

Zeitschrift:	Verhandlungen der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft = Actes de la Société Helvétique des Sciences Naturelles = Atti della Società Elvetica di Scienze Naturali
Herausgeber:	Schweizerische Naturforschende Gesellschaft
Band:	130 (1950)
Artikel:	Die Metamorphose des Schneekristalls
Autor:	Quervain, M. de
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-90475

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 29.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Die Metamorphose des Schneekristalls

Von

M. DE QUERVAIN

Leiter des Eidg. Institutes für Schnee- und Lawinenforschung, Weißfluhjoch

Abendvortrag, gehalten am 27. August 1950, im Rathaussaal, Davos

Vorbemerkung: Der nachfolgende Vortrag war begleitet von 36 Lichtbildern. Wir können hier nur drei Illustrationen beigeben. Eine gewisse Umstellung des Textes erwies sich daher als notwendig.

Den Besuchern des Schneeforschungsinstitutes leuchtet im allgemeinen die Nützlichkeit der Untersuchungen über das Problem der Lawinenverbauung ohne weiteres ein. Hingegen bereitet es ihnen oft Mühe, den Zweck gewisser anderer Studien zu verstehen. Fragende Gesichter oder gar leicht geschüttelte Köpfe sind besonders beim Mikroskopiertisch im Kältelaboratorium zu beobachten, wo der Schneekristall als isoliertes Einzelindividuum oder als Element der Schneestruktur untersucht wird.

Dem Naturwissenschaftler gegenüber braucht dieser Zweig der Schneeforschung nicht besonders gerechtfertigt zu werden, denn ihm ist es ja geläufig, daß überall, wo Materie im Spiel ist, die makroskopischen Phänomene im Mikroskopischen, wenn nicht gar im Ultramikroskopischen begründet sind. In diesem Sinne ist auch eine Lawine letzten Endes das Ergebnis von Vorgängen im kristallinen oder molekularen Bereich. Dem Naturwissenschaftler ist aber auch der Gedanke vertraut, daß Forschung um ihrer selbst willen betrieben werden kann, einfach aus wissenschaftlicher Neugier heraus. Auch etwas von diesem Motiv steckt in der Beschäftigung mit dem Schneekristall und seiner Metamorphose.

Im irdischen Kreislauf des Wassers führen mehrere Wege streckenweise über die feste Phase, das Eis. Das uns hier interessierende Teilstück beginnt mit der Bildung eines Eiskeimes in der Atmosphäre, zieht sich weiter mit dem aufwachsenden und sich ablagernden Schneekristall in die Schneedecke und endet mit der Schneeschmelze im Frühling. Wir wollen das Geschick des Eiskristalls über die ganze Wegstrecke verfolgen und dabei unsere Aufmerksamkeit besonders seiner Gestaltänderung schenken.

Jeder Skiläufer weiß, daß Schnee ein sehr veränderliches Material ist. Gewicht, Festigkeit, Reibungsverhältnisse und viele andere Eigenschaften variieren in weiten Grenzen — mit dem Ort und mit der Zeit. Für die verschiedenen Schneearten sind allerlei hergebrachte Bezeichnungen in Gebrauch, wie «Pulverschnee», «Altschnee», «Harsch», «Firn» usw. Die Ansätze für eine wissenschaftliche Klassierung sind hingegen verhältnismäßig jung. Als einer der ersten hat der kürzlich hochbetagte verstorbene deutsche Geologe WILHELM PAULCKE den Schnee in allen seinen Erscheinungsformen systematisch beobachtet (1). Er hat auch den Vorgang der stetigen Schneewandlung erkannt und als Diagenese bezeichnet. Später ist von Mitarbeitern der Schweizerischen Schne- und Lawinenforschungskommission der Begriff der Schneemetamorphose in Anlehnung an die Gesteinsmetamorphose eingeführt worden (3). In diesem Zusammenhang muß auch der Engländer G. SELIGMAN erwähnt werden, dessen Buch das englische Standardwerk über Schnee ist (2).

