

Das Korngefüge von Schnee

Autor(en): **Quervain, Marcel de**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen
= Bulletin suisse de minéralogie et pétrographie**

Band (Jahr): **28 (1948)**

Heft 1: **Festschrift P. Niggli zu seinem 60. Geburtstag den 26. Juni 1948**

PDF erstellt am: **17.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-23060>

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.

Das Korngefüge von Schnee

Von *Marcel de Quervain*, Davos/Weissfluhjoch

Die Schneedecke ist dort, wo sie über längere Zeit zusammenhängend besteht, aus mehr oder weniger deutlich getrennten Schneelagen verschiedener Mächtigkeit und Festigkeit aufgebaut. Von der Oberfläche zum Erdboden, d. h. in der Richtung zunehmenden Alters, bemerkt man im allgemeinen eine starke Kornvergrößerung. In der Schichtung kommen die zeitlich getrennten Niederschlagsperioden zum Ausdruck, wobei die bei der Ablagerung herrschenden meteorologischen Bedingungen (vor allem Wind und Temperatur) den einzelnen Schichten ihr Gepräge geben. Das zweite Merkmal, die Kornvergrößerung nach der Tiefe, ist das Ergebnis eines langsamen kristallinen Umwandlungsprozesses, der Schneemetamorphose (1). Dieser Vorgang, der manche Parallele mit der Gesteinsmetamorphose — etwa dem Marmorisieren von Kalk — aufweist, hat seine Ursachen teils in der besonderen Temperaturschichtung der Schneedecke, teils in einer Form-Instabilität des Neuschneekristalls. Der hohe Dampfdruck des Eises in der Nähe der Schmelztemperatur und die Zirkulationsmöglichkeit des Dampfes in der porösen Struktur des Schnees sind die Grundbedingungen für die Umwandlung. Auch die Schwerkraft greift in den Prozess ein, indem sie eine ständige Verdichtung des Gefüges bewirkt, äusserlich erkennbar an der Setzung der Schneedecke. Bei geneigter Unterlage überlagert sich noch eine sehr langsame Kriechbewegung, die von einer plastischen Deformierbarkeit des Korngefüges zeugt.

Wir fragen uns nun, ob nicht das scheinbar regellose kristalline Haufwerk zwischen den einzelnen Schichtgrenzen unter der Wirkung der äusseren gerichteten Einflüsse eine gewisse Gesetzmässigkeit annimmt, sei es in der Ausbildung der Kornform, sei es in der räumlichen Kornanordnung. Der Einzelkristall mit seiner hexagonalen Axialsymmetrie ist ja bezüglich aller in Frage kommenden Eigenschaften (Wachstum, Plastizität) ausgesprochen richtungsabhängig. Im Hinblick auf die Schneemechanik interessiert uns ferner die Art

der Kornbindung. Während bei Lockeraggregaten (Sand etc.) die Haftung zwischen den Körnern nur auf Adhäsion beruht, muss bei Schnee eine stärkere Verbindung zwischen den Körnern angenommen werden. Die hohe Zugfestigkeit von Schnee, welche 50 kg, unter gewissen Bedingungen sogar 100 kg/dm² übersteigen kann,

