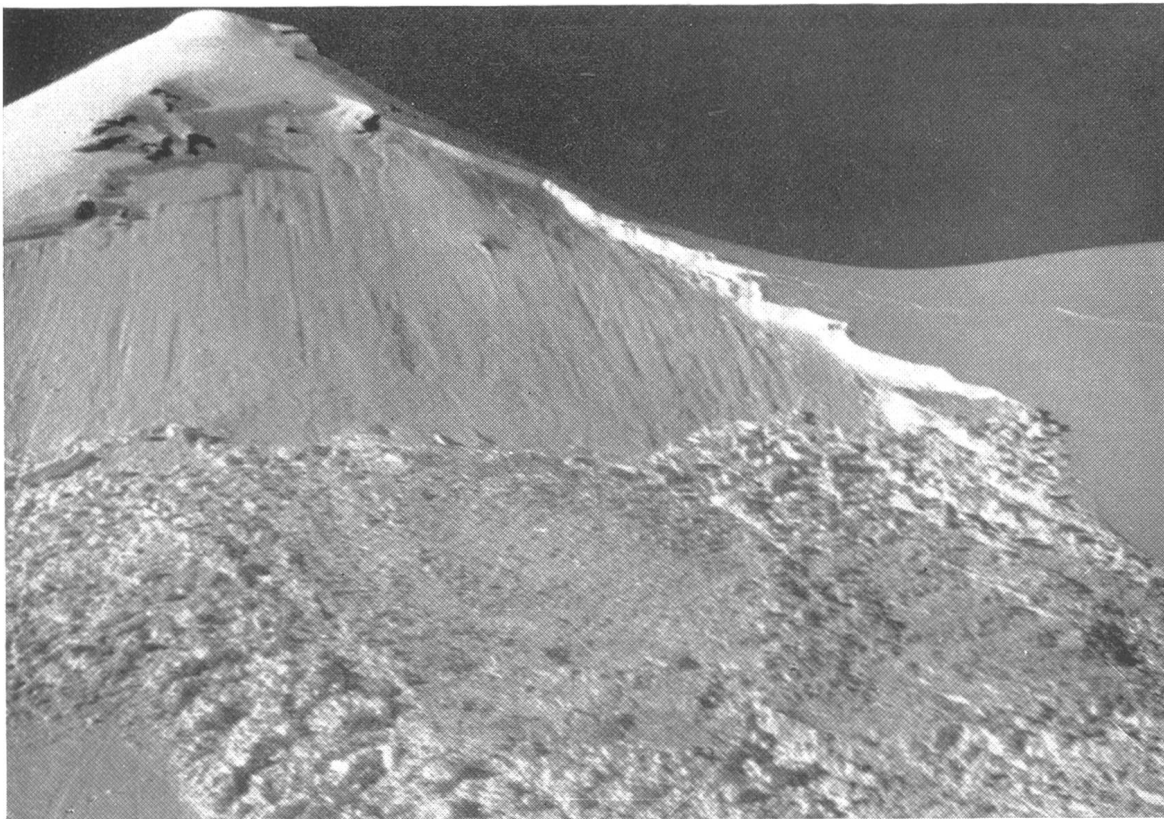


Photo 6. Schneebrettlawine im Hauptertäli vom 9. Januar 1937. Leeseite, leichte Windpackung, Zerfall der Schollen beim Sturz. Die damalige Lawinensituation erforderte in der Schweiz 11 Menschenleben (Furka, Brisen, Spitzmeilen, Alvier).

Photo R. Haefeli.