Die erste Phase der Metamorphose spielt sich in der Atmosphäre ab und erfaßt bereits den fallenden und aufwachsenden Schneekristall.

Bis in die jüngere Zeit war das freie Wachstum der direkten Beobachtung entzogen. Man begnügte sich damit, die fallenden Schneekristalle aufzufangen und ihren unerschöpflichen Formenreichtum zu bewundern. So hat der Amerikaner W. A. BENTLEY (4) anfangs des Jahrhunderts begonnen mit der Kamera Jagd auf Schneekristalle zu machen, und er hat im Lauf von Jahrzehnten Tausende von Aufnahmen gesammelt, kaum eine gleich wie die andere.

In den dreißiger Jahren ist es dem Japaner U. NAKAYA mit seinen Mitarbeitern (5) gelungen, im Laboratorium Eiskeime zu Schneekristallen von normaler Größe auswachsen zu lassen und durch Variation von Temperatur und Feuchtigkeit viele der in der Natur beobachteten Formen zu erzielen. Die Keimbildung selbst ist von zahlreichen Forschern eingehend untersucht worden. Der Amerikaner V. J. SCHAEFER (6), um nur einen Namen zu nennen, hat beobachtet, daß sich unterkühlter Nebel in Gegenwart gewisser Fremdsubstanzen in eine Eiswolke umwandelt. Die Fremdsubstanzen — es handelt sich um fein verteilte Partikel mineralischer Zusammensetzung — wirken dabei als Sublimationskerne. Bei Temperaturen unter -40°C sind diese Kerne nicht mehr notwendig; die Eisbildung erfolgt dann spontan. Aus diesen Beobachtungen sind die heute viel diskutierten Methoden der künstlichen Niederschlagsauslösung entwickelt worden.

Auf Weißfluhjoch hat man sich erst spät dem *fallenden* Schnee zugewandt. Der Auftrag des Institutes stellte das Studium des abgelagerten Schnees in den Vordergrund. Immerhin haben im Winter 1948/1949 die beiden Mitarbeiter TH. ZINGG und H. P. EUGSTER (7) in kombinierten meteorologischen und kristallographischen Beobachtungen bereits eine bemerkenswerte Korrelation zwischen dem Ablauf einer Wintersituation und dem dabei auftretenden Habitus der Schneekristalle festgestellt.

Auf seinem Weg zum Erdboden trifft der Kristall ständig wechselnde Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnisse an. Bald ist er mehr, bald weniger unterkühlt gegen seine Umgebung. Dementsprechend werden Phasen raschen Wachstums abgelöst von Momenten der Stagnation, oder gar des Verdampfens und Abschmelzens. Ähnlich einer aerologischen Sonde, zeichnet also der Kristall den Zustand der Atmosphäre längs des durchmessenen Weges auf und integriert ihn in seiner Gestalt.

Je vollständiger unsere allgemeinen Kenntnisse über die Wachstumsverhältnisse des Eiskristalles im Dampfstrom sind, desto besser werden wir aus einem aufgefangenen Schneestern den momentanen Zustand der Atmosphäre herauslesen können.

Im Frühstadium des Kristallwachstums beobachtet man oft hexagonale Plättchen von mikroskopischer Größe bis zu Durchmessern von 1–2 mm. Beim weiteren Wachstum entstehen an den sechs Ecken, je nach Temperatur und Übersättigung der Luft, entenfußartige, balkenförmige oder spießartige Fortsätze, die ihrerseits wieder Seitenäste tragen können. Mitunter wächst der Stern direkt vom Zentrum aus strahlig, ohne Bildung einer Zentralplatte. Als Rarität treten verzwilligte Formen mit 12 regelmäßigen Ästen in Erscheinung, andererseits auch Halbformen von dreizähliger Symmetrie. Die eben erwähnten Typen sind Einkristalle oder gesetzmäßige Verwachsungen, deren kristallographische Hauptachsen parallel zur Achse ihrer äußeren Symmetrie verlaufen. In engen Bereichen der Wachstumsbedingungen entstehen Nadeln, seltener kurzsäulige Prismen. Sehr häufig aber beschert uns der Himmel alle möglichen Verwachsungen, Zusammenballungen, Krüppel- und Trümmerformen. Im stürmischen Bergwinter kann man unter Umständen wochenlang auf einen ansehnlichen Schneestern warten.