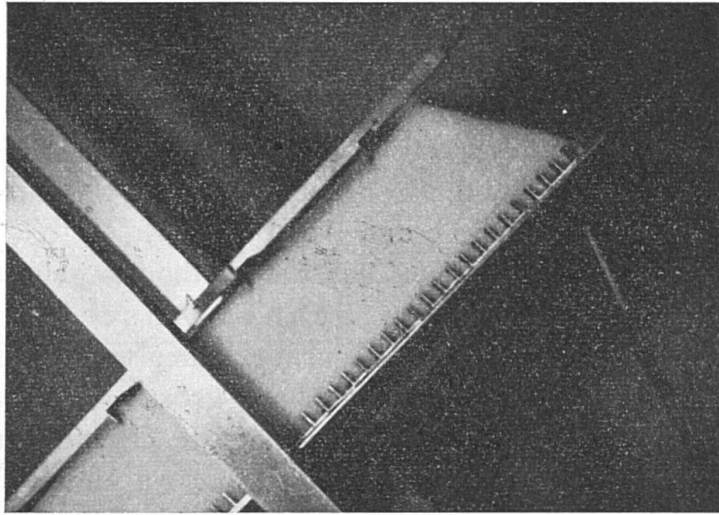


Fig. 1. Schneeprobe 2 im Scherapparat unter ihrem Eigengewicht in 14 Tagen deformiert. $T = -3^{\circ}$ (Tafel aus der natürlichen Schneedecke rechtwinklig ausgestochen).

deutet auf eine eigentliche Kornverwachsung hin. Wir haben versucht, auf Grund von Wärmeleitmessungen einen mittleren Berührungsquerschnitt abzuschätzen. Solange aber keine Anhaltspunkte über die räumliche Kornanordnung vorliegen, bleiben solche Schätzungen sehr gewagt.

Zur Untersuchung des Schneegefüges sind verschiedene Methoden entwickelt worden, die sich im allgemeinen durch gute Feldtätigkeit auszeichnen, die aber meist nur indirekt Aufschluss über die Kornstruktur erteilen. Die Raumgewichtsbestimmung durch Wägen, als elementarste Methode, gibt Auskunft über die quantitative Verteilung von Eis und Luft im porösen Aggregat. Die mittlere Korngrösse wird im Feld an Hand eines Vergleichsrasters bestimmt. Im Laboratorium kann die Korngrößenverteilung durch Sieben, oder neuerdings mit Hilfe eines Schlammverfahrens (2), ermittelt werden. Dabei ist eine Trennung der Körner nicht zu umgehen. Ist die Kornbindung sehr gut, besteht einerseits die Gefahr, dass Einkristalle zertrümmert werden, während andererseits beson-

ders starke Kornbrücken der Desaggregation standhalten können. Komplizierte, von der Kugelgestalt stark abweichende Kornformen (Neuschnee) fälschen natürlich eine Korngrössenbestimmung oder lassen sie überhaupt sinnlos erscheinen. Eine Beurteilung der Kornform gehört daher zu den elementaren Untersuchungsmethoden. Die Entwicklung der Kornform im Schnee bietet an sich eine Reihe höchst interessanter Gesichtspunkte, auf die wir später noch kurz eintreten werden.

Über die Kornbindungsverhältnisse im Schnee orientieren bis zu einem gewissen Grad der Rammwiderstand, gemessen mit der Rammsonde nach HAEFELI (1) oder mit dem Härteprüfer, und die Zug- und Druckfestigkeit (unter Berücksichtigung vom Raumgewicht und Temperatur).

Nicht mehr in den Rahmen der Feldmethoden gehören mikroskopische Untersuchungen von Schnee-Anschliffen und Dünnschliffen. Sie allein geben aber einen unmittelbaren Einblick in das Korngefüge. Kornform und -grösse der Körner, ihre räumliche Anordnung und kristallographische Orientierung lassen sich damit direkt bestimmen. Die Technik der An- und Dünnschliffe ist jedoch zeitraubend und bedarf einiger Übung. Für serienmässige Untersuchungen kommt sie kaum in Frage.

BADER (1) hat erstmalig Schneedünnschliffe hergestellt, indem er den Porenraum mit einer dicht, unter 0° sich verfestigenden Flüssigkeit (Tetrabromäthan oder Äthyllaurat) ausfüllte und die Präparate im tiefgekühlten Kühlschranks zu kompakten Blöcken erstarren liess. Aus diesen Blöcken konnte er mit einer speziell konstruierten Säge Plättchen von 0,2—0,3 mm Dicke schneiden.

