

Verständliche Wissenschaft

Achtunddreißigster Band

Praktische Schnee- und Lawinenkunde

Von

Wilhelm Paulcke



Berlin · Verlag von Julius Springer · 1938

Praktische Schnee- und Lawinenkunde

Von

Professor Dr. Wilhelm Paulcke
Riederau am Ammersee

1. bis 5. Tausend

Mit 142 Abbildungen



Berlin · Verlag von Julius Springer · 1938

ISBN-13: 978-3-642-98334-4

e-ISBN-13: 978-3-642-99146-2

DOI: 10.1007/978-3-642-99146-2

*Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung
in fremde Sprachen, vorbehalten.*

Copyright 1938 by Julius Springer in Berlin.

Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1938

Vorwort.

Das Leben der Wissenschaft,
die Wissenschaft dem Leben.
W. P.

Die vorliegende Veröffentlichung enthält in erster Linie eine Zusammenfassung meiner eigenen wissenschaftlichen und praktischen Beobachtungen und Erfahrungen seit 1896.

Alpine Winterfahrten in reicher Zahl, sowie systematische über 12 Jahre lang durchgeführte Schnee- und Lawinenforschungen machten mich mit dem Schnee und seinen Gefahren bekannt. Meine Feststellungen legte ich in den verschiedensten Zeitschriften und Büchern nieder.

Mit der zusammenfassenden Darstellung meiner Arbeiten habe ich so lange gewartet, weil ich durch wiederholte und immer neue Beobachtungen die Ergebnisse meiner Arbeiten auf diesem bis dahin fast unbearbeiteten Gebiet möglichst sicherstellen wollte. Mein Bestreben war es, wie für die übrigen „Gefahren der Alpen“ die Gesetze, welche den Schnee und damit die Lawinenbildung beherrschen, zu erkennen. Die Nachprüfungen werden ergeben, was von Bestand ist und wo ich vielleicht irrte.

Wo es mir nur immer möglich war, habe ich, wie bisher, Schemata und Skizzen entworfen, die das geschriebene Wort illustrieren und ergänzen. Die Profilzeichnung allein gibt die Möglichkeit, in Querschnitten insonderheit die Hanggestaltung, die Arten der Lagerungsformen des Schnees, die Schichtenfolgen und damit die Hauptursachen der Lawinenbildung klar darzustellen. Wer Lawinengefahr richtig beurteilen will, muß lernen, beim Anblick jeden Schneehanges in Querschnitten zu denken.

Seit der ungeheueren Entwicklung des Skilaufs und des winterlichen Besuches der Gebirge häufen sich die Lawinenunfälle in erschreckendem Ausmaß! In den allermeisten Fäl-

len sind mangelnde Kenntnisse und Erfahrungen, fehlerhaftes Verhalten schuld an den Katastrophen und ihrem Ausmaß!

Als im Weltkrieg auch im Winter Massenbewegungen und Dauerbesetzungen der Höhenstellungen im Gebirge notwendig wurden, waren die Verluste durch Schneetod an der Alpenfront ganz ungeheuer! Das Aktenmaterial ist noch nicht durchgearbeitet worden; die Schätzungen der Lawinentoten — auf beiden Seiten — gehen in die Zehntausende.

Durch den Skisport, also Winterbegehung der Berge zum „Vergnügen“, verlieren wir durchschnittlich jährlich allein in den Alpen 80—100 Lawinentote!

Ich will nur die Zahlen, nach Mitt. D. A. V. F. 8, vom Winter 1937, Januar bis April, anführen. Sie sprechen Bände! —

An 34 verhängnisvollen Skifahrten waren 152 Leute beteiligt, davon wurden 111 verschüttet, von diesen blieben 86 tot! Also weit über die Hälfte der Teilnehmer an diesen Fahrten gingen zugrunde! —

Besonders eindringlich sprechen folgende Fälle:

Ort	Teilnehmer	Verschüttet	Tot
1. Am Brisen	13	7	6
2. Am Faulfirst	4	3	2
3. Bei Gressoney a)	11	11	1
4. Bei Gressoney b)	8	8	6
5. Bei der Lösbichlalm	5	5	1
6. Am Schaufelrieder	2	2	2
7. Im Mairatal (italien. Soldaten!) . .	22	22	22
8. Karawanken (Skiveranstaltung!) . .	28	28	9
9. Pordoi-Joch (Skilehrer u. Bergführer!)	20	18	7

Bei diesen Fällen wurden stets nahezu *sämtliche* Teilnehmer verschüttet, und über die Hälfte blieb tot!

Hier fehlte es entweder an den einfachsten Kenntnissen und Verhaltensmaßregeln, oder sie wurden in unverständlicher Weise mißachtet; sonst wäre es unmöglich gewesen, daß solche Massenverschüttungen — fast immer sämtlicher Teilnehmer — stattfinden konnten.

Wir müssen unbedingt mit aller Kraft darauf hinarbeiten, daß gründliche Kenntnisse von Schnee und Lawinen weit verbreitet werden!

Bis jetzt sieht es auf diesem Gebiet traurig aus: Skikanonen und selbst Skilehrer haben z. T. keine Ahnung vom Schnee — abgesehen natürlich von den Beziehungen seiner Oberfläche zum „Wachseln“. Siehe z. B. oben Fall 8 und 9.

Es müssen mit dem nötigen Bildmaterial in Vorträgen und mit praktischen Unterweisungen im Gebirge Schnee- und Lawinenlehrgänge abgehalten werden: zuerst einmal für die Lehrer der Skilehrer; dann für diese und schließlich durch das so gewonnene Lehrermaterial für die Masse der Skiläufer. Kein alpiner Skikurs, keine alpine Turenführung darf von Leuten geleitet werden, die nicht auch in Schnee- und Lawinenkunde die Prüfung bestanden haben.

Es erwächst hier den großen Organisationen, die Tausende von Menschen in das so oft lawinenträchtige Gebirge bringen, die verantwortliche Aufgabe, ihre Schutzbefohlenen auch sachgemäß, nicht nur skitechnisch, sondern auch in Schnee- und Lawinenkunde auszubilden! —

Bis jetzt vermitteln nur unsere Hochgebirgstruppen ihren Leuten wirklich gründliche Ausbildung auch auf diesem Gebiet.

Weiter ist Schnee- und Lawinenkunde von großer volkswirtschaftlicher Bedeutung für Bauingenieure und Forstleute. Ich behandelte das Thema seit 1905 regelmäßig in meinen Vorlesungen über Technische Geologie an der Technischen Hochschule zu Karlsruhe.

Ermöglicht wurden meine Arbeiten allein durch die vieljährlich gewährten Beihilfen der Deutschen Forschungsgemeinschaft, der Karlsruher Hochschulvereinigung und des Deutschen Alpenvereins. Jahrelange tatkräftige Unterstützung fand ich bei der Direktion der Jungfraubahn und der Hochgebirgs-Forschungsstation Jungfraujoch.

Von meinen zahlreichen Mitarbeitern, die mir getreulich halfen, nenne ich nur meinen lieben, am Nanga Parbat gefallenen Freund und Schüler W. Welzenbach, der bei mir eine Arbeit über Schneeuntersuchungen machte und damit die Doktorwürde errang.

Allen genannten Stellen und meinen lieben Arbeitskameraden sage ich in Erinnerung an das schöne gemeinsame Wirken von Herzen Dank!

Ich weiß, daß auf dem Gebiet der Schnee- und Lawinenkunde noch viel zu tun bleibt, glaube aber, auch durch die Einführung neuer Arbeitsmethoden, die Grundlagen geschaffen zu haben, auf denen weiter gebaut werden kann.

Die vorliegende Schrift soll in erster Linie der Praxis, dem Leben dienen, helfen, daß möglichst viele Menschen ungefährdet die Schönheiten des winterlichen Gebirges erleben können. —

Mögen meine Bestrebungen Erfolg haben und weiter Nutzen bringen!

Riederau am Ammersee, Herbst 1938.

W. Paulcke.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Einleitung	1
I. Eisbildungen (Einteilung)	9
1. Wassereis	10
2. Lufteisbildungen	11
a) Schnee	11
b) Graupeln	12
c) Hagel	12
3. Bodenbildungen	14
a) Aus Wasser in flüssiger Form: Firnkörner, Rauhreif = Anraum	14
b) Aus Wasserdampf: Reifbildungen	15
II. Schnee im engeren Sinne des Wortes (Luftreif)	19
Allgemeines	19
1. Kristallisation aus Wasserdampf	19
2. Formen der Schneekristalle	23
3. Ablagerungen	27
4. Schnee-Mächtigkeiten	28
III. Veränderungen des Schnees nach seiner Ablagerung („Diagenese“).	29
1. Verfirnung und Vereisung (Schmelzwasser-Diagenese zum Teil)	30
Firnkornbildung	30
Firnspiegel	34
Wasserbewegung im Schnee	37
Färbversuch	39
2. Wind-Diagenese	42
3. Reif-Diagenese	43
a) Oberflächenreif	45
b) Tiefenreif = Schwimmschnee	45
c) Höhlenreif	53
4. Veränderungen durch Druck (Dynamische Diagenese)	62
5. Schneedichte und Schneegewicht	63
IV. Profilaufnahmen von Schneeablagerungen	63

	Seite
V. Schneeablagerung und Schneeuumlagerung	68
A. Schneeablagerung = Unverfrachteter Schnee	68
B. Verfrachteter Schnee = Triebsschnee; Schneetransport, Rip- peln, Schneedünen, Schuppenschnee, Packschnee, Preß- schnee	70
Wächtenbildung	77
Gegenböschung; Spaltenbrücken, Leehang-Überlastung, Hang- ausgleich, Schneeschildbildung	84
Das Schneebrett, windgedrückter Schnee, Windharscht	100
Windgedrückter Schnee = Windharscht	102
Wind-Erosion	103
VI. Das Gelände auf der Karte und in der Natur	106
Das Gelände	110
Berg- und Talformen	111
Bewachung	116
VII. Die Lawinen (Allgemeines)	117
Schneebewegungen	120
A. Langsame Bewegungen, Kriechen	120
B. Rasche Bewegungsvorgänge bei Lawinsturz	122
Luftbewegung bei Lawinstürzen (Allgemeines)	124
Luftbewegung bei Lawinstürzen (Bemerkungen von Professor Dr. A. Wagner)	126
Das Lawineneignis am Piz Munschuns	131
VIII. Lawinen-Einteilung	133
Allgemeines	133
Spezielles	136
A. Trockenschneelawinen	136
1. Unverfrachteter Schnee:	
a) Wildschneelawinen	136
b) Locker-Pulverschneelawinen	138
2. Verfrachteter Schnee:	
c) Packschneelawinen (= Gegenböschungslawinen und Schneeschildlawinen)	142
d) Preßschneelawinen = Schneebrettlawinen	145
3. Diagenetisch veränderter Schnee:	
e) Schwimmschneelawinen (= trockene Altschneelawinen)	146
B. Feuchtschnee- und Naßschneelawinen	150
f) Feuchte und nasse Lockerschneelawinen und Pack- schneelawinen	150

	Seite
g) Nasse Firmschneelawinen = nasse Altschneelawinen . . .	157
Überbrückung von Flüssen und Bächen durch Lawinen . . .	162
Künstliche Loslösung von Lawinen für Forschungszwecke und Praxis	166
C. Eislawinen	170
h) Firneislawinen	170
Eispanzer vor Wasserfällen	174
IX. Lawinengefahr	175
1. Vorbedingungen für Lawinenbildung	175
2. Wegwahl: Taktik, Lawinenschnur, Verbindungsschnur, Schnee- schaufel, Schneesonde	179
X. Rettung und Bergung: Verhalten der Gefährten nach Lawinenlosbruch und Verschüttung	184
XI. Die Schnee- und Lawinensonde und das Sondieren . . .	196
XII. Bohren, Graben, Biwakbau	198
Paulckes Schneeböhrer für Kernbohrungen	198
Das Graben mit der Lawinenschaufel	198
Schnee-Biwakbau	199
XIII. Schneekunde und ihre praktische Auswertung: Schnee- schutz — Lawinenschutz — Verbauung	200
XIV. Fragebogen, Anhaltspunkte für Lawinenbeobachtungen	207
XV. Literatur	209
XVI. Lawinen-Einteilung (Tabelle)	210
Sachverzeichnis	212

Einleitung.

Wenn die Schneeflocken vom Himmel herabtanzen, jubeln die Kinder: „Frau Holle schüttelt die Betten aus!“

Aus der grauen Umwelt, den schmutzigen Straßen mit den düsteren Häusern, aus dem dunklen Wald wird eine weiße Märchenlandschaft.

Die Bäume scheinen dichten, leuchtenden Blütenschmuck zu tragen, die Straßenlaternen, die Zaunpfähle tragen lustige Schneekappen, und die Denkmäler in der Stadt haben Hermelinpelze angezogen und weiße Mützen aufgesetzt. Schneeballschlachten toben unter den Buben, und lustige Schneemänner mit Kohlenaugen, einer Rübenase und geschulterten Besen stehen Parade.

Die Schlitten werden hervorgezogen. Wo eine Straßenböschung ist oder gar ein Hügel, sausen die kleinen Gefährte bergab. Sorglose Freude überall über den Schnee!

Es schneit! Die Skiläufer blicken froh in das Flockengewimmel; morgen ist Samstag; da geht es hinaus, hinauf auf die Berge zu beseligendem Gleiten durch den verschneiten Wald, hinauf auf die Höhen mit dem weiten Blick in die schimmernden Fernen, und dann — hinab in atemraubender, schwebender Fahrt: das unbeschreibliche Gefühl des Sausens über die weiche, weiße, glatte Fläche! —

Es schneit! Es schneit! Es schneit und bläst; Zoll um Zoll wächst die Schneedecke: wird meterhoch. Kein Schritt, kein Hufschlag wird laut, jeder Ton wird erstickt in der weichen, weißen Masse. Der Verkehr stockt. Männer mit Schaufeln machen Bahn, Schneepflüge fahren in den Straßen und den Gebieten der Ortschaften auf und ab. Für den Fernverkehr, für Bahnen treten Schneepflüge und Schneeschleudern in Tätigkeit.

Es weht und stürmt; weiße Schneewolken fegen über den

Boden hin, stauen sich an Hindernissen, bauen mächtige Schneewehen über die Straßen und die Bahngeleise; da langt oft der verfügbare Einsatz an Schneeräumungseinrichtungen nicht. Die Autos bleiben stecken; in langen Kolonnen stehen sie hintereinander und können nicht vor- und nicht rückwärts; der gesamte Verkehr stockt; die Züge sind festgefahren, und große Arbeiterkolonnen müssen mobil gemacht werden, um Bahn zu brechen. —

Es schneit und stürmt! — Unaufhörlich, einen Tag, zwei Tage, drei Tage! Besorgt schauen die Bergbewohner aus den kleinen Fenstern ihrer Häuser hinaus. An den Flanken der Berge häuft sich der Schnee.

Riesig werden die Lasten an den Steilhängen. Noch ist es still, aber wie lange werden die Massen halten?! Es schneit und stürmt! — Zu schwer wird das Gewicht der weißen Lasten. Da brechen sie los! Sie gleiten, sie fließen, sie überstürzen sich, sie stäuben hoch auf: die Lawinen fahren zu Tal! Alles mitreißend, was in ihrem Wege steht: Bäume, Stadel, Häuser. Der weiße, schwere Strom bricht jeden Widerstand und begräbt alles unter sich in dem weißen Grab. Ein Orkan fegt mit der Lawine zu Tal und bricht noch mit seinem ungeheuren Druck am jenseitigen Hange mächtige Tannen wie Zündhölzer. —

Über dem Skiläufer, der den schneeträchtigen Hang sorglos mit seiner einschneidenden Spur stört, brechen die über ihm lastenden Massen ab, sie schieben ihn, sie ziehen ihn mit unwiderstehlicher Gewalt mit sich hinab, zerren ihn in die Tiefe, überwallen, erdrücken ihn, rauben ihm Bewegung und Atem, betten ihn zur letzten Ruhe. —

Freuden bringt der Schnee; Leiden bringt der Schnee. Gefahr und Zerstörung.

Das Kind, der Skiläufer, alle, die der Wintersport begeistert, freuen sich der weißen Pracht, erleben und genießen die Gaben, die ihnen der Winter schenkt.

Der Eskimo, der Lappländer kämpfen mit Schnee und Eis, die den größten Teil ihres Lebens beherrschen; mühsam scharrt sich das Renttier die karge Nahrung unter dem Schnee hervor, sein Leben zu fristen. —

In der Arktis und Antarktis, auf den Hochgebirgen der Erde häuft sich der Schnee: mehr Schnee, als durch Verdunstung und Schmelzung wieder fortgeführt wird. Aus diesen Schneeanhäufungen wird Firn, aus dem Firn Eis: Gletschereis, das träge und langsam, aber unwiderstehlich in langen Gletscherströmen aus den großen Sammelgebieten bergab fließt.

In den Gebirgen finden die Gletscher ihr natürliches Ende da, wo mehr abschmilzt, als von rückwärts nachgeschoben werden kann. Da recken sich die Gletscherzungen ins Tal und neben grünen blühenden Bäumen und blumenbesäten Wiesen liegt das blaugrüne, spröde Gletschereis.

Unter dem Gletscher hervor fließt der milchig trübe Gletscherbach; das vorübergehend erstarrte Element, das Wasser, ist wieder leicht beweglich geworden; es eilt zu Tal in die Ebenen, dem Meere zu, in das Meer zurück, dem es entstammt, in die riesigen Sammelbecken, aus denen es die Sonnenwärme dann wieder emporhebt, Zentner, Tonnen zu Millionen, hoch hinauf in die Atmosphäre. Dort werden aus dem Wasserdampf Regentropfen oder zierliche Schneekristalle, und Regen wie Schnee sinken wieder zur Erde hinab: ein ewiger Kreislauf. —

Oder aber die riesigen Eisströme der Polargebiete stoßen hinab bis ins Meer; dort schwimmt das Eis der breiten Gletscherenden auf dem salzigen Element; weiter schiebt sich der Gletscherstrom mit seinen grünen Eismassen in die Fluten: da brechen sie auf breiter Front mit donnerndem Getöse los, sie überstürzen sich, das Meer braust auf, eine riesige Welle wogt vorwärts und brandet an den Ufern der engen Fjorde hoch hinauf! Wehe dem Kajak, wehe dem Boot, das in ihren Bereich kommt! Dann ist alles wieder still. In majestätischer Ruhe schwimmen die mächtigen Eisberge — $\frac{1}{8}$ der Eismasse über Wasser, $\frac{7}{8}$ unter Wasser — aus den Fjorden hinaus. Die Meeresströmungen tragen sie weit fort. Der Labradorstrom führt sie bei Neufundland vorbei in das Gebiet der großen, vielbefahrenen Schiffahrtswege. Sie tragen in ihren Riesenleibern die arktische Kälte weit nach Süden. Dichte Nebel bilden sich um diese kältebringenden, lautlos daherziehenden Eisbergmassen.

Dampf dröhnt das Nebelhorn, gespannt blicken die Augen

der Schiffswache, die kein Funkspruch warnte und auf sicheren Kurs ausbiegen ließ, auf das Thermometer, damit bei rasch einsetzendem Temperaturfall sofort das Kommando „Vollampf zurück“ ertönen kann, um einen Zusammenstoß mit dem unwiderstehlichen Eisungetüm zu vermeiden.

Wehe, wenn der Eisberg zu spät bemerkt wird! Riesendampfer, wie die „Titanik“, zerschellen dann an den blaugrünen Eismassen.

„Frau Holle schüttelte die Betten aus.“ Schneekristall betete sich zu Schneekristall; die kleinen, zierlichen Sternchen und lockeren Flocken wurden zur schweren Masse, die als verheerende Lawine zu Tal donnert; sie wurde zu Eis und Gletscher zum Eisberg, dem Schrecken der Seefahrer. —

Schnee! Die feinen Eiskriställchen fielen vom Himmel, häuften sich. Aus Milliarden kleinster Teilchen wurden Schneeschichten, Schneewehen, Schneegräte, Wächten, Firnmassen, Gletscher geformt.

Eine Fülle von Fragen drängt sich uns auf: die „Probleme um den Schnee“. Sie sind vielgestaltig, reich an wechselvollen Vorgängen, die naturgesetzlich bedingt sind, gesetzmäßig verlaufen.

Diesen Gesetzen, die den Schnee beherrschen, wollen wir nachspüren, sie zu ergründen suchen.

Jedes Gestein, sei es ein Massengestein oder ein Schichtgestein, besteht aus Einzelteilchen, Mineralien oder Mineralbruchstücken. Wenn wir die Beschaffenheit eines Gesteins erkennen, seine Eigenschaften beurteilen wollen, müssen wir feststellen, aus was für Einzelteilchen die Massen sich zusammensetzen, welche Eigenschaften sie besitzen und wie sie miteinander verknüpft sind (ihre „Textur“).

Daraus erkennen wir u. a. auch die Ursachen z. B. der Festigkeit der Massen, ihr Verhalten auf Stoß, Schlag, Druck und Zug. Daraus ergibt sich die äußere Erscheinungsform, die Gestaltungs-, Veränderungsmöglichkeit, die Bewegungsvorgänge und deren Abhängigkeit von äußeren Einflüssen: Kälte, Wärme, Wasser, Wind, Druck usf.

Letzten Endes hilft neben der Beobachtung des Ganzen zur Gewinnung klarer Erkenntnisse dieser Dinge außer physika-

lischen Untersuchungen nur das Mikroskop: der Blick in die Welt des Kleinsten, in den „Mikrokosmos“, führt zum Verstehen des Großen, seiner Formung, wie der Vorgänge, die sich im Großen abspielen. —

Solange man die menschlichen Organe, Herz, Lunge, Leber, Magen, Darm usf., nur als Ganzes betrachtete, suchte man vergeblich Klarheit in die Art ihrer Funktion zu gewinnen. Man erkannte weder die Vorgänge bei der Tätigkeit in gesundem Zustand, noch die Ursachen für das Versagen bei Erkrankungen, bis mit Hilfe des Mikroskops die Zellforschung in Verbindung mit den Beobachtungen der Lebensvorgänge Licht in die Erkenntnis der normalen wie der krankhaften Erscheinungen brachte.

Ebenso half die mikroskopische Untersuchung des Firn- und Gletschereises Klarheit in die Erscheinungen des Bewegungsmechanismus der Gletscher zu bringen, und die bis vor kurzem vollkommen vernachlässigte Untersuchung der Wandlung der Schneekristalle nach ihrer Ablagerung war von großer Bedeutung für die Erkenntnis der Gesetze der Lawinenbildung.

Der Schneekristall ist ein Mineral wie jedes andere, das allerdings schon bei 0° schmilzt, während andere gesteinsbildende Mineralien erst bei sehr hohen Temperaturen (z. B. Quarz bei 1685° , Kalkolivin bei 2130°) schmelzen, d. h. in die flüssige Zustandform übergehen.

Jede Schneeablagerung stellt eine aus Einzelmineralien derselben Art — wenn auch in verschiedenen Erscheinungsformen — bestehendes Schichtgestein dar.

Von den übrigen Schichtgesteinen unterscheidet sich das „Schneegestein“ durch seine geringere Dichte, geringere Festigkeit und vor allem durch seine Unbeständigkeit. Diese ist bedingt durch Lösungsvorgänge, Schmelzung, Verdunstung, Wasser- und Windabtragung (Erosion). —

Man unterscheidet an der Erde verschiedene „Kugelhüllen“: die Metallosphäre des Erdkerns, die Gesteinshülle (Lithosphäre; auf diese bzw. um diese legt sich die Wasserhülle (Hydrosphäre) und die Eishülle (Kryosphäre). Alle sind sie schließlich von der Atmosphäre oder Lufthülle umgeben. Diese

Hüllen zeigen die Eigenschaft, daß die jeweils äußere Hülle geringere Dichte aufweist wie die inneren. Alle Hüllen stehen an ihren Berührungsflächen in mannigfachen Wechselbeziehungen zueinander.

Die Wasser- und die Eishülle sind von allen am wenigsten geschlossen. Die vielfach unterbrochene Wasserhülle zeigt ihre größten zusammenhängenden Einheiten in den Ozeanen und Seen; sie bildet ein lockeres Netz in den Bach- und Flußsystemen, sowie der Bodenfeuchtigkeit. Die Eishülle tritt am kompaktesten in den polaren Schnee-, Firn- und Eiskappen, in den Firn- und Gletschergebieten der Hochgebirge und den vorübergehenden Winterschneeablagerungen der gemäßigten und kalten Klimazonen der Erde auf.

Die Wechselbeziehungen der verschiedenen Hüllen zueinander sind sehr verschiedenartige. Es finden gegenseitige Beeinflussungen physikalischer wie chemischer Art in mannigfaltigster Weise statt. (Stoffaustausch usw.)

Je weniger dicht diese Hüllen sind, desto rascher und stärker vollziehen sich diese Wechselwirkungen; das kommt am deutlichsten bei der Wasser- und Lufthülle zum Ausdruck, die in ihren Grenzbezirken eine vollkommene Mischung eingehen: lufthaltiges Wasser und wasserhaltige Luft; der lufthaltige Wasserfall, die regenträchtige Wolke.

Luft- und Eishülle weisen gleichfalls stärkste gegenseitige Durchdringung auf: die stark lufthaltigen Schnee-, Firn- und Eisablagerungen einerseits, die eiserfüllte Schnee- und Hagelwolke andererseits.

Mit dem Schnee hatte man sich merkwürdigerweise kaum ernstlich beschäftigt. In den Lehrbüchern der Gesteinskunde, der Geologie, Mineralogie und Geographie steht kaum etwas über den Schnee, und was darin steht, ist vielfach unzutreffend.

Mit den Formen der „Schneesterne“ und den anderen in der Luft enthaltenen Eisgebilden, sowie Ort und Art ihrer Entstehung in der Atmosphäre beschäftigte man sich später eingehend, doch kümmerte man sich nur wenig darum, was aus dem Schnee *nach* seiner Ablagerung auf der Erde wird, d. h. welche Veränderungen er durchmacht, nachdem er aus der

Luft abgesetzt, als Wächte über die Grate vorgebaut, am Luv- oder Leehang abgelagert, in Schichtmassen am Boden liegt usf., und welches die tieferen Ursachen dafür sind, warum er als Lawine losbricht und zu Tal stürzt.

Als ich vor über 40 Jahren in meinem Buche „Der Skilauf“ erstmals ein „Lawinenkapitel“ schrieb und mit Nachdruck auf diese größte Gefahr für den Skiläufer hinwies, lagen über alle diese Fragen keinerlei exakte Beobachtungen vor, und als ich vor 12 Jahren meine systematischen Schnee- und Lawinenforschungen begann, sah es nicht viel besser aus.

Besonderen Wert legte ich auf die Aufnahme und Untersuchung von *Schneeprofilen*, die bisher völlig fehlten. Diese Aufnahmen erfolgten durch Profilgrabungen sowie mit Hilfe besonders konstruierter Schneeböhrer und Schneesonden. (S. u.) Das Studium dieser Schneeprofile, das von meinen Nachfolgern übernommen wurde, brachte erstmals Klarheit in die bis dahin vollkommen vernachlässigten, aber überaus wichtigen „Lagerungsverhältnisse“, die „Schichtenfolgen“ und die zeichnerische Darstellung derselben.

Die Untersuchung der Beschaffenheit des Schnees in den einzelnen Lagen brachte in Verbindung mit Temperaturmessungen in verschiedenen Tiefen und besonders an den Schichtgrenzen Klarheit über Art und Ort der Veränderungen, welche der Schnee in der Tiefe durchmacht.

Die Schneekristalle hatten durch ihre Schönheit und Mannigfaltigkeit die Aufmerksamkeit der Menschen schon seit alten Zeiten erregt (Cassini 1692).

J. J. Scheuchzer dürfte der erste gewesen sein, der in seiner „Physika Sacra“ (1731—1735) Schneekristalle abbildete. Das zweitälteste Abbildungswerk, welches mir in die Hände fiel, stammt aus dem Jahre 1771 (erste Ausgabe 1743) und hat einen holländischen Arzt, J. Engelmann, zum Verfasser.

Dieses Buch enthält 420, meist stilisierte, aber im Prinzip richtig gezeichnete Abbildungen von Schneekristallen auf 28 Tafeln.

Ein weiteres Werk „Wassereich“ veröffentlichte Wallerius, Upsala 1751, der auch wie Engelmann vereinzelt rechtwinkelig vierseitige Formen abbildet, die auf das Vorkommen quadratischer (oder tetragonaler) Kristallisation hindeuten (!). Das gleiche finden wir bei G. F. Schuhmacher, Die Kristallisation des Eises, Leipzig 1844, und ebenso in der Arbeit des sächsischen Hofküchenmeisters J. F. A. Franke über „Schneekristalle“, mineralogisch erläutert von H. B. Geinitz, in der Festschrift der Gesellschaft JSIS, Dresden 1860.

Als besonders fruchtbar erwies es sich, als ich ab 1926 das „*Naturexperiment*“ in die Schneeforschung einführte; ich machte mir die Naturkräfte dienstbar und beobachtete ihre Wirkung unter den in der Natur gegebenen Verhältnissen, wie parallel dazu an künstlich im Gebirge eingerichteten Versuchsanordnungen der verschiedensten Art.

So stellte ich die Gesetzmäßigkeiten der Wasserbewegung im Schnee fest und machte ihren Weg innerhalb der Schichten durch Anilinfärbung sichtbar und ihre Geschwindigkeit und Menge meßbar. Die Art der Bewegung des Tribschnees, sein Verhalten bei Hindernissen, bei der Wächtenbildung, bei der Anlagerung auf Luv und Anhäufung auf Lee usw. wurde an künstlich errichteten Graten studiert und durch Streuen von Konfetti sichtbar gemacht. In Windkanälen benutzt man bei aerodynamischen Versuchen Bärappstaub und Rauchentwicklung zur Sichtbarmachung der Luftströmungen.

Der Mechanismus der Schneebewegung, sein „Kriechen“, Gleiten und Stürzen, wurde bei den verschiedenen Schneebeschaffenheiten auf mannigfache Weise untersucht. Lawinen wurden „fahrplanmäßig“ nach verschiedenen Methoden losgelöst, ihre Bewegung verfolgt. Verschüttungen von Modellpuppen bezweckten Feststellung des Verhaltens menschlicher Körper in der Lawine.

Parallel mit diesen Versuchen in den „Naturlaboratorien“ laufen — besonders zur Klärung aerodynamischer und mechanischer Vorgänge — solche im Hochschullaboratorium.

Es wurde also eine vielgestaltige Methodik der Schnee- und Lawinenforschung geschaffen, die stark ausbaufähig ist, aber schon jetzt neue und überraschende Ergebnisse zeitigte, eine Methodik, der man sich jetzt auch von anderer Seite zu bedienen begonnen hat.

Alle diese Arbeitsmethoden und Naturerscheinungen — besonders alle Bewegungserscheinungen — wurden zur Feststellung und nachträglichen Kontrollmöglichkeit der sich rasch und vom Auge nur ungenügend verfolgbaren Vorgänge, wie zur Gestaltung eines Schnee- und Lawinenlehrfilms kinematographisch festgehalten. —

I. Eisbildungen.

Wasser kommt in drei Zustandsformen vor: *gasförmig* als *Wasserdampf*, *flüssig* als *Wasser* und *fest* als *Eis*.

Eis kann schmelzen und geht dann in den flüssigen Zustand über, wird zu *Wasser*; es kann verdampfen und sich so direkt in den gasförmigen Zustand verwandeln. *Wasser* in dampfförmigem Zustand kann in tropfbar flüssiges *Wasser* übergehen: „Aus der Wolke fällt Regen“, oder es bilden sich aus dem Wasserdampf bei Temperaturerniedrigung Eisgebilde: Schneekristalle (Reifbildungen).

Wir unterscheiden folgende Arten von Eisbildungen:

I. *Wassereisbildungen*: Sie kristallisieren aus *flüssigem Wasser*: Süßwasser, Salzwasser aus und bilden See-Eis, Flußeis, Tropfeis = Eiszapfen, Meereis.

II. *Lufteisbildungen*: Sie kristallisieren aus dem Wasserdampf der freien Atmosphäre freischwebend in der Luft aus und bilden die sog. „*Schneekristalle*“, welche „vom Himmel“ zu Boden fallen und dort abgelagert werden. Wir nennen alle aus *Wasserdampf* auskristallisierenden Eisbildungen *Reif*. *Schnee* ist also „*Luftreif*“. Ferner entstehen in der Luft die *Graupeln* und der *Hagel* = Schloßen.

III. *Bodenbildungen* können sein:

1. am Boden abgelagerte Luftreifbildungen: „*Schnee*“ im engeren Sinne des Wortes, welche nachträglich verändert worden sind: *Firnkörner*;

2. Eisgebilde, die aus *Wasserdampf* auskristallisieren und auf dem Boden oder an den verschiedensten Gegenständen, wie Schneeoberfläche, Steinen, Bäumen, Pfählen usf., als Neubildungen angesetzt werden: *Bodenreif*, *Oberflächenreif*, *Höhlenreif*, *Tiefenreif* = „*Schwimmschnee*“;

3. Eisgebilde, die körnig aus *Nebeltröpfchen* erstarren und an den verschiedensten Gegenständen: Schneeoberfläche, Steinen, Bäumen, Pfählen usf., als Neubildungen angesetzt werden: *Rauhreif* = *Anraum*;

4. vorwiegend durch *Druck* erzeugte Bildungen, wobei die Druckvorgänge die lockeren Bodenbildungen des luftreichen

Firnschnees in dichtere, luftärmere *Firneismassen* bis zum kompakten *Gletschereis* umgewandelt haben;

5. *Glatteis*: schichtförmig auf dem unterkühlten Boden ausgebreitete und dort erstarrte Feuchtigkeit.

1. Wassereis.

Das aus flüssigem Wasser entstandene Wassereis bedeckt die Oberflächen der Seen und Meere wie der Flüsse und Bäche; wir sehen es in Gestalt von Eispanzern an Wasserfällen oder von Tropfeis in Form von Eiszapfen als Stalaktiten und Stalagmiten.

Das Wasser erfüllt die Lockermassen und dringt in die Spalten und Spältchen des Gesteins, in welchen es als Wasser „kapillar“ eingesaugt und festgehalten wird.

Da das Wasser beim Übergang aus dem flüssigen in den Erstarrungszustand (Kristallisation = Eisbildung) um $\frac{1}{10}$ an Umfang zunimmt, übt es dort, wo es sich beim Gefriervorgang nicht widerstandslos ausdehnen kann, auf seine Umgebung (Wände enger Spalten und Felsrisse, die es erfüllt) starken Druck aus und erzeugt dadurch eine sehr starke Sprengwirkung. Vgl. Platzen der Wasserleitungsröhren.

Durch diese Eissprengwirkung ist, besonders in vegetationsarmen Gebieten, den Gebirgen, der Arktis und Antarktis, eine sehr starke „mechanische Verwitterung“ bedingt.

Im *Gebirge* wird der Felskörper besonders durch den tagsüber tauenden Schnee mit *Schmelzwasser* erfüllt, welches bei Kälteeintritt wieder gefriert, dabei Klüfte erweitert, Gesteinstteile fortschiebt (Frostsprengung) und so die Gesteinsmassen lockert. Sowie Wärme eintritt, z. B. die Sonne am Morgen die Felsen wieder bestrahlt, schmilzt der Eiskitt, und die gelockerten, aus dem Gleichgewicht gebrachten Steine stürzen als „Steinschlag“ in die Tiefe.

Von den weiteren vielgestaltigen Erscheinungen des Wassereises und den in seinen Massen stattfindenden Vorgängen: Zusammenziehung und Reiß-Spaltenbildung, Ausdehnung und Eispressungen soll hier nicht die Rede sein.

Kurz erwähnen will ich nur die allbekannte Erscheinung

der „Eisblumen“, welche in wunderbarer Schönheit und Vielgestaltigkeit die Fensterscheiben bedecken. Besonders häufig sind „fiederig“ angeordnete Gebilde, nicht selten palmwedelartige Kristallanhäufungen. In dem aus feinen Wassertröpfchen und Wasserdampf entstehenden „Beschlag“ der Fensterscheiben werden feine Eiskriställchen; ihre Anordnung wird stark durch vorhandene Rauigkeiten, Kratzer, Staubteilchen, Wischspuren, Herablaufen von Schmelzwasser am Tage usf. beeinflußt. Sind z. B. in die Scheibe Buchstaben mit Diamant eingeritzt, so setzen sich die Eiskristalle an den Rauigkeiten dieser Ritzlinien fest.

Sehr schön kann man das rasche Wachstum der Eiskristalle bei der Bildung von Eisblumen beobachten, wenn man ein Mikroskop mit schwacher Vergrößerung und großem Gesichtsfeld in der Kälte aufstellt und gegen eine daruntergelegte Glasscheibe Wasserdampf bläst (sie anhaucht); sofort schießen vor unseren Augen die meist nadelförmigen Eiskristalle an: ein reizvolles Objekt für mikrokinematographische Aufnahmen (Abb. 1).

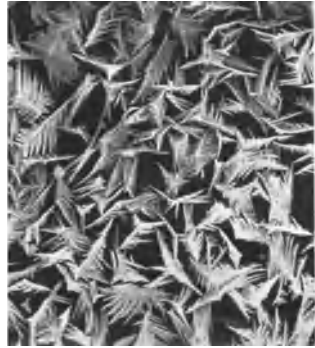


Abb. 1. „Eisblumen.“ Fiederige Eisbildungen an einem Fenster auf Jungfrauoch. (Photo: Paulcke).

2. Lufteisbildungen.

Aus der Luft fallen die verschiedenartigsten Eisgebilde zur Erde.

a) **Schnee** im engeren Sinne dieses Wortes.

Dieses Gebilde, welches wir „Schnee“ nennen, überwiegt an Menge alle übrigen Lufteisgebilde und fällt am häufigsten auf die Erde nieder.

Aus dem Wasserdampf der Luft kristallisieren die Schneekristalle in den mannigfachsten Formen „frei schwebend“ aus. Sie fallen einzeln oder werden zu „Schneeflocken“ verhakt bzw. verklebt und sinken in taumelnd tanzendem Fall zu

Boden. Dort bilden sie z. T. sehr mächtige Schneelagen, Schneeschichten, stellen also ein — wenn auch sehr vergängliches — Schichtgestein dar.

Da wir alle aus Wasserdampf auskristallisierten Eisbildungen „Reif“ nennen, ist der echte, in der Luft gebildete „Schnee“ als „Luftreif“ zu bezeichnen. — (Abb. 11—16.)

b) Graupeln: sind weiche, leicht zerdrückbare Eiskügelchen, die aus unregelmäßig kugelig zusammengebackenen kleinen Eiskörnchen bestehen. Wenn sie auf harten Boden fallen, hüpfen sie elastisch auf und rollen weiter. Sie sind sehr leicht (luftreich) und werden schon von schwachem Wind weitergetrieben. Am Steilhang rieseln und fließen sie — wenn sie in größerer Menge fallen — unaufhörlich bergab.