V. J. SCHAEFER (8) hat ein hübsches Verfahren angegeben, um die Kristalltypen eines Schneefalles in aller Ruhe studieren zu können.

Eine Glasplatte wird mit einer 2%igen Lösung von Polyvinylformal in Dichloräthylen begossen und einige Sekunden dem Schneefall ausgesetzt. Die auftreffenden Kristalle werden sofort von der Lösung umschlossen. Nun lässt man das Lösungsmittel in der Kälte, vor weiterem Schneefall geschützt, verdampfen. Das Präparat kann hernach in das warme Zimmer gebracht werden, wo die Schneekristalle schmelzen und ebenfalls verdunsten. Zurück bleibt schließlich ein hauchdünner Abguß, der die ursprüngliche Gestalt der Schneekristalle naturgetreu wiedergibt. Solche Präparate lassen sich direkt projizieren, sie können aber auch mikroskopischen Studien unterzogen werden und sollen hinsichtlich Genauigkeit der Reproduktion elektronenmikroskopischen Ansprüchen genügen.

Eine systematische Klassierung aller Typen von Neuschneekristallen ist verschiedentlich vorgeschlagen worden, u. a. von U. NAKAYA.

Gegenwärtig ist eine kleine internationale Kommission mit der Ausarbeitung einer Schneeklassifikation beschäftigt. In einem ersten Vorschlag sind für den fallenden Schnee 10 Klassen von Kristalltypen aufgestellt worden, die alle festen Hydrometeore, also auch Graupeln

und Hagel, in sich schließen. Das System ist nicht eigentlich nach kristallographischen Gesichtspunkten aufgebaut, vielmehr umfassen die einzelnen Klassen meteorologisch zusammengehörige Formen. Mit einer oder wenigen Zahlen soll ein Schneefall charakterisiert werden können.

Gewisse Formen, z. B. einseitige Pyramiden, rufen immer wieder Diskussionen über die kristallographische Klassenzugehörigkeit des Eises auf den Plan. Es ist eigenartig, daß heute noch, und zwar durchaus begründet, Meinungsverschiedenheiten über diesen Punkt bestehen, obgleich doch Eis ein denkbar gewöhnliches und leicht zugängliches Mineral ist! – Neulich wurde in Deutschland eine piezoelektrische Erregbarkeit von Eis in der *c*-Achse nachgewiesen (9). Damit dürfte die Frage der Entscheidung nähergerückt sein, indem nur noch polare Achsen zu berücksichtigen wären. Die hexagonale Hemimorphie (C_{6v}) scheint als Kristallklasse die größte Chance zu haben.

Bevor wir das weitere Schicksal des abgelagerten Neuschneekristalls in der Schneedecke verfolgen, soll kurz auf ein Experiment «*in vitro*» hingewiesen werden. Wir fragen uns: Wie verhält sich ein Schneekristall, wenn man ihn in ein kleines Glashäuschen sperrt und bei konstanter negativer Temperatur sich selbst überläßt? Das Resultat dieses erstmals von H. BADER (3) ausgeführten Versuches läßt sich wie folgt beschreiben:

Zunächst verliert der Kristall die feine Ziselierung, wird transparent, die Ecken und Kanten runden sich ab, und zusehends konzentriert sich das Material von den sich abbauenden Seitenästen auf die Hauptäste und das Kristallzentrum. In einem Fall wurde im Lauf von 71 Tagen das Wachstum eines dünnen Seitenastes zu einem ebenflächig begrenzten Plättchen (Prisma und Basis) beobachtet. Man hat es offenbar bei dieser Umlagerung mit einer selektiven Verdampfung und Kondensation zu tun. An den vorspringenden, konvexen Teilen werden die Moleküle weniger stark an den Kristall gebunden als in einspringenden Winkeln und werden dort allmählich abdampfen. Das führt zu lokaler Übersättigung in bezug auf die anderen Partien des Kristalls und zur Eisausscheidung an diesen Teilen. Wir dürfen bei diesen Versuchen aber nicht verschweigen, daß möglicherweise geringe Temperaturschwankungen in der Kältekammer am Effekt mitbeteiligt sind.