Basierend auf dieser Technik haben wir zunächst versucht, Anschliffe herzustellen, um aus einer Folge von äquidistanten Schnitten die räumliche Kornanordnung zu ermitteln. Nach einigen Bemühungen gelang es, die Schneekörner auf der weissen Schnittfläche mit genügend starkem Kontrast gegen die Füllmasse (Äthyllaurat) sichtbar zu machen. Dazu wurde die Schnittfläche mit schwarzer Tiefdruckfarbe angefärbt und anschliessend mit einem alkoholgetränkten Wildlederlappen abgetupft. Von den Eiskörnern löste sich dabei die Farbe augenblicklich los, so dass sie blank weiss erschienen, während die Füllmasse ihre dunkle Färbung beibehielt. Die Anschliffe wurden nach jedem Schnitt in gleicher Lage unter dem Mikroskop photographiert. In der Dünnschliffanfertigung gingen wir gleich vor wie BADER, setzten dem Präparat aber noch vor dem Auflegen des Deckglases einen Tropfen Vaselineöl oder

Paraffinöl bei, um die Porenfüllsubstanz wieder zu verflüssigen. Das von der Füllmasse ausgehende Streulicht, das sich vor allem bei Untersuchungen zwischen gekreuzten Nicols störend bemerkbar machte, konnte so ausgeschaltet werden. Zudem gewannen die Schliffe an Anschaulichkeit und Klarheit und liessen Einzelheiten des Kornzusammenhanges erkennen.

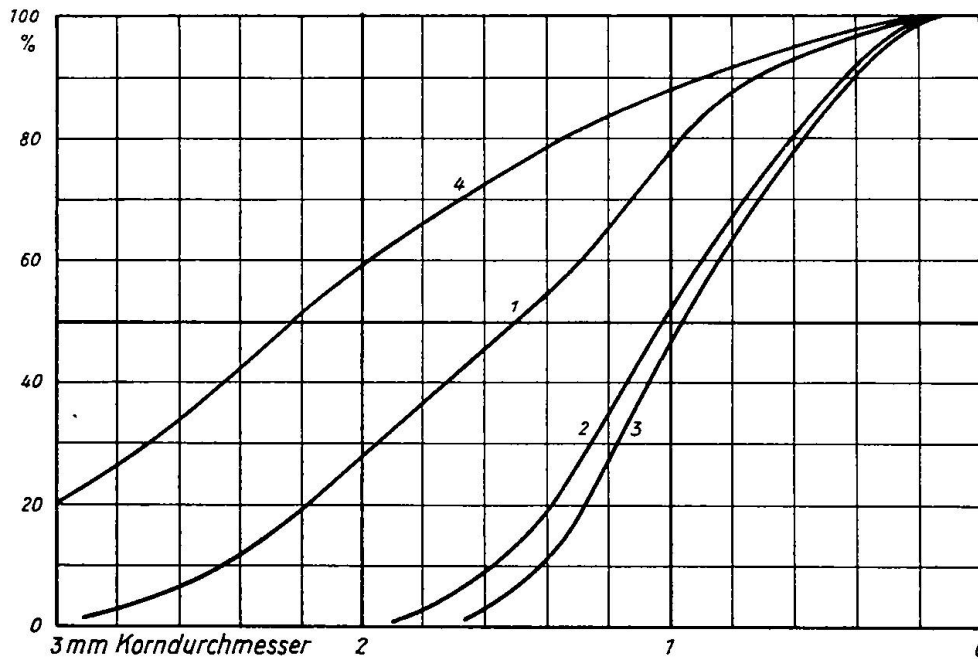


Fig. 2. Korngrößenverteilung der 4 untersuchten Schneeproben (s. Tabelle I)