Graupeln entstehen dadurch, daß sich in der Luft an dort absinkenden, aus Wasserdampf gebildeten Schneekristallen unterkühlte Wassertröpfchen (Nebeltröpfchen) als kleine Eiskörnchen ansetzen und auf diese Weise zu den Graupelkörnern anwachsen. Also „Rauhreif“ = „Anraumbildung“ in der Luft um einen schwebenden Reifkristall herum. (Abb. 2.)

c) Hagel: Hagelkörner sind meist sehr unregelmäßig gestaltet; sie zeigen einen weißen, undurchsichtigen Kern und eine durchsichtige, oft tropfenförmig gestaltete, mehr oder weniger runde Eisumhüllung. Es scheint, als ob ein Graupelkorn, also ein um einen Schneekristall entstandenes Rauhreifgebilde, den Kern der Hagelkörner bildet. Der erste Ursprung des Hagels liegt meist in den in sehr großen Höhen — bis 10 km — gebildeten sogenannten Kumulonimbus-Wolken.

Beim Abfallen in Wasserdampf gesättigte Wolkenluft durchsinken diese Graupelkörnchen einen Luftstrom mit stark unterkühlten Wassertröpfchen. (Abb. 3.)

Dabei erfolgt rasches Wachstum durch Anlagerung von Tröpfchen und stürmischer Niederschlag von Wasserdampf in Eisform. Hand in Hand mit dem daraus sich ergebenden Größenwachstum geht Gewichtszunahme, aus welcher sich naturgemäß eine Beschleunigung des Falles ergibt.

Wenn dann die Fallgeschwindigkeit durch einen aufwärts gerichteten Luftstrom abgebremst wird, steht für das Wachstum der Hagelkörner verhältnismäßig mehr Zeit und Material

zur Verfügung. Dadurch wird es möglich, daß außer den kleineren Hagelkörnern bis zu Erbsen- und Kirschkorngröße auch solche von Orangenumfang, ja sogar die sogenannten Hagelsteine von größtem Ausmaß entstehen können. Hagel-, „körner“ von Kegelkugelgröße und einem Gewicht von 1 bis 2 kg fielen in Kärnten, und bei Hamburg wurden Hagelsteine in einer Größe von $12 \times 14 \times 25$ cm und einem Gewicht von 2 kg beobachtet; in Schansi sogar solche von 4,5 kg.

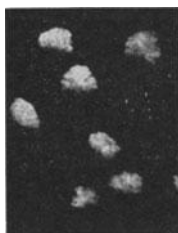


Abb. 2. Graupelkörnerchen.
(Photo: Bentley-Humphreys.)

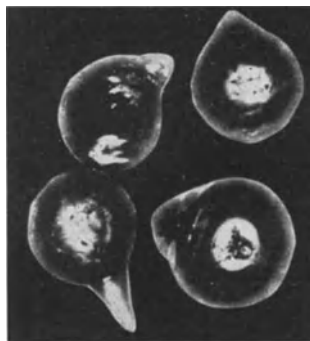


Abb. 3. Hagelkörner mit Graupelkernen
(Photo: Bentley-Humphreys.)

Der Schaden, der durch Hagel verursacht wird, ist ungeheuer. In einem Jahre betrug z. B. die Schadenersatzleistung der Hagelversicherungen rund 10 Millionen Mark. Ein Hagelwetter in Bulgarien zerstörte innerhalb von 10 Minuten Werte von weit über einer Million Mark. Bei Wien betrug die Hagelmasse einmal einen Zentner auf einen Quadratmeter, und in Amerika fielen einst so große Hagelmengen, daß es Wochen dauerte, bis sie wieder fortgeschmolzen waren.

Wir wollen uns vor allem mit dem „Schnee“, der aus der Luft auf die Erde gelangt, beschäftigen und mit den Bildungen, die aus diesem Schnee nach seiner Ablagerung auf dem Boden durch Umgestaltung, Zuwachs oder Neubildungen entstehen.

Die Römer, bei denen die juristischen, staatsmännischen und militärischen Begabungen vorwogen, haben im Altertum

keinen großen Naturwissenschaftler und Künstler oder Philosophen hervorgebracht. Sie kennen für den Schnee nur ein Wort: nix (nivis).

Die Griechen dagegen, ein künstlerisch, philosophisch und naturwissenschaftlich hervorragend begabtes Volk (Praxiteles, Plato, Aristoteles, Heraklid usw.), betrachteten auch die Natur mit scharf beobachtendem Blick und verarbeiteten das Gesehene und Erkannte in Kunst und Wissenschaft zu bedeutenden Werken. Ihre Beobachtungsschärfe kommt auch sprachlich zum Ausdruck. Sie erkannten z. B. auch, daß der aus der Luft fallende Schnee etwas anderes werde, sowie er auf dem Boden abgelagert ist, und nannten den ersteren Niphos, den letzteren Chion. Sie unterschieden also schon durch die Namensgebung — was unsere Sprache heute noch nicht kennt — die Luftschneebildungen von dem Bodenschnee, d. h. sie wußten, daß der abgelagerte Schnee sofort beträchtliche Veränderungen erleidet.

3. Bodenbildungen.

Ich habe als *Bodenbildungen* alle aus Luftbildungen entstandenen und nachträglich umgewandelten „Schnee“gebilde bezeichnet sowie *Neubildungen*, welche an allen möglichen Gegenständen abgelagert wurden.

Solche Neubildungen und Umbildungen entstehen auf drei Arten:

- a) aus Wasser in flüssiger Form,
- b) aus Wasserdampf,
- c) durch Druck.

a) Aus Wasser in flüssiger Form (Schmelzwasser, Wassertröpfchen aus Nebel), und zwar:

1. *Körnige Gebilde, Firnkörner*, vorwiegend durch Schmelzwasserzufuhr im Schnee; z. T. auch durch Wasserdampfwirkung. (Abb. 18—21.)

2. *Rauhreif = Anraumbildungen* entstehen aus flüssigen Tröpfchen des Nebels, die im Augenblick der Anlagerung an alle möglichen Gegenstände (Schnee, Eis, Fels, Bäume, Sträucher, Zäune, Telegraphendrähte) zu Eisperlen erstarren, festbacken und in kettenförmiger Weise aneinander gelagert

werden. Für die Form der Anlagerung (des „Anräumens“) spielt der *Wind* eine wichtige Rolle: er bläst die Nebeltröpfchen an die ihm im Wege liegenden Gegenstände und *räumt sie* an ihnen von der Luvseite her *an*. (Abb. 5 u. 6.)

Dabei wachsen diese Anlagerungen, der „*Anraum*“, also *dem Winde entgegen*, so daß sie wie zerschlissene — ausgezackte — Fahnen an den Stangen, Ästen usw. luvwärts gerichtet sind. *Rauhreif ist also einseitig* gerichtet. Nur in seltenen Fällen — bei absoluter Windstille — kommt es zu geringmächtigem, allseitigem Rauhreifansatz.

b) Aus Wasserdampf entstehen alle „*Reifbildungen*“. Sie sind sowohl nach Art ihrer Entstehung wie nach ihrer Formgestaltung durchaus verschieden vom Rauhreif.

Die Reifgebilde zeigen im Gegensatz zu allen körnigen Bildungen (Rauhreif, Firnkörner) stets mehr oder weniger von Flächen, Kanten, und Ecken wohlbegrenzte *Kristalle*. Diese sind entweder allseitig gut ausgebildet (seltener) oder aufgewachsen und dadurch einseitig, d. h. an der Anwachsseite in Ausbildung behindert.

Wir sahen, daß in der Luft der „Schnee“ als „Luftreif“ aus Wasserdampf entsteht. Auf der Erde erscheint der Reif als „Oberflächenreif“ an allen möglichen Gegenständen: er setzt sich auf Eis- und Schneeoberflächen an, er umgibt *allseitig* — im Gegensatz zum Rauhreif, mit dem er vom oberfläch-



Abb. 4. Schneeablagerung: Schneefall bei ruhigem Wetter: Anhäufung des Schnees auf Ebereschendolden von *oben*. (Photo: Paulecke.)

lichen Beobachter oft verwechselt wird — Äste, Pflanzenstengel, Drähte, Pfähle usw., weil er bei ruhigem, kaltem Wetter entsteht, wenn die Luft frei von Nebeltröpfchen und weil die wasserdampfhaltige Luft (Verdunstungsschicht über der Erdoberfläche) die emporragenden Gegenstände *von allen Seiten gleichmäßig umgibt*. (Abb. 7.)



Abb. 5.

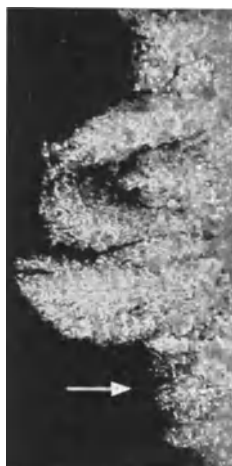


Abb. 6.

Abb. 5. Rauhreif oder „Anraum“ an der Wetterfahne des Pavillons auf dem Plateau von Jungfraujoeh. Wie der Stand der Wetterfahne noch zeigt, wehte der Wind bei der Bildung des Rauhreifs von links und räumte dementsprechend die erstarrenden Nebeltröpfchen gegen Luv (Windseite) an. Die Anraumfahne wuchs also gegen den Wind zu dem auf dem Bilde erkennbaren, gerieften, sägezahnartig gezackten Gebilde. (Photo: Paulcke.)

Abb. 6. Rauhreif-Anraum. Mikrophoto. Links Luvseite →; zeigt die perlenartige Aneinanderreihung der zu Körnchen erstarrten Nebeltröpfchen. (Photo: Paulcke.)

Wenn wir also in die weiße Winterlandschaft hinausgehen und uns darüber Rechenschaft geben wollen, welcher Art und Herkunft der weiße Schmuck ist, den die Bäume und Sträucher tragen, so können wir uns als Faustregeln folgendes merken:

1. Sind die Äste *von oben* mit der weißen Hülle bedeckt, ruht sie als Lage auf den Ästen, als Kappe auf den alten Blumendolden, Zaunpfählen usf., so war die Ursache Schnee-

fall, durch den das Material von oben her angehäuft wurde. (Natürlich kann auch einmal — in Ausnahmefällen — der Wind den Schnee einseitig angeweht haben.) Die Oberflächen sind dann gerundet, weich, mattweiß gepolstert. (Abb. 4.)

2. Sind die Gegenstände von einer Seite her mit kleinen oder großen, fahnenartig abstehenden Massen inkrustiert, so haben wir „*Rauhreif*“ = „*Anraum*“ vor uns, dessen Fahnenrichtung stets durch den vorherrschend gewesenen Wind bedingt ist, der die Nebeltröpfchen und Schnee an die Gegenstände anwehte.

Die Anraumfahnen zeigen meist an den luvseitigen Kanten spitzige, sägezahnartige Vorrangungen, ihre Seitenflächen sind gerieft. Das Weiß ist meist stumpf. Die Einzelteilchen sind kleine angefrorene runde Eiskörnchen. (Vgl. Schneebrettbildung.) (Abb. 5/6.)

3. Umgibt aber der Schmuck die Gegenstände *allseitig*, so hat echte „*Reif*“bildung stattgefunden.

Wie ein feiner lockerer Spitzenschmuck umgeben die Eiskristalle z. B. Stengel und Blütestand einer vertrockneten Dolde und setzen sich wie Blütenblättchen um die kleinen Ästchen und Halme oder umgeben Äste und Drähte. Wie feines Filigran verzieren sie alles, und die zarten *Kristalle* brechen das Licht oder spiegeln es von Tausenden ihrer glänzenden Flächen. (Abb. 7.)

Liegt solcher Reif auf Firn- und Schneeflächen, so erzeugt er eine wunderbar glatte, glitzernde Skibahn. Das schönste

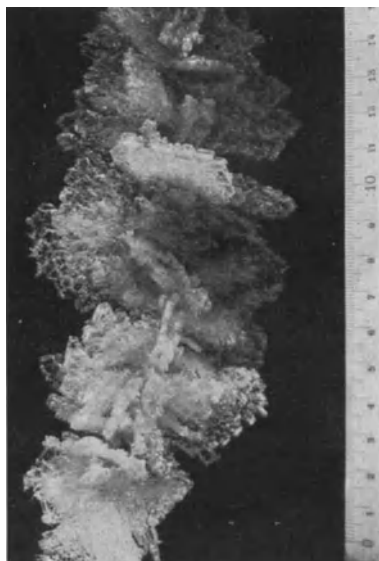


Abb. 7. Reifrosetten haben sich — wie dies der auch bei Oberflächenreifbildungen in der Natur an Pflanzenstengeln usf. geschieht — *rings* um einen frei von allen Seiten von der wasserdampfhaltigen Luft umgebenen Gegenstand — im vorliegenden Fall eine frei herabhängende Schnur ankristallisiert. (Photo: Paulcke.)

Erlebnis hatte ich in einer Vollmondnacht bei der Überquerung des Gornergletschers auf dem Wege zur Bétempshütte. In überirdisch erscheinender Wucht und Größe ragten das Matterhorn und die anderen Riesen des Wallis in den dunklen Himmel und warfen schwere Schlagschatten auf die Firne und Gletscher. Vor uns, unter uns warfen die großen Reifkristalle das helle Mondlicht spiegelnd zurück oder brachen es in buntem Farbenspiel. Es war ein Gleißeln und Flimmern, daß wir fast geblendet wurden, als wir still dahinzogen, während die spröden Reifkristalle über die leise dahinzischenden Skier mit feinem Klirren zusammenbrachen.

Den *Oberflächenreif* sehen wir an allen *Oberflächen* der Landschaft. — Eine weitere Erscheinungsform der Reifbildungen nennen wir nach Art und Ort der Entstehung „*Tiefenreif*“, eine Abart davon „*Höhlenreif*“.

Die Bezeichnung „*Tiefenreif*“ wählte ich, um damit auszudrücken, daß diese Art von Reif erstens in der *Tiefe der Schneeschichten* gebildet wird und daß diese „Schnee“-Art zweitens *aus Wasserdampf* entstandener echter Reif ist. Außerdem gab ich dieser Bildung — gleichsam für den „täglichen Gebrauch“ — den Namen „*Schwimmschnee*“, analog zu dem von den Ingenieuren so gefürchteten „Schwimmsand“, weil diese Tiefenreifkristalle außerordentlich locker gelagert und sehr beweglich sind. Wir werden noch ausführlich auf den „Schwimmschnee“ zurückkommen und ihn auch als sehr gefährliche Ursache für Lawinenbildung kennenlernen. (S. 146.)

„*Höhlenreif*“ nenne ich Reifbildung, die in größeren Hohlräumen: Felsspalten, Felshöhlen, Eishöhlen, Gletscherhöhlen vorkommen. (Vgl. Abschnitt III 3 b, Abb. 51—54, S. 52 und S. 54 u. 58.)

Schließlich entstehen Eisbildungen besonderer Art noch durch *Druck* (sog. Dynamometamorphose). Schnee und Eis können durch Druck in körniges Eis verwandelt werden. In der Natur geschieht das bei der Gletscherbildung, und es entsteht aus Firnschnee und Firneis das grobkörnige *Gletschereis*, dessen Körner unregelmäßig begrenzt und eng miteinander verzart sind.

II. Schnee im engeren Sinne des Wortes (Luftreif).

Allgemeines.

Bei der Bildung des Schnees wie bei den nachträglichen Veränderungen, die er durchmacht, erfolgen — in stetem Wechsel — Zustandsveränderungen, bei denen folgende Vorgänge eine wichtige Rolle spielen: Kristallisation („Gefrieren“ aus Wasserdampf, wie aus flüssigem Wasser), sowie Verdampfung und Schmelzung.

1. Kristallisation aus Wasserdampf.

Wie andere Substanzen zeigt auch das Wasser den Übergang aus dem lockeren, dampfförmigen Zustand in den dichtesten, festen Zustand ohne das Zwischenstadium der Verflüssigung. Aus Wasserdampf „bilden sich in diesem Falle die sogenannten Eiskristalle“: Luftreif, „Schnee“. Die Kristallisation erfolgt bei Erniedrigung der Temperatur unter 0° .

Untersuchungen haben ergeben, daß sich die „Schneekristalle“ um — stets in der Atmosphäre befindliche — feinste Teilchen organischen oder anorganischen Ursprungs (Kochsalzteilchen, Staubkörnchen usw.), die als „Kondensationskerne“ wirken, bilden.

Die Bildung und Art der Gestaltung der „Schneekristalle“ ist durch die in den verschiedenen Luftschichten gegebenen Verhältnisse bedingt, d. h. durch die dort herrschenden Temperaturen und die Sättigung, bzw. Übersättigung der Luft mit Wasserdampf in bezug auf Eis.

Es scheint festzustehen, daß die wohlausgebildeten — wenn auch kleinen — „Vollkristalle“: sechsseitige Täfelchen, Pyramiden, Prismen und ihre Kombinationen, vorwiegend Gebilde niedriger Temperaturen sind, daß sie bei relativ geringem Wasserdampfgehalt der Luft — geringer „Übersättigung in bezug auf Eis“ — entstehen und verhältnismäßig langsam wachsen. (Abb. S. 24.)

Diese — meist kleinen — Bildungen entstehen in den höchsten Wolken, der „Zirren“ und „Zirrostraten“. Sie erzeugen

auch die sogenannten „Halos“, d. h. die in schönem Farbenspiel um Sonne und Mond erscheinenden „Heiligenscheine“ und die bunt irisierenden Wölkchen. Ursache für dieses schöne Farbenspiel sind Lichtbrechungsvorgänge in den feinen Eiskriställchen.

Bei stärkerer Übersättigung kommt es zur Bildung von „Skelettkristallen“, d. h. unter raschem Wachstum ergänzen sich die meist als Ausgangsgebilde dienenden sechseitigen Täfelchen nicht mehr weiter zu größeren tafelförmigen Vollkristallen, sondern es wachsen in der Richtung der 6 Nebenachsen 6 Strahlen heraus: der bekannte sechsstrahlige „*Schneestern*“ entsteht. Bei geringerer Übersättigung erfolgt mehr flächenförmiges Wachstum, wodurch an den Schneestern die „flächenförmigen Ergänzungen“ gebildet werden. (Abb. S. 24.)

Gelangen die Schneesterne in Luft mit höheren Temperaturen, so treten durch Verdunstung Schwunderscheinungen auf, durch welche, wenn der Schneestern nicht ganz zugrunde geht, ein Teil der Zuspitzungen an den Strahlenenden entsteht.

Der Schneekristall ist ein Einzelindividuum. Man vermeide also — wenn man von einem Schneestern spricht — die irreführende Bezeichnung „*Schneeflocke*“. Eine *Flocke* ist in allen Sprachen ein aus wirt durcheinander oder aneinander gelagerten Einzelteilchen *zusammengesetztes Gebilde* (Seidenflocke, Wollflocke). Eine Schneeflocke besteht aus einer mehr oder weniger großen Anzahl von Schneekristallen.

Der Schneekristall durchsinkt naturgemäß die verschiedensten Luftschichten, in denen oft sehr wechselnde Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnisse herrschen. Er muß also diese verschiedenen Bildungsbedingungen auch in seinem Bau zum Ausdruck bringen und teilt diese Eigentümlichkeit mit Wachstumsformen der übrigen anorganischen wie der organischen Gebilde.

Sehr bezeichnend und auffallend ist es, daß, abgesehen von manchen kleinen Vollkristallen, die als Prismen ausgebildet sind, bei der frei schwebenden Entstehung in der Luft *vorwiegend flachtafelige* Kristalle entstehen, d. h. solche, die nach der sogenannten Basisfläche, in der Ebene der 6 Nebenachsen entwickelt sind. (Abb. 8 unten.)

Es wird also in diesem Falle die sonst im hexagonalen System — und auch beim Eis — bevorzugte Hauptwachstumsrichtung nach der C- oder Längsachse fast völlig vernachlässigt.

Ich führe diese Erscheinung auf das Wachstum der Kristalle in der Luft zurück und möchte sie als eine auch mechanische Anpassung an die Entstehung im Fluge, im Schweben, deuten.

Erst auf der Erde finden wir, beim Boden-, Tiefen- und beim Höhlenreif, aufgewachsene Formen wieder mit ausgesprochen starkem Wachstum in der Richtung der Haupt = Längs = C-Achse: Prismenbildung von größerem Ausmaß.

Beim *Bodenreif* und vor allem beim *Tiefen-* und *Höhlenreif* entstehen — wie wir sehen werden — allseitig entwickelte größere Vollkristalle (Tiefenreif) und aufgewachsene, einseitig entwickelte Kristalle mit starkem Wachstum in der Richtung der Haupt- und Längsachse (Tiefenreif und Höhlenreif) neben blattförmigen Bildungen (Boden- und Höhlenreif), bei denen aber — im Gegensatz zu den Schneesternen — die Zwischenräume zwischen den Strahlen meist vollkommen ausgefüllt sind.

Die nach der Hauptachse entwickelten Formen des Tiefen-

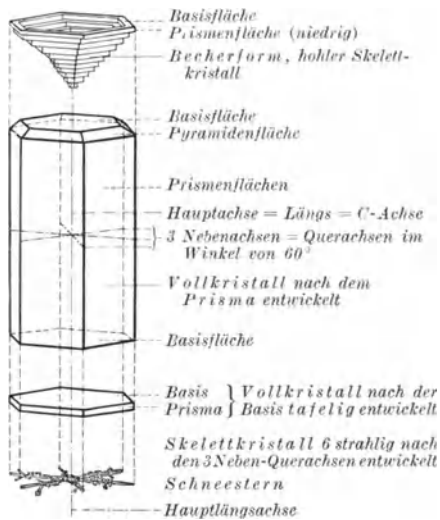


Abb. 8. Vier bezeichnende Kristallformen des Eises in ihren Beziehungen zueinander. Becherformen wiegen beim Tiefenreif = Schwimmschnee vor, sie erscheinen ferner als Oberflächen- und Höhlenreif. Kleine Prismen mit und ohne Pyramidenflächen entstehen in der Luft; größere (selten) als Tiefenreif. Kleine Täfelchen werden massenhaft bei niedriger Temperatur in der Luft gebildet; größere entstehen als Tiefen- und Höhlenreif. Schnee-Sterne werden nur in der Luft gebildet.

reifs und des Höhlenreifs sind z. T. sehr *lange Hohlprismen*, also auch unvollständige Formen von besonderer Ausbildung; ebenso die beim „Tiefenreif“ vorwiegenden *Becherformen*.

Bei dem Wachstum der Kristalle sind sogenannte „Diffusionsvorgänge“ in Tätigkeit, über deren Art wir vor allem von O. Lehmann, Karlsruhe, Aufklärung bekommen haben.

Wenn z. B. aus einem Gasmisch (Wasserdampf), in dem ein Kristall entsteht und wächst, Substanz verbraucht wird, so wird dieses Material in unserem Falle der wasserdampfhaltigen Atmosphäre, die den Kristall umgibt, entzogen. Das Material wandert beim Kristallisationsvorgang in erster Linie und am reichlichsten an die Stellen des Kristalls, welche die für den betreffenden Kristall bevorzugten Wachstumsstellen sind; in den Zwischengebieten entsteht dadurch Materialverminderung, die sich bis zum Materialmangel steigern kann. Es entstehen allerdings sofort Strömungen — die sogenannten Diffusionsströmungen —, die den Mangel auszugleichen suchen; aber da die Hauptwachstumsrichtungen die stärkere Anziehungskraft für diese Strömungen besitzen, wird in ihr Gebiet mehr Material geführt, das Wachstum schreitet — in unserem Falle Schneestern — in der Richtung der 6 Neben- oder Querachsen am stärksten vorwärts, es bilden sich die 6 Strahlen in erster Linie aus, sie verbrauchen die Hauptmasse des Wasserdampfs, während die Zwischengebiete leer bleiben oder nur wenig Material zur Ausfüllung erhalten. So entsteht dann ein Skelettkristall, in unserem Falle der „Schneestern“. Es dürften also bei der Entstehung der durch die wasserdampfhaltige Atmosphäre schwebenden, fallenden Kristalle — also bei einer Kristallbildung während eines sehr lebhaften Bewegungsvorganges — auch die Bedingungen für die Bildung regelmäßiger „Diffusionsströme“ um den Kristallkörper herum sehr ungünstige sein.

Am stärksten kommen beim Schweben durch die Luft gleichsam die Austrittsstellen der 6 Achsen mit der Luft, welche das Aufbaumaterial enthält, in Berührung; es erfolgt also in ihrer Richtung der Hauptansatz von Substanz mit dem Ergebnis der sechsstrahligen Sternbildung.

Die Bildungsbedingungen begünstigen gleichsam — statt der zweipoligen Wachstumsrichtung nach der Längsachse — die

vielseitigere Wachstumsmöglichkeit in der Richtung der 6 Nebenachsen.

Rasches oder langsames Schweben, spärlicher oder reichlicher Wasserdampfgehalt der Luft, höhere oder niedrigere Temperatur beim Bildungsvorgang bedingen demnach die Mannigfaltigkeit der Erscheinungen der Schneekristalle.

Ebenso zeigen Oberflächen, Tiefen- und Höhlenreif ganz bezeichnende, von ihren Bildungsbedingungen abhängige Formen, und stets können wir aus den sehr bezeichnenden verschiedenartigen Formen Rückschlüsse auf Ort und Art ihrer Entstehung machen.

Meine lieben Mitarbeiter hatten einst hinter meinem Rücken für die photographische Aufnahme einer Kristallgruppe von Höhlenreif zwei verschiedene Formentypen auf einem Bild sehr geschickt „zusammengesetzt“. Als ich dann auf Jungfrauoch alle frisch entwickelten Negative unter den Augen meiner sehr aufmerksamen Zuschauer durchsah und an das betreffende Negativ kam, mußte ich laut lachen und sagte: „Ihr Ludersch habt geschwindelt!“ — Es können eben bestimmte Formen nicht neben bestimmten anderen vorkommen.

2. Formen der Schneekristalle.

Die Mannigfaltigkeit der Formen der Schneekristalle ist eine ganz ungeheure, ja unbegrenzte. Die Natur bildet hier nach *einem* Bauplan (dem sogenannten hexagonalen Kristallisationssystem) eine Fülle von Gebilden, die dem Kunstgewerbe die schönsten Vorbilder geben können.

Bentley und Humphreys^{5*} veröffentlichten in einem schönen Atlas eine Auswahl von vielen Hundert — aus Tausenden von Aufnahmen — der bezeichnendsten Formen. Sie unterscheiden *hexagonale Prismen*, welche etwa 3—5 mal länger als dick sind, *hexagonale Pyramiden*, *Tafeln*, etwa 10 mal breiter als dick, ohne und mit unverzweigten und verzweigten Fortsätzen sowie längeren Strahlen: die „Schneesterne“. Seltener kommen auch Zwölfstrahler und dreieckige Tafeln vor.

* Nummern des Literaturverzeichnisses.

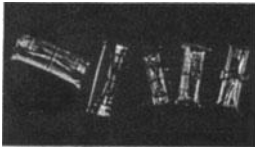


Abb. 9.

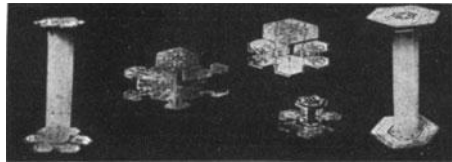


Abb. 10.

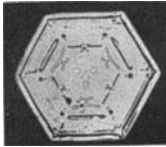


Abb. 11.

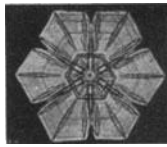


Abb. 12.

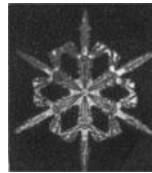


Abb. 13.

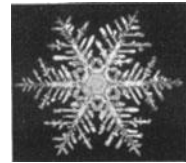


Abb. 14.

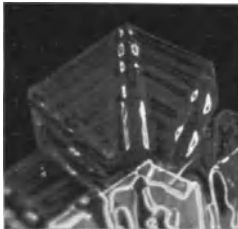


Abb. 15.

Tafel 1. Luftreif (Schneekristalle),

Abb. 9. Prismenformen mit Basis (Kleinformen).

Abb. 10. „Manschettenknopf“-Formen. Prismen mit Basisplättchen.

Abb. 11. Sechseckiges Tafelchen. Basisformen mit Lufteinschlüssen und Verdickungen in den Zuwachszonen.

Abb. 12. Sechseckiges Tafelchen mit Beginn stärkeren Wachstums in der Richtung der 6 Nebenachsen. Breite, entenfußartige, blattartige Fortsätze.

Abb. 13. Schneestern mit schmalen, wenig verzweigten Strahlen.

Abb. 14. Schneestern mit stark verzweigten Strahlen.

Abb. 9—14 sind dem Werk von Bentley und Humphreys⁵ entnommen. (Mikrophoto.)

Abb. 15. Höhlenreif. Ende einer Blattrosette. Entenfußartige Endigung eines Strahles. (Eishöhle Jungfrauoch. Photo: Paulcke.) Vgl. Strahlenendigungen gleicher Art bei Luftreif-Schneekristallen: Abb. 12.

Ich füge hinzu, daß — m. Er. sicher — rechtwinkelige, vierseitige Formen beobachtet worden sind, wie die Abbildungen von Engelmann (1743), von Wallerius (1751), von Schuhmacher (1844) und von Franke (1860) deutlich zeigen. Diese guten Beobachter haben fraglos das gezeichnet, was sie gesehen haben. Es läge demnach der Fall von „Polymorphie“, d. h. Mehrgestaltigkeit (Kristallisation) nach verschiedenen Bauplänen beim Wasser vor. Bei Schneekristallen konnte ich nichts Derartiges beobachten; beim

Höhlenreif ist mir ein Fall vorgekommen, der wie die oben genannten Beispiele auf quadratische oder tetragonale Kristallisation hindeuten. (Abb. 56, S. 54.)

Über die Ursachen dieser Erscheinungen kann man bis jetzt nur Vermutungen aussprechen.

Aus meinen Beobachtungen und der Betrachtung der Benthleyschen Mikrophotos in dem rein beschreibenden Werke von B. und H. ergibt sich, daß wohl die meisten verzweigten „Schneesterne“ aus kleinen oder größeren einfachen um einen „Kern“ herum gebildeten sechsseitigen Täfelchen, die fast stets in der Mitte der Sterne erkennbar sind, durch Bildung von Fortsätzen in der Richtung der 6 Nebenachsen hervorgegangen sind (vgl. Abb. 12 u. 14, S. 24).

Drei- und zwölfstrahlige Sterne und ihre entsprechenden tafeligen Ausgangsformen treten zahlenmäßig weit hinter den normalen Sechsstrahlern zurück. Die Zwölfstrahler sind m. E. vielleicht nichts anderes als ganz flache „Manschettenknopf“-Formen mit stark verkürztem Prismenzwischenstück.

Die „*Tracht*“ der Schneesterne ist, abgesehen von der Länge und Dicke der Strahlen und Menge der Verzweigungen, besonders durch die Gestalt und Breite der Plättchen bedingt, welche die Enden der Strahlen und Zweigäste bilden. (Abb. 9 u. 10.)

Die einfachen Formen (kleine Vollkristalle, Prismen, Pyramiden, ihre Kombinationen, sowie Täfelchen ohne Fortsätze) entstehen nach B. und H. in großen Höhen, meist *bei sehr niedriger Temperatur*, geringem Wasserdampfgehalt der Luft, bei verhältnismäßig langsamem Wachstum in den höchsten Wolken (Kumulonimbus, Zirren und Zirrostraten).

Die verzweigten Formen (Schneesterne) mit ihrem vielgestaltigen Bau entstehen bei höheren Temperaturen, größerer absoluter Luftfeuchtigkeit und zeigen rascheres Wachstum. Sie sind nach B. und H. die Gebilde der niedrigen Wolken und werden am häufigsten an den Kaltfronten von Sturmwirbeln gebildet. (Abb. 13 u. 14.)

Die Mittelformen sind die Gebilde der mittleren Höhen.

Wenn an den Tafeln und Schneesternern „*Zeichnung*“ erscheint, so ist das dadurch bedingt, daß die Kristalle an verschiedenen Stellen verschiedene Dicke, Rippen, Gruben, Luft-

oder Wassereinschlüsse — also Wachstumsabnormitäten — aufweisen. Dadurch ist verschiedene Brechung und Spiegelung des Lichtes bedingt, so daß einzelne Stellen heller oder dunkler erscheinen. Die meisten „Punkte“ und „Linien“ sind luft- und wassererfüllte Hohlräume mit deutlicher Parallelanordnung zu den kristallographischen Begrenzungselementen.

Bei niederen Temperaturen fällt der Schnee in Einzelkristallen, die sich hier und da zu kleinen Flöckchen verhaken. Bei höheren Temperaturen werden durch Verhaken und Verkleben größere Flocken gebildet, die zu sogenannten „Riesenflocken“ mit beträchtlicher Größe anwachsen können.

Dieser in der Luft gebildete Schnee — der „Niphos“ der Griechen — fällt zu Boden, bedeckt die Erdoberfläche und die darauf befindlichen Gegenstände. Er macht *nach seiner Ablagerung sehr rasche starke Veränderungen* („Diagenese“) durch. Die ursprüngliche Gestalt der plättchen- und sternförmigen Schneekristalle geht verloren; es entstehen durch Umgestaltung — bei einem stetigen Wechsel von Schmelzung, Verdampfung, Wiedergefrieren und Neukristallisation — neue Eisformen; aus dem „Niphos“ wird der „Chion“, *aus dem „Luftschnee“ der „Bodenschnee“* mit, wie wir sehen werden, sehr vielgestaltigen Neubildungen. (Abb. 16—24, S. 32.)

Wenn Lockerschnee bei großer Kälte stark durchfriert, wird er „trockener“ und noch lockerer. Bei Temperaturen unter 8 Grad „knirscht“ der Schnee, eine Erscheinung, die wohl dadurch hervorgerufen wird, daß die spröder gewordenen Eiskriställchen zerbrechen und unter dem Druck des Fußes oder der Wagenspur keine Schmelz- und „Regelationserscheinungen“¹ zeigen.

Die beim Zerbrechen der Einzelkristalle entstehenden Töne summieren sich zu dem, unter Wagenrädern zu schreiendem „Quietschen“ sich steigernden Knirschtönen.

Bei sehr starker Kälte werden die Schneekristalle so hart, daß sie in das Holz der Skier einritzen, es so stark abnutzen und das Gleiten fast unmöglich machen, worunter arktische Forscher zu leiden haben. Da nützt auch keinerlei Wachs.

¹ Verbacken durch „Wiedergefrieren“ des durch Druck an den Grenzen von Eisgebilden erzeugten Schmelzwassers.

3. Ablagerungen.

Die Schneeablagerungen auf der Erde spielen für Klima, Bodengestaltung, Wasserhaushalt usf. eine außerordentlich wichtige und vielgestaltige Rolle.

In den Polargebieten, in den Hochgebirgen, liefert der Schnee das Nährmaterial für die polaren Eiskappen und für die Gletscher.

In den gemäßigten Zonen bilden die im Winter gefallenen Schneemassen eine bedeutende, vorübergehend festgelegte Aufspeicherung von Wasser in fester Form; gleichsam eine Reserve, ein Sparkonto, welches dann im Frühjahr und Frühsommer — unter normalen Verhältnissen durch allmähliches Schmelzen — flüssig gemacht und als Zufuhr für die Grundwasseransammlungen, Spaltenwasser, Quellen, Bäche, Flüsse und Seen abgegeben wird. Bei rascher Temperaturerhöhung, starken Regenfällen auf Schnee nimmt allerdings der Schmelzvorgang oft zu starkes Ausmaß an, so daß Hochwasser die Folge ist.

Zwei Beispiele mögen die Zusammenhänge zwischen Schneebedeckung und Wasserlieferung dartun.

Die Therme von Ragaz-Pfäfers erhält im Winter nur sehr geringen Zufluß, setzt fast aus, weil alle Niederschläge im Einzugsgebiet der umgebenden Berge in fester Form fallen und festgelegt sind. Erst im Frühjahr beginnt die Therme wieder volle Schüttung zu zeigen.

Die Wasserführung des Oberrheins steht in stärkster Abhängigkeit von den Schneeablagerungen in ihren Einzugsgebieten. Der niedrigste Wasserstand ist im Herbst und im Winter, wenn das Land, wenn Schwarzwald, Vogesen, Odenwald und Haard mit Schnee bedeckt sind.

Erst im Frühjahr steigen seine Wasser wieder; die bei Niederwasser behinderte oder ganz lahmgelegte Schifffahrt kann von neuem aufgenommen werden, wenn — zuerst in den deutschen Mittelgebirgen — der Schnee schmilzt und den Rhein durch seine Nebenflüsse und Grundwasserströme wieder auffüllt. Ist dann dieser Mittelgebirgsspeicher aufgebraucht, so setzt — zu einem wunderbar günstigen Ablösungstermin —

im Frühsommer die Hauptzufuhr aus dem zweiten großen Schneespeicher, den Alpen, in den Hochregionen und Gletschergebieten die Hauptschneesmelze ein und entsendet ihre großen Schmelzwassermengen in den Oberlauf des Rheins, die Reuß, die Aare usf. Der Bodensee wird wieder aufgefüllt, der Rhein steigt, führt Hochwasser.

Diese Feststellung der Zusammenhänge zwischen Schneespeichern und dem Wasserhaushalt der Wasserläufe aller Art ist besonders in letzter Zeit stark in den Vordergrund eingehender Studien auf dem Gebiet der Gewässerkunde gerückt.

Groß ist der Einfluß der Schneebedeckung für das Gedeihen der Bewachsung, für die Landwirtschaft.

Erstens schützt eine gute Schneedecke den Boden vor Kälte. Schnee ist ein guter „Isolator“ und schützt den Boden vor Wärmeverlust durch Ausstrahlung. Die Temperatur am Boden beträgt unter einer mächtigeren Schneedecke 0 bis $+ \frac{1}{2}^{\circ}$ C. Für die Wintersaat ist also reichliche Schneebedeckung von größter Wichtigkeit, damit der unbedeckte, starker Kälte ausgesetzte Boden nicht „auswintert“.

Ja, unter der Schneedecke setzt schon Wachstum ein, eine ausgiebige Vorbereitung für die Weiterentwicklung nach der Schneeschmelze, die gleichzeitig den Pflanzen reichlich Wasser zuführt. Außerdem enthält der Schnee in Form von Gasen und Staubteilchen (starke Reinigung der Luft, besonders in Industriegebieten durch Schneefall!), die er beim Fall mitnimmt, chemisch wirksame Stoffe, die der Pflanzennahrung dienen (z. B. Ammoniak). Wir erkennen also, wie wahr der alte Bauernspruch ist, der lautet: „Gut geschneit ist halb gedüngt.“ —

4. Schnee-Mächtigkeiten.

Die „mittlere Neuschneehöhe“ in der Davoser Gegend beträgt nach den Feststellungen von Dr. Mörlikofer¹⁶ für die 3 Wintermonate im Durchschnitt von 52 Jahren 261 cm. Dabei kamen 4 Jahre mit einer Gesamthöhe von 100 cm und weniger vor, andererseits 5 Jahre mit Schneehöhen von über 400 cm.