Der Gedanke, daß vielleicht eine Substanzwanderung in der Kristalloberfläche selbst an der Umwandlung mitwirken könnte, hat uns dazu veranlaßt, einen Schneekristall in Paraffinöl einzubetten und isoliert von der Dampfatmosphäre bei -10° C aufzubewahren. Nach 100 Tagen Haft war aber praktisch keine Veränderung festzustellen, was zu beweisen scheint, daß die Möglichkeit des Dampfaustausches für die Metamorphose unerlässlich ist.

Welches letzten Endes ihr Mechanismus ist, soll hier nicht erörtert werden. Für das weitere genügt es, festzuhalten, daß der gegliederte Neuschneekristall, umgeben von einer Dampfatmosphäre, außerordentlich labil ist und nach einer Vereinfachung seiner Form strebt.

Nun zum Experiment «in vivo», d. h. zur Metamorphose des Schneekristalls im Gefügeverband der natürlichen Schneedecke. Ein Blick in die angeschnittene hochwinterliche Schneedecke im Versuchsfeld Weißfluhjoch (Fig. 1) lässt ihre horizontale Schichtung erkennen als Abbild der meteorologischen Verhältnisse während und zwischen den einzelnen Schneefällen. Im durchscheinenden Profil kommt die Schichtung besonders schön zur Geltung, da unterschiedliche Korngröße und Kornpackung ungleiche Lichtdurchlässigkeit zur Folge haben. In regelmäßigen Zeitabständen vom Einschneien bis zum Ausapern wurden aus

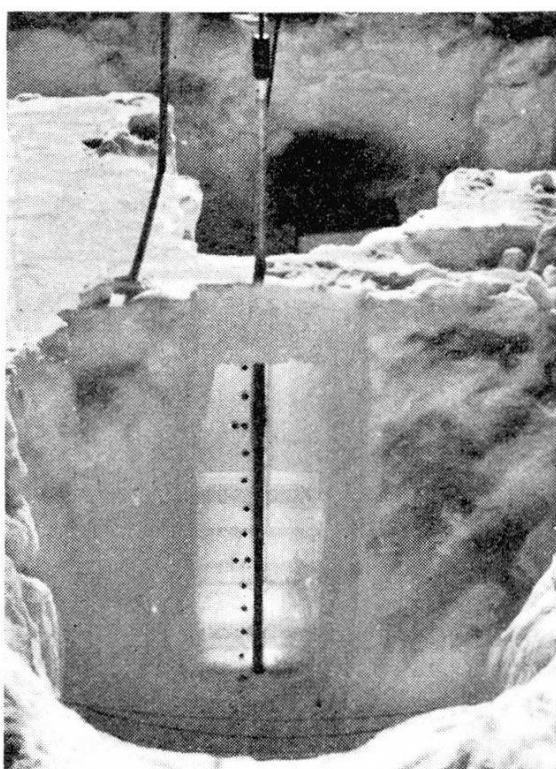


Fig. 1

Durchscheinendes Schneeprofil, aufgenommen im Versuchsfeld Weißfluhjoch am 2. Februar 1950. Das dunkle Metallrohr in der Bildmitte ist eine mit einer Kegelspitze versehene Rammsonde, die vor der Öffnung des Profils zur Festigkeitsprüfung in den Schnee eingetrieben wurde. Höhenmarkierung mit Nägeln von 10 zu 10 cm.
(Photo M. de Quervain)