Während BADER bei seinen Untersuchungen über Gefügeregelung mit Hilfe der Doppelbrechung (Quarzkeilkompensator) die räumliche Achsenlage einer Anzahl von Kristallen bestimmte, haben wir nach anfänglich gleichem Vorgehen einen anderen Weg eingeschlagen. Wir haben lediglich die Auslöschungsrichtung der Körner in Hauptschnittlage gemessen (Azimut des oberen Achsenausstichpunktes), dafür aber 2—3 zueinander senkrechte Schnitte untersucht. Damit konnten wir eine Dickenmessung der Präparate umgehen, die ja sehr genau sein muss, soll die Statistik nicht entscheidend gefälscht werden. Weil im Gegensatz zur anderen Methode sozusagen jeder Kristall im Schliff in die Untersuchung einbezogen werden konnte, gelangten wir überdies in kürzerer Zeit zu einer viel umfassenderen Statistik. Bei einem unregelmäßigen Gefüge müssen im Mittel 4,17 % der Achsenazimute in einen Winkelsektor von 15° fallen. Die mittlere absolute Schwankung berechnet sich für 100 gemess-

sene Azimute zu ± 2 pro 15° . Wenn es also gilt, eine nur schwache Vorzugsorientierung über dem Niveau der statistischen Schwankung zu halten, ist eine grosse Zahl von Kristallen, auf alle Fälle ca. 100, zu berücksichtigen.

Folgende Schneeproben sind nach verschiedenen Methoden untersucht worden (Tabelle I):

Tabelle I

Probe	Schneeart	γ_s	d	Präp.	Schnittlage	Fig.
1	Feinkörniger Alt- schnee horizontale Lagerung	340	1,5	A 1a	// Schichtfläche	3, 4
				D 1b	// „	5, 6
2	Feinkörniger Alt- schnee während 14 Tagen unter 45° gelagert	228	1,0	(im Scherapparat)		1
				A 2a	\perp Scherfläche	9
					// Scherrichtung	
				D 2b	// Scherfläche	8
				D 2c	\perp Scherfläche	7
		// Scherrichtung				
		D 2d	\perp Scherfläche	—		
			\perp Scherrichtung			
3	Grobkörniger Alt- schnee	390	2,2	A 3	// Schichtfläche	10
4	Windgepackter Schnee (8 Tage alt)	250	0,95	A 4	\perp Schichtfläche	11
					// Windrichtung	

γ_s = Raumgewicht (kg/m^3).

d = mittlerer Korndurchmesser (mm).

Präp.: Bezeichnung des Präparates (A = Anschliff, D = Dünnschliff).

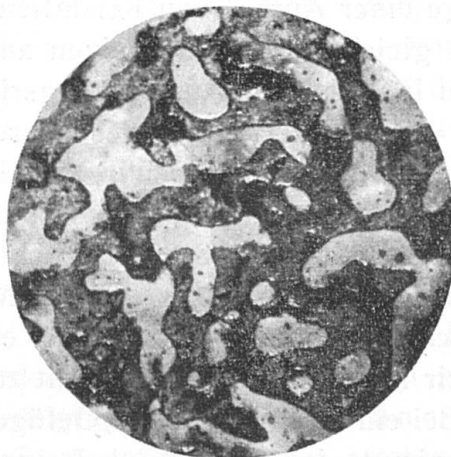


Fig. 3. Anschliff Probe A 1a, 1. Schnitt. 9:1

Über die Korngrößenverteilung orientieren die Kornsummenkurven Fig. 2. Wegen des weitgehend linearen Kurvenverlaufes kann für die Praxis als mittlerer Korndurchmesser der zu 50 % gehörige Abszissenwert angenommen werden.