Die Mächtigkeiten *verfrachteten Schnees* sind beträcht-

lichere. Aber selbst in Gebieten der Maximalablagerungen, den „Gegenböschungen“ habe ich nicht mehr wie 3 m sondiert oder erbohrt. Schätzungsweise dürften ganz örtlich selten Anhäufungen von mehr wie 12 m vorkommen, doch liegt hierüber kein aus Sondierungen ermitteltes Ergebnis vor.

Wenn in einer „Lawinenkunde“ zu lesen ist, daß „Mächtigkeiten oft bis zu 60 m“ — Kirchturmhöhe! — betragen, so ist diese Angabe offenbar den Erzählungen des seligen Barons von Münchhausen entnommen; desgleichen auch die erstaunliche Mitteilung, daß von Lawinen „Häuser weit vom Fuß des Gebirges vernichtet werden, die, aus dem Hochgebirge kommend, die 10—16 km (!) lange Ebene durchrasen“.

III. Veränderungen des Schnees nach seiner Ablagerung („Diagenese“).

Durch den Schneefall wird der „Luftschnee“ auf dem Boden angehäuft, d. h. es wird ein — wenn auch sehr leicht veränderliches — und bei höherer Temperatur vergängliches Schneeschichtgestein oder „Sediment“ abgelagert. Zwischen die Gesteinshülle (Lithosphäre) der Erdkruste und die Lufthülle (Atmosphäre) legt sich in den entsprechenden Klimazonen die Eishülle (Kryosphäre). Sie tritt mit der Gesteinshülle und der Lufthülle in mannigfaltige Wechselbeziehungen.

Da, wie bei den anderen Schichtgesteinsbildungen, die Zufuhr wechselt, verschieden stark ist und wiederholt aussetzt, sehen wir je nach Stärke und Dauer der Zufuhr verschieden mächtige *Schneelagen* entstehen, welche *Schicht auf Schicht übereinander* gelagert werden.

Je nach der Dauer der Pausen zwischen den Schneefällen und der Art der während dieser Zeit erfolgenden Einwirkungen werden die auf dem Boden liegenden Schichten, sowohl in ihrem Inneren wie an der Oberfläche mehr oder weniger stark verändert. Sie werden teils verfestigt, und zwar immer zuerst an der Oberfläche; teils werden sie nach der Verfestigung auch wieder gelockert — im Inneren der Schichtlagen. Die Folge davon ist, daß einerseits die verfestigten,

glatten Oberflächen als Gleitflächen für die Lockerschneeauflagerungen wirken, andererseits die Lockerzonen in der Tiefe zu neugebildeten Gleithorizonten werden.

Die Tatsache der Schichtung, die Art der Schichtbeschaffenheit und des Schichtverbandes ist also — wie bei den Schichtgesteinen, welche als Bergrutsche und Bergstürze in Bewegung geraten können — auch beim Schnee die Hauptursache für die *Gleitvorgänge*, von denen seine Ablagerungen ergriffen werden: *Lawinenbildung*.

Wer die Lawinengefahr erkennen und beurteilen lernen will, muß notwendigerweise zuerst gründliche Kenntnisse über die verschiedenen Erscheinungsformen des Schnees, sowie Art und Ort ihrer Ablagerungen erwerben. —

Die Veränderungen des Schnees erfolgen durch: 1. *Schmelzwirkung* — *Verfirnung* — *Vereisung* (Schmelzdiagenese). 2. *Windwirkung* (Winddiagenese). 3. *Verdunstung* und *Neukristallisation* (Reifdiagenese). 4. *Druckwirkung* (dynamische Diagenese).

1. Verfirnung und Vereisung.

(Schmelzwasserdiagenese z. T.)

Firnkornbildung.

Schneekristalle können schon während ihres Falles wieder verdunsten, also wieder zu Wasserdampf werden, oder schmelzen und als Wasser zu Boden fallen.

Fällt der Schnee bei höheren bzw. wechselnden Temperaturen, so zeigen die Schneekristalle an ihren verzweigten Enden kleine Wassertröpfchen bzw. Eiskörnchen; die Sternformen gehen zugrunde. Die Tröpfchen bedingen das Verkleben der Schneekristalle zu *Flocken*. Es fällt schon „Feuchtschnee“; tritt nach Fall von „Trockenschnee“ höhere Temperatur (Sonnenbestrahlung usw.) ein, so entstehen gleichfalls Schmelztröpfchen, und das Wasser, welches nicht kapillar zwischen den Kristallen festgehalten wird, versickert. Der auf diese Weise wasserfeuchte Schnee „setzt sich“, er wird dichter, schwerer, er „klebt“ (pappt, pickt). Er ballt sich leicht, bildet am Steilhang sogenannte „Schneerollen“ oder

„Schneewalzen“ und kann zur Feuchtschnee-Lawinenbildung Veranlassung geben.

Diese Art der Schneebeschaffenheit („Pappschnee“), der Ärger und die Pein der Skiläufer, ist die Freude der Buben, das Idealmaterial zum „Ballen“ für die Geschosse der Schneeballschlachten; aus diesem Schnee lassen sich große Walzen aufrollen und zum Bau von Schneemännern verwenden; dieses plastische Material läßt sich wunderbar formen und zu Schneoplastiken verarbeiten.

Erfolgt nach dem Schmelzvorgang wieder Erniedrigung der Temperatur, so gefrieren die Wassertröpfchen zu Eiskörnchen, und sie liefern vorhandenen *Körnchen* und größeren *Körnern* Material zum Wachstum.

Auf diese Weise entstehen „*Firnkörner*“ z. T., und diese Art der Veränderung vom Schneestern zum Firnkorn, vom Lockerschnee zum Firnschnee, die „Verfirnung“ schreitet von der Schneeoberfläche nach der Tiefe zu fort. Zur Kennzeichnung des Begriffes „*Firn*“ müssen wir die *Korngröße* und die „*Dichte*“ der Ablagerung wählen, worin sich gleichzeitig auch das Alter der Ablagerung ausdrückt. (Abb. 16—21, S. 32.)

Bei kurzer bzw. begrenzter Wärmeeinwirkung (z. B. Sonnenbestrahlung) und darauf folgendem Gefriervorgang gelangt das Schmelzwasser nicht weit in die Tiefe. Es bilden sich in diesem Falle oberflächliche, körnige Krusten, der sogenannte „*Schmelzharsch*“ (Harsch, Harst), den der Skiläufer und Bergsteiger, solange die Kruste nicht trägt, sehr verabscheut und „*Bruchharsch*“ nennt. Das Einbrechen in diese Krusten ist außerordentlich peinlich und ermüdend; besonders für den Bergsteiger dann, wenn die Harschdecke an der Grenze der Haltbarkeit ist, so daß beim ersten leisen Auftreten die Kruste zu halten scheint, dann aber bei voller Belastung doch durchbricht und sich dieser Vorgang — unter starker Muskelanspannung — lange Zeit fortsetzt.

Für den Skiläufer herrscht bei „*Bruchharsch*“ die Gefahr des Einspießens und Hängenbleibens mit den Skispitzen bei Abfahrten. Folge sind oft Skispitzenbrüche, schwere Stürze bei zu rascher Abfahrt und Beinverletzungen. Da bei solchem „Einspießen“ meist eine Drehung des Körpers, Hängenbleiben

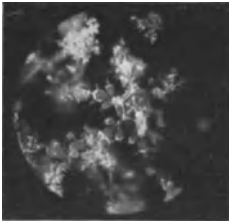


Abb. 16.

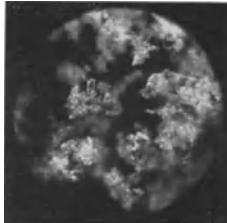


Abb. 17.

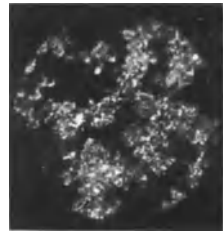


Abb. 18.

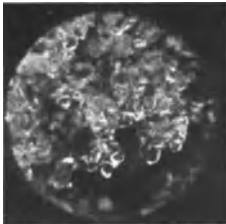


Abb. 19.

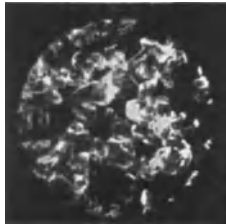


Abb. 20.

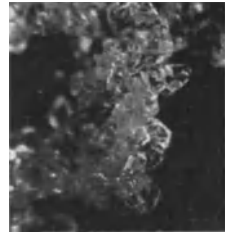


Abb. 21.

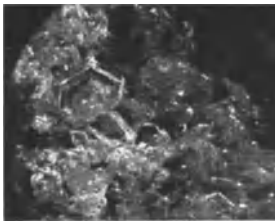


Abb. 22.

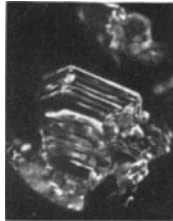


Abb. 23.

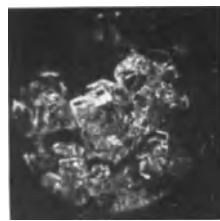


Abb. 24.

Tafel 2. Schneediagenese: Verfirnung, Tiefenreif = Schwimmschneebildung.

Abb. 16—21. Verfirnung. (Mikrophoto: Paulcke.)

Abb. 16. Neuschnee-Lockerschnee (trocken), kurz gefallen. Ein Neuschneestern noch erhalten, bei den übrigen schon Verwandlung in feinste Körnchen.

Abb. 17. Neuschnee-Lockerschnee (trockener „Pulver“-Schnee). Reste von Schneesternen noch erkennbar, geben der Ablagerung das sperrige, lockere Gefüge. Ihre Strahlen schon fast ganz in Körnchen verwandelt.

Abb. 18. Neuschnee-Lockerschnee (trockener Pulverschnee), „gesetzt“, älter. Die Ansammlung zu Häufchen zeigt noch die Lage der ursprünglichen „Sterne“ an. Alles Material ist in schon etwas größere Firnkörnchen verwandelt.

Abb. 19. Firnschnee: alles Material ist in mittelgroße Firnkörner verwandelt.

- Abb. 20 u. 21. Firnschnee: alles Material ist in gröbere, unregelmäßig begrenzte Firnkörner verwandelt.
- Abb. 22—24. Reifdiagenese: Tiefenreif-Schwimmschneebildung. (Mikrophoto: Pauleke.)
- Abb. 22. Probe aus einer Schwimmschneelage; es überwiegen bei weitem die Schwimmschneekristalle in Becherform (von oben und von der Seite gesehen). Nur vereinzelt noch Firnkörner.
- Abb. 23. Becherförmiger Schwimmschneekristall von der Seite; zeigt deutlichen Stufenbau; daneben Firnkörner.
- Abb. 24. Schwimmschnee mit Vollkristallen, Prismen und Firnkörnern, letztere überwiegen.

und Überschlagen stattfindet, so sind außer Knie- und Fußgelenksverrenkungen und -zerrungen nicht selten die so unerfreulichen „Torsionsbrüche“ (Drehungsbrüche) Folgen der Bruchharschtstürze. Also Vorsicht! Langsam fahren bei Bruchharscht! —

Da die Harschtschichten — solange sie nicht von anderen Schichten überlagert werden — tagsüber bei Sonnenbestrahlung usw. wieder oberflächlicher Schmelzung und bei nachfolgender Kälteeinwirkung dem Wiedergefrieren ausgesetzt sind, und da das Wasser versickert, werden sie immer grobkörniger und dicker. Im Spätwinter und Frühjahr sowie auf Gletschern im Sommer wird auf diese Weise der Firn so tragfähig, daß man nachts und morgens, solange es kalt bleibt, ohne einzubrechen auf der harten Decke laufen und mit Schlitten über sie weg fahren kann.

Bei Eintritt von Wärme (Sonnenbestrahlung, Föhn usw.) wird dann der Firn oft sehr tiefgründig erweicht, und der Bergsteiger sinkt tief in die durchnäßte Masse. Daher Notwendigkeit frühen Abmarsches bei langen Gletscherwanderungen.

Bei dem „Verfirnungsvorgang“ gehen in erster Linie die kleinen Körnchen zugrunde, die größeren wachsen auf ihre Kosten. Dieser Vorgang erfolgt außer durch Schmelzung teilweise auch durch *Verdampfung* (in den Polargebieten z. T. ausschließlich).

Auf die letztere Weise wird also auch eine *dauernde Umlagerung* des Materials über den dampfförmigen Zustand hinweg von den kleineren zu den größeren Individuen verursacht.

Bei der Firnkornbildung durch *Schmelzung* — also bei *zeitweiser* Erhöhung der Temperatur über 0° C erfolgt die Umlagerung durch das Schmelzwasser. Durch Zuführung von Schmelzwärme und Schmelzwasser werden die kleinen Eisteilchen viel rascher in Schmelzwasser verwandelt wie die großen. Das Schmelzwasser lagert sich durch Anhaften (Adhäsion) leicht an die übrigbleibenden Eisteilchen an und gefriert dort sowie die Schmelzbedingungen nicht andauern.

Der Schmelzharscht (Firn) besteht schließlich aus zu miteinander durch Eiszement verflorenen, unregelmäßig begrenzten *Firnkörnern*, zwischen denen sich reichlich *mit Luft erfüllte Poren* befinden.

Je feinkörniger der Schnee, je feiner verteilt der Luftgehalt im Schnee ist, desto weißer wirkt er. Daher z. B. der schon dem Auge erkennbare Unterschied zwischen einer dunkleren (meist etwas bläulich oder graublau wirkenden Harstmasse) Firnoberfläche und einer darauf angewehten, kreidig weiß erscheinenden feinkörnigen Preßschneemasse eines Schneebretts.

Ein Teil der unregelmäßig begrenzten Körner, die äußerlich vollkommen den durch die geschilderten Vorgänge entstandenen Firnkörnern gleichen, entsteht aus wohlbegrenzten („Tiefenreif“- , „Schwimmschnee“-) Kristallen (S. 47), deren Kanten und Ecken durch Verdampfungs- bzw. Schmelzungs Vorgänge nachträglich wieder abgerundet werden.

Firnspiegel

Bei starker Sonnenbestrahlung bilden sich — besonders im Spätwinter und Frühjahr — auf dem verfirnten Schnee *dünne Eiskrusten*, welche ich „*Firnschleier*“ oder „*Firnspiegel*“ nannte, weil sie wie ein dünner Schleier die bestrahlten Hänge bedecken und das Licht stark reflektieren; dabei eine starke Blendwirkung ausüben. (Abb. 25, S. 35 u. Abb. 26, 27, S. 36.)

Dieser „*Firnspiegel*“ (S. 36) entsteht dadurch, daß sich das reichliche Schmelzwasser zwischen den oberflächlich liegenden Firnkörnern ausbreitet und zwischen den eng aneinandergelagerten Körnern kapillar festgehalten wird. Sowie die Sonne verschwindet und Kälte einsetzt, friert dieses Wasser

in Gestalt von dünnen sich um die Firnkörner legenden *Plättchen*, in deren Mitte dann das Firnkorn nabelartig als Mittelkorn ruht. Die Scheibengrenzen in den Firnkornzwischenräumen grenzen sich polygonal gegeneinander ab: „Butzenscheibenstadium“.

Die Firnkörner verschwinden dann allmählich durch fortgesetzt erneute Schmelzeinwirkungen, die Plättchen werden gleichmäßig dick und glatt, so daß schließlich ein — z. T. noch mit Lücken versehenes — glattes Eisplättchenmosaik entsteht. Die Plättchen sind Einzelkristalle, die optisch jeweils so orientiert sind, wie es der Lage des ursprünglichen Firnkorns entspricht, aus dem sie entstanden. Wir sehen also unter dem Polarisationsmikroskop die Plättchen in verschiedener Helligkeit (je nach der Stärke der Auslöschung von schwarz bis durchsichtig) miteinander wechseln und erkennen daraus, daß auch die *Firnkörner* — wenn auch nicht mit scharfen kristallographischen Grenzen versehene — *Eiskristalle* sind.

Unter dem „Firnspiegel“ „setzt“ sich der nasse Firnschnee, so daß Hohlräume entstehen. Bei Berührung oder Schmelzung brechen die Spiegelscheiben mit leichtem Klirren zusammen.

Der Ski gleitet über die Spiegelfläche, die unter ihm zusammensinkt, bei der geringen Reibung, die sie ihm bietet, mit großer Schnelligkeit hinweg, und wenn der Skiläufer vom Firnspiegel in eine beschattet gewesene Stelle kommt, spießen die Ski leicht ein. Die Folge ist Sturz, Skispitzenbruch usw., also Vorsicht! —

Während die oberflächlich entstehenden *Schmelzharschtschichten* nach oben (= außen) mehr oder weniger scharf



Abb. 25. „Firnspiegel“ in der Landschaft. Gegenlichtaufnahme mit stark spiegelnden Reflexen auf der Schneeoberfläche. Blick aus dem Zug bei Scheidegg gegen Fuß der Jungfrau. (Photo: Paulcke.)

begrenzt, d. h. ziemlich ebenflächlich sind, zeigen sie nach unten (=innen) unregelmäßige Grenzen. Sie sind mit den darunterliegenden Schneemassen, deren verstärkten Bestandteil sie darstellen, gleichsam zapfenartig verbunden, d. h. die aus inniger aneinander haftenden Firnkörnern bestehende obere Lage ragt mit unregelmäßiger Unterfläche in den weniger stark verfestigten Schnee hinein und bedingt so eine



Abb. 26.



Abb. 27.

Abb. 26. Ein Stück „Firnspiegelscheibe“ ist über ein auf schwarzem Samt liegendes Stück Zeitung gelegt, um die Durchsichtigkeit der dünnen Scheibe zu demonstrieren. Der „Firnspiegel“ zeigt z. T. noch das „Butzenscheiben“-Stadium, d. h. die nabelartig in der Mitte der Eisplättchen liegenden alten Firnkörner. (Photo: Paulcke)

Abb. 27. Firnspiegelscheibenstück — vollkommen glatt — unter dem Polarisationsmikroskop. Zeigt die optisch verschiedene Orientierung der einzelnen — jeweils aus einem Firnkorn hervorgegangenen Täfelchen, die das ganze Gebilde mosaikartig zusammensetzen. (Mikrophoto: Paulcke, polarisiertes Licht.)

Lagerung, die widerstandsfähig gegen Gleitvorgänge ist. Durch die „Verfirnung“ tritt in den von diesem Veränderungsvorgang ergriffenen Schneemassen *Verfestigung* ein, der Verfirnungsprozeß schreitet nach der Tiefe vor, der verfirnte Schnee wird lawinensicher.

Andererseits wurden luftseitig (=außen) überaus glatte Oberflächen gebildet, welche als ausgesprochene, sehr gefährliche „Gleitflächen“ wirken, sowie auf ihnen Neulockerschneemassen abgelagert werden. Sie begünstigen also das leichte Abgehen von *Neu-Lockerschneelawinen*.

Auf die Oberflächen der Schnee-, Firn- und Eisschichten werden in Schneefallpausen, also sowohl im Winter, wie vor allem im Sommer in den Regionen oberhalb der Schneegrenze, Staubmassen und kleine Gesteinkörnchen aufgeweht, so daß die jedem Glazialgeologen und Bergsteiger wohlbekannteren als Schichten oft weit durchgehenden „Schmutzlagen“ entstehen.

Die Bestreuung mit diesem Material erfolgt natürlich besonders stark in Gebieten, in denen auf den Luvseiten der Grate und Kämme leicht verwitterbare, vom Winde frei geblasene Gesteine anstehen.

Es ist vorgekommen, daß die Bestreuung mit Staub so stark war, daß das Gleiten der Ski unmöglich wurde — zumal ein „Staubwachs“ noch nicht erfunden ist. Auch aus weit entfernten Gebieten haben Luftströmungen Staub in unsere Gegenden verfrachtet (Wüstenstaub der Sahara).

Die Verschmutzung der Oberfläche mit staubförmigen Verwitterungsprodukten wirkt auf den Schmelz- und Verfirnungsvorgang beschleunigend. Während rein weiße Schneeflächen bis zu 80% der auffallenden Strahlen reflektieren, setzt sich an den dunklen Teilchen ein bedeutend größerer Prozentsatz (größer als 20%) der Strahlung in Wärme um und fördert so die Verdampfungs- und Schmelzungs Vorgänge.

Wasserbewegung im Schnee

Wenn im Laufe verschiedener Schneefallperioden eine mehr oder weniger große Zahl verschieden mächtiger Schichten übereinander abgelagert worden sind, so wurden diese Schichten meist in fein- bis grobkörnige Massen verwandelt, deren obere Schichtflächen als härtere Harschtlagen ausgebildet sind — soweit nicht andere, noch zu besprechende Veränderungen erfolgten.

In diese Schichtablagerungen dringt, besonders im Spätwinter, im Frühjahr und im Sommer, Schmelzwasser ein (bei allgemeiner Temperaturerhöhung, Sonnenbestrahlung). Das Wasser sickert nun *nicht* — wie man früher allgemein annahm — durch die ganze Schneemasse durch bis auf den „gewachsenen Boden“.

Wie ich mit meinen Mitarbeitern (Welzenbach u. a.) erstmals durch Beobachtung feststellen und durch Anilinfärbungsversuche gut sichtbar nachweisen konnte, versinkt das Wasser in Lockerhorizonten in die Tiefe, bis es auf den nächsten und weiter auf tiefere Harschthorizonte trifft; ihr grobkörniges Gefüge mit seinen engen Zwischenräumen nimmt das Schmelzwasser begierig auf und leitet es — bei Neigung des Geländes — talab, wie es die gröberen Geröll-



Abb. 28. Färbversuch: Mehrere wasserführende Lagen (Harschtschichten) sind durch Anilinfärbung sichtbar gemacht. Vom obersten Wasserhorizont saugt sich das Schmelzwasser kapillar in die aufgelagerte Neuschneesicht empor (links oben). (Photo: Paulcke.)

schichten unserer Schottergebiete mit dem „Grundwasser“ tun. (Abb. 28.)

Es entstehen auf diese Weise in den Schnee- und Firnschichten ausgesprochene „Wasserhorizonte“, eine Bewegung des Wassers in „Wasserstockwerken“, und Austritt des Wassers an Anschnitten dieser Schichten (z. B. an künstlichen Einschnitten, Firn- und Schneeabbrüchen, Wächten usw.). Solche Austrittsstellen sind oft sehr

schön durch fransenartigen Eiszapfenbehang gekennzeichnet. (Abb. 29.)

Eine für die Lawinenbildung sehr wichtige Tatsache ist es, daß von den wassererfüllten Firn- und Harschtlagen das Wasser kapillar in die Hohlräume der darüberliegenden Lockerschneemassen *emporgesaugt* wird, so daß in diesen dicht über den Harschtlagen starke Wasserfüllung eintritt, wodurch sie zu „*Schmierschichten*“ werden und an geneigten Hängen ausgesprochene *Gleithorizonte* für „*Feuchtschnee-Lawinenbildung*“ bilden.

Durch das Schmelzwasser werden die Harschtlagen immer mehr mit Wasser erfüllt; tritt Kältewirkung ein, so wachsen die Firnkörner in diesen Lagen mehr und mehr zu polygonal aneinandergrenzenden Eiskörnern aus. (Abb. 70/9, S. 64.)

Es entstehen dichtere *Eislagen*, durch die das Wasser nicht mehr durchdringt, innerhalb derer es auch nicht mehr weitergeleitet wird, sondern *über denen es sich staut*, wodurch diese Eisschichten an Dicke zunehmen.

Auf diese Weise entstehen also — schon von Anbeginn der Schneeeablagerungen — innerhalb der Schneeschichten, die in den Firnlagen der Gletscher und im Gletschereis bekannten, sogenannten „Blaublätter“, und zwar die Gruppe von Blaublättern, welche „*schichtgebunden*“ sind.

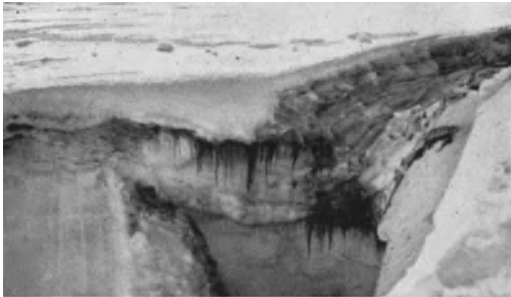


Abb. 29. Färbversuch an einer Gletscherspaltenbrücke auf dem Eiger-gletscher. Wasseraustritt an den gefärbten Eiszapfen erkennbar. Links oberer Behang violett; tieferer Behang rechts rot gefärbt. Das betr. Schmelzwasser stammt von zwei verschiedenen Versickerungsstellen. (Photo: Paulcke.)

Wichtig für Skiläufer und Bergsteiger ist es zu wissen, daß die *Wasserbewegung* — z. B. nach starker Sonnenbestrahlung, auch bei starker Temperaturerniedrigung nach Sonnenuntergang — in den tieferen Schneelagen oft noch *lange anhält*, trotzdem oberflächlich schon alles gefroren ist. Wenn also ein Hang (Südhang, Südwesthang) *tagsüber stark sonnenbestrahlt war* und Lockerschnee auf Harscht (oder Fels, Gras) lag, so können dort *noch bis spät in die Nacht* — besonders bei Störung durch Skiläufer — *Feuchtschneelawinen* losgehen. Also Vorsicht! —

Der Färbversuch

Zur Sichtbarmachung der Wasserbewegung im Schnee streute ich auf sonnenbestrahlte Hänge bzw. bei Tauwetter

Anilinpulver (am besten blau, violett oder rot). Auch bei leichter Luftbewegung Streuflasche dicht am Boden und natürlich mit dem Wind streuen.

Durch die Anilinbestreuung wird der Schmelzvorgang stark gefördert, das gefärbte Schmelzwasser versinkt und folgt den oben geschilderten Wegen. Verlauf, Sicker- bzw. Fließgeschwindigkeit und Ausmaß der Wassermengen wird dann

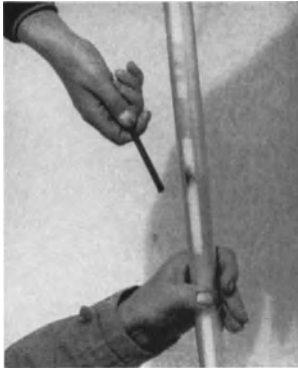


Abb. 30. Paulckes Schneeborher. Kernbohrung zur Feststellung eines gefärbten Wasserhorizontes, welcher in einem der „Fenster“ sichtbar ist.
(Photo: Paulcke.)

in gegrabenen Profilen und durch Entnahme von Schneebohrproben festgestellt. (Abb. 30.)

Aus dem Himalaya beschreibt Bauer überaus bezeichnende Bildungen, denen er den Namen „Firnhauben“ oder „Firnkämme“ gab.

Diese Gebilde sind an ganz bestimmte Höhenlagen gebunden; sie entstehen, wie Bauer schildert, dort, wo durch dauernden Wechsel von Schneefall, Schmelzung und Kälte auch starke Eiszapfenbildung erfolgt. Hier wirken also wieder die oben geschilderten Gesetze der Wasserbewegung im Schnee ausschlaggebend für diese sehr bezeichnende Formgestaltung

der Grate und die dadurch bedingte bergsteigerische Taktik mit.

Die steilen Grate, z. B. des Kantsch, zeigen auf ihrer unregelmäßigen Schneebedeckung nach Sonnenbestrahlung Harschtlagen. Es fällt Neuschnee, in diesem bildet Sonnenbestrahlung Schmelzwasser, welches zu den Harschtlagen versickert und da, wo die Schneekappen vorgebaucht sind, an den Schichtgrenzen austritt. Dort erfolgt Bildung von Eiszapfenbehang. Die Eiszapfen wachsen bis zur nächsten Stufe hinab und es bilden sich hinter ihnen *Hohlräume*. Diese Vorgänge wiederholen sich und so werden die *hohlraumreichen* „Firnhauben“ aufgebaut, kühne Türme, die den Ersteigern

große Schwierigkeiten bereiten und durch ihren lockeren Bau, wie die Steilheit der Gratflanken — besonders bei starker Sonnenbestrahlung — die Gefahr bergen, als große Massen abzustürzen. Ich nannte diese Art von Schneeablagerung: „*Wabenschnee*“.

Im Laufe des Winters und im Frühjahr — in den Gebieten über der Schneegrenze auch im Sommer — schreitet die *Verfirnung* mehr und mehr weiter. Wasserbildung, Durchsickerung, Verdampfungs- und Gefriervorgänge, sowie Druckwirkungen wechseln dauernd miteinander ab. Die Firnmassen werden immer grobkörniger und dichter — luftärmer — und in den Gletschergebieten wird schließlich der Firn durch Druck und Umschmelzungs Vorgänge in kompaktes Gletschereis verwandelt.

Im Frühjahr und im Sommer ist an den unteren Grenzen der Schneehänge (Geröllfeldern usw.), wo außer der Außenwärme auch noch die Ausstrahlungswärme des Bodens Hohlräume geschaffen hat, beim Abfahren große Vorsicht notwendig, weil dort der Skiläufer und der über die steilen Schneehänge stehend abfahrende Bergsteiger plötzlich im „faulen Schnee durchfällt“ und durch diese schlagartige Bremswirkung zu Fall kommt. Zeigt ein wasserstauer Horizont (Gletschereis) Gegengefälle oder Einmuldungen unter solchen durchweichten Firnmassen, so entstehen „Schneesümpfe. Vgl. die klangmalende Bezeichnung das „Gepatsch“ auf dem Gepatschferner.

In den tropischen und subtropischen Gegenden erschwert diese tiefgründige Lockerung der Firnmassen das Fortkommen ungemein, und hier wie anderwärts ist die richtige Beurteilung der Eigenart von Schnee und Eis für Zeit, Wegwahl usf. Vorbedingung für die richtige „Taktik“ der Bergsteiger und Forschungsreisenden. Wie in den großen Gletschergebieten Mitteleuropas nutzt dort der Bergsteiger die Nacht, solange der Firn hart ist, und vermeidet zeitraubende und kräfteverzehrende Märsche in der warmen Tageszeit.

Hier soll noch ganz kurz der besonders aus der Kordillere von Südamerika bekannte „*Büßerschnee*“ (*Nieve penitente*, *Penitentes*) erwähnt werden. Das sind Schmelzerscheinun-

gen unter der hochstehenden Sonne — besonders in der Gegend um 35° südlicher Breite (den sogenannten „Roßbreiten“) — in denen durch die steileinfallenden Strahlen die Schneemassen — Firnmassen — in Zapfen und Säulen von 1½—4 m Höhe zerteilt werden. Diese isolierten Säulen treten felderweise auf und wirken wie eine Schar in weiße Kutten gehüllte Büssermönche — daher der Name —, am typischsten sind sie im Akonkagua und Tupangatogebiet. Sie, wie ähnliche Schmelzgebilde in anderen Hochgebirgen der Erde, können, besonders auf Talgletschern und alten Firnschneelagern, dem Bergsteiger große Hindernisse bieten.

Andererseits schaffen sie für Neuschneemassen, die zwischen diese Pfeiler fallen, einen sehr festen Halt. Es entstehen keine durchgehenden glatten Schichtflächen, sondern es erfolgt eine innige Verzahnung: Die obere Schneelage wird gleichsam mit der darunterliegenden „verzapft“. Th. Herzog hat in den Gebieten der tropischen Kordillere weder Lawinen noch Spuren von solchen gesehen, und führt diese Tatsache auf die „Zackenschneebildung“ zurück.

Die „Schmelzdiagenese“ wird also, wie wir gesehen haben, in erster Linie durch Wirkungen von außen: Sonne, allgemeine Temperaturerhöhung, Regen usf. bedingt und schreitet von oben nach unten fort. Durch Einwirken auf Sickerwasserlinien entstehen im Frühjahr auf den Schneeflächen durch Einsinken des Schnees rinnenartige Gebilde.

2. Wind-Diagenese.

Der Wind — besonders trockener und warmer Wind — bedingt sehr starke und sehr rasche Verdunstung des Schnees. Der Volksmund sagt: Der „Föhn frißt den Schnee“.

Vor allem aber *zerschlägt* der Wind die *Schneeteilchen*, die er treibt, losreißt und gegen den Boden peitscht, in *kleine Körnchen*. Er erzeugt also mechanisch einen sehr charakteristischen „Feinschnee“. Wir werden bei der Frage der Schneeablagerung noch ausführlich auf diese Tätigkeit des Windes zu sprechen kommen.

Jedenfalls ist die Wirkung des Windes eine überaus starke, sowohl auf Abtragung wie Anhäufung von Schnee, wie auf

die Beschaffenheit der Schneeablagerungen: Dichte, Kornbindung usf. Windwirkung kann bis zu vollkommener Vereisung der Schneeablagerungen führen, vgl. windvereiste Kämme und Grate im Riesengebirge, Schwarzwald und den Alpen.

Für die Beschaffenheit der windbeeinflussten Schneeablagerungen ist die Windstärke (Druckwirkung), wie der mehr oder weniger starke Feuchtigkeitsgehalt der Luft (z. B. Nebeltröpfchen und damit Mischung der mechanisch zerschlagenen Schneeteilchen mit Rauhreif, feste Verkittung, Glatteisbildung usw.) von großer Bedeutung, besonders für die Art des Zusammenhalts (Kohäsionsverhältnisse, Dichte usf.) und Oberflächenbeschaffenheit der abgelagerten Massen.

Zur Klärung dieser Fragen sind noch eingehende Untersuchungen notwendig.

3. Reif-Diagenese.

Die Veränderungen, welche auf und in den Schneeschichten durch *Reifbildung* erfolgen, waren bisher kaum beachtet worden; ihre Wirkung auf die Lawinenbildung war vollkommen unbekannt. Ihre Kenntnis ist für die Lawinenfrage von allergrößter Bedeutung.

Die *Veränderungen* der Schneeablagerungen durch *Reif* erfolgen an den *Schneeoberflächen*, wie im Inneren der *Schneelagen*.

Reif entsteht, wie wir sahen, aus *Wasserdampf*. Die Reifbildungen zeigen stets wohlbegrenzte Kristallformen mit deutlichen Flächen, Kanten und Ecken — im Gegensatz zu dem aus Nebeltröpfchen in Körnchenform ausgebildeten „*Rauhreif*“ oder „*Anraum*“ (vgl. Abb. 5 u. 6, S. 16).

Das Wasserdampfmaterial für den Reif entstammt z. T. der Zufuhr aus der Atmosphäre, z. T. der *Verdunstung* der umgebenden Schnee- und Eismassen, sowie der Bodenfeuchtigkeit der Erde.

Die Reifablagerungen erfolgen an Hervorragungen unterkühlter Körper auf dem Boden an Steinen, Pflanzen, Holz, Drähten, und nicht zum mindesten an den Körnchen der Schneeschichten und den Rauhigkeiten der Eisoberflächen im

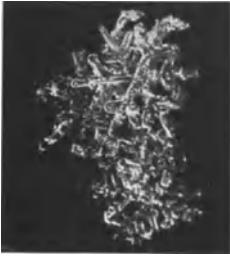


Abb. 31.

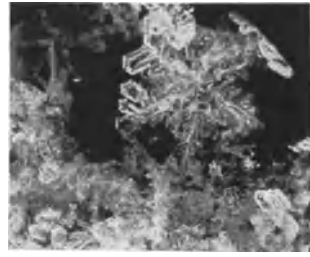


Abb. 32.

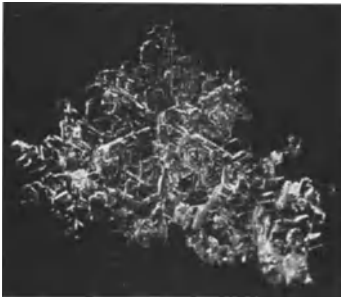


Abb. 33.

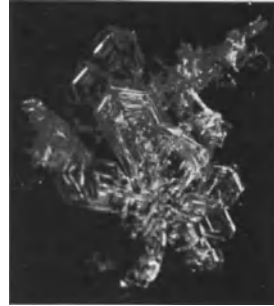


Abb. 34.

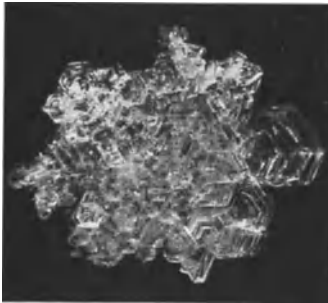


Abb. 35.

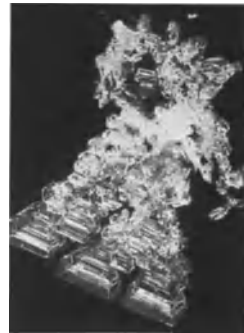


Abb. 36.

Tafel 3. Wie der „Kristallschnee“ entsteht. Reifdiagenese: Oberflächenreif. (Photo: Paulcke).

Abb. 31—36. Stundenalter Neuschnee, dessen ursprünglich kleinen und allseitig gleichartig ausgebildeten Schneesterne (Luftreif) nach ihrer Ablagerung in den Richtungen, nach denen Platz zur Entwicklung war, durch Neukristallisationsvorgänge (Bodenreifbildungen) weiterwuchsen. Neubildung großer Rosettenblattfortsätze; z. T. sogar Halbbecher (flache).

Abb. 31. Schneesterne mit beginnendem Bodenreifansatz.

Abb. 32 u. 33. Fortgeschrittener Reifansatz. (Bodenbildung.)

Abb. 34 u. 35. Etwa 12 Stunden alter Bodenreifansatz. Bildung breiter Rosettenblätter. (Halbbecher.)

Abb. 36. Einzelnes an einem ursprünglichen Schneesternstrahl als Bodenreifansatz gebildetes Rosettenblatt (dreiteilig). Beginn von halbbecherförmigen Endigungen (etwa 24 Stunden nach dem Neuschneefall.

offenen Gelände, wie in Hohlräumen aller Art (Fels-Eishöhlen, Gletscherspalten usf.) wie auch in den *Poren der abgelagerten Schneemassen*. Ich unterscheide demnach: *Oberflächen-, Höhlen- und Tiefenreif* = „*Schwimmschnee*“.

a) Oberflächenreif. Wenn nach Neuschneefällen das Wetter aufklart, setzt an der Schneeoberfläche sofort Reifbildung ein: die Enden und Verzweigungen der anfangs noch in Sternform erhaltenen Schneekristalle wachsen weiter und nehmen breite Rosettenblattform an. (Abb. 31—36, S. 44.)

Durch den „*Oberflächenreif*“ — der Skiläufer nennt ihn mit Recht „*Kristallschnee*“ — erhält die Schneedecke einen, wenn auch oft nur scheinbaren, beträchtlichen lockeren *Zuwachs*, d. h. es liegt nach starker Reifbildung auf der geschlossenen Schneeharschtdecke eine oft mächtige Reiflage, deren Material aber größtenteils der Verdunstung der Schneedecke entstammen dürfte. Messungen über Verlust und Gewinn sind bisher m. W. noch nicht durchgeführt worden.