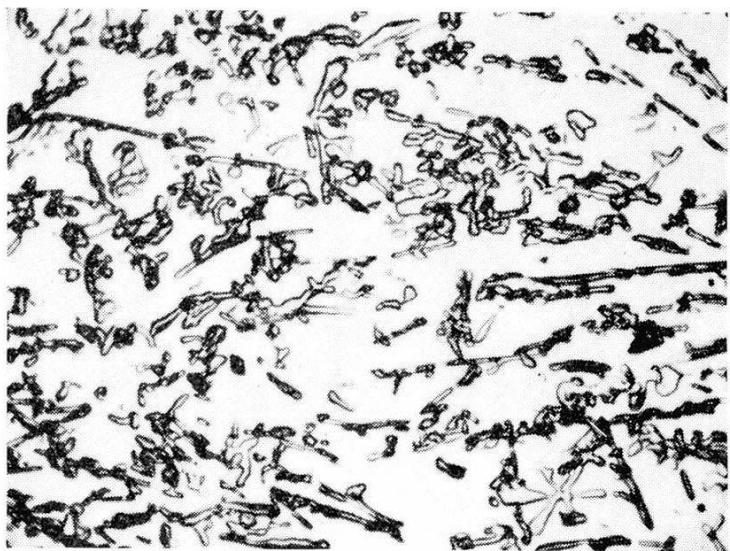
dieser Schneedecke in verschiedenen markierten Schichten Proben ausgestochen und in das Kältelaboratorium zur kristallographischen Untersuchung gebracht. Die besten Einblicke in die Schneestruktur bietet der mikroskopische Dünnschliff. Zur Anfertigung eines Dünnschliffes – oder besser Dünnschnittes – wird der Porenraum der Schneeprobe mit einer den Schnee nicht angreifenden, bei zirka -8°C erstarrenden Flüssigkeit ausgegossen (Phthalsäure-Diäthylester). Das Schneiden der Präparate auf die Dicke von 0,2 bis 0,4 mm Dicke mittels einer Kreisfräse hat dann bei tiefen Temperaturen zu geschehen (um -20°C). Im fertigen Schnitt

wird die Porenfüllsubstanz nachträglich durch Zusetzen eines Lösungsmittels wieder verflüssigt. Man erhält so ein klares, transparentes Strukturbild.

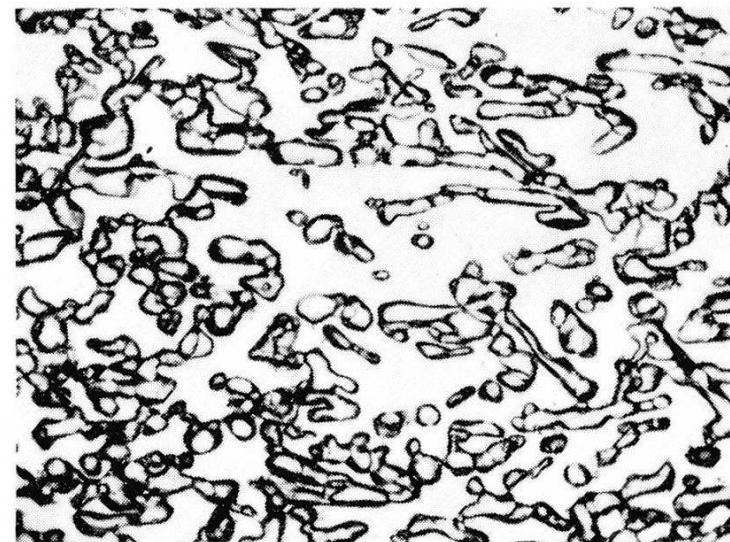
Die Dünnschnittserien der Winter 1947–50 ließen den Ablauf der Schneemetamorphose in den einzelnen Schichten genau verfolgen. (Die kristallographischen Arbeiten des Winters 1948/49 wurden von Ing.-Petrogr. H. P. EUGSTER durchgeführt.) Ganz allgemein stellt man in der ersten Phase der Umwandlung ein ähnliches Verhalten wie beim isolierten Einkristallversuch fest. Die Neuschneekristalle verlieren ihr Relief, runden sich ab und zerfallen unter Abschnürung von Seitenästen in ein feinkörniges Material (Fig. 2a). Bei diesem Stadium bleibt die Metamorphose jedoch nicht stehen, sondern schreitet fort in Richtung des Aufbaues idiomorpher Kristallformen, unter gleichzeitiger starker Vergrößerung des mittleren Kristalldurchmessers. Zunächst erscheinen mehr oder weniger isometrische Vollformen, später entwickeln sich Hohlformen, und als Endstadium dieser aufbauenden Phase finden wir ein grobkörniges Material, das aus eigenartig gestuften, von Basis-, Prismen- und Pyramidenflächen begrenzten Becherkristallen besteht. Paulcke hat es als «Tiefenreif» oder «Schwimmschnee» bezeichnet. Die Größe der Kristallindividuen kann gegen 1 cm reichen. Wie später gezeigt wird, strebt die Metamorphose nicht immer der Schwimmschneebildung zu. Auch Vollformen können Endformen sein.