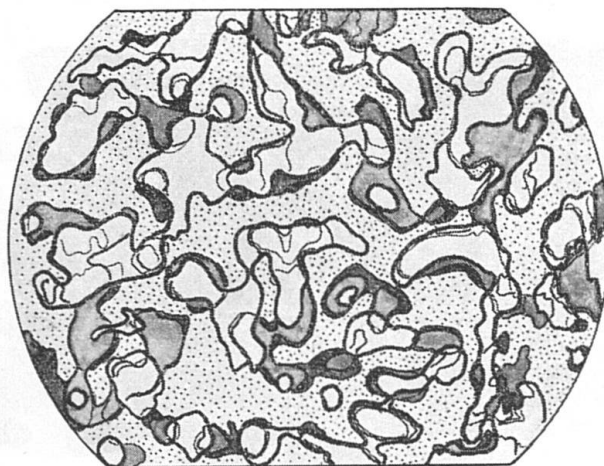


Fig. 4. Anschliff Probe A 1a, 2. Schnitt (dick ausgezogen), 3. Schnitt (mittelstark ausgezogen), 4. Schnitt (fein ausgezogen). Äquidistanz $0,1 \pm 0,02$ mm. 9:1.

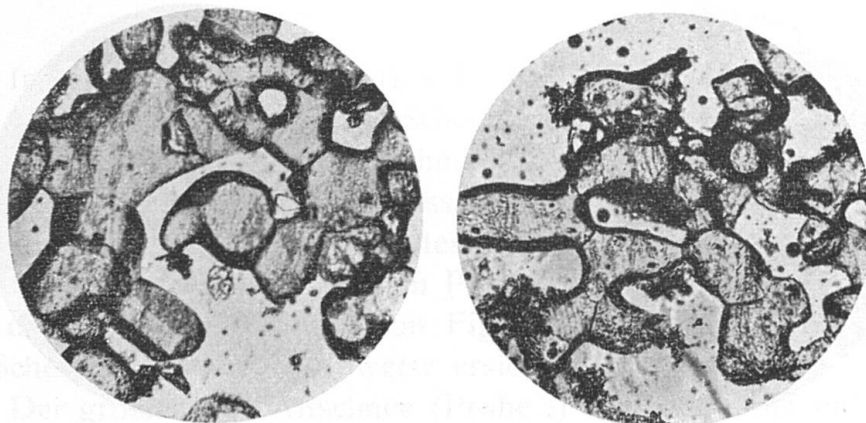


Fig. 5, 6. Ausschnitte aus Dünnschliff D 1b. 15:1.

Die Anschliffe des Präparates A 1a wurden in äquidistanten Abständen von $0,1 \pm 0,02$ mm geführt. Fig. 3 zeigt die photographische Aufnahme eines Anschliffes, und Fig. 4 veranschaulicht die übereinander gezeichneten Konturen der drei nächstfolgenden Schliffe. Im ganzen wurden 11 Schnitte ausgeführt. Auffallend an diesen Bildern ist das Fehlen von Anzeichen ebener Kristallflächen. Die kom-

pliziert gestalteten Körner haben abgerundete Oberflächen, und gehen an ihren Berührungsstellen weich ineinander über. Erst im Dünnschliff ist es möglich, die Einkristalle zu identifizieren. Es zeigt sich dann, dass oft mehrere Körner zu engen Komplexen verwachsen sind. Die ganze Struktur macht eher den Eindruck einer



Fig. 7. Dünnschliff D 2c, senkrecht zur Scherfläche. Scherrichtung = Zeilenrichtung. 15:1

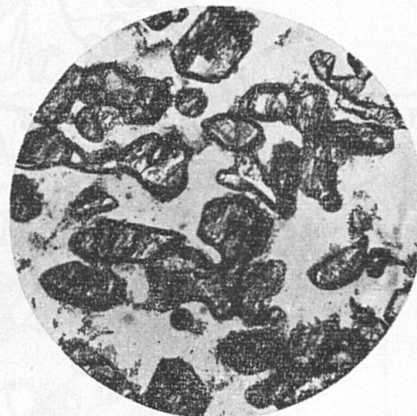


Fig. 8. Dünnschliff D 2b, parallel zur Scherfläche. 15:1



Fig. 9. Anschliff A 2a, senkrecht zur Scherfläche. Scherrichtung = Zeilenrichtung. 8:1