In solchen Fällen ist die ganze Schneedecke mit schönen Reifkristallen, z. T. Becherformen und Hohlprismen, meist flache, gestielte, blattförmige in Rosettenform angeordnete Bildungen, bedeckt. Abbildungen vgl. S. 44. Die Kristalle brechen und reflektieren das Licht lebhaft, so daß dieser „*Schnee*“ stark „*glitzert*“.

b) Tiefenreif = Schwimmschnee. Eine sehr wichtige Rolle spielen bei der *Schneediagenese* die Veränderungen, die der abgelagerte Schnee *im Inneren seiner Schichtmassen* durchmacht. Diese, bisher fast vollkommen übersehenen Vorgänge nehmen *in der Tiefe* — besonders über dem „*gewachsenen Boden*“, z. T. ein sehr großes Ausmaß an. Es handelt sich dabei um einen sogenannten „*Sublimationsvorgang*“, d. h. es entsteht durch Verdunstung kleiner Firnkörnchen Wasserdampf und aus diesem werden wieder Eiskristalle. Dabei

kommt es zur Bildung von dampfhaltigen Hohlräumen, und da rings um diese Hohlräume ein großer Kältespeicher in Gestalt anderer Firnkörner liegt, kommt es dauernd zu erneuter Auskristallisation, Wasser wirkt dabei *nicht* mit. Die vorhandenen Firnkörner dienen dabei als Ansatz für die *Neubildungen*, denen ich den Namen „*Tiefenreif*“ gegeben habe.

Er unterscheidet sich scharf vom „*Oberflächenreif*“. Nie sah ich — bis jetzt — bei Tiefenreifbildungen flache, blattförmige Gebilde, einzeln oder in Rosettenform angeordnet, wie das beim Oberflächenreif fast Regel ist. Meist wiegen beim Tiefenreif *Becherformen* (Abb. 22, 23, S. 32 u. Abb. 37—39, S. 47) und Halbbecher vor, sowie kleinere Hohlprismen; daneben kommen — seltener — und in relativ reicherer Zahl an Nordhängen *Vollkristalle* (Abb. 41—45, S. 47) in Gestalt von Prismen mit Basis, z. T. mit Pyramidenflächen vor, außerdem sechsseitige Täfelchen. Anfangs wiegen in den Ablagerungen noch die Firnkörner vor. Mit der Zeit bilden sich auf Kosten der Firnkörner immer mehr Tiefenreifkristalle, bis sie örtlich sogar vorherrschen können.

Diese Tatsache ist nur erklärlich, wenn wir annehmen, daß die wohlausgebildeten „*Tiefenreifkristalle*“ *widerstandsfähiger* gegen Verdunstung sind als die Firnkörner, sich also — während die Firnkörner durch Verdunstung zugrunde gehen und Wasserdampfmaterial liefern — bilden, erhalten und weiterwachsen.

Ein Teil des Wasserdampfmaterials dürfte, ja muß den Gebieten, in denen es entsteht — verlorengehen. Es wandert in benachbarte — besonders in höhere Schichten. Die Folge davon ist eine sehr beträchtliche *Hohlraumbildung in den Tiefenreifregionen*.

Der Reichtum an größeren Poren (stärkeres „*Porenvolumen*“ der Schichten) wird hier beträchtlich erhöht. Dabei liegt dann nicht mehr, wie im gefestigten Firnschnee, Firnkorn dicht an Firnkorn, sondern die neugebildeten Kristalle haften oft nur an schmalen Kanten und Ecken aneinander, oder ragen frei in die Hohlräume. (Abb. 47 u. 49, S. 50.)

Die Folge davon ist, daß diese „*Tiefenreifbildungen*“ *sehr locker* liegen. Bei Berührung oder Erschütterung fallen die



Abb. 37.

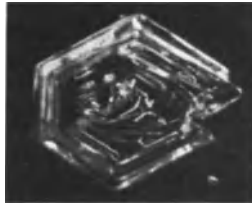


Abb. 38.



Abb. 39.



Abb. 40.



Abb. 41.



Abb. 42.



Abb. 43.



Abb. 44.



Abb. 45.

Tafel 4. Schneediagenese: Verfirnung, Tiefenreif = Schwimmschneebildung. (Mikrophoto: Paulcke.)

Abb. 37. Becherförmiger Schwimmschneekristall von oben; zeigt deutlich den Stufenbau.

Abb. 38. Becherkristall (leicht verletzt) von oben.

Abb. 39. Becherkristall von oben. Die Becher beim Schwimmschnee (Tiefenreif) im Gegensatz zu den Höhlenreiformen (vgl. Seite 58) geschlossen.

Abb. 40. Vollkristall: Prisma mit Pyramiden- und Basisflächen sowie Luft-einschlüssen (vgl. Abb. 8, S. 21).

Abb. 41, 42 u. 45. Vollkristalle Prismen mit Basis.

Abb. 43 u. 44. Vollkristalle. Tafelig, stark nach der Basis entwickelt.

Kristalle und Körner zusammen und bilden eine *sehr bewegliche Masse*. Der Tiefenreif „ballt“ nicht, man kann in ihm keine Stufe festtreten, da er dem Fußdruck ausweicht und nicht zusammenbackt; er reagiert also schwer mit Regelation (Zusammenfrieren) bei solch geringen Druck. Tritt man in eine Tiefenreifmasse, so weicht dieser „Schnee“ dem Fuß aus wie lockerer Sand. Gräbt man ein „Schneeprofil“ und schneidet ein Tiefenreifhorizont dabei an, so fließen die Kristalle aus wie Reis aus dem Sack. (Abb. 46.)



Abb. 46. Experiment zur Sichtbarmachung der starken Beweglichkeit des „Schwimmschnees“. Schwimmschnee wird aus einem Eimer auf ein schräg gestelltes, mit schwarzem Samt bezogenes Brett geschüttet. Die trockenen, lockeren Kristallmassen fließen wie ein Wasserstrahl. Im unteren Drittel des schrägen Brettes ist in den Samt eine Falte gelegt, über welche der Kristallstrom wegspringt. (Laufbild: Pauleke.)

„Schwimmschnee“ ist eine für den Skiläufer sehr *gefährliche Bildung*, da er wegen seiner lockeren Lagerung und Art wie Ort seines Vorkommens *überaus wirksame Gleithorizonte* für die ihm aufgelagerten Schneemassen bildet — eine Art „Kugellagerschicht“ und Ursache für die „Tiefenreif-“ oder „Schwimmschneelawinen“ ist, deren Art und Entstehung man bisher vollkommen übersehen hatte. Die Kenntnis der Eigenart dieser Bildungen ist also sehr wichtig! Ebenso das Wissen darüber, *wo, wann und warum* „Schwimmschnee“ entsteht.

„Schwimmschneebildung“ geht offenbar in Schichten mit maximalem vertikalem Temperaturgefälle vor sich, d. h. da, wo besonders starke Temperatursprünge vorhanden sind. Solche Grenzschicht ist in erster Linie der „*gewachsene Boden*“, über dem ich bis zu 1,30 m „Schwimmschnee“ mächtigkeit messen konnte! —

Weitere solche Grenzschichten sind die Oberflächen des Gletschereises, sowie alle Harschtschichten.

Über dem gewachsenen Boden beobachtete ich stets die größte Mächtigkeit. Dort herrscht nach meinen Messungen unter mächtigeren Schneeauflagerungen eine gleichmäßige Temperatur von 0° bis $+0,5^{\circ}$ C, so daß die Vorbedingungen für stärkere länger andauernde Verdunstung gegeben sind.

Die *ausgiebigste Schwimmschnee-Tiefenreifbildung* beobachtete ich in einem *besonders kalten Winter*, als lange Zeit sehr niedrige Außentemperaturen herrschten (-30 bis -40° C)¹.

Man sieht also, daß die alte — immer wieder wiederholte — „Regel“ nicht immer stimmt, welche sagt, daß keine Lawinengefahr mehr herrsche, wenn sich der gefallene Schnee „gesetzt“ hat. Das gilt nur für die auf der vorletzten Schicht abgelagerten Lockerschneemassen: also die trockenen und feuchten Lockerschneelawinen. Es kann aber — auch nach langen Schneefallpausen — auf Grund der geschilderten *nachträglichen Auflockerung* tiefer Schneehorizonte durch „Schwimmschneebildung“ — vor allem wenn es sehr kalt war und besonders auch an Nord- und Osthängen — stärkste Lawinengefahr auftreten: trockene Altschnee-Schwimmschneelawinen. Auch unter Schneebrettern findet sich Schwimmschnee.

Wie erkennt man, ob und in welchem Ausmaß „Schwimmschneebildung“ stattgefunden hat? — Einwandfrei dadurch, daß man erstens im Schnee *ein Profil* mit der Lawinenschaukel bis zum gewachsenen Boden *gräbt* und die Schichtenfolge feststellt. Zweitens durch Entnahme eines *Bohrprofils mit Schneeborner* und drittens am raschesten durch „*Sondieren*“ mit der *Schneesonde* oder als Notbehelf mit dem umgekehrten Skistock. (S. 196.)

Ein weiteres Kennzeichen für das Vorhandensein von Schwimmschnee in der Tiefe hat schon jeder Skiläufer erlebt. Er zog bei herrlichsten Wetter, an einem klaren, kalten Tag

¹ Neuerdings hat H. Diem die Vermutung ausgesprochen, daß in den Schneelagen gleichartig wie bei den Erscheinungen im Lockermaterial der Erdoberfläche (Sand, Schotter), bei der sog. „Bodenatmung“ an den genannten „Grenzschichten“ ein „Stau“ der „Schneeatmung“ stattfindet. Man nennt „Bodenatmung“ die Bewegung der Luft durch das Lockermaterial, wobei rasch wechselnder Luftdruck eine ausschlaggebende Rolle spielt. Für den Schnee und die Schwimmschneebildung fehlen bis jetzt die diesbezüglichen Untersuchungen. Für die Praxis genügt die Feststellung der oben angeführten Tatsachen, mit denen man rechnen muß.

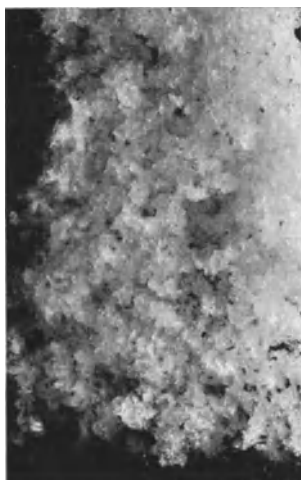


Abb. 47.

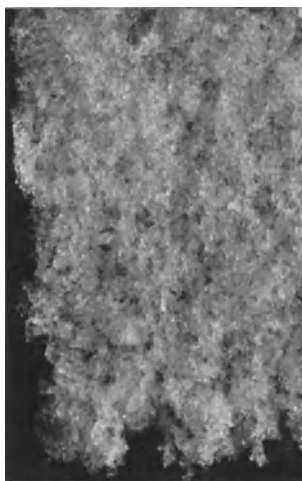


Abb. 48.

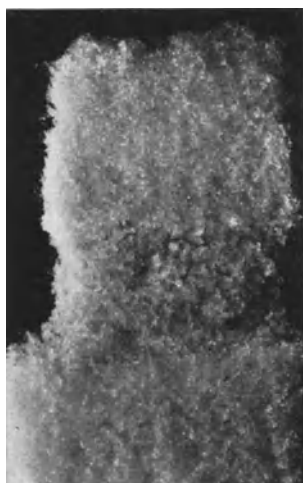


Abb. 49.

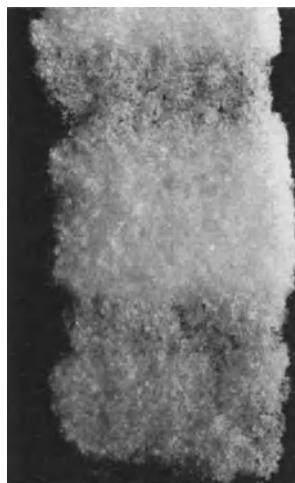


Abb. 50.

Tafel 5. „Schwimmschnee“-Tiefenreif-Horizonte
(Naturprofilstücke). (Photo: Paulcke.)

Abb. 47 grobkörniger, Abb. 48 feiner körniger Schwimmschnee. Beide von der Basis alter Schneeablagerungen. Probeentnahme dicht über dem „gewachsenen Boden“. Beide Proben zeigen fast nur Schwimmschneekristalle

und höchstens vereinzelte Firnkörner. Die dunklen Stellen sind Hohlräume; sie zeigen das große „Porenvolumen“ der Ablagerung und die lockere Lagerung. Abb. 48. Eine „Schwimmschnee“-Lage (grobkristallin mit vielen Hohlräumen) zwischen zwei mittelkörnigen dichteren Firnschneelagen).

Abb. 50. Zwei „Schwimmschnee“-Lagen (grobkristallin mit vielen Hohlräumen) zwischen drei mittelkörnigen Firnschneeschichten.

seine Spur durch die makellose Schneefläche. Plötzlich: „WUMM“! — ein dumpfer Ton! Der Schnee hat sich unter der Belastung durch den Skiläufer als Scholle, oder in Schollen, oft in weitem Umkreis schlagartig gesetzt, d. h. unter der Last des Skiläufers brach das Stützwerk der locker aneinander haftenden „Schwimmschnee“-kristalle zwischen den neugebildeten Hohlräumen zusammen, und die Luft entwich. Die Grönländer nennen diese Erscheinung „seufzenden Schnee“ und die arktischen Forscher berichten, daß durch diesen Vorgang die Tiere (Hunde, Ponys) stark erschreckt werden. Es wankt der Boden, und es fand gleichsam ein kleines „Einsturzbeben“ statt.

Befindet sich der Skiläufer in solchem Falle auf flachem Gelände, so ist die Sache ungefährlich, befindet er sich aber am Steilhang, so ist es meist zu spät zur Flucht: am ganzen Hang geht der Schnee auf oft weite Strecken mit leisem Zischen ab und gleitet als „Schwimmschneelawine“ rauschend in die Tiefe — Auslösung durch Belastung.

Wir kommen auf diese Lawinenart nochmals im Lawinenkapitel S. 146 zu sprechen.

Für den *Hüttenbetrieb*, Biwaks ist bezüglich der Wassergewinnung aus Schnee zu bemerken, daß man den „Tee- und Suppenschnee“ nicht dem oberflächlich liegenden „Lockerschnee“ entnehmen soll. Man grabe an geeigneter Stelle einen etwa mannsbreiten Kanal in die Tiefe (z. B. in einer Schneewehe und nehme den bodennahen, grobkristallinen Schwimmschnee, der zur Wassergewinnung viel ausgiebiger ist. So machen es auch die Polarvölker.

Die Finnländer nennen diese bewegliche Schneeart „hieta lumi“, d. h. „Sandschnee“. Die ersten Entdecker des Schwimmschnees — schon vor Jahrtausenden — waren wohl die Renntiere. Bei der Suche nach Nahrung im Winter zerschlagen sie

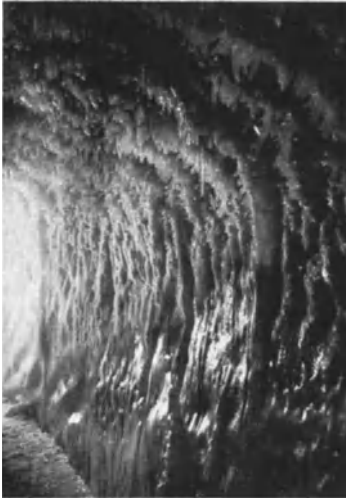


Abb. 51.

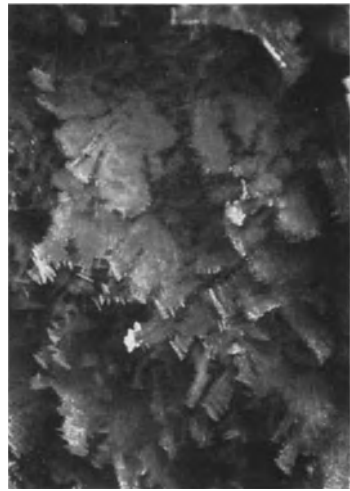


Abb. 52.

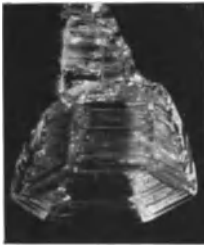


Abb. 54.

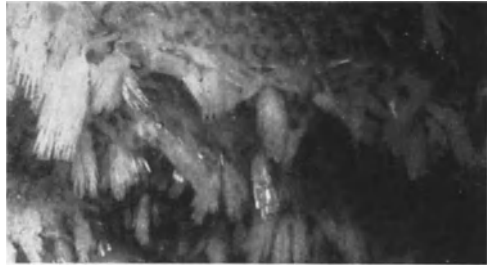


Abb 53.

Tafel 6. Höhlenreif. Eishöhle Jungfraujoch. 3467 m ü. M.
(Photo: Paulcke.)

Abb. 51. Blick vom Höhleninneren nach außen. Das Höhlendach bis herab über das obere Drittel der Seitenwände ist mit Höhlenreifkristallen (Hohlprismen) behangen (dazwischen vereinzelte Eiszapfen). Die unteren zwei Drittel der Seitenwände zeigen spiegelglatte wellige Verdunstungsflächen auf dem blaugrünen Gletschereis.

Abb. 52. Höhlenreifkristalle an Decke und Wand der Eishöhle. Zuerst sind die langen Hohlprismen gewachsen. Bei einem Wetterumschlag (Einbruch von wärmerer Feuchtluft) setzte plötzlich statt des bisher überwiegenden Wachstums in der Richtung der Längsachse Basiswachstum ein; es kam zur Deckelung der Hohlprismen und Bildung der tafeligen Fortsätze an den Seitenwänden.

Abb. 53. Hohlprismen an der Decke der Höhle. Kristallgruppen.

Abb. 54. Geschlossener Becher-Kristall (selten!) ohne seitlichen Schlitz.

die harten, windgepreßten oder harschtigen Schneelagen mit den Füßen und scharren dann den über dem gewachsenen Boden liegenden „Schwimmschnee“ mit den Hufschalen fort, um zum Renntiermoos zu gelangen.

e) **Höhlenreif.** Der *Höhlenreif* — in Felsspalten, Fels- und Eishöhlen, sowie in Gletscherspalten — zeigt die gleichen Wachstumsformen der Kristalle wie der Tiefenreif und weist auch gleichartige Bildungen auf wie der Oberflächenreif; nur sind die *Höhlenreifkristalle* viel *größer*, weil ihnen mehr Raum und auch mehr Zeit zur Entwicklung unter verhältnismäßig gleichbleibenden Bildungsbedingungen zur Verfügung steht.

Die ersten großen Höhlenreifkristalle bei uns beschrieb und photographierte Ing. Handl.

Meine Beobachtungen über den Höhlenreif konnte ich in drei künstlich im Gletschereis beim Jungfraujoch ausgehauenen Eishöhlen machen.

Die erste Untersuchung erfolgte 1932. Sorgfältig war im Herbst die 21 m tiefe, gangartige gestaltete, 1,20 m breite und 1,90 m hohe Höhle, die in einer kapellenartigen, von zwei dicken Eissäulen getragenen Erweiterung nahe dem gewachsenen Fels des Sphinxgrates endigt, mit Brettern verschlossen worden und eingeschneit.

Als wir das Tor, welches etwa 6 Monate vorher geschlossen worden war, von Schnee frei gemacht hatten, bot sich uns ein märchenhafter Anblick: von der Decke der Höhle hingen reihenweise lange Bündel der herrlichsten, bis 16 cm langen Eiskristallgruppen herab, und ebenso war das oberste Drittel der Seitenwände mit diesem Kristallschmuck besetzt. (Abb. 51—53, S. 52.) Die unteren zwei Drittel der Seitenwände bestanden aus spiegelglattem blaugrünen Gletschereis mit welliger Verdunstungsoberfläche.

Auch der Boden war ganz glatt, so daß wir Steigeisen anziehen mußten, um nicht auszugleiten und durch Anschlagen die Pracht zu zerstören.

So traten wir wie in ein mit Edelsteinen und Kristallkelchen geschmücktes Märchenschloß. An den smaragdnen, glänzenden Eiswänden hingen die wunderbarsten Gebilde in unend-



Abb. 55.

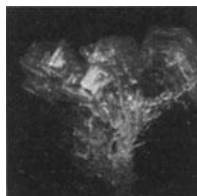


Abb. 56.

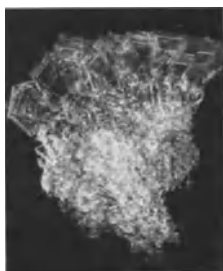


Abb. 57.

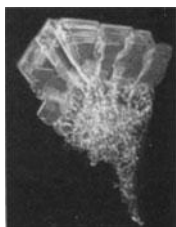


Abb. 58.

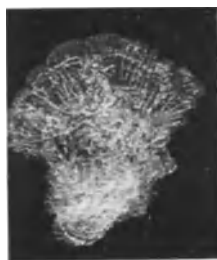


Abb. 59.

Tafel 7. Höhlenreif: Rosettenzone. (Photo: Paulcke.)

Alle Rosettenblätter sind mehr oder weniger dünn gestielt; sie gleichen den entsprechenden Gebilden des Oberflächenreifs, vom Halbbecher bis zum fast ausgeflachten Blatt.

Abb. 55. Blattenden halbbecherförmig.

Abb. 56 zeigt *links* den von mir nur einmal beobachteten Fall vollkommener *Rechtwinkligkeit* der Hohlprismen an 2 Blattendigungen; auch die Einrollungen sind rechtwinklig! Es liegt also eine quadratische oder tetragonale Bildung vor.

Abb. 57. Rosettenblatt mit stärker ausgeflachten Flächen.

Abb. 58. Am stärksten ausgeflacht, gestreifte „Scheinflächen“.

Abb. 59 zeigt das Blatt einer Rosette aus dem Höhleninneren mit Abrundungen durch Verdunstungsvorgänge (Pfauenfederformen).

licher Formenmannigfaltigkeit. Diese galt es jetzt zu untersuchen.

Es erfolgte photographische Aufnahme der verschiedenartigen Formen und — besonders durch meine damaligen Mitarbeiter Dr. Roßmann und Diem — Messungen der Tem-

peraturen und des Wasserdampfgehaltes der Luft in den verschiedenen Höhlentiefen.

In der Nähe des *Höhleneingangs* sind 12—16 cm lange, in Bündeln von 3—6 bis über 20 vereinigte *Hohlprismen* entwickelt. Wir fanden in einem anderen Jahre und in einer anderen Höhle Hohlprismen von 18 cm Länge und einem Durchmesser von 3 cm sowie Gruppen bis zu 26 cm Länge.

(Abb. 65.) Je tiefer wir in die Höhle eindringen, desto kürzer wurden die Prismen an Dach und Wänden. Es entstehen dort *kurze Halbbecher*, die sich immer mehr verflachen (Abb. 55—59), und schließlich sieht man im Höhleninneren nur noch fächerförmige *flache Blätter* — wie beim Oberflächenreif —, die zu *Rosetten vereinigt* sind. Die größten beobachteten Rosetten haben bis zu 15 cm, ihre Einzelblätter bis zu 6 cm Durchmesser.

Im Höhleninnersten sind diese Blätter durch Verdunstungsvorgänge abgerundet und sehen wie die Endigungen nicht ausgefranster Pfauenfedern aus. (Abb. 59.)

Alte Schnüre, die wir in einem Jahre hängen gelassen hatten, waren im folgenden Jahre rings mit großen Reifblattrosetten besetzt — also das gleiche Bild, welches wir im kleinen bei Oberflächenreif, an Pflanzenstengeln usw. im Freien sehen. Glühbirnen von der in die Höhle gelegten elektrischen Leitung waren mit filigranartigem Reifschmuck geziert, der sich der runden Form anschmiegte, so schön, wie es ein Künstler im Glasblasen nicht hätte zustande bringen können. (Abb. 60.)

Aus den Temperatur- und Feuchtigkeitsmessungen ergab sich



Abb. 60. Eine mit Reifrosetten überzogene Glühbirne.

folgendes: Das durch die Forschungsstation auf dem Jungfrau-
joch festgestellte Winterjahresmittel beträgt dort oben -12°
Celsius. Diese Temperatur hat naturgemäß den größten Ein-
fluß auf die *Kristallbildung am Höhleneingang*. Innerhalb
der Höhle bleibt die Temperatur während der Wintermonate,
in denen die Kristalle wachsen, dauernd unter 0° , nimmt nach
dem Höhleninneren allmählich zu und bleibt im Höhlen-
innersten — wie es scheint dauernd — konstant -4° .

Der Dampfdruck nimmt in Millimetern von 0,8 beim Höh-
leneingang allmählich bis auf 3,3 im Höhleninnersten zu. Die
Feuchtigkeit in bezug auf Wasser wächst von außen nach
innen, und die Übersättigung in bezug auf Eis ist am Höhlen-
eingang — 33%, im Höhleninnersten — 2%.

Die Verschiedenheit der Formgestaltung der Eiskristalle ist
abhängig von den Konzentrationsverhältnissen des Wasserdampf-
s um das Bildungsgebiet des Kristalls herum und von
der Richtung der Verteilungsvorgänge der Wasserdampf-
teilchen zum Kristall hin.

Am Eingang der Höhle, wo im Winter — unter Einfluß
der Außentemperatur — dauernd niedrige Temperaturen herr-
schen, erfolgt, bei dauerndem Zustrom von Wasserdampf vom
Höhleninneren nach außen, stärkste Materialzufuhr und da-
mit stärkste Materialabscheidung, also kräftiges, rasches Wachs-
tum. Ergebnis: stärkste Bildung *großer Kristalle* in Form
langer Hohlprismen; d. h. überwiegendes Wachstum in der
Richtung der Längs- oder C-Achse.

Im Höhleninneren spielt die Außentemperatur für die Be-
schleunigung des Wachstums bei starker Materialzufuhr keine
stärkere Rolle. Die Wachstumsstärke in der Richtung der
Längsachse nimmt ab, die in der Richtung der Nebenachsen
(senkrecht zur Längsachse) nimmt zu; beide Wachstumstendenzen halten sich mehr oder weniger das Gleichgewicht. Statt der am Höhleneingang fast parallelwandigen, langen Hohlprismen (Abb. 61—64) entstehen *Becherformen*, deren Seitenwände auseinanderweichen. (Abb. 55, S. 54.) (Vgl. weitere Erklärung S. 57 ff.)

Im Höhleninneren und *-innersten* schließlich, bei konstant
bleibender Temperatur von -4° und wohl auch relativ kon-

stant bleibender Materialzufuhr, sehen wir ein überwiegendes bis fast reines Wachstum nach der Basis- oder Endfläche: es entstehen *blattförmige* Basisbildungen. (Abb. 55 u. 59, S. 54.)

In den Zwischengebieten finden sich alle möglichen *Übergangsformen* in Gestalt immer „offener“ werdender Halb- becher bis zu sich immer mehr ausflachenden Rosettenblättern. (Abb. 57.)

Je nach der Stärke der Einwirkung eines rhythmischen Wechsels der genannten Bildungsbedingungen (Temperatur, Wasserdampfgehalt usw.) kommt es beim Kristallwachstum zu einem *rhythmischen Wechsel* zwischen Prismen- und Basiswachstum. Die Wände der Prismen, der Halbbecher, der Becherformen zeigen nie glatte, geschlossene „Flächen“, sondern stets einen Wechsel zwischen einander folgenden Prismen- und Basisflächen. Erscheinen — besonders bei den Blatt- formen — scheinbar einheitliche, glatte Flächen, so sind das „Scheinflächen“, bei denen die eine Wachstumsrichtung vor- herrscht und die andere so stark unterdrückt ist, daß sie für das bloße Auge nicht oder kaum bemerkbar ist.

Die *Hohlprismen* zeigen deutlich ausgesprochene „Strei- fung“, d. h. in Wirklichkeit feinen *Stufenbau*. Prismenwach- tum nach der Längsachse überwiegt, wechselt aber dauernd — sowie Temperatur und Wasserdampfverhältnisse sich ändern — mit Basiswachstum. Jede Prismenwachstumsperiode streckt den Kristall in die Länge; jede Basiswachstumsperiode erzeugt eine zur Prismenfläche senkrecht stehende Basisfläche, die als Stufe in die Erscheinung tritt. (Abb. 61, 63, 64, S. 58.)

Die dem bloßen Auge als „gestreift“ erscheinenden Hohl- prismen sind also Gebilde, bei denen das Prismenwachstum vorwiegt, aber regelmäßig durch kurzes Basiswachstum ab- gelöst wird.

Diese Feinstufenbildung (Streifung) scheint den rhythmischen Wechsel der Bildungsbedingungen innerhalb eines Tages widerzuspiegeln.

Wenn wir die Streifenmenge zählen, so kommen wir etwa auf die Zahl der Tage, die der Kristall vom Bildungsbeginn bis zu dem Zeitpunkt, in dem wir ihn sahen, gebraucht hat.

Unsere Beobachtungen zeigten, daß unter bestimmtem Wit-



Abb. 61.



Abb. 62.



Abb. 63.

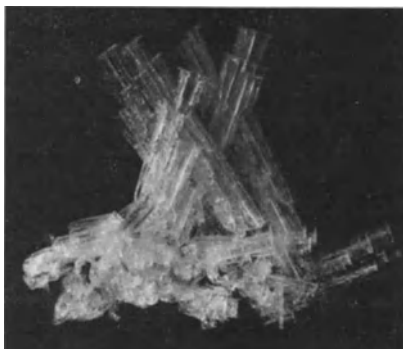


Abb. 64.

Tafel 8. Höhlenreif: Prismenzone. (Photo: Paulcke.)

Alle Abbildungen zeigen durch die „Streifung“ den stufenförmigen Bau der vorwiegend nach der Längsachse entwickelten Hohlprismen und das Zurücktreten des Wachstums nach der Basis.

Abb. 61. Hohlprismen von der geschlossenen Seite gesehen; rechts unten rings geschlossene Form ohne seitlichen Schlitz (selten); von der Mitte des Höhlendachs.

Abb. 62. „Einrollungen“ der Hohlprismen meist unsymmetrisch.

Abb. 63. Mikrophoto zweier, mit den offenen eingerollten Seiten einander gegenüberstehende Hohlprismen.

Abb. 64. Hohlprismengruppe mit gekreuzt gewachsenen Kristallen, wo bei Einbruch höher temperierter und wasserdampfreicherer Luft nachträglich Basiswachstum einsetzte und Deckelung, sowie an den Seitenwänden Weiterwachsen der Basisflächen erzeugte, die als Plättchen seitlich vorstehen.

terungseinfluß — Schlechtwettereinbruch mit erhöhter Luftfeuchtigkeit — und den dabei wirkenden Vorgängen so starkes Basiswachstum erfolgt, daß die Hohlprismen innerhalb von 24 Stunden vollkommen „gedeckt“ werden. (Abb. 52, S. 52.) Auch an den Stufen der Hohlprismen wachsen die Basisflächen seitlich nach außen weiter und ragen wie Balkonplatten vor. (Abb. 64, S. 58.)

Sehr selten sind die *Hohlprismen* an den 6 Längsseiten *geschlossene Formen*. Solche mit 6 allseitig gleichmäßig ausgebildeten Seitenwänden versehene Gebilde konnte ich nur in Ausnahmefällen beobachten. Sie entstehen dann, wenn ihre Bildung etwa in der Mitte des Höhlendaches — nie an den Seitenwänden oder an der Dachbiegung —, also dort, wo offenbar von Anfang an von allen Seiten gleichmäßige Materialzufuhr zur Bildung gleichmäßig nach allen 6 Seiten ausgebildete Hohlprismengestaltung ermöglichte. (Abb. 54 u. 52.)

Fast durchweg sind die *Hohlprismen an einer Seite* schlitzartig offen, und die Prismenwände zeigen an diesen Schlitzen „*Einrollungen*“ mit jeweiliger scharfer Knickung um 120° . Diese „*Einrollungen*“ können symmetrisch (selten) oder (meist) unsymmetrisch (Abb. 62 u. 63) sein. Stets befinden sich die *offenen Seiten mit den Einrollungen gegen die der Höhlenwand zugekehrte Seite*, bzw. bei Kristallgruppen von Nachbarkristall gegen Nachbarkristall gerichtet.

Ich nehme an, daß diese sehr bezeichnende Erscheinung darauf beruht, daß die offen bleibende Seite sich für die Materialzufuhr auf Lee befindet. Die das Material (Wasserdampf) zuführenden Luftströmungen versorgen in erster Linie die luvseitigen Außenwände, und es entstehen an den Kanten der Leeseite kleine Sogwalzen, welche das Material nach einwärts in das Hohlprismeninnere zwingen. Bei unseren Diskus-



Abb. 65.



Abb. 66.

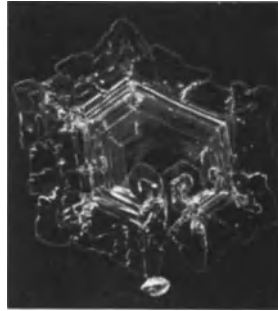


Abb. 67.



Abb. 68.

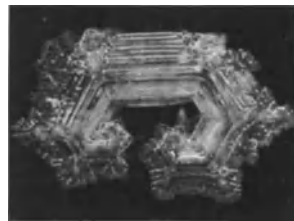


Abb. 69.

Tafel 9. Höhlenreif: Prismenzone.
(Photo: Paulcke.)

Abb. 65. Große Hohlprismengruppe
(18 cm lang).

Abb. 66. Sektglasförmiges Hohlprisma von der offenen Seite, der schlanke Stiel durch nachträgliche Verdampfungerscheinungen bedingt. (Mikrophoto etwa 4 mal vergr.)

Abb. 67 u. 68. „Euzian-Kelch“-förmiges Hohlprisma — 67 von oben, 68 halb von der Seite — mit konischem Kelchbecher und einer nach außen entwickelten Basisplatte am Ende. Basisplatte nachträglich durch Verdunstungserscheinungen abgerundet. (Mikrophoto etwa 4 mal vergr.)

Abb. 69. Blick auf das Ende eines ziemlich stark stufenförmig gewachsenen Hohlprismas mit fächerblattartig entwickelten Basisflächen am Ende, durch Verdunstungsvorgänge wieder leicht abgerundet („Barock-Form“). Die schönsten Vorbilder für den Kunstgewerber.

sionen über diese Einrollungsfrage wurde von einer Seite die Ansicht vertreten, daß die offene Seite durch geringere Materialzufuhr zu erklären sei. Ich halte meinen Deutungsversuch für einleuchtender. Wenn wir die eingerollten Teile nachmessen und sie wieder gestreckt denken, ist ihre Gesamtbreite viel größer als die offen gebliebene Fläche; es hat also *vermehrte* Materialzufuhr durch die „Sogwirkung“ stattgefunden.

Wie ich auf S. 46 erwähnte, sind die *becherförmigen* Kristalle *des Tiefenreifschwimmschnees* Bildungen in kleinen Hohlräumen der Schneeeblagerungen. Hier ist bei den Bechern der Stufenbau stärker ausgeprägt, d. h. der rhythmische Wechsel zwischen Prismen- und Basiswachstum — bedingt durch den rhythmischen Wechsel von Temperatur und Wasserdampfgehalt — hält sich mehr das Gleichgewicht, ähnlich wie bei den Zwischenformen des großen Höhlenreifs. Wir finden aber im Gegensatz zum Höhlenreif beim Tiefenreif („Schwimmschnee“) *vorwiegend an den 6 Seiten* „geschlossene“ Formen, und das ist — mit meiner oben dargelegten Deutung der Entstehung der offenen Formen mit Einrollung im Einklang, bedingt durch das Wachstum in einer ruhigen — nicht bewegten, Luv- und Leeseiten der Kristalle treffenden, sondern sie gleichmäßig umgebenden wasserdampfhaltigen — Luft zuzuschreiben. Nur in Ausnahmefällen (größere Hohlräume, besonders solche über den gewachsenen Boden) entstehen hier Halbbecher und eingerollte Formen, sowie längere Hohlprismen.

Wir sehen an diesen schönen Beispielen des Luftreifs, Oberflächen-, Tiefen- und Höhlenreifs, an den so bezeichnenden Formen der Vollkristalle, der Schneesterne, der blattförmigen Gebilde in Rosettenanordnung, der Becherformen und Hohlprismen, daß die Mannigfaltigkeit der Kristallisationsformen

des Wassers aus Wasserdampf bedingt ist durch die verschiedenartigen Entstehungsbedingungen nach Ort, Art und Menge der Materialzufuhr und Wachstumsgeschwindigkeit. Überall — bei den Luft-, den Boden- wie den Höhlenbildungen — finden sich, wenn gleichartige Bildungsbedingungen vorlagen, gleichartige Formen. So zeigen die Rosettenblätter des Oberflächenreifs gleiche Gestalt wie die des Höhlenreifs oder wie manche Endigungen der Schneesterne, also des Luftreifs (Abb. 12 u. 15, S. 24), und wir finden in den kleinen Hohlräumen, in denen innerhalb der Schneeeablagerungen der Tiefenreif (Schwimmschnee) entsteht, analoge Kleinformen, wie sie also Großgestalten in den großen Hohlräumen der Eishöhlen und Gletscherspalten wachsen. (Abb. 23, S. 32.)

Für die Mineralogie und Kristallographie steht hier noch ein weites Feld für Detailarbeit und genauere Erforschung des Werdens der Eiskristalle offen, und es zeigt sich auch die Möglichkeit experimenteller Feststellung der Bildungsvorgänge. Meine Deutungen stellen nur bescheidene Erklärungsversuche eines Nichtspezialisten auf mineralogischem Gebiete dar.

4. Veränderungen durch Druck (Dynamische Diagenese).

Mit der Behandlung dieser Frage kommen wir vom Gebiet der Schneekunde auf das der Gletscherkunde. Ich kann und muß mich daher kurz fassen.

Durch den Druck der auflastenden Schnee- und Firnmassen wird immer mehr Luft aus den Zwischenräumen zwischen den Firnkörnern ausgepreßt. Die Schneeteilchen und Firnkörner geraten dabei in immer engere gegenseitige Berührung. Die Massen werden durch Verringerung des Porengehaltes immer luftärmer, dichter, weniger beweglich, spezifisch schwerer.

Aus Firnschnee wird Firneis, und schließlich grenzt Eiskorn an Eiskorn mit unregelmäßiger Begrenzung aneinander: es ist durch Druck das aus „*Gletscherkörnern*“ bestehende *Gletschereis* entstanden, bei dem die Korngröße wieder durch Wachstum der größeren Körner auf Kosten der kleinen, die durch Druckschmelze leichter zugrunde gehen, stetig gegen das Gletscherende zunimmt.

5. Schneedichte und Snowgewicht.

Art	Spezif. Gewicht = Schneedichte	Gewicht in kg pro cbm
Wildschnee	0,01—0,05	
frisch gefallener Lockerschnee . . .	0,05—0,10	60—80
gesetzter Schnee	0,2 —0,3	200—300
trockener Firnschnee.	0,4 —0,6	500—600
nasser Firnschnee	0,6 —0,8	—800
Gletschereis.	—0,9	über 900

Diese Gewichte halte man sich in Erinnerung, wenn man verstehen will, welche Massen auf einem Schneehang lasten, welchen Druck sie ausüben und welche Wucht diesen Massen, wenn sie in Bewegung geraten, innewohnt; desgleichen, welchen Druck auflastender Schnee auf einen Verschütteten ausübt.