Die Kornbindung im Schwimmschnee ist äußerst schwach. Es hält schwer, zusammenhängende Proben auszustechen, und doch besitzt dieser Schnee eine bemerkenswerte Tragfähigkeit, ist er doch imstande, eine überlagerte Decke von 2, 3 und mehr Metern Mächtigkeit zu tragen. Dabei ist sein spezifisches Gewicht kaum höher als im Stadium der abbauenden Metamorphose. Wenn wir die Struktur betrachten, fällt uns sofort eine gewisse Ordnung auf (Fig. 3). Die im Schnitt dreieckartig erscheinenden Kristalle sind regelmäßig angeordnet, mehrheitlich mit der Becheröffnung nach unten. Unmittelbar über dem Boden beobachtet man oft ein strahliges Gerüst, sich gewölbeartig auf vorspringende Teile des Bodens stützend, vergleichbar der strahligen Struktur eines Knochens. Der Vergleich ist schon weitergeführt worden, indem dem Schnee direkt das Bestreben zugesprochen wurde, mit einem Minimum an Material ein Maximum an Tragfähigkeit herauszuwirtschaften. Er tut es in der Tat, doch ist bei der Interpretation dieser Erscheinung Zurückhaltung geboten. Schließlich besteht für den Schnee keine Notwendigkeit, die Last ohne Bruch zu tragen.

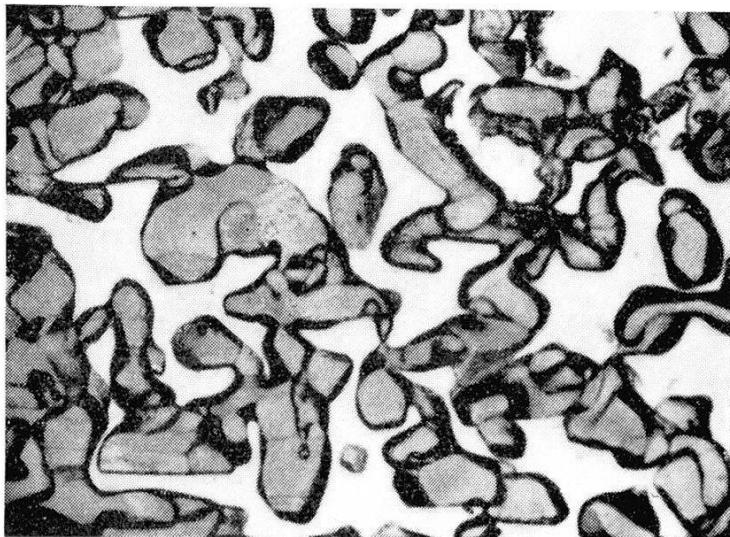
Die allgemeine Erklärung für die Umwandlung des Neuschneekristalls zum Vollkorn und zum Becherkristall ergibt sich aus den Temperatur- und Luftdurchlässigkeitverhältnissen in der Schneedecke. In den wärmeren, bodennahen Schichten belädt sich die Porenluft mit Wasserdampf, steigt auf und scheidet ihn mit fortschreitender Abkühlung wieder aus. Das Temperaturgefäß vom Boden zur Schneeoberfläche ist also das treibende Element der Metamorphose, während die Luftdurchlässigkeit das regulierende Ventil darstellt. Dort wo die Luft-