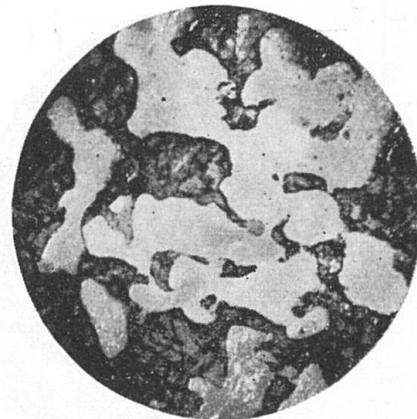


Fig. 10. Anschliff A 3. Grobkörniger Altschnee. 8:1

Gerüststruktur als einer Kugelpackung. Im Mittel ist bei der Probe 1 jedes Korn (Einkristall) regellos von 3—4 Nachbarn umgeben. In Fig. 5 erkennen wir merkwürdigerweise unter vielen unförmigen Körnern ein gut ausgebildetes kurzsäuliges Prisma mit einer Pyramide als Abschluss. Immer wieder fällt es auf, dass die Kräfte,

welche ein kristallines Formwachstum anstreben, im Kampf stehen mit den Kräften der eigentlich in den Bereich der Flüssigkeit gehörenden Oberflächenspannung, die mit abgerundeten Formen eine minimale Oberfläche zu erreichen sucht. Im Dünnschliff sind die Kornberührungsflächen gut erkennbar. Bei älteren Präparaten stellt man bisweilen auch Ätzgrübchen fest, welche die Achsenlage anzeigen (Fig. 6).

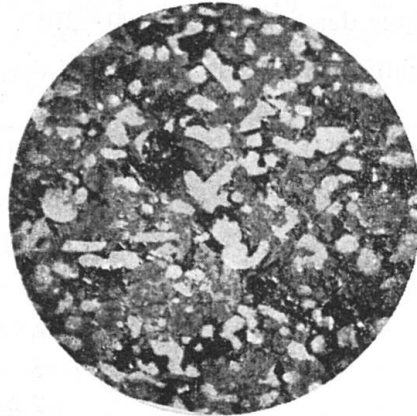


Fig. 11. Anschliff A 4. Windgepackter Schnee, senkrecht Schichtfläche.
Windrichtung = Zeilenrichtung v. r. n. l.

Im Anschliff der gescherten Probe 2 (Präp. A2a) fällt sofort eine gewisse Textur in der Scherrichtung auf (Fig. 9). Das Verhältnis der mittleren Kornausdehnung in der Scherrichtung zur Ausdehnung senkrecht dazu, als Mass für die Textur, beträgt 1,39. Bei den balkenförmigen Querschnitten handelt es sich nicht etwa um Nadeln, sondern vorwiegend um Plättchen. Im Dünnschliff ist dies aus der Gegenüberstellung von Fig. 7 (\perp Scherebene) und Fig. 8 (\parallel Scherebene) andeutungsweise ersichtlich.

Der grobkörnige Altschnee (Probe 3) ist nicht näher untersucht worden. Der Anschliff soll lediglich auf die komplizierten Form- und Verwachsungsverhältnisse hinweisen (Fig. 10).

Wie zu erwarten, besitzt der unter Windwirkung abgelagerte junge Schnee 4 (Anschliff A4) ebenfalls Anzeichen einer Textur. Offenbar wurden plättchenförmige Neuschneekristalle durch den Wind flach in die Schneeoberfläche gedrückt (Fig. 11).

Die an den Dünnschliffen D1b, D2b und D2d vorgenommenen Regeluntersuchungen ergaben das in Tabelle II festgehaltene Resultat.

Tabelle II

*Verteilung der Azimute α der oberen Achsenausstichpunkte von
Schneekristallen im Aggregat*

Dünnschliff D1b (Schnitt // natürlicher Schichtung).

D2b (Schnitt // Scherfläche im verformten Schnee).