IV. Profilaufnahmen von Schneeeablagerungen.

Das *Profilstudium* der Schneeeablagerungen ist stets die *wichtigste Grundlage* für die Erkenntnis der Diagenese des Schnees und die Klärung des Lawinenproblems. Erst die zeichnerische Darstellung (mit der Profilbeschreibung) zeigt, inwieweit der Beobachter sich über das Gesehene klargeworden ist und bis zu welchem Grad der Genauigkeit er es darzustellen vermag¹. (Abb. 71 u. 72 a—d.)

Nur aus einer großen Zahl der verschiedensten, von zuverlässigen Beobachtern aufgenommenen und sorgfältig dargestellten Schneeprofile kann die Erkenntnis der Gesetze der Schneediagenese, aller Bewegungserscheinungen und der Lawinenbildung weiter fruchtbar gestaltet werden.

Es ist kaum begreiflich, daß früher auch die Lawinenfachleute keinerlei exakte Schneeuntersuchungen vorgenommen, noch Schneeprofile aufgenommen und ausgewertet hatten. *Neuerdings* gibt es keine Schneeforschung mehr ohne genaues Profilstudium.

¹ Außer den Schneeprofilaufnahmen führte ich auch entsprechende schematische Zeichen für die wichtigsten „Schneearten“ ein, damit jedes Profil sofort richtig gelesen werden kann. Abb. 70, S. 64.

Wir besaßen aber bis jetzt z. B. von keiner einzigen Lawine, die zu Unglücksfällen führte, eine auch nur einigermaßen zuverlässige Beschreibung der Schichtablagung, der sie ent-


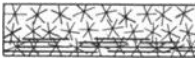
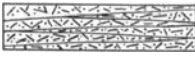


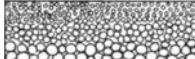


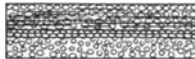
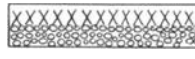

1.  *Wildschnee, locker verhakht, flaumartig*
2.  *trockener }
feuchter } Lockerschnee*
3.  *Packschnee mit „Kreuzschichtung“*
4.  *Preßschnee mit „Kreuzschichtung“*
5.  *windgedrückter Packschnee. Windkruste
auf Packschnee mit Kreuzschichtung*
6.  *feinkörn. }
mittelkörn. } Firnschnee
grobkörn. }*
7.  *Harscht
Firnschnee, trocken*
8.  *Firnspiegel
Firnschnee, naß.*
9.  *Wasserstau
Eisschicht aus Harschtschnee entstanden
mittelkörniger Firnschnee*
10.  *Oberflächenreif auf Firnschnee*
11.  *Tiefenreif = Schwimmschnee*

Abb. 70. Schematische zeichnerische Darstellung der Schneearten zur Verwendung bei der Wiedergabe von Schneeprofilen (Schichtenfolgen).

stammte, geschweige denn eine Profilaufnahme der Schichtenfolge; auch unter den Abbildungen in Schnee- und Lawinenlehrbüchern gibt es sogar noch falsche Unterschriften über Lawinenarten.

Erst wenn die beobachteten Lawinen — selbstverständlich, nachdem bei Unfällen in erster Linie alle Rettungsmaßnahmen getroffen, durchgeführt sind — jeweils zuverlässig „aufgenommen“ worden sind (vgl. S. 67), wenn *exakte Profile* mit Angaben der *Schneebeschaffenheit* in den verschiedenen *Profilschichten*, insonderheit der *Gleitfläche*, auf der Lawine losging, und der *Schicht, die als Gleitmittel* wirkte, in reichem Maße

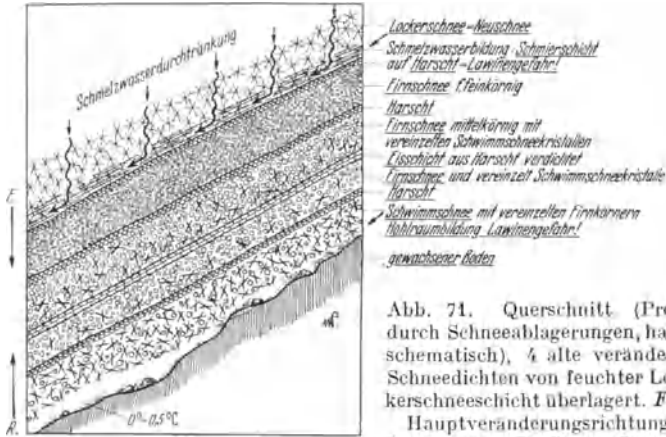


Abb. 71. Querschnitt (Profil durch Schneeeablagerungen, halbschematisch), 4 alte veränderte Schneedecken von feuchter Lockerschneeschicht überlagert. $F \uparrow$ = Hauptveränderungsrichtung durch äußere Einflüsse (Sonne-

strahlung, Schmelzwasser usf.). Verfirnung = Körnchenbildung, Harscht. $R \uparrow$ = Hauptveränderungsrichtung durch Tiefenreibung in inneren Schichten und über dem gewachsenen Boden. $F \downarrow$ = Firnbildung; $R \uparrow$ = Reifbildung.

vorliegen, wird man aus einer solchen Statistik feststellen können, welche Art von Lawinen die häufigste ist, welche am meisten Menschenopfer fordert und welche den größten Sachschaden anrichtet. Bevor wir aber soweit sind, müssen erst die Kenntnisse vom Schnee und, auf diesem fußend, die Kenntnisse von den Lawinen in zuverlässiger Weise weit verbreitet sein.

Die bis jetzt über Lawinen nach Unfällen einlaufenden Nachrichten sind vielfach falsch, meist sehr unvollständig und dementsprechend praktisch so gut wie unbrauchbar.

Deshalb müssen alle *Bergführer*, *Skilehrer*, alle *Wintertourenführer* und durch sie alle *Skiläufer*, sowie *Rettungsmannschaften*, die in das Gebirge ziehen, gründlich in Schnee-

und Lawinkunde ausgebildet werden. Grundlage für jede richtige Beurteilung der Verhältnisse ist aber die Fähigkeit und das exakte Wissen für die richtige Aufnahme und Be-

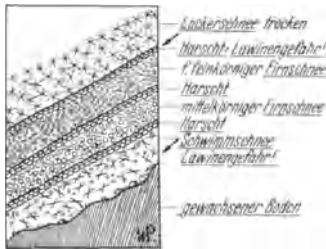


Abb. 72 a.

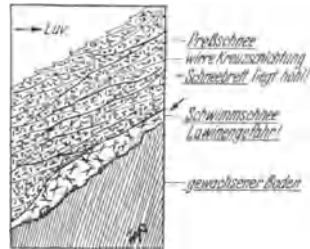


Abb. 72 b.

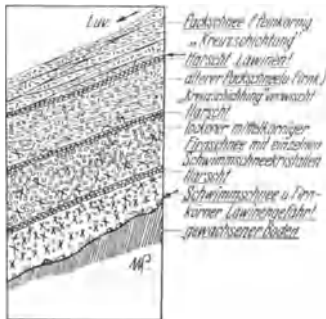


Abb. 72 c.

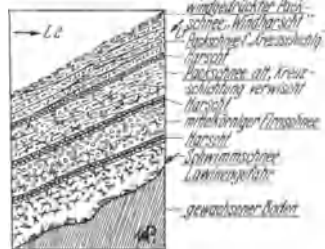


Abb. 72 d.

Abb. 72 a. Drei alte veränderte Schneeschichten von trockener Lockerschneeschicht überlagert.

Abb. 72 b. Schneebrett. Wirre „Kreuzschichtung“: Preßschnee über dem gewachsenen Boden: Schwimmschnee- und Hohlraum-Bildung.

Abb. 72 c. Drei alte veränderte Packschneeablagerungen von frischer Packschneeschicht überlagert.

Abb. 72 d. Drei alte veränderte Packschneeablagerungen von vierter Packschneemasse überlagert, welche durch Wechsel der Windrichtung Windharschtkruste erhalten hat. *L 1* Hauptwindrichtung, durch welche Triebschneeverfrachtung erfolgte. *L 2* Richtung, welche den Windharsch verursacht.

urteilung von Schneeprofilen! Zeichnerische Darstellung von Schneeprofilen auf Grund der Kenntnis der Schneearten ist das wichtigste Verständigungsmittel für die Übermittlung des Beobachteten.

Zu *Übungszwecken* gräbt man — möglichst in einer durch viele Schneefälle entstandenen Ablagerung — an einem Hang mit der Lawinenschaufel in der Fallinie einen etwas über mannsbreiten Graben, hebt ihn bis zum gewachsenen Boden aus und sticht dann die Seitenwände und die Rückwand glatt ab. Ist das geschehen, so sieht der Anfänger zuerst nur weiße, ihm von unten bis oben einheitlich erscheinende Schneewände.

Zuerst sucht er mit dem Auge die Schichtung und die Schichtgrenzen zu erkennen. Dann fährt er mit dem Finger von oben senkrecht an der Schneewand unter leichtem Druck herunter und spürt sofort die Härteunterschiede im Schnee; z. T. dringt der Finger — mehr oder weniger leicht — ein, z. T. findet er Widerstand. Den Hauptwiderstand findet er naturgemäß an den Harschtschichten; am leichtesten dringt der Finger natürlich in die Lockerschneeauflage und in die Schwimmschneelagen in den tieferen Horizonten ein. Schwimmschneelagen über Harschtschichten kann man leicht mit dem Finger herauswischen. Hat man das gemacht, so erscheint das Profil schon recht übersichtlich. Die Hauptschichten mit den Harschtabgrenzungen nach oben — also das Abbild der Haupt-schneefälle und der Schneefallpausen — tritt klar hervor.

Wenn das soweit sichtbar gemachte Profil maßstabgerecht aufgenommen und skizziert ist, geht man an die genauere Einzeluntersuchung der Beschaffenheit der verschiedenen Schichten, d. h. Feststellung der Schneearten, Korngrößen, bei genauen Aufnahmen Feststellung der Dichte, des spezifischen Gewichts, des Porenvolumens usw.

Für die Aufnahme durch den Normalskiläufer und Bergsteiger genügt Feststellung der Gesamtmächtigkeiten, der Harschtlagen, der Lockerschneeauflagerung mit Feststellung der Beschaffenheit der Lockerschnees (trocken, feucht, Vorhandensein einer wassererfüllten Schmierschicht an der unteren Lockerschneegrenze) und Feststellung der Schwimmschneelagen und deren Mächtigkeit. Weiteres siehe S. 197.

Zum Kennenlernen der Schneearten gräbt man Profile in der Nähe einer Hütte, bei längeren Rasten. Beobachtung mit bloßem Auge und mit Taschenlupe. Bei *Unterrichtskursen* Beobachtung mit Mikroskop, Taschenlupe, bloßem Auge.

Jeder *alpine Skiläufer* sollte auch — unter Anleitung eines erfahrenen Lehrers — *unter allen Sicherungsmaßnahmen* (!) je ein Profil durch ein Schneebrett, eine Gegenböschung und ein Schneeschild gegraben haben, damit er einmal Einblick besonders in die Lagerungsverhältnisse dieser Bildungen erhält, die große Gefahren bergen. Vgl. S. 84 ff. u. 93 ff.

Es muß selbstverständlich werden, daß kein Ski- und Sportlehrer, sowie Bergsteiger die Erlaubnis erhält, als *Tourenführer* tätig zu sein, der nicht bei einem *sachverständigen Prüfer* nachgewiesen hat, daß er *ausreichende Kenntnisse in Schnee- und Lawinenkunde* besitzt, Schneeprofile zuverlässig aufnehmen und auswerten kann. Dieses Gebiet muß selbstverständlich auch Lehrgebiet bei allen Skikursen sein, bei denen die Schüler auch auf Tourenfahrten vorbereitet werden sollen.

Dazu gehören in *erster Linie* Lehrer, welche das Gebiet *wirklich gründlich beherrschen*, und diese Lehrer müssen jetzt und in Zukunft in besonderen Schnee- und Lawinengehängen in geeigneten Gebieten ausgebildet werden!

V. Schneeablagerung und Schneeumlagerung.

A. Schneeablagerung = Unverfrachteter Schnee.

Bei Schneefall ohne Wind wird der aus der Luft fallende Schnee ruhig und locker auf der jeweils vorhandenen Unterlage abgelagert. Abb. Profile: oberste Lage 72 a, S. 66.

Inwieweit Lawinengefahr durch den Neuschneefall entsteht, ist besonders abhängig von der Art (beeinflußt durch die Temperatur) und Menge des Schnees, durch die Beschaffenheit der Unterlage, auf die der Schnee fällt, und die Neigung des Hanges, sowie eventuell erfolgende Störungen der Ablagerung. Fällt Schnee bei -10° bis -30° , also bei großer Kälte und bei Windstille, so kommt es zur Ablagerung von lockeren, überaus leichten Massen, die außerordentlich geringen Zusammenhalt aufweisen. Spezifisches Gewicht 0,01—0,05.

Dieser Schnee, den schon Fankhauser⁹ 1928 und E. Heß¹⁴ behandelten, dessen Ausführungen ich folge, z. I.

wörtlich, wurde in der Schweiz „Wildschnee“ benannt. Er ist so locker, leicht und zusammenhanglos, daß er sich mit dem Mund *fortblasen* läßt, daß er von der Schaufel abfließt und beim Durchwaten absolut keinen Widerstand bietet. Er ist nicht nur in sich, sondern auch mit dem Untergrund zusammenhanglos.

Oberförster Eugster (Schweiz) hat einen Apparat zur Messung der Stärke des Zusammenhaltes (Kohäsion) der Schneeb lagerungen konstruiert. Man mißt mit diesem Apparat mittels einer Waage die Kraft, die notwendig ist, um einen Draht von bestimmter Dicke durch den Schnee durchzuziehen. Beim „Wildschnee“ ist eine Messung unmöglich, da der Draht sofort, ohne Widerstand zu finden, durchsinkt.

Wildschneeb lagerungen können recht mächtig werden, und es genügt der kleinste Anstoß (Schneeb abfall von den Bäumen), das lautlose Abgleiten der ganzen Masse auszulösen. Die begonnene Schneebewegung pflanzt sich unmittelbar auf die hangabwärts liegenden Wildschneebmassen fort, so daß die ganze Auflagerung am Hang in Bewegung gerät und wie Flaum in Schneewolken zerstiebt. Vgl. Wildschneelawinen, S. 136. Bei höheren Temperaturen fällt der Schnee in Flocken, die um so größer werden, je mehr sich die Temperatur dem Nullpunkt nähert oder ihn gar übersteigt.

Trockener, bei Kälte und ohne starken Wind fallender (kleinflockiger) Schnee lagert sich als *trockener* „*Lockerschnee*“ (Neuschnee) ab (Pulverschnee). Dichte 0,05–0,1. Er „ballt“ nicht und geht keine enge Verbindung mit dem Untergrund ein; er zeigt kein starkes Haftvermögen an seiner Unterlage. In ihm versinkt auch der Skiläufer tief. —

Diese Ablagerungen zeigen eine weite, regionale Ausdehnung. „*Trockener Lockerschnee*“ *stäubt*, wenn der Skiläufer ihn in rascher Abfahrt durchfurcht, er *stäubt* hoch auf, wenn er als Lawine zu Tal stürzt. Vgl. Lawinenkapitel, S. 133 ff. Trockene Lockerschnee = Neuschneelawinen. *Feuchter*, bei Temperaturen um oder über 0° fallender Schnee (großflockig) lagert sich als „*feuchter Lockerschnee*“ (Neuschnee) ab. Dichte über 0,1. Feuchter Lockerschnee „klebt“, „pappt“, „pickt“, bildet den dem Skiläufer so unerfreulichen „Pappschnee“. Er „ballt“ leicht; bildet „*Schneerollen*“, bei Lawinen-

bewegung „Schneeknollen“, gleitet auf glatten Unterlagen (Gras, Fels, Harscht, Eis) leicht ab und bildet die „feuchten Lockerschneelawinen“ = „Neuschneelawinen“.

Trockener Lockerschnee wird bei nach seiner Ablagerung einwirkender höherer Temperatur (z. B. Sonnenbestrahlung) rasch in feuchten Lockerschnee umgewandelt. Vgl. Lawinenkapitel, S. 150.

Diese drei Arten von frisch gefallenem (Neu-) Schnee, die naturgemäß immer *nur die oberste Lage* (Schicht) bilden können, gehen bei Hangüberlastung naturgemäß auch leicht *als oberste Schicht* los und stellen dann sog. „Oberflächenlawinen“ dar. (*Oberlawinen*: Coaz.) Z. B. Abb. 104 und S. 138 f., ferner Abb. 71, S. 65, u. Abb. 72 a, S. 66.

Wenn der fallende Schnee nicht allzu feucht ist und Schmelzwasser abgibt, so haftet er unter Umständen auf alten Harschtoberflächen recht fest und gewinnt mit ihnen innigere Verbindung durch Anfrieren. Mit der Zeit „setzt“ sich der Lockerschnee, wird dichter, haftet besser.

B. Verfrachteter Schnee = Triebsschnee.

Rippeln, Schneedünen, Wächten.

Gegenböschung, Schneeschild, Hangausgleich.

Schneebrett, Windharscht.

Winderosion, Schuppenschnee.

Wie der Triebssand in den Dünen- und Wüstengebieten, so wandert der trockne Schnee, durch den Wind getrieben, und es ergeben sich teils gleiche, teils ähnliche Erscheinungen: vor allem Abtragung im windausgesetzten Gebiete (auf der Windseite = Luv), Rückstau und Ablenkung bei Hindernissen und Ablagerung im Windschatten — auf Lee.

Beim Schnee sehen wir — dem Material entsprechend — im Gegensatz zum Sande noch besondere Erscheinungen, welche die Vorgänge verwickelter gestalten. Sie beruhen besonders darauf, daß die Schneeteilchen — als gefrorenes, schmelzbares und wieder gefrierendes Wasser — dauernden Zustandsänderungen unterworfen sind, welche die größte Wirkung auf

seine Beweglichkeit und sein Haftvermögen haben. Die Schneeteilchen vermögen schon bei Berührung und verhältnismäßig geringem Druck aneinander zu haften und miteinander zu verfrühen, besonders wenn feuchter Nebel mitwirkt.

Wie bei der Sandbewegung entstehen an der Grenzfläche von zwei in sich beweglichen Materien (Stoffteilchen: Luft und Sand, Luft und Schnee), wenn sie sich mit verschiedener Geschwindigkeit übereinander fortbewegen, Wellen, weil die Wellenfläche die Fläche geringster Reibung ist. Das Lockermaterial häuft sich dabei entlang der Linien geringster Bewegung an. Geschwindigkeit, Dichte der beiden Materien und Dauer der Einwirkung sind dabei von Wichtigkeit für die Gestaltung dieser Wellen, die als „Rippeln“ bezeichnet werden. Kleine Widerstände (Korngröße usw.) beeinflussen die Feinskulptur (Abb. 72b u. 73).



Abb. 73. Schneebrett auf Luv mit Rippeln und Winderosion, d. h. leichter Schuppenschneebildung. (Photo: Paulcke.)

Über den Sandtransport und seine Folgen existiert eine große Literatur. Wir verdanken Helmholtz die grundlegende Arbeit über die Entstehung der Rippelung. Die restlose Erklärung der Erscheinungen beim Schnee harrt noch zuverlässiger und gründlicher Einzeluntersuchung. Für die Praxis merken wir uns, daß Rippelung der Schneeoberfläche stets anzeigt, daß an diesen Stellen Wind gewirkt hat. Nur in seltenen Fällen fällt der Schnee bei vollkommener Windstille. Meist herrscht bei Schneefall Wind oder Sturm, sog. „Guxwetter“.

Nur an wenigen Stellen der Ebene, wie der Gebirge (in windgeschützten Tälern und Depressionen) entspricht die Dicke der

Schneelage („Mächtigkeit“) der durchschnittlichen Menge des in der betr. Gegend in Form von Schnee gefallenen Niederschlages. Auch an klaren Tagen sehen wir bei *Sturm* — wenn es „guxt“, die weißen *Schneefahnen an den Kämmen und Graten*, und wissen dann, daß *an solchen, wie an den folgenden Tagen stärkste Lawinengefahr an den Leehängen herrscht*, und zwar örtlich wie regional. Also Vorsicht!!! — Abb. 74.

Durch den Wind werden — besonders in den Regionen der Gipfel und Grate — die Luvseiten stark von Schnee entblößt



Abb. 74. Schneetreiben an der Jungfrau. („Gux“) Schneeverfrachtung von Luv nach Lee. Schneehorn-Silberhorn. (Photo: Paulcke.)

(freigeblasen) und damit an vielen Stellen, abgesehen von Schneebrettbildung, lawinensicher.

An den Leehängen und in den Leemulden und Kesseln wird dagegen der Triebschnee zu großen Mächtigkeiten angehäuft. Millionen von Tonnen Lockerschnee werden auf diese Weise von Luv nach Lee verfrachtet und erzeugen die für alle Lee-seiten so bezeichnenden, noch eingehend zu behandelnden Arten der „Überlastungs“-Ablagerungen auf Lee. (Abb. 84, 89, 90.)

So wie der Triebschnee die Gletscher (S. 92) in stärkstem Maße ernährt, so füllt er auch alle Leehänge sowie die Mulden und Hochtäler der Gebirge und bleibt dort — besonders auf den Schattenseiten — bis weit in das Frühjahr und den Frühsommer erhalten. Auf diese Weise wird eine große *Schmelzwasserreserve* aufgespeichert, die allmählich zur Verwendung

kommt und die für den Wasserhaushalt der Gebirge und der benachbarten Gegenden eine wichtige Rolle spielt.

Für den Schneetransport durch den Wind — Abtragung und Ablagerung — spielen folgende Vorbedingungen eine entscheidende Rolle.

1. Die Beschaffenheit des Schnees: trocken, feucht, körnig usf.
2. Die Beschaffenheit der Schneeunterlage (Auflagerungsfläche): rau, glatt.
3. Die Windstärke und Windrichtung: bergauf, bergab; der Winkel, unter dem der Wind auf den Hang trifft.
4. Die Geländegestaltung: a) im großen: Kammverlauf usf.; b) im einzelnen: Hang- und Kammgestalt usf.

Diese verschiedenartigen Gegebenheiten treten miteinander in vielgestaltige Wechselbeziehungen, die sich je nach der Art ihres Zusammentreffens verschiedenartig auswirken.

So wird z. B. trockener Lockerschnee zerschlagen und vor allem von glatter Unterlage vom Wind leicht fortgeblasen und reichlich leeseitig als „Packschnee“ abgelagert.

Lockerschnee wird besonders bei Nebelwetter luvseitig auf der Unterlage als Preßschnee angeweht (Schneebrettbildung Abb. 84 und Profil Abb. 72 b) und fest verbacken.

Bei starkem Wind erfolgt kräftige Wächtenbildung durch Lockerschneetransport am First über dem steileren Leehang.

1. Die Schneebeschaffenheit: Der fallende Schnee wird naturgemäß am leichtesten in Richtung des herrschenden Windes getrieben und an den windgeschützten Stellen stärker abgelagert als an den — auch schwächerem — Wind ausgesetzten.

Die Hauptmenge bei der Verfrachtung entstammt aber den bereits abgelagerten trockenen Lockerschneemassen.

Dabei wird sowohl der locker liegende Schnee erfaßt und fortgeblasen, und andernteils werden auch durch die Gewalt des Windes Schneeteilchen von verfestigten Ablagerungen losgerissen und mitgenommen.

Sehr bezeichnend ist, daß durch den Wind der Lockerschnee (Flocken, Schneekristalle) zerschlagen und in z. T. sehr feinkörnige Teilchen verwandelt und nach der Größe

sortiert wird. Die Folge davon ist, daß sich die Art der Ablagerungen vom „*Triebschnee*“ wesentlich von denen des frischgefallenen in sehr bezeichnender Weise unterscheiden.

Die *Schneesterne* und die *Flocken* sind „*sperrig*“; ihre *Ablagerungen* daher locker und luftreich; sie zeigen größeres Porenvolumen, geringere Dichte (Profil Abb. 72 a, S. 66); leichtere Transportfähigkeit. Beim *verfrachteten Schnee* lagert sich kleines *Körnchen an Körnchen* in feiner Kreuzschichtung, es entsteht dabei *dichtere „Packung“* = „*Packschnee*“-*Bildung* (Profil Abb. 72 c, S. 66). Der Luftgehalt, das Porenvolumen, ist geringer, die Dichte, der Zusammenhalt, größer, die Transportfähigkeit kleiner.

Feuchter bis nasser und körniger Schnee wird so gut wie nicht vom Wind verfrachtet.

2. *Die Beschaffenheit der Schneeunterlage*: Glatte Unterlagen: Felsplatten, Harschteisoberflächen auf Luv werden meist von Trockenschnee vollkommen freigeblasen und freigehalten; über die Ablagerung auf Lee siehe S. 84 ff.

3. *Windstärke und Windrichtung*: Aufsteigende Winde, absteigende Winde, Wirbelwinde.

Das *Ausmaß des Schneetransportes* wächst mit der Windstärke; vor allem wirkt der „*Bodenwind*“ auf die Verfrachtung. Die Haupttransportrichtung ist gleich der Hauptwindrichtung, wenn nicht die Geländegestaltung und Hindernisse den Wind ablenken und damit die Verfrachtung örtlich in eine andere Richtung zwingen. Wichtig für Windschutzverbauungen! —

4. *Die Geländegestaltung*: Eben, bergauf, bergab usf. spielt für Art und Stärke der Verfrachtung und Ablagerung eine ausschlaggebende Rolle.

A. *In der Ebene — auf Plateaus* — kommt es zur Bildung von „*Schneedünen*“, d. h. lagenartig angehäuften Schneebildungen mit flacherer Luv- und steilerer Leeseite. Diese Dünen haben, wie die Sanddünen, sehr verschiedene Gestalt. Meist setzt die Dünenbildung an einem Hindernis — kleine Geländewelle, Gesteinsanhäufung, Steinblock, Strauch usf. — ein. Wenn der Schnee seitlich an einem Hindernis vorbeigeweht wird, so setzt sich seitlich der dort entstehenden

„Hindernisdüne“ nach Lee zu ein längerer „Schneeschief“, der sog. „Dünenhaken“ an. Hinter einem *schmalen* Hindernis vereinigen sich die beiden Dünenhaken auf Lee zu einem schweifartigen „Zungenhügel“. —

Bei breiteren Hindernissen entstehen die „Bogendünen“ mit einem zur Windrichtung querverlaufenden Kamm, einer konvexen Vorbuchtung auf Luv und einer konkaven Einbuchtung auf Lee. Sind die Seitenflügel dieser Dünen weit vortrieben und verlaufen sie parallel, so werden diese „hufeisenförmigen“ Dünen „Barchane“ genannt.

B. *Im Gebirge* stehen Schneetransport wie Ablagerung vollkommen unter dem *Einfluß der Geländegestaltung* im großen wie im kleinen: besonders die Lage der Kämmen und Grate zur Hauptwindrichtung, die Ausbildung der Kammlinie und Kammgestalt: ungebrochene oder durch Einschnitte und Jöcher eingeschnittene Firstlinie, Neigungsverhältnisse der Luv- und Leeseite usf. Auf *Plateaus, breiten Kämmen*, in weiten Jöchern herrschen für die Windwirkung die gleichen Verhältnisse wie in der Ebene.

In den meisten Teilen der Alpen wie den meisten deutschen Mittelgebirgen (Schwarzwald) ist die *Hauptwindrichtung* bei Schneewetter West—Ost bzw. Südwest—Nordost. Die *Hauptabtragung* erfolgt also auf den West- und Südwestflanken, die *Hauptablagerung* an den Ost- und Nordosthängen und in den an diesen Seiten vorzugsweise ausgebildeten Kaaren.

Wir können an den Bergkämmen „*Grenzfälle*“ und die dazwischenliegenden Zwischengestaltungen feststellen, die sich für Schneetransport und Ablagerungsarten sehr bezeichnend auswirken. (Abb. 75, S. 76.)

An jedem Kamm unterscheiden wir den *Luvhang* (Fläche — Flanke), den *First* und den *Leehang* (Fläche — Flanke).

*Grenzfall 1: Luvgelände eben oder nur wenig geneigt, Lee-
flanke sehr steil bis senkrecht.* In diesem Falle großes Einzugsgebiet für Tribschnee; *Schneetransport* nach Lee in *höchstem Ausmaß*. Ablagerung auf Lee, wenn die Flanke senkrecht ist = 0, bei steilerem Hang sehr gering; bei flacherem Hang sehr stark. Bei senkrechtem Leehang kommt der

Schnee erst an seinem Fuße zur Ablagerung (vgl. Sogformen S. 79).

Die Wächtenbildung ist in diesem Falle begrenzt, sowie die Steilheit des Hanges keinerlei Bildung eines „Wächtenfußes“ zuläßt. Die Wächtenbildung ist maximal bei nicht zu steilem Leehang.

Grenzfall 2: Wenn der *Luvhang* senkrecht bis sehr steil wird, ist kein Einzugsgebiet vorhanden, also kann kein Schnee-

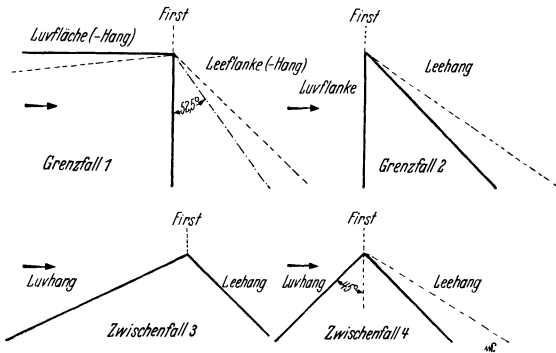


Abb. 75. Einfluß der Kammform auf den Schneetransport. Schematische Hangquerschnitte zur Darstellung der Abhängigkeit von Triebsschneetransport und Ablagerung von der Gestaltung der Luv- und Leeflanken der Kämme und Grate. Erklärung im Text.

transport von Luv nach Lee stattfinden: unter Umständen erfolgt Rückstau und folglich keine Wächtenbildung und keine Triebsschneeeablagerung auf Lee.

Zwischen diesen *Grenzfällen* sind die verschiedensten *Zwischenfälle* möglich. Überschreitet die Hangneigung auf Luv 45° (*Zwischenfall 4*), so *wächst der Rückstau*, und es verringert sich der Schneetransport bis auf 0 bei *Grenzfall 2*. Wird er geringer als 45° , so *wächst der Schneetransport*, und es wächst die Wächtenbildung, sowie die Ablagerung auf den nicht zu steilen Leehängen (*Fall 3*). Grenzwinkel für die Haftfähigkeit größerer Triebsschneemassen und damit Ablagerung auf Lee etwa $52,5^\circ$. Bei ebenen und flacheren Luvhängen und Leehängen unter 52° Höchstmaß der Wächtenbildung, vgl. Wächten S. 77 ff.

Alle diese Verhältnisse können schon aus einer guten topographischen Karte herausgelesen werden, und man kann auf diese Weise wichtige Schlußfolgerungen betr. Wahrscheinlichkeit von Lawinengefahr ziehen.

Wächtenbildung.

Wir sahen, daß auf der Ebene und dem wenig geneigten Hang der ausgiebigste Schneetransport stattfindet, weil dort der Schnee ungehindert mit stärkster Kraft über die Schneefläche strömen, die Schneeteilchen mitreißen, sie als Wächte über den First vorbauen und auf der Leeseite — im „toten Raum“ besonders dicht unterhalb der Kammlinie — als „Packschnee“ abgelagern kann. Es ist ein *Gesetz*, daß sich *Wächten und die Haupttriebschnee-Ablagerungen stets über*

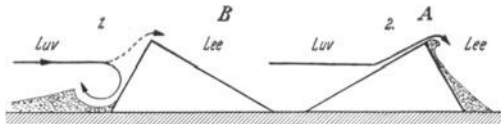


Abb. 76. Experiment zur Darstellung der Gesetze der Wächtenbildung an künstlichen Graten. 1. Luvhang steil, Leehang flach: keine Wächtenbildung. 2. Luvhang flach, Leehang steil: Wächtenbildung über dem steileren Leehang.

den *steileren Gratflanken*, bzw. *an den steileren Hängen eines Kammes oder Grates* bilden.

Nach Erkennung dieses Gesetzes fanden wir auch die Erklärung für die „wechselseitige“ Überwächung mancher Grate, z. B. des Grates Weiße Frau—Morgenhorn, an dem die Wächte bald über die eine, bald über die andere Flanke vorgebaut ist. Hier erkennen wir deutlich, daß die Einzelwächten stets ihr Material von dem Einzugsgebiet der flacheren Seite bezogen und immer über die steilere Flanke vorgebaut wurden. (Abb. 77, S. 78.)

Marcel Kurz war der erste, der (1919) erkannte, daß der Bergform ein wesentlicher Einfluß auf die Anordnung der Wächten zuzuschreiben sei, ohne jedoch die dabei herrschenden Gesetzmäßigkeiten zu ergründen. Englische und deutsche

sog. „Schneepraktiker“ vertraten damals sogar allen Ernstes die auf keinerlei Beobachtung in der Natur beruhende Ansicht, die Wächten würden auf den Luvseiten „angeweht“. —

1926 untersuchte ich mit meinen Mitarbeitern, von denen ich besonders Welzenbach nenne, erstmals den Durch-

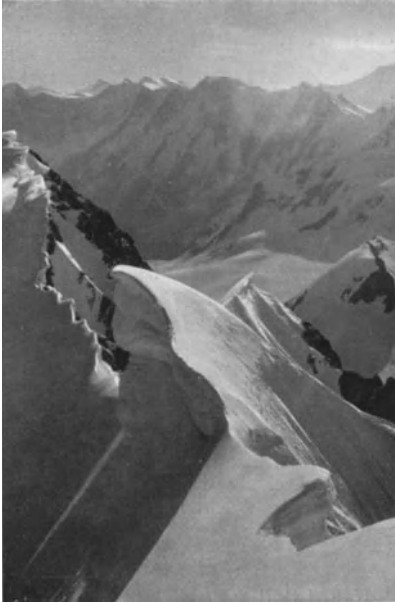


Abb. 77. Windwirkung: Wächten. Wechselseitige Überwächung des Grates Weiße Frau—Morgenhorn. Die Wächte wird stets über der steileren Gratflanke entwickelt. (Photo: Gyger-Adelboden.)

schnitt einer großen Wächte — bei Spitzmeilen — durch Profilgrabung und genaue Profilaufnahme. Die Ergebnisse waren ebenso interessant wie neu (vgl. Abb. 78). Es folgten in den nächsten Jahren weitere Untersuchungen und Profilgrabungen an den verschiedensten Wächtentypen durch Welzenbach und mich, und parallel zu den Untersuchungen an Naturwächten stellte ich schon ab 1924 (Hornisgrinde) *Naturexperimente über Wächtenbildung an „künstlichen Graten“* mit den verschiedensten Böschungsverhältnissen auf Luv und Lee an. Welzen-

bach war besonders um die Klärung der aerodynamischen Gesetze bemüht, durch welche die Wächtenbildung beherrscht wird.

Für die Wächtenbildung ist die Ablagerung auf Lee — abgesehen von den erwähnten Vorbedingungen — die sog. „Sogwirkung“ von ausschlaggebender Bedeutung. Die Luftströmung streicht über Plateaus und Berghänge unter Mitführung von Schneeteilchen über die Ebene dahin, oder an der Flanke

empor, überströmt den Kamm und trägt nun das Material nicht etwa weit hinaus in die Ferne, sondern sie fällt jenseits im „Windschatten“ — auf Lee — ab = „SOG“. Dabei wird erstens das Schneematerial durch den Winddruck und die Verfrüherfähigkeit des Schnees teils als — oft weit vorspringendes — Dach = Wächte über die Kämme und Grate vorgebaut, zweitens lagert der jenseits des Kammes abfallende Luftstrom das

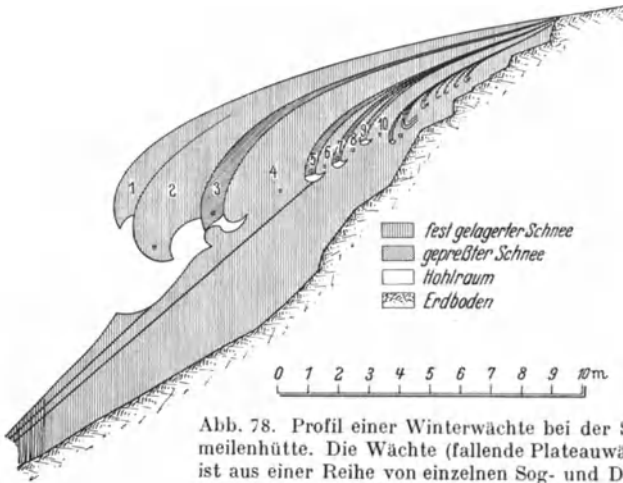


Abb. 78. Profil einer Winterwächte bei der Spitzmeilenhütte. Die Wächte (fallende Plateauwächte) ist aus einer Reihe von einzelnen Sog- und Druckwächten gebildet. Die Wächtenform (starke, eingerollte Spitze) ist bestimmt durch das Vorherrschen der Sogwächten. Unter jeder Druckwächte ist nach stattgehabter Senkung ein kleiner dreieckiger Hohlraum erhalten geblieben. Unterhalb der Wächten ist die keilförmige Gegenböschung abgelagert, welche „Aufsteilung“ des Hanges bewirkt.

Material in reichlicher Menge am Leehang dicht unter der Kamm- und Gratlinie im Windschatten ab.

Die Art der Ausbildung der Sogbewegung (Form des Sogstrahls) ist wieder aufs stärkste abhängig von der Windstärke und der Kammgestaltung: den Neigungsverhältnissen, Form und Verlauf der Gratflanken und Gratkanten; vom Nichtvorhandensein oder Vorhandensein von Wächten und deren Gestalt usw.

Ich habe beobachtet, 1. daß bei verhältnismäßig steiler Luvseite (z. B. am Silberhorn, Nordhang, vgl. Abb. 79) starker Bodenwind den Schnee aus dem Firnkessel emporgelagt

und in großem Bogen über den Grat jagt, wo er teils gratnahe, teils über den etwa gleichgeneigten Leehang verhältnismäßig weit hinausgetrieben und erst in weiterer Entfernung herabgesogen und auf Lee abgelagert wird.

Ich beobachtete 2. an anderer Stelle (Sphinxgrat, Abb. 79), wie bei einem Konfettiversuch das verfrachtete Material über den mäßig geneigten Luvhang gefegt und zum größten Teil fast senkrecht, parallel zum senkrechten Leehang, als gerader Strahl herabgesogen wurde. Der Wind war mäßig.