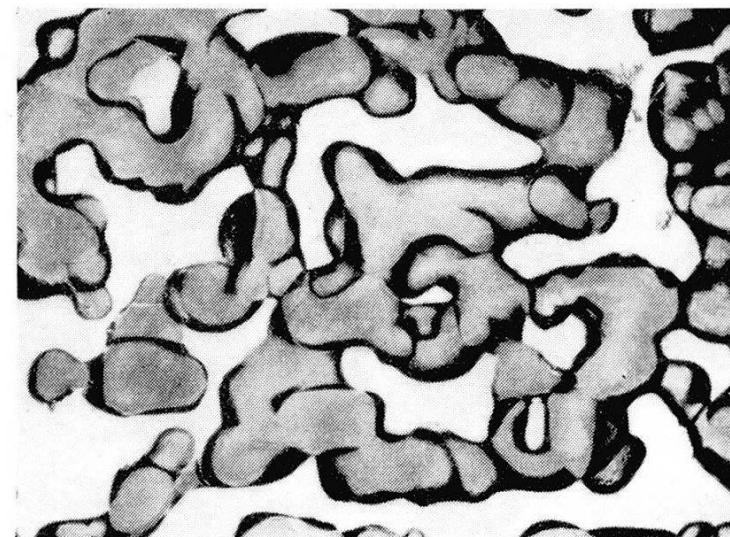
a) Probe vom 3. Januar 1950 (Schnee 1-2 Tage alt)
Abbauende Metamorphose im Gang



b) Probe vom 17. Januar 1950
Aufbauende Metamorphose im Anfangsstadium



c) Probe vom 1. April 1950. Aufbauende Metamorphose
Schwimmschneestadium wird nicht erreicht



d) Probe vom 1. Juni 1950
Schmelzmetamorphose

Fig. 2. Verlauf der Schneemetamorphose in einer Schicht 100 cm über dem Boden. Dünnschnittbilder von seitlich aus der Schicht ausgestochenen Proben. Die Richtung nach oben entspricht der Richtung nach der Schneeoberfläche. (Breite des Bildfeldes in Natur = 6,8 mm). Fig. 2c und d in den Kornschnitten leicht gefärbt. (Photo M. de Quervain)

durchlässigkeit behindert ist, wird auch die Metamorphose gebremst. Windgepackte Schichten mit schwacher Luftpurchlässigkeit werden z. B. nur wenig umgewandelt. So kommt es, daß die Schneedecke im Verlauf eines Winters nicht durchwegs homogener wird, sondern sich mitunter noch weiter differenziert.

Von zwei Schichten, die unter dem gleichen Temperaturgefäß stehen und die gleiche Luftpurchlässigkeit besitzen, wird die kältere weniger stark umgewandelt. Daher wird das eigentliche Schwimmschneestadium meist nur in den untersten, wärmeren Schichten unmittelbar über dem Boden erreicht. Dort genügen unter Umständen ein bis zwei



Fig. 3

Dünnschnitt einer Schwimmschneeprobe, entnommen am 1. Mai 1950 aus einer Schicht 6 cm über dem Boden. Schneefall vom 28. Oktober 1949. Orientierung der Struktur wie Fig. 2. Maßstab: Bildbreite in Natur 2 cm. Das Endstadium der aufbauenden Metamorphose ist erreicht. Man beachte die bevorzugte Orientierung der Becherkristalle.

(Photo M. de Quervain)

Wochen zum Aufbau der Endformen. Verschiedene Probleme der Metamorphose sind noch offen, so z. B. die Begründung der Becherbildung, dann auch die Frage der bevorzugten Kristallorientierung.