D2c (Schnitt \perp Scherfläche, Scherrichtung // Azimut $90^\circ/270^\circ$).

D2d (Schnitt \perp Scherfläche, \perp Scherrichtung.
Spur der Scherfläche: $90^\circ/270^\circ$).

(Zahl neben der Schliffbezeichnung = Anzahl der untersuchten Kristalle.)

α°	D 1b (90)	D 2b (110)	D 2c (116)	D 2d (113)
A				
316–330	5	3	3	5
331–345	5	4	5	6
346–360	4	6	11	9
1–15	4	6	6	8
16–30	6	5	8	5
31–45	1 $\Sigma = 25$	3 $\Sigma = 27$	2 $\Sigma = 35$	6 $\Sigma = 39$
B				
46–60	4	5	1	5
61–75	3	6	3	3
76–90	5	5	3	2
91–106	2	3	4	5
107–120	3	5	7	2
121–135	5 $\Sigma = 22$	2 $\Sigma = 26$	5 $\Sigma = 23$	5 $\Sigma = 22$
C				
136–150	1	5	5	4
151–165	7	7	7	4
166–180	1	3	6	6
181–195	3	4	6	8
196–210	4	3	3	6
211–225	3 $\Sigma = 19$	6 $\Sigma = 28$	2 $\Sigma = 29$	5 $\Sigma = 33$
D				
226–240	7	4	8	6
241–255	2	5	2	2
256–270	4	2	5	2
271–285	5	8	6	4
286–300	5	5	3	2
301–315	1 $\Sigma = 24$	5 $\Sigma = 29$	5 $\Sigma = 29$	3 $\Sigma = 19$

Die Schliffe D1b und D2b zeigen in dieser Statistik keine Spuren einer Gefügeregelung. Immerhin sei erwähnt, dass in beiden Schliffen eine übernormal hohe Zahl von Achsenausstichpunkten in der Nähe der Schliffnormalen (ca. 5%) festgestellt wurde. Bei den Präparaten D2c und D2d hingegen (\perp Scherebene) sind die Achsen in den Winkelsektoren A und C (\perp Scherebene) deutlich gebündelt.

Die Interpretation dieser Resultate ist naheliegend, wenn man die Texturerscheinung in Erinnerung ruft. Die tafeligen Kristalle, welche sich zufolge ihrer Form in die Fliessrichtung einordnen, drehen damit automatisch ihre kristallographischen Hauptachsen in die Richtung senkrecht zur Scherebene. Die Anisotropie der Kristallplastizität oder der oberflächlichen Gleitfähigkeit scheint von untergeordneter Bedeutung zu sein, solange der Porenraum eine gewisse Gefügefremdheit bietet. Jedenfalls haben wir bis jetzt keine nicht formbedingte Gefügeregelung angetroffen.

Ähnlich wie die Scherdeformation wird sich auch eine Druckdeformation auswirken (siehe die Resultate von BADER). Es ist daher wahrscheinlich, dass sich in der natürlichen horizontalen Schneedecke unter der Wirkung des Eigengewichtes auch eine Vorzugsorientierung herausbildet.

Die beiden Verfahren der Anschliff- und Dünnschliffuntersuchungen sollen in dieser Richtung weiter eingesetzt werden. Auch einzelne Probleme der Schneemechanik, wie z. B. die mechanische Schneeverdichtung oder die Brucherscheinungen werden sich mit diesen Methoden bearbeiten lassen.

Literatur

1. P. NIGGLI, H. BADER, R. HAEFELI, E. BUCHER, J. NEHER, O. ECKEL, CHR. THAMS, Der Schnee und seine Metamorphose. Beiträge zur Geologie der Schweiz, Geotechnische Serie. Hydrologie, Lief. 3, 1939.
2. M. DE QUERVAIN, Korngrößenanalyse von Altschnee durch Sedimentation. Schweiz. Bauzeitung Nr. 9. Febr. 1948.

Eingegangen: 10. Dezember 1947.