Eine weitere Beobachtung 3. am Eiger (Abb. 79) zeigte bei hoher Windstärke — Sturm — bei flachem Luv- und senkrechtem Leehang, daß der Trieb Schnee als fast waagerechte

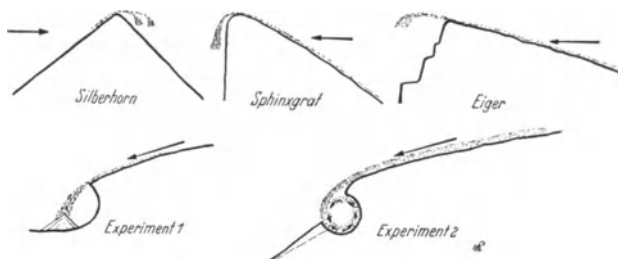


Abb. 79. Sogformen bei Triebschneetransport auf den Leeseiten bei verschiedenen Hangprofilen. Obere Reihe. Sog am Silberhorn bei starkem Wind. Sog am Sphinxgrat (Konfettiversuch) bei mittelstarkem Wind. Sog am Eigergipfel bei Sturm. Untere Reihe: Experimente an künstlich geschaffenen Hangprofilen. Experiment 1 mit Triebschnee bei mittelstarkem Wind. Experiment 2 (Konfettiversuch) bei starkem Wind. Vgl. Abb. 80.

Fahne verhältnismäßig weit hinausgetragen wurde und dann absank.

Bei einer kleinen — künstlich hergestellten — Wächte (Abb. 79 u. 80) (leichte Hohlkehle) trieb ziemlich starker Wind den Schnee auf leicht abwärts geneigter Fläche bergab, es bildete sich über der Auskehlung ein sehr gleichmäßiger Sogstrahl und zunehmend steiler werdende Ablagerung als „Gegenböschung“ auf dem flachen Boden.

Abgesehen von Beobachtungen an Triebschnee, führte ich zur *Sichtbarmachung* und *kinematographischem Festhalten* der *Luftbewegungsformen* „Konfettiversuche“ ein, d. h., ich streute an Graten und Kämmen große Mengen Konfetti und

beobachtete ihre Bewegung und Ablagerung. Diese Versuchsanordnung hat vor den — im Windkanal üblichen — Rauchversuchen und der Beobachtung des Triebsschnees den großen Vorteil, daß nicht nur die Bewegung im Laufbild vorzüglich festgehalten werden kann, sondern, daß vor allem auch schon die geringste Ablagerung und die Art, wie die Weite des Transportes einwandfrei und deutlich sichtbar gemacht wird



Abb. 80. Triebsschnee-Experiment beim Jungfraujoch. Starker Wind treibt die Konfetti vom wenig geneigten Hang über die künstlich geschaffene Wächtenhohlkehle; in dieser wird eine Sogwalze gebildet. Die Hauptablagerung erfolgt am oberen Teil der „Gegenböschung“.
(Photo: Pauleke. Laufbildreihe.)

und daß das abgelagerte Material *sichtbar* und damit seine Lage *kontrollierbar bleibt*.

Bei einem weiteren Experiment (mit Konfetti) war an einem steilen Leehang eine leicht überhängende Wächte geschaffen worden; der Luvhang oberhalb ging in leichter Biegung in die Wächte über. Der Wind war wechselnd, stärkere Stöße wechselten mit schwächeren ab. Bei *mäßiger Windstärke* wurde ein *gebogener Sogstrahl* gebildet, *bei stärkerem Wind* entstand ein *walzenförmiger Sog* (rotierende Walzen und Wirbel); die Hauptablagerung erfolgte am unteren Teil der Hohlkehle: Typische *Gegenböschungsbildung*. (Abb. 79 Exp. 2 und Abb. 80.)

Diese wenigen Beispiele zeigen die noch in der Natur wie im Windkanal weiter zu untersuchenden Abhängigkeiten der Sogformen von Windstärke, Neigungsverhältnissen und Kamm- bzw. Gratkantenform.

Die *reinste Sogwalzenbildung* erfolgt dann nach meinen Beobachtungen, wenn die Wächten schon eine etwas gekrümmte, über den Steilhang gebogene, Oberfläche haben, also Senkungserscheinungen zeigen, so daß auf Lee eine Hohlkehlenbildung angelegt oder stärker ausgebildet ist. Diese Hohlkehle wird dann offenbar durch die rotierende Sogwalze weiter ausgebildet.

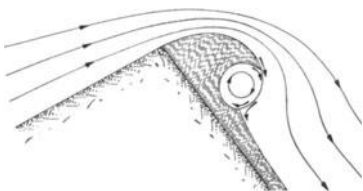


Abb. 81. Entstehung einer Sogwächte (Stromlinienbild). (Nach Welzenbach.)

Die *Wächte (Gewehete, Gwächte)* ist also eine Windbildung, bei der Druck, Regulation und Sog die Aufbaukräfte sind.

Welzenbach unterscheidet „Sogwächten“ und „Druckwächten“.

Beide Wächtenarten treten meist in Verbindung miteinander auf, d. h. sie sind übereinander gelagert. *Am wächtenfreien Grat beginnt* die Bildung dieser über die steilere Lee-seite hinauswachsenden Schneedächer vorwiegend *durch Sogwirkung*. Die Luftströmung stößt gegen die nach Luv gerichtete Flanke des Grates, übt auf diese einen Druck aus und wird durch den Gegendruck des Hanges abgelenkt. Sie streicht am Hange hoch, führt dabei Schneeteilchen mit, überströmt den Kamm und fällt jenseits des Kamms — wo Sogwirkung eintritt — unter Bildung einer Sogwalze (bzw. von Sogwirbeln¹ wieder ab. (Abb. 81.)

Auf der Luvseite findet eine Zusammenschnürung der Stromlinien — also Steigerung der Strömungsgeschwindigkeit und Erhöhung des Materialtransportes — statt, an der Leeseite Ausbreitung der Stromlinien, also Verminderung der

¹ Wir nennen „Walzen“ Bewegung mit gleichgestellter bleibender Achse und „Wirbel“ Bewegungen mit veränderlicher, stark wechselnder Achsenstellung. Es gibt *Sogwalzen und Wirbel* auf Lee, sowie *Stauwalzen und Wirbel* durch *Rückstau* beim Anprall an geneigte und steile Flächen auf Luv.

Strömungsgeschwindigkeit und damit des Materialtransportes. Die Folge ist: Mitnahme des Lockermaterials vom Luvhang durch die Luftströmung und Ablagerung auf Lee im toten Raum zwischen Stromlinien und Sogwalze einerseits und lee-seitigem Steilhang andererseits: Bildung von „Sogwächte“ und „Gegenböschung“.

Der Vorbau des Wächtendaches ist natürlich nur möglich, weil Verfrüierung (Regelation) die Schneeteilchen aneinander haften läßt, wobei stets auch ein gewisser Druck (Reibung) mitwirkt. Die Hohlkehle unter dem Wächtendach verstärkt die rotierende Bewegung der Sogwalze. Je weiter die Wächte vorgebaut wird, desto schwerer wird sie, sie senkt sich und formt die Hohlkehle zu mehr oder weniger halbrunder Gestalt, in der dann die Sogwalze sich wie in einer Trommel dreht. Je geradliniger der Kamm- und Gratverlauf ist, um so regelmäßiger wird die Halbrundform. —

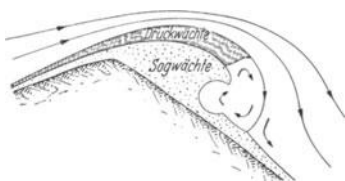


Abb. 82. Überlagerung einer Sogwächte durch eine Druckwächte (Stromlinienbild.) (Nach Welzenbach.)

Die Oberfläche und Gesamtgestalt der „Sogwächte“ gleicht sich mit der Zeit vollkommen an die Stromlinienform an. Ist ihre Bildung abgeschlossen, so tritt erhöhte Windreibung an der Wächtenoberfläche — also eine „dynamische“ Druckwirkung auf. Die vom Winde mitgeführten Schneeteilchen treiben über die Schneeoberfläche hin, reiben sich daselbst und werden dabei gegen andere Schneeteilchen der Unterlage *festgepreßt* (Preßschnee). Die auf diese Art entstehende „Druckwächte“ weist große Dichte und Festigkeit auf (schneebrettartig); sie zeigt daher auch nicht die charakteristische Hohlkehle der Sogwächte, sondern schließt mit leicht geschwungener Linie ab (Abb. 82). Die Ablagerung durch Winddruck schreitet so lange vorwärts, bis mit zunehmender Dicke der Ablagerung die Angriffskraft des Windes stärker wird als die Haftfestigkeit des Schnees.

Ist dieses Stadium erreicht, so hat die Wächtenbildung ihr vorläufiges Ende gefunden.

Nennenswerte Wächtenbildung erfolgt nur bei sehr starker Windgeschwindigkeit — also bei stürmischem Wetter — bei den „wächtenbildenden Windstärken“.

Nach der Art ihres *Bildungsortes* unterscheiden wir *Gratwächten* und *Plateauwächten*. Die *Gratwächten* sind entweder (meist) aufsteigend über die Steiflanke hinausgebaut Gebilde; die *Plateauwächten* sind entweder horizontal oder — meist — abfallend gebaut; — je nach der Gestalt des Plateaurandes. Vgl. Wächtenverbauung. S. 204 (Abb. 139).



Abb. 83. Oben unter der Wächte Gegenböschung; in halber Hanghöhe in Schneeschild übergehend. Packschnee auf Lee. Gegenböschungslawine am Schindler.

Gegenböschung.

Die an der Wächte nicht zur Ablagerung gelangenden Schneeteilchen werden am stärksten dicht unterhalb der Wächte am Hang in sehr bezeichnender Weise abgelagert. Unsere Profilgrabungen ergaben, daß *die Schneemassen unterhalb der Wächten ausgesprochen keilförmig* (oben mächtig, nach unten auskeilend) abgesetzt werden. *Diesen keilförmigen Bildungen* gab ich vor über 10 Jahren den Namen „*Gegenböschung*“ und wies besonders nachdrücklich darauf hin, daß diese Art von Hangüberlastung durch den keilförmig gelagerten Triebsschnee außerordentlich starke Lawinengefahr berge. An den „*Gegenböschungen*“ kann man besonders schön die *Verbandsverhält-*

nisse der Schneeteilchen und die *Feinschichtung* bei den „Pack-
schnee“-Ablagerungen studieren, wenn man aus dem Profil-
graben gegen das durchscheinende Licht gegen den oberen
Grabenrand blickt. Da erkennt man die dichte Lagerung
(Packung) des feinkörnigen Triebsschnees und die sehr in der
Dicke verschiedenen — aber immer dünnschichtigen — Einzel-
lagen, welche durch die unregelmäßigen Zufuhren bei dem

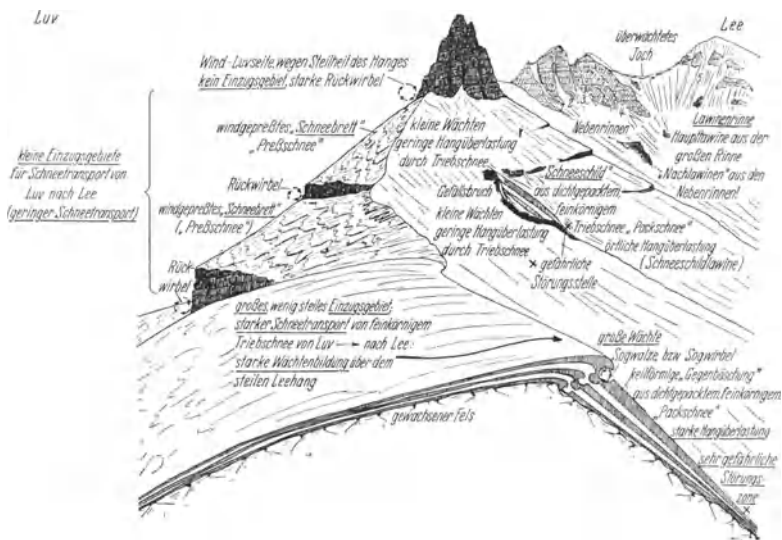


Abb. 84. Darstellung der Zusammenhänge zwischen Geländege-
staltung und Schneeablagerungen durch Windwirkung.

stark wechselnden Windtransport abgelagert werden. Auch
diese *Feinschichtung* zeigt in der Gegenböschung die Form
von — wenn auch ganz dünnen — Keilen. Sie läßt sich aus-
gezeichnet durch Färbung deutlicher sichtbar machen, wenn
man den Unterschied zwischen normal abgelagertem Schnee
und Packschnee zeigen will.

Die fortschreitende *Aufschüttung* der „Gegenböschung“, in
der *Keil auf Keil* abgelagert wird (Abb. 78, 84, 90), führt bei
dieser Ablagerungsform zwangsläufig zu einer *fortschreiten-
den Erhöhung der Hangneigung*, „Aufsteilung“. Der Schnee-

hang wird immer steiler und steiler, bis diese Aufsteilung ihre Grenze bei ca. $52,5^\circ$ — örtlich höchstens $55-60^\circ$ —, d. h. an der Haftfähigkeit der einzelnen Schneeschichten untereinander, findet.

Wir finden diese „Gegenböschungen“ besonders an den meist mit gutem trockenem Schnee (Packschnee) erfüllten Ost- und Nordosthängen (Karen). Der Skiläufer beobachtet



Abb. 85. Gegenböschungslawine (Packschnee). Erklärung im Text S. 87.

dort — falls er beobachtet — z. B. etwa in halber Hanghöhe, Abb. 84 \times u. 90 \times , bei nur wenige Zentimeter mächtige Trocken- (Pack-) Schneeauflagen auf Harscht und glaubt sich völlig sicher. Er ahnt nicht, daß diese geringmächtige Schicht, bzw. Schichtfolge nach oben zu einem mächtigen Keil anschwillt, dessen Widerlager er mit seiner Spur stört; in welchem er die Spannungen durch Einschneiden oder Kerben mit dem Ski auslöst, so daß die gesamte über ihm lastende und abwärtsdrückende Masse oben an scharfem Abbruchrand losbricht, sich in Schollen zerteilt, welche mit zunehmender Bewegung

auf steilerer Gleitbahn zermahlen werden oder zerstäuben — als Lawinen zutal stürzen und ihn mitreißen, er wird überwältigt und verschüttet. Abb. 85 zeigt einen Fall, bei dem die Gegenböschung an der kritischen Stelle geringster Mächtigkeit des Keiles bei → ! angeschnitten wurde. Die Skiläufer entkamen noch mit Not durch sofortige rasche Abfahrt aus dem Lawinenbereich.

Nach unten nimmt unterhalb der Zone geringster Ablagerungsdicke die Mächtigkeit — besonders dort, wo der Hang sich verflacht — wieder zu: erstens weil am flachen Hang die Bewegung des herabrieselnden Schnees nachläßt, bzw. aufhört und zweitens durch den dorthin verfrachteten Trieb Schnee. Hier bildet sich ein normaler flacher Schneeschuttkegel.

Es ist sehr wünschenswert, daß von zuverlässigen Beobachtern möglichst viele Gegenböschungen und andere Stellen der Luvhänge (von oben nach unten, zuverlässig am Seil gesichert) gegraben, untersucht und aufgenommen werden. Vorsicht vor „Gegenböschungen“!!! — (Abb. 89, S. 93.)

Mit dem Begriff „Gegenböschung“ ist also der Ablagerungsort, wie die so überaus bezeichnende Keilform der Ablagerung verbunden. Gegenböschungen sind gefährlich, wenn sie im Hang auslaufen und kein Widerlager (Stütze durch Terrasse) haben. Keilförmige Ablagerungen mit Abstützung entstehen unterhalb aller Steilabfälle. Unter Umständen bildet sich — bei steilerer Rückwand — bei der oder den ersten Ablagerungen — eine randkluftartige Spalte, die dann bei zunehmender Schüttung und Hangausgleich überbrückt wird: die „Böschungskluft“.

Wir sahen, daß sich alle Wächten senken; es erfolgt mit zunehmender Vorwölbung der Wächten und weiterer Auflagerung neuer Wächten starke Belastung. Die Folge ist „Setzen“ des Wächtenschnees, also Verdichtung, damit Zunahme des spezifischen Gewichts. Es erfolgt ferner „Einrollen“ der Wächten.

Anfangs zeigen die Wächten eine oben gleichmäßig gerundete Stirnseite; mit der Zeit geht der — von Wasserdurchtränkung stark geförderte (Zunahme der Plastizität) — Einrollungsvorgang weiter: Die Hohlkehle der Sogwächte wird

kleiner und kleiner und die Wächtenvorderkante wird gegen die Oberkante der „Gegenböschung“ gepreßt — von ihr abgestützt — „Wächtenfuß“ —, manchmal vollkommen, so daß kein Hohlraum bleibt; meist unter *Bewahrung eines Hohlraums*, der sich dann als durchgehender Kanal parallel der alten Wächtenvorderkante erhält und unterhalb der ganzen Wächte durchzieht (vgl. Abb. 78, S. 79).

Setzen und Einrollen der Wächte sind die Voraussetzung für weiteres Wachstum. Eine große Wächte im Spätwinter ist stets ein Komplex von vielen übereinander gewachsenen Einzelwächten. Im Kern finden wir die kleinen jugendlichen Wächten des Frühwinters, die oberen Wächtenlagen stellen die Bildungen der an Schneeniederschlägen reichsten Zeit des Spätwinters dar. (Abb. 78, S. 79.)

Naturgemäß verschwinden in den tieferen Regionen die Wächten mit der Gesamtschneebedeckung im Frühjahr und Sommer: wir nennen solche Gebilde daher „*Winterwächten*“. Im Gegensatz zu ihnen erhalten sich — in unseren Gebirgen in den Regionen über 3000 Meter — in den Hochregionen Wächten ständig: die „*Dauerwächten*“. Druck, Schmelzwasser-Verfestigung, Alter haben sie mit der Zeit zu vollkommen verfirnten und von harten Eislagen durchzogenen Gebilden gestaltet, die wegen ihrer Festigkeit kaum Senkungserscheinungen aufweisen; sie wachsen daher auch — abgesehen von den jeweils im Winter dazukommenden Vorbauten — vorwiegend als „*Druckwächten*“ weiter. Für den Bergsteiger ist besonders Welzenbachs Feststellung wichtig, daß der Wächtenabbruch bei Überbelastung durch das Eigengewicht oder durch Betreten der Wächte — abgesehen vom Abbruch weit vorragender Stücke von Winterwächten, oder durchweichenden Teilen bei Sonnenbestrahlung — der *Abbruch am Grat nach der Ebene des geringsten Widerstandes*, also an der Stelle erfolgt, an der die Bruchebene am schmalsten ist. Wie das beistehende Profil (Abb. 86, S. 89) zeigt, ist das die Linie des kürzesten Abstandes vom Wächtenfußpunkt zum Luvhang.

Der Bergsteiger darf sich also nie dazu verführen lassen, die für ihn bequemste Marschlinie auf der flachsten Stelle des Wächten-dachs zu benutzen, sondern er muß sich am Luv-

hang in gehöriger Entfernung von der kritischen Linie (bei † der Abb. 86) halten, selbst wenn der Luvhang ihm dort wegen größerer Steilheit unangenehmer ist und vielleicht auch Stufenarbeit erfordert. Das *Durchschlagen* bzw. *Losschlagen* oder *Lossägen von Wächten* von oben oder unten (Lossägen nur von oben; vgl. Versuche S. 166, Abb. 122–124) darf *nur von erfahrenen Leuten* ausgeführt werden, und zwar stets mit sachgemäßer Seilsicherung. Technik des Losschlagens vgl. „Gefahren der Alpen“, S. 97 ff.

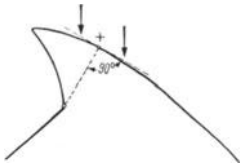


Abb. 86. Darstellung der Bruchebene an Wächten nach Welzenbach. Begehung von Wächtengraten nicht bei ↓, d. h. nicht leewärts von Punkt ×, sondern bei ↓.

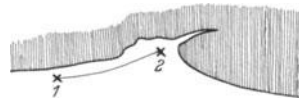


Abb. 87. Schema des Wächten-durchschlagens von unten. Mann 2 hat in den Wächtenüberhang eine Nische mit divergierenden Seitenwänden geschlagen, um guten Stand zu bekommen und mit dem Pickel ausholen zu können. Er hinterscheidet mit dem Pickel die Wächte möglichst in ihrer „Bruchebene“ (Abb. 86). Alle Arbeiten erfolgen unter sorgfältiger Seilsicherung durch Mann 1.

Das *Durchtunneln* der Wächten von unten ist meist eine *gefährliche* Sache, weil dabei stets die Wächtenwurzel gestört wird und Gefahr besteht, daß die Wächte zusammensackt oder abbricht und den im Tunnel arbeitenden erdrückt oder mitreißt! Außerdem liegt die Versuchung nahe, daß ein vorhandener Wächtentunnel später von anderen Partien benutzt wird, wenn er durch Schmelzungs- und Senkungsvorgänge schon ganz unsicher geworden ist. Beim Durchkriechen durch solch einen alten Tunnel brach die Wächte — am Rottalsattel — zusammen und verletzte den betr. Bergführer schwer. Ich warne ausdrücklich vor Wächtentunnels! —

Bei Tauwetter — insonderheit im Frühjahr — bilden sich durch starke Senkungsvorgänge in der Gegend der Wächtenwurzel (Abbruchebene) große *Spalten*. Wenn die Wächten dann nicht im oberen Teil der Gegenböschung ein Widerlager

finden, von dem sie festgehalten werden, brechen sie los und stürzen in die Tiefe.

Schneebrücken über Gletscherspalten sind nach den Gesetzen der Wächtenbildung entstanden: also „Spaltenwächten“. Mein Grundsatz, alle Erscheinungen möglichst auf experimentellem Wege zu erforschen, wurde auch zur Klärung des Schneebrückenbaus angewendet.

Es wurden Gräben im Schnee gegraben, und zwar mit ihrer Längserstreckung senkrecht zur herrschenden Windrichtung; dann wurde bei Schneetreiben die Wächtenbildung an den Spaltenrändern beobachtet und mit Zeitrafferaufnahmen im Laufbild festgehalten.

Dabei zeigte sich bei Schneetreiben an nicht zu breiten Gräben folgendes: Zuerst wächst eine Wächte von Luv nach Lee



Abb. 88. Experiment zur Klärung der Bildung der Schneebrücken über Spalten. Der Wind kam von rechts. (Photo: Paulcke. Zeitraffer-Laufbild.)

vor, und der Triebsschnee, der in die Tiefe gesogen wird, gelangt in den Spaltengrund. Allmählich wächst eine Sogwächte über die Spalte vor. Ist die luvseitige Sogwächte bis etwa drei Viertel der Spaltenbreite vorge-rückt, so sieht man an schmalen Spalten, wie sich die über die Spalte weggetragenen Schneeteilchen an dem leeseitigen Spaltenrand ansetzen und dort relative kleine „Anraumwächte“

bilden, die der luvseitigen Sogwächte bis zum völligen Verschluss entgegenwächst.

Bei so entstandenen Spaltenbrücken sind dann die schwächsten (dünnsten) Stellen auf der Linie des Zusammenwachsens beider Wächten, und diese Linie verläuft bei schmalen Spalten bei etwa zwei Drittel der Spaltenbreite von Luv aus gerechnet.

Bei verschiedenen Spaltenbreiten wird der Spaltenverschluss wieder in anderer Weise erfolgen; da die Windrichtung wechseln kann, werden Sogwächten von beiden Seiten vorgebaut werden können. Meist sind sie allerdings das Ergebnis der bei Schneetreiben vorherrschenden Windrichtung. Offenbar sind

die Wurzeln der Sogwächten stets mächtiger und damit fester, als die der Anraumwächten der Spalten.

Eine ganz andere Art von Überbrückung erfolgt bei den Randklüften = Bergschründen und bei anderen Spalten im Steilgelände. Wenn über diese Klüfte der Schnee als Rutsch oder Lawine gleitet, lagert er sich am jenseitigen Spaltenrand (talab) an und wächst als „Böschungskegel“ gegen den oberen Spaltenrand empor. Diesem unteren Brückenpfeiler wächst durch Riesel- und Trieb Schnee von oben herab eine kleinere Wächte entgegen, bis auch hier der Verschluß stattfindet. In diesen Fällen befindet sich die Linie der dünnsten Stellen stets dem oberen Spaltenrand genähert.

Die praktischen Schlußfolgerungen für den Bergsteiger betr. Vorsichtsmaßregeln beim Überqueren von Spalten ergeben sich von selbst (Sondieren, Seilanwendung). —

Wir sahen (S. 77 ff. u. Abb. 77, S. 78), daß sich Wächten stets über der steileren Gratflanke bilden und gaben die Gründe dafür an. Ich ordnete zur Erhärtung dieser Feststellung in der Naturerscheinung Versuche an, indem ich teils künstliche Grate — mit Luv- und Leeseiten von verschiedener Steilheit — errichtete und dann in der Natur Wind und Schnee an diesen Modellen arbeiten ließ; weiter gestaltete ich in der Natur vorhandene Gratkanten durch Abstechen von Schnee und Schneeaufbauten um. Es konnte dabei einwandfrei festgestellt werden, daß von den Hauptfaktoren der Wächtenbildung: *vorherrschende Windrichtung* und *Berggestalt* — die letztere von ausschlaggebender Bedeutung ist. (Abb. 76, S. 77; Abb. 75, S. 76.)

Die flachere Gratflanke (Abb. 84, S. 85) ist erstens das reichhaltigere Einzugsgebiet für die ursprüngliche Schneeablagerung, sie ermöglicht der Luftströmung am leichtesten den ausgiebigen Weitertransport der Schneemassen von Luv nach Lee. Im Gegensatz dazu wird bei Auftreffen des Windes auf die steilere Flanke (Abb. 75, S. 76) — mit zunehmender Steilheit in zunehmendem Ausmaß — seine Kraft durch den Anprall vernichtet, die Luftströmung wird gezwungen emporzusteigen, wobei sie nur geringe Transportkraft besitzt, oder die Luft mit den Schneeteilchen wird zurückgewirbelt. (Abb. 76, S. 77.)

Die herangeführten Schneeteilchen gelangen also nicht oder nur in geringem Ausmaß nach Lee und lagern sich auf der Luvseite der Wand ab. Außerdem ist ja die steilere — extrem die senkrechte — Luvseite auch ein ungünstiges, bzw. überhaupt kein Einzugsgebiet für Schnee-Entnahme und Transport.

Schlußfolgerung für die Praxis: Je flacher und größer das Einzugsgebiet ist, desto stärker ist der Schneetransport und damit die Wächtenbildung sowie die Überlastung des Hanges auf Lee usw. Liegt dann noch dazu das Einzugsgebiet auf der Westseite der Hänge und Grate — also auf der Seite, von der bei uns in erster Linie die schneebringenden Winde wehen —, so werden die Ost- und Nordosthänge (Kaare!) mit Trieb Schnee (Packschnee) überlastet werden, also besonders starke Lawinengefahr aufweisen.

Man kann und muß also schon bei Anlage der Tour aus der topographischen Karte die Gestaltung der Bergkämme und die verschiedenen Neigungswinkel herauslesen und die Wegwahl danach einrichten — nachdem man auch festgestellt hat, aus welcher Richtung in der Zeit vor der Tour Wind mit Schneetreiben kam. Steiflanken auf Luv bieten Gewähr geringer Hangüberlastung durch Trieb Schnee und natürlich auch Fehlen von Wächtenbildung auf Lee.

Schon seit langem — 1907 — wies ich mit Nachdruck darauf hin, daß durch die — Millionen von Tonnen betragende — Verfrachtung des Trieb Schnees durch den Wind auch eine ausschlaggebende Rolle für die Ernährung der Firnbecken der Gletscher spielen. Firnbecken mit günstiger Oberflächengestaltung (Fall 1 u. 3), große, wenig geneigte Einzugsgebiete auf Luv, steilere Hänge in der Beckenumrahmung auf Lee werden viel ergiebiger durch Schneezufuhr ernährt werden als Firnbecken (Fall 2 u. 4), bei denen die Luvhänge steil sind oder gar in senkrechten Wänden abstürzen. (Abb. 75, S. 76.)

Trotz gleicher geographischer Breite, trotz gleicher Höhenlage werden also z. B. Gletscher, deren Nährgebiete die Verhältnisse von Fall 1 u. 3 aufweisen, unter Umständen nicht zurückgehen oder gar vorstoßen, während benachbarte Gletscher,

deren Nährgebiete sich unter den Bedingungen von Fall 2 u. 4 befinden, gleichzeitig zurückgehen.

Es werden also die entlasteten Luvseiten im allgemeinen — abgesehen von der Schneebrettgefahr — lawinensicherer, die überlasteten Leeseiten lawinengefährlicher sein.

Die Tribschneeablagerung erfolgt außer in weiträumiger Erfüllung der Leemulden und Hänge vor allem auch in örtlichen Anhäufungen, welche in ihrer Gesamtheit den für die Lawinenfrage so wichtigen „Hangausgleich“ zur Folge haben. Als Hangausgleich bezeichne ich — seit 1907, auch in Profilzeichnung dargestellt, — den Vorgang, daß im Laufe des Winters durch die verschiedenen Schneefälle und vor allem während der verschiedenen Tribschneeperioden die ursprüngliche Oberflächengestalt des Untergrundes auf das stärkste verändert wird. Rauigkeiten, Geröll, Blockwerk werden eingedeckt. Die Vertiefungen werden aufgefüllt, die Gefallsbrüche werden ausgeglichen, Terrassierungen, Straßeneinschnitte verschwinden vollkommen. Das Er-

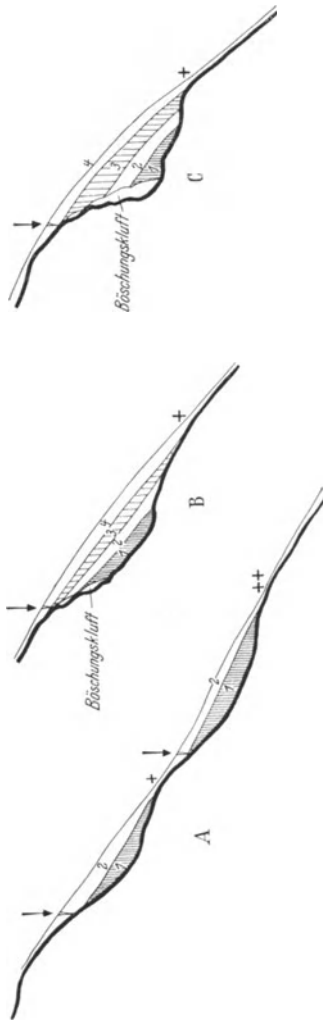


Abb. 89. Hangausgleich und Schneeschildebildung. A. Hang mit Mulden; Schneeschildebildung nach Schneeeinlagerung 2. B, C. Hang mit Mulde und Steilabstürzen und Terrassen. Bei B Schneeschildebildung nach Schneeeinlagerung 3 und 4. Bei C nach Ablagerung 4. Hauptstörungsstellen bei +. Abbruchstellen bei ++ = Hauptspannungszone.

gebnisse sind in den Abbildungen 89 bis 92 dargestellt.

gebnis ist eine im Laufe des Winters zunehmende Herstellung *gleichmäßig geböschter Flächen*: Schaffung eines einheitlichen Normalgefälles und damit auf weite Strecken in der Vertikalen wie in der Horizontalen sich ausdehnender, zusammenhängender „*Gleitflächen*“ (Harschtoberflächen) für Lawinen. Ich habe diesen Vorgang als das „*Gesetz des Hangauchs*“ bezeichnet. Vgl. Kapitel Lawinen. (Abb. 90.)

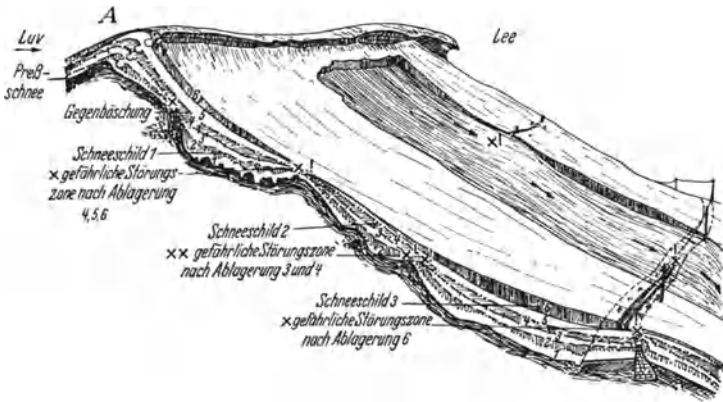


Abb. 90. Schneehang im Spätwinter nach 6 Schneeablagerungsperioden. Darstellung des *Hangauchs* durch leeseitige Anhäufung von Packschnee in Gestalt von Gegenböschungen und Schneeschildern. Hauptströmungszonen bei \times ! Zunehmende Lawinengefahr nach Schneeablagerung 3, vorher stützende Widerlager usf.

Der *Triebschnee* wird stets durch den Wind zerschlagen und feinkörnig und bleibt nie, wie der als Schneestern und Schneeflocke gefallene Schnee, sperrig.

Während also der in ruhigem Fall aus der Luft abgesetzte Schnee sehr locker gelagert wird, erfolgt der Absatz des feinkörnigen Triebschnees stets in *dichter Lagerung*: Körnchen an Körnchen „*gepackt*“. Ich nannte ihn deshalb „*Packschnee*“.

Der „*Packschnee*“ ist also im Windschatten ohne Winddruck abgesetzter Triebschnee und gehört trotz seiner dichteren Lagerung zum „*Lockerschnee*“. Man sinkt zu Fuß tief in ihm ein, und der Ski erzeugt eine kräftige Spurenfurche. „*Packschnee*“ zeigt außer der groben Schichtung, die sich bei jeder Triebschneeperiode bildet, überdies stets deutliche Fein-

schichtung, welche meist unregelmäßig ist, da bei jedem Windstoß in wechselnden Abständen — je nach der Windstärke und Zufuhrmenge — die Schneeteilchen z. T. nach Korngröße „sortiert“ und oft sehr unregelmäßig verteilt werden. Größere Windpausen haben schon Bildung deutlicherer Schichtoberflächen zur Folge. Beim Anilinfärbversuch kann diese Schichtung durch ausgesprochene Wasserführung einzelner grobkörnigerer Schichten, die man mit bloßem Auge kaum erkennt, deutlich sichtbar gemacht werden. Sie ist auch gut sichtbar, wenn man ein Profil gräbt und die abgestochene Wand im durchscheinenden Licht betrachtet.

Praktische Folge der ausgesprochenen Schichtung des Packschnees und der dichteren Lagerung ist Gleitflächenbildung und innigerer Zusammenhalt der Schneemassen, damit leichteres Losbrechen in größeren Massen an scharfem Abbruchrand mit anfänglich stärkerem Zusammenhalt der Schollen. Diese Schollenbildung, welche ja auch bei anderem Lockerschnee am Anfang der Loslösung zu beobachten ist, hat zur Folge gehabt, daß oberflächliche Beobachter auch bei Losgehen von „Packschnee“ — also dichteren Lockerschneemassen —, weil sie Schollen sehen, gedankenlos von „Schneebrettern“ sprechen. Das Durcheinander, welches durch falsche Beschreibungen und unrichtige Darlegungen in den verschiedensten Veröffentlichungen über Lawinen angerichtet wird, ist einer Verbreitung zuverlässiger Kenntnisse in Touristenkreisen sehr abträglich und muß abgestellt werden.

Einen Sonderfall von Leeablagerungen durch Triebschnee stellen die Gebilde dar, deren bezeichnende *örtliche Anhäufung* und Profilstaltung ich schon 1907 beschrieb und zeichnerisch darstellte. Ich nannte diese für den Skiläufer und die Wegwahl im winterlichen Gebirge überaus wichtigen und gefährlichen Bildungen „*Schneeschilder*“, weil sie aus übereinander abgelagerten Schichten bestehen, die von begrenztem Umfang schildartig bestimmte Stellen an den Hängen bedecken. (Abb. 89, S. 93, ferner Abb. 84, 85, 90, 91, 92.)

Überall an den Hängen, wo ein Gefällsbruch, eine Nische, auftritt, wird diese Geländeeinsenkung vom Triebschnee nach dem Gesetz des „Gefällsausgleichs“ aufgebösch.

Die „*Schneeschilder*“ werden also während aufeinanderfolgender „*Gux*“zeiten schichtig übereinander abgelagert, und der Schnee wird *nicht* etwa — wie eine neuerdings auf-



Abb. 91. Oben Wächte mit Gegenböschung; im Vordergrund Typisches Schneeschild in einer Mulde unter der angedeuteten Terrasse. Das Schild brach durch die eigene Last auf harter Unterlage los. Der dichte Packschnee blieb bei dem kurzen Weg zum Teil in Schollen erhalten. (Photo: Cyger-Adelboden.) Nahaufnahme des Schneebildes auf Abb. 93 rechts unten.

tauchende unglückliche Neubezeichnung dem Laien vortäuscht — in einen „*Sack*“ oder ein „*Kissen*“ eingefüllt, die auch bei Störungen weder ausfließen noch „*hinunterrollen*“! —

Die Schnee-Einschichtung in Mulden und Gefällsbrüche be-

ginnt mit einer von der Gestalt des Bodenprofils abhängigen Ablagerung der ersten Schicht (Schichtkomplex) im Hauptgefällsknick. Unter einem steileren Abbruch entsteht zuerst ein Schneekegel, und es bleibt oben an der Steilwand eine „Böschungskluft“ offen. Vgl. Abb. 89 B u. C, S. 93. Nach unten ist dieser Schneekegel am Boden der Nische (Mulde usw.) oder der Terrasse anfangs abgestützt, findet noch ein Widerlager. Diese tieferen Ablagerungen sind also nicht gefährlich.

Im Laufe wiederholter Schneefälle und Windtransporte wird der Gefällsbruch mehr und mehr ausgeglichen, bis

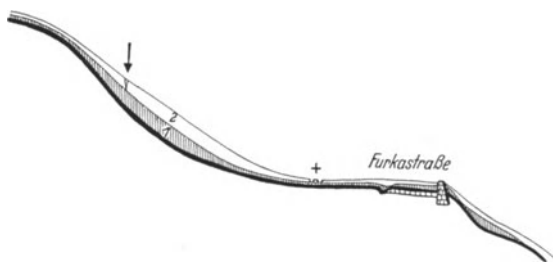


Abb. 92. Schneeschild an der Furkastraße S. Störung bei +, Abbruch bei ↓.

schließlich die obere Schichten nach unten auseinander und nicht mehr „abgestützt“ sind. Diese brechen dann am leichtesten los.

Die Schneeschilde „hängen“ dann schließlich mit ganz geringem Schneewiderlager am Hang und kommen durch ihre eigene Last — besonders, wenn die Schichten gegenböschungartige Keilform haben — von sich aus ins Gleiten, oder sie geraten in Bewegung, wenn sie durch Skiläufer angeschnitten oder belastet werden.

Auch „Schneeschilde“ in nicht voll ausgefüllten Einmündungen können Gefahr bringen, wenn sie an ihrer Basis gestört werden. Ich erlebte Ende vorigen Jahrhunderts an der Furkastraße zweimal den Fall, daß ein „Schneeschild“ aus lockerem „Packschnee“ auf der Ausflachung der Mulde — mindestens 10 m vom Gefällsbruch entfernt — am Fuße gestört wurde, oben an scharfem Bruchrand abbrach, sich in Schollen zerteilte, die dann fast völlig intakt auf der Ausflachung liegenblieben, ohne weiteren Schaden anzurichten.