Schon im Strukturbild fällt oft eine deutliche Textur auf, d. h. eine Vorzugsorientierung der Kristalle in bezug auf ihre Gestalt. Im Polarisationsmikroskop erkennt man, daß diese Orientierung auch die kristallographischen Achsen betrifft, und zwar in dem Sinn, daß die Hauptachse (*c*-Achse) bei horizontaler Schichtung vorzugsweise eine vertikale Lage einnimmt. In der geneigten Schneedecke ist die Senkrechte zur Hangfläche die ausgezeichnete Richtung. Diese Gefügeregelung geht sicher in gewissen Fällen auf eine geordnete Ablagerung des Neuschnees zurück. (Fig. 2a zeigt eine eindeutige Neuschneetextur.) Andererseits können auch die Richtung des Temperaturgefäßes und des Dampfstromes im Schnee eine orientierende Wirkung ausüben im Sinne einer Bevorzugung des Wachstums von Kristallen, die parallel zum Temperaturgradienten orientiert sind.

Mit der Durchnässung der Schneedecke setzt wieder eine abbauende Phase der Metamorphose ein. Die Kristallformen runden sich ab, in den

Hohlräumen und an den Kornbrüchen sammelt sich Wasser. Beim Wiedergefrieren von durchnäßtem Schnee, was ja im Frühling in oberflächlichen Schichten die Regel ist, entsteht dann eine Kornpackung, die bekanntlich an Dichte und Kohäsion den Winterschnee bei weitem übertrifft. Im Strukturbild läßt sich gefrorener Naßschnee von Schnee, der nie mit Wasser in Berührung kam, gut unterscheiden (Fig. 2d).

Auf Weißfluhjoch beginnt die eigentliche Schmelzperiode gewöhnlich in der zweiten Aprilhälfte. Bis zum völligen Auftauen der Schneedecke und zur Wasserdurchtränkung kann es aber Mitte Mai werden. Wenn anfangs Juli sich die letzten Schneereste verflüssigen, findet die Schneemetamorphose in der Gegend unserer Bergstation ihren saisonmäßigen Abschluß. In den Firnfeldern höherer Lagen, vor allem in den Einzugsgebieten der Gletscher, schreitet sie aber fort und führt im Verlauf von Jahrzehnten, wenn nicht von Jahrhunderten, zum Gletscherkorn.

(Anschließend an das Referat wurde der Film «Schnee- und Lawinenforschung» vorgeführt, der einen Überblick über die Feld- und Laboratoriumsarbeiten der Schneeforschung gibt.)

Literaturhinweise

- (1) PAULCKE, W., Praktische Schnee- und Lawinenkunde; Jul. Springer, Berlin (1938).
- (2) SELIGMAN, G., Snow Structure and Ski Fields; MacMillan, London (1936).
- (3) NIGGLI, P., BADER, H., HAEFELI, R., BUCHER, E., NEHER, J., ECKEL, O., THAMS, C., Der Schnee und seine Metamorphose; Kümmerly & Frey, Bern (1939).
- (4) BENTLEY, W. A., and HUMPHREYS W. J., Snow Crystals; New York and London (1931).
- (5) NAKAYA, U., und MITARBEITER, Experiments on the artificial Production of Snow Crystals; Hokkaido Imp. University (1938).
- (6) SCHAEFER V. J., The production of ice crystals in a cloud of supercooled water droplets; Science 104 (1946).
- (7) ZINGG, Th., und EUGSTER, H. P., Meteorologisch-kristallographische Untersuchungen einiger Schneefälle. Interne Bericht Nr. 116 des Eidg. Institutes für Schnee- und Lawinenforschung. (Publikation in Vorbereitung.)
- (8) SCHAEFER, V. J., Properties of particles of snow and the electrical effects they produce in storms; Trans. Am. Geophys. Union, Vol. 28, Nr. 4 (1947).
- (9) ROSSMANN F., Polare Kristallformen und elektrische Erregung des Eises. Experientia, Vol. VI, Fasc. 5 (1950).