Der Entzug des Widerlagers (Störung und Spannungsauslösung) am Fuß von „Gegenböschungen“ und „Schneeschilden“ hatte folgenden Unfall zur Folge. Bei der Räumung der Strecke einer Gebirgsbahn durch die Schneeschleudermaschine wurde der von Triebsschnee überlastete Hang gleichwie bei Abb. 92 angeschnitten. Die Schneemassen, denen das auf der Bahnstrecke abgestützt gewesene Widerlager durch die

Regenbolshorn



Abb. 93. Wächten, Gegenböschungen und Schneeschilde auf Lee nach SW-Wind. Blick von Alp Sillern nach SW gegen Alp Geilskumme und Regenbolshorn. (Photo: E. Gyger-Adelboden.) Vgl. das gleiche Gelände auf nebenstehender Karte.

Maschine entzogen wurde, kamen ins Rutschen, die Maschine wurde umgekippt, ein Dampfventil brach, und zwei Mann der Bedienung fanden durch Verbrühen den Tod.

An der Berninabahn trat ein mit einer Dame neben der Strecke am Hang töricht gehender englischer Tourist ein Schneeschfeld los, welches beim Sturz auf die Bahnlinie zwei Wagen umwarf.

„Gegenböschung“ und „Schneeschild“ sind als bezeichnende Triebsschneebildungen an Leehängen verwandte Gebilde, die durch mannigfache Übergänge verbunden sind. Stets

ist es die Geländegestaltung, sind es die Neigungsverhältnisse, die ausschlaggebend dafür sind, ob sich keilförmige „Gegenböschungen“ oder „linsenförmige“ Schneeschilde als Leablagerungen bilden, bzw. ob große Hangfluchten mit Trieb-
schnee überlastet werden.

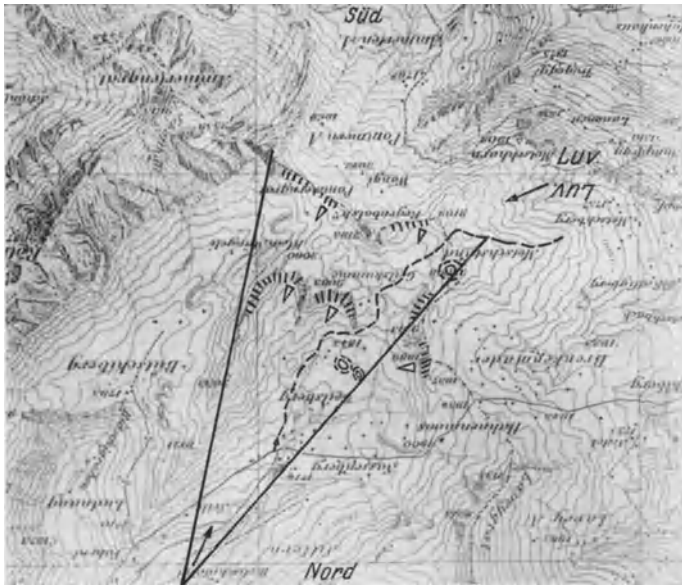


Abb. 94. Karte der Gegend von Hahnenmoos-Geilsberg bei Adelboden. ↗ Standpunkt für nebenstehende Photographie: Alp Sillern und Blickwinkel gegen Geilskumme-Regenbolshorn. Ausschnitt aus der Schweizer Siegfriedkarte. Kammartiges Zeichen = Wächten; spitzes Dreieck = „Gegenböschung“; Kreise = Schneeschilde; gestrichelte Linie = sicherer Weg; vgl. Skispuren Abb. 93.

Abb. 93 u. 94 zeigen einen sehr lehrreichen Hang. Ich hatte das Bild von Herrn Gyger-Adelboden erhalten und Rückfrage betr. der Gelände und Windverhältnisse gestellt.

Aus dem Bild war herauszulesen, daß es sich um einen terrassierten Hang mit überwächten Kammabschnitten und Steilabstürzen handelt, an denen unterhalb der Wächten „Gegenböschungen“ angehäuft und in dessen Einmuldungen typische „Schneeschilde“ abgelagert waren.

Es wurde mir bestätigt, daß diese nach NO gerichteten Hänge unterhalb des Regenbolshorns bei Adelboden durch auf den Beschauer zuwehenden SW-Wind bei ausgiebigem Schneefall (im Februar) lawinenträchtig geworden waren.

Diese Hänge seien sonst sicher, und es gingen dort nur unter außerordentlichen Verhältnissen Lawinen nieder.

Das Bild und der Kartenausschnitt mit den Erläuterungen illustrieren das oben über Packschneeablagerungen auf Lee Gesagte auf das glücklichste. Bei Nebel Marsch nach der Karte!

Das Schneebrett, windgedrückter Schnee, Windharscht.

Bei stärkerem Wind und Sturm wird auf den *Luvseiten* und an dem Wind ausgesetzten Stellen, aber nicht auf Lee, der Schnee — nach meinen Erfahrungen meist auf mindestens einigermaßen verfestigter bis harter Grundlage — festgeweht, durch den Winddruck *festgepreßt*. Dieser Vorgang erfolgt besonders dann, wenn der Winkel, unter dem der Trieb Schnee aufprallt, nicht zu spitz ist. Der Schnee haftet leichter an rauher als auf glatter Unterlage. Die *Verfestigung* erfolgt durch Verfrieren beim Aufprall (Regelation). Nebelfeuchtigkeit (vgl. Rauhreifbildung) fördert den Verfestigungsvorgang (vgl. Seligman, Lit. 29, 30): die *Schneebrettbildung*.

Die Ablagerung erfolgt Lage auf Lage durch stoßweisen Windtransport in wirrer „Kreuzschichtung“ (Profil Abb. 72 b, S. 66); der Schnee wird in wenig mächtigen, dicht aufeinander liegenden, unregelmäßigen Schichten abgelagert. Die Oberfläche der Schneebretter ist „gemasert“, es findet sich Rippelung und, da bei stärkeren Windstößen auch wieder Material fortgeführt wird, oft auch leichte Schuppenschneebildung. (Vgl. S. 104.) Ich habe *diesen* durch den Wind angewehten, sehr dichten Schnee „*Preßschnee*“ genannt.

Die durch das Aufprallen unter Windpressung und durch Verfrierung erzeugte *Dichte dieser Schneeeblagerung* bedingt einen recht festen Zusammenhalt der Schneeteilchen und damit eine beträchtliche Festigkeit und oberflächliche Härte der Masse. Diese Härte und die brettartige Auflagerung veranlaßte mich vor Jahrzehnten, diesen Bildungen den Namen „*Schneebretter*“ zu geben.

Oft liegen Schneebretter hohl. Das kann seinen Grund darin haben, daß sie am Hang durch die hangabwärts gerichteten Druckkräfte aufgewölbt sind. Es findet sich aber auch oft unter den Schneebrettern und über ihrer Unterlage gefährlicher „Schwimmschnee“, der nachträglich gebildet worden ist. *Sondieren!* Die *Schneebretter* sind meist örtlich angeweht

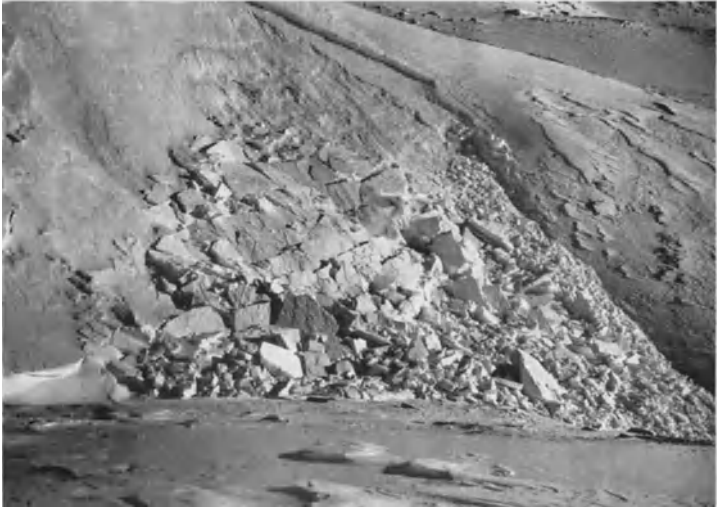


Abb. 95. Windwirkung: Schneebrett. Die windgepreßte Masse ist in widerstandsfähigen Schollen losgebrochen. Die Oberfläche der Schollen wie der Umgebung zeigt deutlich die kräftige Wirkung des Windes: Maserung, Schuppung. (Photo: A. Pedrett-St. Moritz.)

und haben meist keine sehr große Ausdehnung. Wenn die alte harte Schneunterlage (Harscht, Firn, Eis) in ihrer Umgebung freigeweht ist, dann heben sich die Schneebretter, außer durch die geschilderte Oberflächenmodellierung, auch wegen der Dichte der gepreßten Masse, durch die Färbung: ein helles, kroidiges Weiß, ab.

Schneebretter brechen selten ohne Störung los; ihr Betreten ist sehr gefährlich, da sie durch Belastung und Kerbwirkung losbrechen. (Vgl. Schneebrettlawinen, S. 145.)

Windgedrückter Schnee = Windharscht.

Der *Windharscht* oder *windgedrückte Schnee* entsteht auf andere Weise wie das Schneebrett und ist nach Anlage wie innerem Bau etwas Verschiedenes. Windgedrückter Schnee entsteht dadurch, daß *vorhandener Lockerschnee* durch Wind *oberflächlich* zu einer Kruste (von verschiedener Dicke) zu-



Abb. 96. Gewöhnlich mit lockerem Packschnee bedeckter NO-Hang, durch Ostwind windgedrückt, mit Rippelung und Schuppung; die sonst großen, durch SW-Wind vorgebauten Wächten sind vom O-Wind fast ganz weggefressen. Das normalerweise bei ↓ abgelagerte Schneeschild (vgl. gleiche Stelle Abb. 107 und 119—121) ist vollkommen fortgefressen. (Photo: Paulcke.)

sammengedrückt wird. Er entsteht also nicht — wie das Schneebrett — durch Materialzufuhr. Windharscht scheint besonders auf dicht gelagertem „Packschnee“ gebildet zu werden; d. h. auf den verhältnismäßig dichtesten Lockerschneeb lagerungen, deren Teilchen dem Abtragungsvorgang so starken Widerstand entgegensetzen, daß sie nicht so leicht fortgeführt werden können wie die des nicht gepackten Lockerschnees, sondern bei Windeinwirkung liegenbleiben und unter dem Winddruck die oberflächliche, krustenartige Verfestigung erleiden.

Windharscht zeigt auch oft auf weite Strecken keine Ripplung oder Maserung, wenschon diese Erscheinungen auch auf windgedrückten Flächen zu sehen sind. Unter den festverspannten Krusten des Windharschtes setzt sich oft der darunter befindliche Lockerschnee, so daß sie dann hohl liegen. Das Einbrechen — Einschaufeln — in Windharschtkrusten ist für den Skiläufer sehr unangenehm. Einbruch bei Abfahrten verursacht oft unangenehme Stürze mit Folge von Verrenkungen oder gar Torsionsbrüchen. *Vorsicht bei Windharscht!*

Auch der Windharscht ist feinkörnig und zeigt dichtes Gefüge. Selbstverständlich kann auch ein Schneebrett windgedrückter Unterlage festgeweht werden. Leeseiten können zu Luvseiten werden.

Ich habe erlebt, daß die Ablagerungen an NO-Hängen, die längere Zeit hindurch in der für diese Gegend „normalen“ Weise von vorherrschendem SW-Wind erzeugt waren, nach Umspringen des Windes und starkem Wehen aus NO vollkommen ummodelliert wurden. Die angehäuften mächtigen Tribschneemassen (Packschnee) wurden in kürzester Zeit vom NO-Wind zerfurcht und abgetragen; es entstanden außer tiefen Windfurchen Schuppenschneeoberflächen; die dicken Lagen der Gegenböschungen wurden geringmächtig, Schneeschilde wurden vollkommen vom Wind fortgefressen, so daß der gewachsene Boden vorschaute, und der mächtige Wächtenbehang wurde vollkommen vom Wind abgenagt. (Abb. 96.)

Wind-Erosion.

Der Wind entfernt — abgesehen vom Lockermaterial — auch von den vorhandenen festeren Schneemassen beträchtliche Mengen. Dabei kommt — wie bei der Windbearbeitung von Schichtgesteinen — die Art der Ablagerung: Grobschichtung, Feinschichtung, Kreuzschichtung — es kommen alte Verfestigungen (Harscht, Fußstapfen, alte Skispuren usw.) sehr deutlich zum Vorschein: sie werden vom Wind herauspräpariert. Schon die geringste frühere Verfestigung der Oberfläche, die während oder nach der Schichtung erfolgte, wird vom Wind herausgearbeitet. Dabei werden — wie bei den anderen

Gesteinen — die weicheren Schichten ausgeblasen, erscheinen als *Hohlkehlen*, während die härteren Schichten als *Leisten* vorragen. (Abb. 97.)

War die oberste Schicht (oder die obersten Schichten) verhärtet, so werden sie vom Bodenwind unterhöhlt und ragen *luvwärts* oft weit *schuppenartig* vor. Ich habe dieser altbekannten Bildung den ihre Eigenart bezeichnenden deutschen Namen „*Schuppenschnee*“ gegeben. In Norwegen werden diese Bildungen „*Skavler*“, in Rußland „*Sastrugi*“ genannt. (Abb. 98, S. 105.)

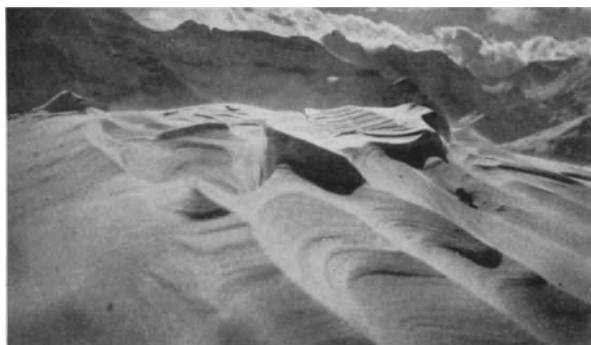


Abb. 97. Winderosion an einem Kamm. Die Feinschichtung des Packschnees auf dem alten Leehang ist durch Wind aus der entgegengesetzten Seite herauspräpariert. (Photo: Paulcke.)

Die Winderosion tritt auf den Luvseiten in Kraft und wirkt bei senkrechtem und schrägem Auftreffen des Windes; auch in der Windrichtung verlaufende Längsfurchen können auftreten.

Hinter den vom Wind herausmodellierten Druckspuren (Fußstapfen usw.) bilden sich wie hinter jedem anderen Hindernis Dünenhaken. —

Vor den Hindernissen (von gewisser Größe an) bilden sich durch Rückstau *Schneekolke*. Um die Hindernisse bewegen sich — je nach Form und Größe derselben — *Windwirbel* herum und legen sie durch Auskolkung frei. Vgl. Abb. 76 u. 99 und S. 204, „Technische Fragen“.

Nutzanwendung für die Praxis:

Für den Bergsteiger und Skiläufer ist es wichtig zu wissen, daß bei *Schneedünen* sich die flachere Böschung auf Luv, die steilere auf Lee befindet; dabei ist der Steilabfall der Düne nie unterhöhlt (wenn nicht der Wind bei Richtungswechsel die Düne nachträglich bearbeitet hat. Man darf Schneedünen nicht mit *Schuppenschnee* verwechseln, bei dem die steilere Seite



Abb. 98. Winderosion auf geneigtem Hang. Schuppenschnee. Wind von rechts. (Photo: Paulcke.)

stets direkt oder im Winkel gegen Wind — also luvwärts schaut, keine gleichmäßige Böschung zeigt, sondern *ausgehöhlt* (*unterhöhlt*) ist.

Aus der Stellung der Dünen und der Schuppenschneeanordnung erkennt man stets die in der letzten Zeit vorherrschend gewesene bzw. noch andauernde Windrichtung.

Der Verlauf der *Anordnung dieser Bildungen* kann also (z. B. bei Nebel auf Hochplateaus, Ebenen) stets als *Anhalt zum Zurechtfinden* dienen.

Schuppenschnee tritt besonders häufig und stark auf wind-

ausgesetzten, breiten Jöchern (z. B. Berninapaß), Hochplateaus, breiten Gebirgskämmen auf. Er ist für den Skiläufer sehr unerfreulich. Bei Hohlliegen der Ski von Schuppenkamm zu Schuppenkamm erfolgt leicht Skibruch unter dem Fuß; bei Unterschaukeln unter die Hohlkehlen Einspießen. Folgen: Stürze, Spitzenbruch, Fußverletzungen.

An dieser Stelle sollen die *Eigenarten des Geländes* sowie *Geländebeurteilung auf der Karte* (Tourenplanung und bei unsichtigem Wetter) *und in der Natur* (Tourenauführung) kurz behandelt werden.



Abb. 99. Windkolk an einem Felsblock von der Luvseite gesehen.
(Photo: Paulcke.)

VI. Das Gelände auf der Karte und in der Natur.

(Vgl. Abb. 84, S. 85, sowie Abb. 93 u. 94, S. 98, 99,
und Abb. 100, S. 108.)

Für die Beurteilung von Einzelheiten kommt im allgemeinen nur die in großem Maßstab: 1:25000 und 1:50000 gezeichnete und mit Höhenschichten versehene Karte in Frage. Die leider um sich greifende Anwendung von „Schummerung“ (Reliefüberdruck), unter Annahme der Einwirkung schräger Beleuchtung mit Licht auf der einen und Schatten auf der anderen Seite, gibt zwar ein für den „Laien“ verführerisches, *scheinbar* leichter lesbares, „plastisches“ Bild, vermindert aber — besonders bei schlechter Beleuchtung (Dämmerung, Schneesturm) die Lesbarkeit der Karte sehr stark. Die Höhenschichtenlinien sind dann auf der Schattenseite nur noch

schwer oder überhaupt nicht zu erkennen, und damit entfällt eine zuverlässige Beurteilung der Geländegestaltung überhaupt.

Eine weitere scheinbare Hilfe, die zu schweren Irrtümern führen kann, ist die Einzeichnung von „*Lawinenzichen*“ an einzelnen Stellen der sog. „Ski-Routenkarten“. Wie wir wissen, können Lawinen an allen Hängen über $20-22^\circ$ (selten bei geringeren Neigungen) losgehen. Es müßten also alle Hänge über 22° — bei entsprechender Lage im Gelände (Leehänge mit größeren Einzugsgebieten usw.) — mit solchen roten Zeichen versehen werden. Sonst vertraut der — meist — nicht selbständig denkende Wanderer darauf, daß nur an den auf der Karte bezeichneten Stellen Lawinen zu erwarten seien, und läuft sorglos an anderen Stellen in Hänge mit höchster Lawinengefahr! Diese scheinbare, aber durchaus unzureichende Hilfe verzieht den Skiläufer erstens zu gedankenlosem Gehen, zweitens zum Vertrauen auf einen unzureichenden Rat, und vor allem hält sie ihn davor zurück, wirklich ernsthaft in das Wesen der Karte einzudringen und sie ohne schwankende Eselsbrücken auszuwerten.

Wie der Soldat, so muß auch der Bergsteiger und Skiläufer eine Karte vollkommen auszuschöpfen imstande sein, da auf ihr, in Verbindung mit der Geländeausnützung, jegliche Strategie und Taktik beruhen.

Bergsteiger und Skiläufer müssen aber alle beim Kampf mit den Naturgewalten des Hochgebirges gute Taktiker sein, wenn sie zuverlässig und sicher ihr Ziel erreichen wollen.

Mit der Kartenkunde sieht es aber bei den meisten sehr trübe aus! Ich habe da im Frieden und im Kriege die nieder-schlagendsten Erfahrungen gemacht! —

Außerdem kann man allgemein feststellen, daß heutzutage Touristen, die auf winterliche Skitouren ins Gebirge gehen, nur sehr selten überhaupt Karten mitnehmen. Dazu kommt zu dieser Nachlässigkeit („Wurschtigkeit“) noch ungenügende Ausrüstung und mangelhafte alpine und schneekundliche Ausbildung. Da darf man sich nicht über die erschreckend hohe Zahl alpiner Unfälle wundern!

Von allen Karten ist der vom Typus der seinerzeit beispielgebenden Schweizerischen Siegfriedkarte am besten zu lesen,

d. h. die Karten mit lichtbraunen Höhenschichten — Linien, schwarzer, naturverbundener Felszeichnung. Darstellung des Wassers (Seen, Flüsse, Bäche) und des Eises (Gletscher) in Blau, sowie schwarzer Beschriftung. Mustergültig sind die nach diesen Grundsätzen ausgeführten Alpenvereinskarten.



Abb. 100.

Erläuterung zu dem Kartenschema. Entworfen von W. Paulcke. Zur Darlegung lawinengefährlicher und lawinensicherer Wege.

Das dargestellte Gelände gibt gewisse bezeichnende Formen von Tälern, Hängen usw. wieder, deren richtige Beurteilung für den Bergsteiger und Skiläufer besonders wichtig ist. Der Bergneuling soll daraus lernen, die Karte bezüglich der Lawinengefahr mit Verständnis zu lesen.

Die ohne weitere Einzeichnung dargestellten Hänge sind mit Graswuchs versehen zu denken.

Die zwei Hütten: *H. 1* und *H. 2* sind mit den von ihnen zugänglichen Gipfeln als Hauptzielpunkte für Winterturen gedacht; desgl. als Stützpunkte für Übergänge.

Das Haupttal zeigt vom „Dorf“ bis zur „Kapelle“ einen breiten Talboden, auf dem man sich, ohne von Lawinen gefährdet zu werden, bewegen kann.

Der Aufstieg durch das „Nebental“ ---- ist an seiner steilsten Stelle, westlich vom „Wirtshaus“, durch dichten Hochwald gesichert, in seinem weiteren Verlauf - - - - wegen der geringen Steilheit der Hänge wohl meist lawinensicher.

Anders der Aufstieg zur Hütte *H. 1* durch das „Kleintal“. Hier kann der ausgebaut Sommerweg - - - - - der vom Wirtshaus SW über die Brücke und Alpe A führt, im Frühwinter noch begehbar sein, solange die Bergsturzböcke und das grobe Geröll am Hang südlich vom „Grat“ noch erkennbar sind (vgl. S. 94). Vorsicht werden aber auch hier stets die Strecken von der „Alpe A“ bis in das Bergsturzgelände und der steile Hang südlich des Baches vom „Kleintal“ gebieten. Die sicherste Anstiegslinie führt vom „Wirtshaus“ zuerst westlich durch den Wald bis auf die Talterrasse, dann von der oberen Waldgrenze südlich zur Alpe A; von da über den Bergrücken zum Ostende vom „Grat“; dann dicht unter den Felsen des „Grat“ südlich (oder auch nördlich mit Umweg um den Grat herum) zum Joch zwischen Kleintal und U-Tal, und von da in OSO-Richtung unter den Felsen des südlich gelegenen Gipfels durch und über den Bergrücken zur Hütte *H. 1*.

Zugang zu „Hütte 2“. Die beiden ausgebauten Sommerwege:

1. der - + - + - + - vom „Dorf“ über „Kapelle“, „Schlucht“ — „Großtal“ — „Stutz“ — „Gletscherbach“ einerseits, wie
2. der hinter der „Schlucht“ nach SW abzweigende, durch das trichterförmige Einzugsgebiet des „X-Baches“ führende, sind bei lawinengefährlichem Wetter nicht begehbar.

Der einzige zuverlässige Winteranstieg - + - + - + - aus dem Haupttal zu Hütte 2 („*H. 2*“) führt vom „Dorf“ über „Wirtshaus“ und von da durch den Wald südöstlich nach „Alpe B“; von dort über die Bergnase in südwestlicher Richtung — unter den Felsen des „Kamm“ durch, über den „Rücken“ und schließlich quer über den „Gletscher“ zur Hütte. Im Frühwinter beim Gletscherübergang Vorsicht vor schwachen Schneebrücken der Spalten; im Bedarfsfall Ausbiegen in weitem Bogen nach SW, damit die Spalten am Seil möglichst senkrecht zu ihrem Verlauf gequert werden.

Befindet sich eine Partie auf der Hütte 2 („*H. 2*“) und tritt starker Schneefall ein, so ist der gleiche Rückweg einzuschlagen, oder der Übergang über den „A-Gletscher“ und den „Gipfel“ oder westlich desselben durch und über den „B-Gletscher“ und durch das lawinensichere (breiter, flacher Talboden) „U-Tal“ zu wählen.

Der Aufstieg von Hütte 2 („*H. 2*“) zum „Gipfel“ auf dem eingezeichneten Wege - + - + - + - wird stets lawinensicher sein; der Aufstieg zum „Gipfel“ durch das große „Kar 1“ ist nur bei ganz lawinensicherm Wetter möglich.

Der Weg an den steilen Grashängen des „Lawinentals“ durch das Trichtergebiet des „X-Baches“ wird fast stets sehr lawinengefährlich und nur unter den günstigsten Verhältnissen im Winter überhaupt begehbar sein.

Am lawinengefährlichsten sind die von Felsbändern durchsetzten Hänge SO des Baches im obersten Teil des „Lawinentals“, in dem die Schichten talabwärts (NW) fallen (vgl. Abb. 101 Fa), während die gegenüberliegenden Terrassen mit bergwärts (NW) fallenden Schichten (vgl. Abb. 101 Fb) weniger ungünstig sind.

Vgl. Fallzeichen \succ auf der Karte.

Das Gelände.

Der *Verlauf* der Kämme und Grate zur Himmelsrichtung (Windrichtung, Sonnenbestrahlung) muß bei jedem Ansatz der Wegwahl berücksichtigt werden. Die Neigungsverhältnisse auf der Luv- und Leeseite bedingen, wie wir gesehen haben, Menge der ursprünglichen — direkten — Ablagerung und damit Abtransportmöglichkeit von Luv und Stärke der Ablagerung auf Lee (Hangüberlastung). (Abb. 84, S. 85; Abb. 90, S. 94.)

Die *Hanggestaltung* im einzelnen ist maßgebend dafür, ob Lawinengefahr schon sofort nach den ersten Schneefällen in stärkerem Ausmaß droht, oder erst nach „Hangausgleich“, also nach verschiedenen Schneefall- und Guxperioden im Laufe des Winters in steigendem Maße auftritt.

Weitausgedehnte Hänge mit *gleichmäßiger* Neigung bedingen stets erhöhte Gefahr. Wir finden solche Hänge besonders an den meist pyramidenförmigen Gipfeln und den Kämmen der Schiefergebiete (Grasberge der Flysch-Tonschiefer-Regionen der Voralpen, des Samnaun, des Prätigau usw.), deren einheitliche Hangfluchten noch überdies mit abwärts liegenden Grasschöpfen bewachsen sind, die das Abgleiten erleichtern. Auch die Glimmerschieferhänge der Zentralalpen zeigen solche gleichmäßigen Hangfluchten.

Sind die Hänge terrassiert, so bilden die Terrassen am Anfang des Winters Widerlager (vgl. Abb. 89 u. 90), und verstärkte Lawinengefahr tritt erst im Laufe des Winters nach erfolgtem Hangausgleich auf: örtliche Schneeschildebildung; Überlastung auf weite Strecken.

Im Spätwinter können dann terrassierte Hänge vollkommen einheitlich durchgehende Oberflächen aufweisen: dann ist unter Umständen das auf der Karte dargestellte Relief vollkommen geändert, und es sind auch alle einstigen — meist als solche noch erkennbaren — Schneeschilde besonders gefährlich.

Aus der Karte sind ferner auf das klarste alle Rinnen und Rinnensysteme mit ihren trichterförmigen Einzugsgebieten ersichtlich. Ferner gleichmäßig geböschte Schutthänge und Schuttkegel, sowie grobe Blockbestreuung (Stauungs-Hindernisse!).

In Schichtgesteinsgebieten vermag ein gut unterrichteter Kartenleser sogar nach der Karte festzustellen, nach welcher Richtung (vom Berg weg = mit dem Hang, oder gegen den Hang = in den Berg hinein) die Gesteinschichten „fallen“. —

Auch die Art der Bewachsung: dichter oder schütterer Wald, Latschen, Vorhandensein von Wiesen usw. ist auf den Karten gut lesbar.

Die Karte gibt also auch betr. der Lawinenfragen die Grundlagen für die Wegwahl; die Hauptwegrichtung wird stets, Einzelheiten können häufig nach der Karte festgelegt werden. Bei unsichtigem Wetter ist die Karte sogar die einzige Grundlage für die Bestimmung des Weges. Von den eingezeichneten Sommerwegen muß sich der Skiläufer fast ganz frei machen, da sie sehr häufig gerade die lawinengefährdeten Strecken durchziehen. (Abb. 100, S. 108.)

Berg- und Talformen.

Man vergleiche hierzu besonders Karten und Bild der Abb. 84, 93 u. 94.

Die *Talformen* sind von ausschlaggebender Bedeutung für die mehr oder weniger starke Lawinengefährlichkeit der Täler bei Lawinenwetter. Als Täler mit breiten, flachen Talsohlen sind diejenigen entwickelt, welche die eiszeitlichen Gletscher ausgeschürft und dabei übertieft und geweitet haben: die sogenannten glazialen *U- oder Trogtäler*. Sie bieten die größte Sicherheit, weil man in der Mitte des flachen Talbodens, der breiten Wannen, oder auch der engeren Tröge ungefährdet gehen kann. Beispiel: die flachbödige, breite Wanne des Fimbertales (vgl. Abb. 101 B, S. 112).

Im Gegensatz zu den glazialen U-Tälern sind die V-förmigen Bach- und Flußtäler überaus lawinengefährdet! Sie zeigen keine oder keine nennenswerte Talbodenentwicklung, sind meist eng, und ihre V-förmig im Talgrunde zusammenstoßenden Talflanken sind vorwiegend steil und gleichmäßig gebösch.

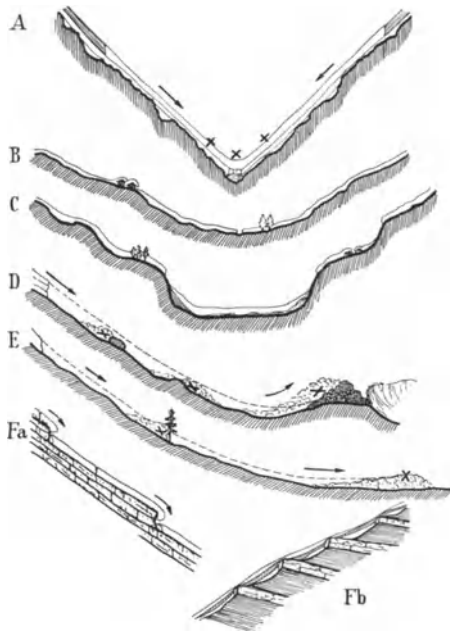


Abb. 101. Querschnitte durch verschiedene Arten von Tälern und Hängen.

A. Vgl. Karte Abb. 100, S. 108. Enges V-förmiges Tal ohne Talbodenentwicklung. Marsch sowohl in der Talmitte, wie an den Flanken gefährlich, da überall gefährliche Störungen \times der Schneemassen erfolgen. Lawinensturz von der einen Seite löst solche von der anderen Seite: Höchste Gefahr! Typus Jamtal.

B. Breites, wannenförmiges Tal: Sicherer Marsch in der Talmitte und auf den Terrassen.

C. Tiefes, trogförmiges Tal mit Terrassen. Talboden, wie Terrassen (zum Teil) ermöglichen sichere Anmärsche.

D. Hang mit Stau-Hindernissen: Felsblock, Geländewelle, Seitenmoräne. Miterissene können vom Hindernisblock festgehalten und durch den gestauten Schnee eingedeckt werden, hinter das Hindernis geschleift und dort überdeckt werden. Tiefste Verschüttung erfolgt bei Stau der Lawine durch Gegengefälle: hier Seiten-Moränenwall. (Fall Ehlert-Mönnichs am Steingletscher.)

E. Günstigster Fall; die Lawine kann am flachen Hang auslaufen; zeigt verhältnismäßig geringe Stautiefe. Es besteht die Möglichkeit, sich oben zu halten. Hindernisse am Hang: einzelne Bäume usw. können Stau verursachen und Verschüttung zur Folge haben. (Fall Scheller, Feldberg-Schwarzwald.)

F.a) Talflanke mit steilen Terrassen, die an senkrechten Abstürzen abbrechen. Die Schichten „fallen“ mit dem Hang. Häufige Erscheinung

im Kalkgebirge. Die Schneelagen stoßen an den Steilabstürzen ins Leere:
Lawinengefahr sehr groß!

F.b) Talflanke mit Terrassen und Steilabstürzen. Die Schichten fallen gegen den Hang; solange die Terrassen noch erkennbar sind, findet der Schnee Widerlager: Keine Lawinengefahr. Besonders bei Nebel an allen terrassierten Hängen mit Steilabstürzen Vorsicht bei Abfahrten, da die Steilabstürze von oben kaum bemerkbar sind.

In solchen Tälern (Beispiel: Jamtal und Klein-Fermunt) ist weder in der Taltiefe noch an den Flanken bei Lawinengefahr ein sicherer Durchmarsch möglich. Hier lösen bei Lawinensturz durch den Anprall, wie durch den Luftdruck die von einer Seite kommenden Lawinen sofort die Gegenlawinen von der anderen Seite (vgl. Abb. 101 A). Die V-Täler sind die gefährlichsten „Lawinenfallen“. Ihre Benützung ist also bei Lawinengefahr strengstens zu vermeiden und selbst *weite Umwege dürfen* zu ihrer Umgehung *nicht gescheut werden* (vgl. Karte Abb. 100).

Ebenso gefährlich sind Hänge, an deren Fuß irgendeine Staumöglichkeit für Lawinenschnee vorhanden ist, z. B. Seitenmoränen (s. Abb. 101 D, Unfall Ehlert-Mönnichs), Geländewellen im Talboden.

Rinnensysteme sind sehr gefährliche Lawinengebiete! Schon hoch oben in den trichterförmigen Einzugsgebieten wird viel Schnee angehäuft — in gesteigertem Maße in Leegebieten!

Die Einzelninnen dieser Sammelgebiete münden in größere Rinnen, diese in die Hauptrinne: also in einen Sammel- und Sturzkanal für alle von oben aus dem Einzugsgebiet kommenden Massen — im Sommer Steinschlag, im Winter Lawinenschnee. Wird nun (vgl. Abb. 102) beim Queren einer Rinne eine Lawine gelöst und die Hauptrinne von Schnee frei gefegt, so ist damit die Gefahr keineswegs vorüber. Jetzt ist den nächsten in den in die Hauptrinne einmündenden Nebenrinnen das Widerlager entzogen worden, und nun brechen aus diesen Rinnen die „Nachlawinen“ los — ein Vorgang, der sich bis zur Entleerung der letzten im obersten Teil des Trichters einmündenden Rinne fortsetzen kann.

Die Nichtachtung dieser Tatsachen hat schon zu den schwersten Lawinenunfällen geführt.

Ebenso treten auf der Karte alle *Grate, Rippen* deutlich her-

vor. Diese stellen im allgemeinen (Abb. 100) die sichersten Wege dar. Sie zeigen erstens die relativ geringste Schneebedeckung auf ihrer Luvseite wie auf dem Kamm selbst; außerdem kann naturgemäß der Schnee stets von der Kammlinie nur nach den Flanken abgehen; auf der Mittellinie der Rippen und Kämme ist der Mensch also stets sicher, falls der Grat nicht überwächtet ist (vgl. S. 88).

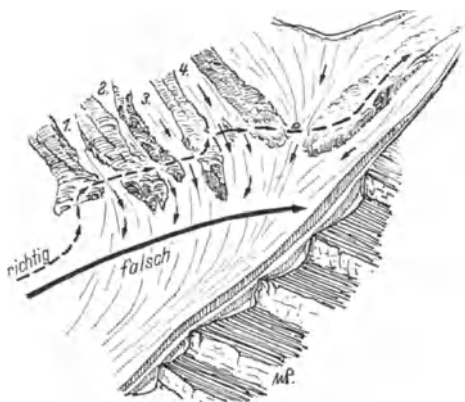


Abb. 102. Rinnensystem mit Steilstufen. Die Steilstufen werden im Laufe des Winters durch Neuschneefälle, Triebsschnee und Schneerutsche vollkommen ausgeglichen. Dann herrscht im Spätwinter höchste Lawinengefahr beim Queren der Rinne. Ist aus einer Nebenrinne -1- eine Lawine losgegangen, so sind aus allen anderen Nebenrinnen, wie aus der Hauptrinne Nachlawinen zu erwarten. Ski abschnallen und die Nebenrinnen auf dem ----- Wege, evtl. mit Seilsicherung, von sicherem Standpunkt aus, queren.

Von Wichtigkeit für die Hanggestaltung im großen wie im einzelnen ist die Beschaffenheit des Baumaterials und des Gebirgshauses. Die Granite, der Sciora- und die Protogingebiete der Montblancgruppe zeigen, ebenso wie ungeschichtete Kalke und Dolomite (Wettersteinkalk, Schlern-Dolomit) der Ostalpen, massige, pralle Wände, an denen naturgemäß keine größeren Schneemassen haften. Ihre Steilwände auf Luvseiten verhindern oder vermindern Schneetransport nach Lee und damit entsprechende Wächtenbildung und Hangüberlastung auf Lee. Solche Berge sind auch keine „Skiberge“.

Bei den Schieferbergen erwähnte ich schon das Vor-

herrschen der Pyramidenform und die gleichmäßige, einheitliche Böschung.

Zu der Hanggestaltung an Bergen mit deutlicher Schichtung ist folgendes zu sagen: Berge aus gleichmäßig harten Gesteinschichten bilden steile Hangfluchten; Berge mit wechselnd harten Schichten terrassierte Flanken, bei denen Steilabstürze mit „Bändern“ (Terrassen) wechseln. Hier wirken Material und Gebirgsbau der Ansammlung größerer zusammenhängender Schneemassen entgegen. Berge mit geneigten Schichten zeigen an den Flanken, an denen die Schichten „mit dem Hang fallen“ (Dachflächen), stärkere Lawinengefahr, da der Schnee auf den zusammenhängenden Hangfluchten der Schichtflächen (Platten) leicht abgleitet. Im Gegensatz dazu zeigen die Hänge, an denen die Schichten „gegen den Berg fallen“, Terrassierung und damit an den vorstehenden „Schichtköpfen“ der vorstehenden härteren Schichten Widerlager, an denen der in nicht zusammenhängenden Massen abgelagerte Schnee Halt findet. Ist im Spätwinter an solchen Bergflanken der „Hangausgleich“ vollzogen, so beginnt selbstverständlich im Augenblick der vollendeten Ausgleichung die Gefahr des Abgleitens von Lawinen; sie sind dann ebenso gefährlich wie die „Dachseiten“. (Abb. 101 Fa, Fb, S. 112.)

Durch *frühere Gletscherbedeckung* bearbeitete Felsgebiete zeigen *glattgeschliffene Felsen* und sog. *Rundhöckerbildung*. Von diesen rutscht der Schnee sehr leicht ab. Je frischer diese Gletscherschliffe sind, desto glatter ist ihre Oberfläche und damit desto größer die Lawinengefahr nach Neuschneefällen. Beispiele: Rundhöckergebiete unterhalb des Marmolatagletschers und unterhalb der Bétempshütte, wo Lostreten von Lawinen schon Todesopfer gefordert hat.

Grobe Blockbestreuung (Bergsturzgebiete) hält den Schnee fest und verhindert Bildung gleichmäßig zusammenhängender Schneemassen. Solange man das Vorhandensein grober Blöcke noch unter der Schneedecke an der unregelmäßigen Oberfläche oder dem Hervorragen einzelner Blöcke erkennen kann, ist der Halt des Schnees durch Vorhandensein von Reibung und den zahlreichen Widerlagern so groß, daß keine Lawinengefahr droht; sind grobes Geröll und Blöcke im Spätwinter voll-

kommen mit Schnee eingedeckt, so daß sie nicht mehr erkannt werden können, so ist die neue Oberfläche (z. B. Harscht) zu einer Gleitfläche geworden. (Abb. 90, S. 94.)

Grobes Geröll und Blöcke am Fuße von gleichmäßig geböschten Feinschuttkegeln kann zu gefährlichen Stauungen von Lawinenschnee führen, desgleichen sind alle Seitenmoränenwälle und Geländewellen, Hügel am Fuße von Lawinenhängen überaus gefährliche Stauhindernisse! —

Bewachsung.

Grasbewachsung findet sich vorwiegend auf den tonigen und mergeligen Böden (vgl. S. 110). An den Flanken der verhältnismäßig steilen und gleichmäßig geböschten Grasberge pflegen die langen Grasschöpfe talwärts zu hängen. Sie bilden für die Schneeauflagen eine sehr glatte Unterlage. Es wurde festgestellt (Coaz), daß in diesen Grasgebieten, in denen das Wildheu nur jedes zweite Jahr geschnitten wird, die Lawinen in den Wintern nach der Heuernte seltener sind als in den nächstfolgenden, weil die vielen kleinen Reibungswiderstände der frischen, aufrechten Stoppeln den Schnee besser haften lassen als die glatten — nach Art einer modernen Jünglingsfrisur herabhängenden — Grasschöpfe. Gebüsch und Latschen halten den Schnee so lange fest, als sie nicht eingedeckt sind. Häuft sich Schnee auf Latschen an, so werden sie von der Last zu Boden gedrückt und mit der Zeit völlig eingedeckt. Ist das geschehen, so ist auch jeder auf der Karte als Latschengebiet gekennzeichnete Hang so zu beurteilen, wie jeder Hang ohne Bewachsung.

Ja, im Frühjahr kann sogar der elastische Gegendruck von unten bei Eintritt von Entlastung durch Abschmelzung die Lawinengefahr an derartigen Hängen verstärken.

Schütterer Wald bietet keinen zuverlässigen Halt für Schneemassen. In schütterem Wald haben sich Lawinen gelöst, und von oben kommende Lawinen haben solche Baumbestände, ohne aufgehalten zu werden, durchströmt. Menschen wurden dann unter anderem auch gegen die Bäume geschleudert, um sie herumgewickelt, erdrückt und erstickt.

Besonders der Wildschnee und die trockenen Lockerschneelawinen durchfahren schütterten Wald fast ungehemmt.

Dichter Hochwald — besonders mit reichlich Unterholz — bietet vorzüglich Sicherheit gegen Lawinenbildung. Daher wird Hochwald im Gebirge mit größter Schonung erhalten, und Gebiete, in denen durch den Unverstand und die Habsucht der Menschen die Lawinengefahr durch Abholzen entfesselt war, werden in mühevoller Arbeit wieder aufgeforstet.

VII. Die Lawinen.

Allgemeines.

Der Schnee wird auf dem gewachsenen Boden, auf älteren Schneeschichten oder auf Eis (Firngletschereis) in mehr oder weniger mächtigen, gleichmäßig oder ungleichmäßig dicken *Schichten* abgelagert. Er verhält sich also wie *ein Schichtgestein* und ist ein solches mit der Eigentümlichkeit, daß er wegen der Unbeständigkeit seiner Mineralbestandteile (Eiskristalle) an der Oberfläche wie im Inneren der Schichtablagerungen sehr oft, rasch und stark wechselnde Veränderungen durchmacht (Diagenese vgl. S. 29 ff.). Alle *Schichtflächen* sind *vorgebildete Gleitflächen*.

Ob eine Schichtmasse oder eine Einzelschicht losbricht und als Bergrutsch, Bergsturz, Lawine abstürzt, abgleitet, ist von den verschiedensten Umständen abhängig.

Das Haftvermögen der Schneeschichten ist bedingt

1. durch die *Oberflächenbeschaffenheit* der jeweiligen *Unterlage* der Schneeschichten.

Besonders gefährlich als glatte Unterlage sind: glatte Felsplatten und durch Gletscher geschliffene Felsoberflächen (Rundhöcker), die Hänge der Grasberge (Grasschöpfe), Eis, Harschtschichten. Über die günstige Wirkung von Reibungswiderständen (Bewachsung, Blockbestreuung usw.) vgl. S. 115.

2. durch die *Gesamtgestaltung der Hänge:*

Ausmaß zusammenhängender Gleitflächen vgl. Hangausgleich, S. 94, Abb. 90.

Das Abgleiten begünstigen: große zusammenhängende Gleit-

flächen; ferner Ansammlungen in Rinnen und Rinnensystemen (Abb. 102, S. 114); dem Abgleiten entgegenwirken: Terrassierungen (Abb. 90, S. 94): stützende Widerlager.

3. Durch die *Neigungswinkel* der Hänge:

Im *allgemeinen* sind Hänge unter 22° lawinensicher.

In *selteneren* Fällen gingen Lawinen schon bei geringeren Neigungen los. Bisher beobachtete Mindestneigungen, an denen Lawinen beobachtet wurden, sind: 16° (Öchslin), 15° (Gruber), Heß beobachtete eine große nasse Lawine bei 14° , Eugster Lawinen bei 11° . Ausführliche Angaben über Schneebeschaffenheit, Schichtenfolgen, Untergrund, Ausmaß bei diesen Lawinen fehlen.

Jedenfalls sind Lawinen bei solch geringen Neigungsgraden *seltene Ausnahmen*, und man darf annehmen, daß im allgemeinen Lawinengefahr erst bei *Neigungen über 20–22°* auftritt.

4. Durch die *Art (Form) der Ablagerung*: Normale Ablagerung, Schneebrett, Schneeschild, Gegenböschung usw.

5. Durch die *Beschaffenheit des Schnees* der direkt abgelagerten, wie der umgelagerten Schneeschichten.

Leicht in Bewegung gerät:

a) *Lockerschnee* (extrem „Wildschnee“ bei der geringsten Störung) in trockenem wie in feuchtem Zustand. Besonders bei Unterlage mit Gras, glattem Fels, Harscht oder Eis;

b) *Packschnee* stets *auf Lee*; besonders bei Gegenböschungen und Schneeschilden (vgl. S. 84 ff. u. S. 95);

c) *Preßschnee auf Luv*: Schneebretter. Besonders bei Schwimmschneeunterlage (vgl. S. 100);

d) *Schwimmschnee* (= Tiefenreif); besonders bei größerer Mächtigkeit über dem gewachsenen Boden, über Harscht- und Eisflächen (vgl. S. 45 ff., Profile Abb. 71 u. 72, S. 65 u. 66).

Jede Zunahme der Mächtigkeit der gefährlichen Schneeschichten, jede stärkere Wasserdurchtränkung (Bildung von Wasserhorizonten, vgl. S. 38 f., Abb. 70 u. 71, S. 64 u. 65 über Gleitflächen), sowie Glätte und einheitlich weite Ausdehnung der Unterlage steigert die Lawinengefahr (vgl. S. 94).

Trockener, normal abgelagerter Lockerschnee — mit Ausnahme des Wildschnees — und Graupel zeigen bei Störungen

durch den Menschen während und gleich nach dem Fall — solange sie noch keinen stärkeren Zusammenhalt haben, geringere Neigung abzufahren, wie z. B. eng gelagerter Packschnee oder jeder windgedrückte Schnee. Fehlen nennenswerter Spannungen. Trockener Lockerschnee hat so wenig Zusammenhalt, daß er in der Spur zusammenfällt und nicht als zusammenhängende Masse gestört wird. Graupel rutscht in der Spur sofort zusammen und rieselt, fließt am Hang leicht bergab.

Erst wenn ein gewisser Zusammenhang in den Neuschneeschichten geschaffen ist (leichtes Setzen, oder Druck durch Wind, oder Packung von Triebsschnee), wächst die Gefahr des Abbruchs in größeren Schichtmassen.

Von größtem Einfluß für Beweglichkeit und Gleitfähigkeit vom Untergrund ist die Temperatur während des Schneefalls und damit die Verbindung mit der Unterlage und die Beschaffenheit der aufgelagerten Massen.

Ich stellte fest, daß grobflockiger, in feuchtem Zustand gefallener Schnee sofort an der Harschtunterlage festklebte und daß dann nach Aufklaren und Eintritt niederer Temperatur dieser Lockerschnee bei dem Versuch, ihn als Lawine von steiler harschtiger Unterlage loszutreten, nicht abging. Er war sofort eine enge Verbindung mit der alten Harschtunterlage eingegangen.

Fällt Schnee bei Kälte — also feinflockig —, wird er als feinkörniger *Triebsschnee* auf *leeseitige* Hänge gepackt, die eine auch nur einigermaßen verfestigte Oberfläche haben, so herrscht *stärkste Lawinengefahr!* Trockene Locker-Packschnee-Lawinen (Gegenböschung, Schneeschilde) vgl. S. 85, Abb. 84.

Locker-, Pack- und Preßschnee sind stets als *oberste Schichten* abgelagert.

e) Der *verfirnte Schnee*. Je mehr mit der Zeit die Verfirnung (Körnchenbildung) (vgl. S. 30) und das Verfirnen der Firnkörner fortschreitet, desto stärker wird der Zusammenhalt der betr. Schneemassen, und damit hört Lawinengefahr überhaupt auf, solange nicht nachträgliche Durchnässung den Zusammenhalt der Körnchen wieder löst und als Schmiermittel wirkt.

Bei starker Durchnässung (mit Hohlraumbildung durch den Schmelzvorgang) wird die ganze Firnmasse erweicht und be-

weglich; es entsteht der sog. „*Faule Schnee*“ (Schweizer Volksausdruck: „Schlämmschnee“).

Die Wasserdurchträngung geht bei diesem Schnee im Frühjahr bis zum Boden durch; dann wird die ganze Masse beweglich und geht als schwere „*Nasse Altschnee*“ = *Firnschneelawine*“ ab. In subtropischen und tropischen Gegenden wird die „bodenlose Erweichung des Firms“ durch die Sonnenbestrahlung bei Tage so stark, daß man in dieser weichen Masse kaum vorwärts kommt. Die Erschwerung der Märsche ist so stark, daß man diese Art der Erweichung für Taktik und Zeiteinteilung bei Bergfahrten in diesen Gegenden (z. B. tropische Kordillere von Südamerika) besonders in Rechnung stellen muß.

Schneebewegungen.

A. Langsame Bewegungen, Kriechen.

Der Schnee zeigt, wie alles andere Lockermaterial, die *vertikale* Bewegung des „Sichsetzens“. Abgesehen von der raschen Lawinenbewegung, gibt es auch eine *langsame, kriechende Abwärtsbewegung* des Schnees am Hang. Dabei werden mehr oder weniger starke Druckwirkungen ausgeübt; es werden Hohlräume zusammengepreßt und die Lagerung der Teilchen wird dichter.

Der Geograph nennt die Lockermassen, welche sich in stetiger, wenn auch langsamer Abwärtsbewegung befinden, das „Gekriech“. Die Bewegung aller Lockermassen spielt für den Ingenieur eine sehr wichtige Rolle; der Forschungszweig der Erdbaumechanik beschäftigt sich eingehend mit diesen Fragen, und in jüngster Zeit beginnt man, sich in steigendem Maße mit den Bewegungsverhältnissen in den Schneeablagerungen zu beschäftigen und die praktischen Folgerungen für die Schnee- und Lawinenverbauungen zu ziehen.

Da der Schnee — je nach seiner Beschaffenheit — jeweils sehr verschiedenes Verhalten zeigt, werden auch die langsamen wie die raschen Bewegungen unter den verschiedenen Verhältnissen sehr verschieden nach Art und Wirkung sein.

Zur Feststellung der langsamen, kriechenden Bewegungsvorgänge erdachte ich folgende Versuchsanordnung (1926):

Ich versenkte senkrecht zur Bewegungsrichtung gestellte Brettchen (Zigarrenkistenholz), an denen verschieden lange Drähte mit roten Fähnchen befestigt waren. Diese Brettchen werden an verschieden geneigten Hängen: auf Rücken, in Mulden usw. in gerader Linie, in der Höhenschichtlinie angeordnet, so daß man nach gewisser Zeit die Ergebnisse der Bewegungen am Stand der Fähnchen erkennen kann; desgleichen die Stärke der Bewegungen in verschiedener Tiefe. Wie zu erwarten war, zeigte sich zunehmende Stärke der Bewegung in den oberen Teilen, abnehmende in der Tiefe. Unten stärkerer Reibungswiderstand; oben geringere Reibung und Addition der Eigenbewegung zu der der tieferen Lagen.

Neuerdings sind die Bewegungsvorgänge in exakter Weise durch Dipl.-Ing. Robert Häfele¹², Zürich, mit Hilfe besonders konstruierter Apparate (Kriechmesser = Kryokino- meter, Scheerapparate, Druckapparate, Zugapparat) untersucht worden.

Die experimentelle Bestimmung des *Schneedrucks* durch R. Häfele¹² ergab, daß die Mechanik des Schnees infolge der besonderen Eigenschaften dieses Materials von der Mechanik erdiger Massen abweicht. Man kann also nicht — wie man bisher meinte — die Berechnungen des Schneedrucks in analoger Weise erfolgen lassen, wie die des Endmaterials. Eine wichtige Ursache für diese Unterschiede dürften m. E. in den dauernd vor sich gehenden „*Zustandsänderungen*“ des Schneematerials (Schmelzung, Verdampfung, Regelation usw.) zu suchen sein.

Nähere Angaben über die Ergebnisse stehen noch aus; sie werden von besonderer praktischer Bedeutung für den Architekten und Ingenieur bei allen Bauten und Anlagen sein, die Schneedruck ausgesetzt sind, also bei der Lösung der Aufgabe, Konstruktionen und Bauten so zu gestalten und in der Natur anzuordnen, daß sie dem Schneedruck am besten entgegenwirken bzw. standhalten. —

Heß¹⁵ erwähnt, daß besonders der zusammengesinterte, also feinkörnige und voll Wasser gesogene Schnee auch bei langsamen *Kriechbewegungen erhebliche Wirkungen auf den Untergrund* ausüben.

Er reißt auf Weiden und an den Wildheuhängen nicht nur

die Grasnarbe auf, sondern wühlt auch den Boden 0,5 bis 1 Meter tief auf, wodurch Weide- und Wildheugebiete ganzer Hänge zerstört und in Schutthänge verwandelt werden können. Über hinreichende Schutzmaßnahmen gegen „Kriechschneeschäden“ gibt es noch keine befriedigenden Feststellungen. Bisher hat man nur Terrassenverbauung angewendet. Auch hier steht die Schneeforschung vor neuen Aufgaben.

Wie bei anderen Lockermaterialien (Schutt, toniges, lehmiges Material), z. B. bei Bergschliffen und Rutschungen, entstehen am Hang drei Spannungszonen: eine *obere Zone*, eine *mittlere, neutrale Zone* und eine *untere Druckzone*.

Bei der Schneebewegung am Hang kommt es aber — abgesehen von den dauernden Kriechbewegungen innerhalb des Materials — vor allem zu Bewegungen größerer Schneeschichtmassen auf Schicht- oder Gleitflächen.

Diese Bewegungen können auf flacheren und kürzeren Bahnen langsam verlaufen und bald zum Stehen kommen (kleinere *Schneerutsche*), oder sie erreichen — auf steileren und längeren Sturzbahnen — größere, ja z. T. außerordentliche Geschwindigkeiten.

Wenn die Bewegung rascher wird und die Massen weiter vom Ablagerungsort fortbewegt werden, sprechen wir von Lawinen.

B. Rasche Bewegungsvorgänge bei Lawinsturz.

Bei der Lawinenbildung setzt die Bewegung in der spannungsreichsten oberen Zugzone ein. Dort entstehen Risse und Abbruchränder, die, je nach der Geländegestaltung (Einmuldung, Rinne, Rücken wie beim Gletschereis oder dem Material bei Bergschliffen und Rutschungen aller Art), bald gerade, bald konkav, bald konvex verlaufen.

Es bedeutet eine unnötige Belastung der populären Literatur, wenn solchen allbekannten Erscheinungen komische Namen gegeben werden.

Ebenso bekannt bei allen Bewegungserscheinungen von Lockermaterial ist neben dem Entstehen von Zugspalten in den Zugregionen das Auftreten von Scherflächenklüften in den Mittelzonen am Hang, besonders an der Grenze zwischen dem

ruhenden und dem bewegten Schnee, sowie von Druckerscheinungen in Gestalt von Druckwülsten, Faltungen und Überschiebungen in den unteren Stauzonen.

Bei Lawinenstürzen treten folgende Arten von Bewegungserscheinungen auf:

1. Reine Bewegung der Luft, ohne Schneebeimischungen: Luftbewegungen.

2. Bewegung von schneeerfüllter Luft.

3. Reine Schneebewegungen: Bodenbewegungen.

4. Bewegungen des Schnees teils am Boden, teils in der Luft: Luft-Bodenbewegungen.

1. a) *Reine Luftbewegungen* entstehen in verschieden hohem Ausmaß *hinter* jeder Lawine dadurch, daß sich beim Losbruch ein luftverdünnter Raum bildet, gegen den die umgebende Luft nachstürzt, wodurch ein nach abwärts gerichteter Luftstrom erzeugt wird; ist der Schnee schwer oder verbacken, so wird dem Luftstrom kein Schnee beigemischt; b) *vor* jeder Lawine als Luftstau.

2. *Bewegungen von schneeerfüllter Luft* entstehen bei Losbruch von trockenem lockerstem (Wildschnee) und lockerem unverfrachtetem und verfrachtetem Schnee (s. S. 126).

3. *Reine Schneebewegungen* mit Verbleiben des Schnees am Boden (*Bodenbewegungen*) entstehen: a) Bei verfestigtem Trockenschnee, Schneebrettern, windgedrücktem Schnee, Altschnee auf Schwimmschnee, dichtgepacktem Packschnee bei nicht steiler Sturzbahn; b) bei feuchtem und nassem Schnee.

4. *Bewegungen des Schnees teils auf dem Boden, teils in der Luft (Luft-Bodenbewegungen)* erfolgen vor allem bei trockenem Lockerschnee und Packschnee auf mittelsteiler Bahn und rascherer Bewegung. Ein Teil des Schnees bleibt am Boden, ein Teil wird in die Luft gestäubt.

Bodenbewegung: Die Schichten oder Schichtfolgen brechen meist an glatter senkrechter Bruchfläche ab und *gleiten* fast stets als größere Masse (Schollenbildung bei trockenem, Knollenbildung bei feuchtem und nassem Schnee) auf der jeweiligen Unterlage verschiedenster Art ab. Sowie bei rascher Bewegung auf steiler Sturzbahn der Zusammenhalt der Teilchen mehr und mehr gestört wird, geht die Bewegung in eine *fließende*

über. Die Bewegung ist durch die verstärkte Reibung *in der Tiefe am langsamsten* — abgesehen von derjenigen in besonders beweglichen Gleithorizonten, wie wassererfüllten Schmierschichten und Schwimmschneelagen. Sie ist am raschesten in der Lawinenmitte und in den oberen Teilen, in denen sich die Eigenbewegung zu der tieferer Teile addiert.

Besonders bei trockenem Schnee überholen die oberen Massen bei steilerer Sturzbahn die tieferen, werden — vor allem im Staubegebiet — überschoben und gelangen an die Stirn des Staukegels. Das ist wichtig bei Feststellung der Lage von Verschütteten.

In Mulden der Gleitbahn wird der Schnee eingepreßt und oben abgeschert, wodurch Ausglättung und Verkürzung der Gleitbahn erfolgt. Alle Scherflächen zeigen Riefungen und Hohlkehlen. (Abb. 110—112.)

Bei Feucht- und Naßschnee bilden sich Knollen, Sprechers „Schneegerölle“, mit Durchmesser von wenigen Zentimetern bis über 2 Metern. (Abb. 113.)

Luftbewegung bei Lawinenstürzen.

Allgemeines.

Es ist eine altbekannte Tatsache, daß in Verbindung mit Lawinenstürzen sehr starke Luftbewegungen vor sich gehen können. Der Luftdruck deckt Dächer ab, bläst Häuser fort, legt — noch am jenseitigen Hang eines Tales — Wälder um, knickt mannsdicke Bäume wie Zündhölzer.

Diese Luftbewegung ist *um so stärker, je lockerer der Schnee* der betreffenden Lawine ist, am stärksten also bei der „Wildschneelawine“. —

Einst nahm man an, daß die Luft, von den stürzenden Schneemassen zusammengepreßt, vor der Lawine hergedrückt werde und so als „Orkan von der Lawine herbrause“. —

Diese alte Annahme wurde ungeprüft weitergegeben, und die kritiklose Übernahme und dauernde Weitergabe dieses „Volks Glaubens“ stempelte ihn zu einer Art Gewohnheitsgesetz.

Dr. med. R. Campell, Pontresina, war wohl der erste, der diese herkömmliche alte „Auffassung“ einer kritischen

Prüfung unterzog und eine neue Deutung gab. Campell und seine Nachfolger nehmen an, daß sich hinter den abgehenden Schneemassen ein „Vakuum“ — muß heißen „ein *luftverdünnter* Raum“¹ — bilde, und daß in dieses die umgebende Luft einströme und dann der Lawine folge — Sogvorgang.

An dieser Überlegung ist sicher etwas daran. Wir wissen, daß hinter jedem rasch bewegten Körper, z. B. einem fahrenden Auto, ein *luftverdünnter Raum* entsteht; wenn wir auf staubiger Straße plötzlich bremsen, wird er durch die vor-



Abb. 103. Durch Lockerschneelawine zerstörter Wald; vornehmlich Luftdruckwirkung.

getriebene Staubwolke deutlich. Es kommt auch *vor einem rasch bewegten Körper* zur Bildung eines *Luftstaues*, aber beide Erscheinungen reichen bei weitem nicht dazu aus, die Entstehung gewisser tatsächlich orkanartiger Luftbewegungen bei Lawinen zu erklären.

Es sind dann von anderer Seite (Zimmermann³⁶, Schlumpf²⁸, Bächtold² u. a.) eine Reihe weiterer Theorien über die Entstehung dieser Lawinenorkane aufgestellt worden, man sprach sogar von „Explosionen“; aber keine dieser Theorien gab eine befriedigende Lösung der Frage.

Da ich auf diesem sehr verwickelten physikalischen Gebiet durchaus Laie bin und mich daher nicht für berechtigt halte,

¹ Ein „Vakuum“, d. h. ein *luftleerer* Raum, entsteht nie.

zu den verschiedenen Theorien — und das könnte doch nur „gefühlsmäßig geschehen — kritisch Stellung zu nehmen, bat ich meinen Kollegen A. Wagner, Innsbruck, als Vertreter der Kosmischen Physik, sich zu dieser Frage zu äußern, worauf er mir seine nachstehend wiedergegebene Erklärung in liebenswürdiger Weise sandte.

A. Wagners Darlegungen sind so einfach und überzeugend, daß ich glaube, in ihnen die Lösung des Problems der orkanartigen Luftbewegung bei Lawinenstürzen erblicken zu dürfen. Sie erklären vor allem die früher so rätselhaft erscheinende Tatsache, daß die stärkste Entwicklung der Luftbewegung gerade beim lockersten, leichtesten, am feinsten in der Luft verteilten Schnee erfolgen muß.

Ich freue mich ganz besonders, diesen wertvollen Beitrag zur Lösung dieser Frage an dieser Stelle erstmals veröffentlichen zu können, und spreche seinem Autor den herzlichsten Dank aus.

Luftbewegung bei Lawinenstürzen.

Bemerkungen von Prof. Dr. A. Wagner, Innsbruck.

Tatsache ist, daß trockene Neuschneelawinen eine *erstaunlich große Wirkung* haben können, die man mit Rücksicht auf die lose Struktur des Schnees und die verhältnismäßig geringen Schneemassen, die an einer solchen Lawine beteiligt sind, nicht erwarten würde. Zur Erklärung sind — hauptsächlich von Laien — eine Reihe von Theorien aufgestellt worden, die gewiß manchen richtigen Kern enthalten, im übrigen aber durch phantastisches Beiwerk entwertet sind.

Es kann auch eine „Erklärung“ der gewaltigen Wirkungen nicht befriedigen, die einfach enorme Druckabweichungen als gegeben annimmt, ohne zu sagen, wieso letztere entstehen.

Ja, manche Autoren wollen sogar *aus* diesen Druckabweichungen die großen Geschwindigkeiten der Lawinenwolke „erklären“; andererseits sollen wieder umgekehrt die starken Druckunterschiede eine *Folge* der großen Geschwindigkeiten sein.

So kommt man nicht weiter. *Primär ist jedenfalls die Be-*

wegung. Ist einmal die Entstehung der enormen Fallgeschwindigkeiten der Lawinenwolke und der *rasche* Übergang von schnell bewegter Wolke aus ruhender Luft in der Umgebung erklärt, dann ergeben sich daraus ohne weiteres die großen Luftdruckänderungen in der nächsten Umgebung der Windlawine und damit auch die verheerenden Wirkungen.

Daß eine nasse „Firnschneelawine“ unter dem Einfluß der Schwerkraft eine erhebliche Geschwindigkeit erlangen kann, erscheint jedem selbstverständlich, der einmal Steine oder sonstige feste Körper hangabwärts rollen sah. Aber die feinverteilten Schneekristalle, aus welchen die Windlawine besteht, besitzen in ruhender Luft nur eine geringe Sinkgeschwindigkeit, gewiß nicht größer als 0,5 m/sek. Es erscheint von vornherein rätselhaft, wie sich trotzdem die gewaltigen Geschwindigkeiten entwickeln können.

Hier hilft, wie ich glaube, folgende Überlegung:

Die geringe Sinkgeschwindigkeit der Schneekristalle in ruhender Luft beruht offenbar auf der großen Reibung, die bei *relativer* Bewegung des Kristalls gegenüber der umgebenden Luft eintritt.

Diese Reibung ist besonders groß, weil die Schneekristalle bei sehr geringen Massen trotzdem einen relativ großen Querschnitt besitzen.

Wir dürfen nach sonstiger Erfahrung annehmen, daß *jeder Schneekristall von einer dünnen Lufthaut, etwa einem kugligen Lufttropfen von einigen Millimeter Durchmesser umgeben ist, welcher am Schneekristall haftet und mit ihm sinkt.*

Die *Ursache des Sinkens* liegt also darin, daß *jedes Luftkügelchen, welches einen Schneekristall als Kern enthält, ein etwas größeres Gewicht besitzt als ein gleich großes Kügelchen gewöhnlicher Luft in der nächsten Umgebung des Kristalls.*

Ist nun die Luft so stark mit Schneeteilchen erfüllt, daß sie in ihrer Gesamtheit an die Schneekristalle als Lufthäutchen gebunden erscheint, dann bewegen sich Luft und die in ihr fein verteilten Teilchen, die „Suspension“, einheitlich. Dann fällt die von Relativbewegung abhängige Reibung weg,

es fehlt gleichsam den Schneeteilchen das Luftpolster, auf welchem sie normalerweise schweben, denn dieses sinkt unter ihnen und mit ihnen mit ungefähr derselben Geschwindigkeit ebenfalls in die Tiefe.

In diesem Falle verhält sich die Schneewolke tatsächlich wie ein einheitliches Gas, welchem durch die Suspension eine größere Dichte erteilt worden ist.

Besteht etwa der hundertste Teil des Volumens aus Eis (= Schneeteile) ($10 \text{ kg Eis pro m}^3$), dann verhält sich *die Schneewolke wie ein Gas mit einer etwa zehnfachen Dichte gegenüber gewöhnlicher Luft.*

So wie z. B. eine zusammenhängende Quecksilbermasse in Wasser, so muß dann auch diese Schneewolke beim Absinken eine große Geschwindigkeit annehmen, vorausgesetzt, daß sie nicht allzuviel Bewegungsenergie an die umgebende, ursprünglich ruhende Luft infolge stürmischer, turbulenter Verwirbelung abgeben muß.

Je größer der Querschnitt der Lawinenwolke, desto geringer ist der prozentuelle Anteil der durch Reibung aufgezehrten Bewegungsenergie, desto größer auch die Endgeschwindigkeit, welche eine Windlawine erreichen kann.

Wichtig für die Beurteilung der Reibung, welche die schneegefüllte Luft in der umgebenden reinen Luft erfährt, ist die Dicke der Grenz- oder Übergangsschichte, in welcher die Geschwindigkeit vom Nullwert der Umgebung auf den großen Wert im Inneren der Windlawine ansteigt.

Nach den Beobachtungen scheint diese Grenzschichte zu meist sehr dünn zu sein, ein Zeichen sehr geringer Reibung; dies ist wohl bedingt durch den großen Dichteunterschied innen und außen.

Wenn die Lawinenluft als einheitliche kompakte Masse abwärts stürzt, dann ist auch ohne weiteres verständlich, warum ihre Geschwindigkeit weitaus größer werden kann als bei einer nassen Firnschneelawine; denn die Bodenreibung ist bei letzterer infolge der vielleicht hundertmal größeren Dichte des nassen Schnees gegenüber der Lawinenluft in einer Windlawine ganz wesentlich größer und verzehrt daher einen viel größeren Anteil an Bewegungsenergie.

Was die Bedeutung der *Wirbelbildung* an der ganzen Erscheinung einer Windlawine betrifft, kann folgendes gesagt werden: Jede Unregelmäßigkeit am Hang, jedes Hindernis muß die Strombahnen der Schneewolke deformieren; es bilden sich Wirbel, welche einen Energieverlust für die Lawine bedeuten. Das plötzliche Heranschießen solcher Wirbel mag dann vielleicht vom Laien als „Explosion“ gedeutet werden.

Bezeichnend ist aber, daß der Schneestaub, der aus der kompakten Lawinenwolke herausgewirbelt wird, alsbald seine Bewegungsenergie verliert: die Schneeteilchen verteilen sich rasch auf ein größeres Luftvolumen, es ist wieder Überschuß an Luft da, auf welchem die Schneeteilchen wie auf einem Polster schweben können, und in kürzester Zeit fallen die Schneekristalle nur mehr mit ihrer normalen Sinkgeschwindigkeit.

Nach Ansicht verschiedener Autoren spielt Kompressionswärme, welche beim Herabstürzen der Lawinenluft infolge des Luftdrucks nach unten auftritt, eine besondere Rolle bei der Entstehung großer Luftdruckänderungen. Wie aber eine einfache Überlegung lehrt, *kommt eine solche Hitzwirkung*, die sogar zum Schmelzen oder Verdunsten der Eiskristalle führen soll, gar *nicht in Frage*: wohl erwärmt sich trockene Luft beim Herabsinken infolge des zunehmenden Luftdruckes um rund 1°C pro 100 m Höhendifferenz; die spezifische Wärme der Luft beträgt aber nur rund $\frac{1}{3000}$ der spezifischen Wärme des Wassers; der Wärmeüberschuß der herabstürzenden Luft wird daher im allgemeinen in ihrer Gesamtheit für eine *mäßige* Erwärmung der mitgeführten Schneeteilchen verbraucht, wobei sogar die Lawinenwolke bei einigermaßen normaler Temperaturabnahme mit der Höhe kälter bleibt als die umgebende Luft.

Beispiel: Bei einem Gefälle von 1000 m erwärmt sich trockene Luft um rund 10° ; herrscht in der umgebenden Luft eine vertikale Temperaturabnahme von $0,5^{\circ}\text{C}$ pro 100 m Erhebung, so kommt die herabsinkende Luft unten mit einer Temperatur an, die um 5°C unter der ungestörten Temperatur im unteren Niveau liegt.

Die in der herabstürzenden Trockenluft frei gewordene Wärmemenge beträgt infolge der geringen spezifischen Wärme der Luft nur rund 1,5 Kilokalorien¹ pro m³, die also nur hinreicht, um 1 kg suspendierten Schnee um rund 1,5° zu erwärmen.

Dadurch wird im vorliegenden Beispiel — wenn wir eine Schneesuspension von nur 1 kg im Kubikmeter annehmen — lediglich das Temperaturdefizit des Schnees von -5° C auf -3,5° C verkleinert; die Mitteltemperatur der Schneewolke bleibt aber niedriger als die Temperatur der ungestörten Außenluft im selben Niveau.

Selbst wenn sich in der trockenen Luft einer Lawinenwolke — wie verschiedene Autoren annehmen — durch einen außerordentlich großen Druckanstieg an der Stirnseite der Windlawine sehr stark, z. B. um 30° C erwärmen würde, so würde diese Kompressionswärme doch nur hinreichen, um eine Schneesuspension von 10 kg/m³ um 1° C zu erwärmen.

Man kann sagen, daß sich auch beträchtliche Druckänderungen in einer solchen Schneewolke angenähert ohne Temperaturänderungen abspielen, da die große Fähigkeit des mitgeführten Schnees, Wärme in sich aufzunehmen, alle Temperaturschwankungen der Trockenluft fast vollständig ausgleicht.

Da für das Schmelzen von 1 kg Schnee rund 80 Kilokalorien erforderlich sind, kommt eine nennenswerte Schneeschmelze bei Windlawinen gar nicht in Frage; noch verfehler ist es, an ein Verdunsten der Schneeteilchen infolge einer „Hitzewirkung“ im Lawinenkörper und an ein Auskristallisieren nach Aufhören der Bewegung zu denken.

Die vorliegenden Betrachtungen führen zu dem Ergebnis, daß zum Wesen einer Windlawine ein bis zum Höchstmaß mit Schneeteilchen erfüllter Luftkörper gehört, dessen Dichte infolge der Schneesuspension auf ein Mehrfaches des Normalwertes vergrößert ist, und der wie ein kompakter Körper in der viel leichteren umgebenden Luft herabfällt; durch die Erdbeschleunigung kann dann die Lawinenwolke mit Rück-

¹ Die sog. *große* Wärmeeinheit, die der Wärmemenge entspricht, die erforderlich ist, um 1 kg Wasser um 1° C zu erwärmen.

sicht auf die geringe Bodenreibung eine enorme Endgeschwindigkeit erlangen.

Alles, was sonst noch bei den Windlawinen zur Beobachtung gelangt, ist sekundärer Natur.

Natürlich bildet sich an der Stirnseite der Lawinenwolke — so wie bei jedem rasch bewegten Körper — ein Luftstau, hinter dem Lawinenkörper ein luftverdünnter Raum; und ebenso selbstverständlich ist es, daß beim Vorüberwandern solcher kräftiger Druckstörungen auch außerhalb des Lawinenkörpers unter Umständen verheerende Wirkungen auftreten, die auf solche Druckänderungen zurückgeführt werden müssen.

Das Lawinenereignis am Piz Munschuns.

Ein besonders lehrreicher Fall ereignete sich am 9. März 1927 am Piz Munschuns (2658 m) bei Compatsch im Samnaun. Nach Berichten, die ich einerseits Herrn Oberst Schlemmer und andererseits Herrn C. G. Lang, welche beide bald nach dem Unfall in Compatsch eintrafen, verdanke, spielte sich das Ereignis etwa folgendermaßen ab:

Wie in den Vortagen stürmte und schneite es am 7./8. März. Der Wind hielt bis zum 9. mittags an. Es hatte also typisches „Guxwetter“ mit überaus starkem Tribschneetransport geherrscht. Die Leeseiten der stumpfen Pyramide des Piz Munschuns waren an den Flanken und ihren weiten Einmuldungen mit Schnee überladen!

Bei der Ankunft in Compatsch erfuhren Herr Lang und sein Kamerad Dr. Gutowski, daß eine Partie, die am Nachmittag den Berg angegangen hatte, verschüttet worden sei. Beide gingen sofort weiter zur Unfallstelle und erreichten sie nach Anbruch der Dunkelheit. Die Rettungsmannschaft hatte gerade einen Verunglückten, dessen einer Ski herausragte, tot geborgen. Drei weitere Tote fand man erst am folgenden Tag.

Der Hergang war folgender: Eine Dreierpartie wählte — nach Oberst Schlemmer die N-Flanke, nach C. G. Lang die SW(?) -Flanke —, also jedenfalls *fälschlicherweise* eine der mit Schnee überlasteten *Flanken* zum Anstieg und trat eine

Lawine los, die alle drei mitriß, begrub und tötete. Eine *Zweierpartie* hatte unabhängig — und bei den herrschenden Schneeverhältnissen *vollkommen richtig* — den *NO-Grat* zum Anstieg gewählt. Ein Teilnehmer wollte die so unerhört falsch gehende *Dreierpartie* warnen und fuhr vom Grat etwa 20 m in den Hang hinein. In diesem Augenblick wurde die Lawine von der *Dreierpartie* gelöst und ward auch dem Warner zum Verhängnis. Er wurde hinabgeschleudert, in die Lawine hineingerissen und getötet. Sogar *der* beträchtlich *oberhalb* der Abbruchlinie *auf dem Grate* stehende Skiläufer wurde *durch den Luftdruck umgerissen*, etwa 40 m in die Tiefe geschleudert und verletzt. Er konnte trotzdem zu Tal gelangen und die Rettungsmannschaft alarmieren. Es liegt hier der meines Wissens bis jetzt noch nicht beobachtete einzigartige Fall vor, daß Menschen, welche *oberhalb* der Abbruchlinie einer abgehenden Lawine standen, durch den plötzlich einwirkenden heftigen Luftdruck hinter der Lawine aus dem Stand und sogar in die Lawine hineingerissen wurden.

Zu dieser Frage schreibt mir auf meine Anfrage Kollege Schmauß, München: „Beim Abgang einer Lawine entsteht hinter ihr eine Druckverminderung, über deren Betrag sich heute Aussagen kaum machen lassen. Für die Wirkung derselben sind drei Gesichtspunkte vor allem maßgebend: Die große Oberfläche, mit der ein aufrecht stehender Mann von einem Unterdruck erfaßt wird; der große Hebelarm, mit dem diese Druckkraft angreift (Abstand des Schwerpunktes der Druckkräfte vom Boden), und die Wirkung der Überraschung, die es dem von der Druckerniedrigung betroffenen Menschen unmöglich macht, seiner Muskulatur den Auftrag zur Standortsbefestigung rechtzeitig zu geben.

Nehmen wir z. B. ganz bescheiden an, daß ein wirksamer Unterdruck von nur $\frac{1}{500}$ Atmosphärendruck auf einen Menschen von $\frac{1}{2}$ qm Oberfläche wirkt, dann kommen 10 kg heraus, die mit großem Hebelarm den unvorbereiteten Menschen treffend seiner Standfestigkeit auf schiefer Ebene gefährlich werden können. Sehr wahrscheinlich ist aber der Über- bzw. Unterdruck höher als $\frac{1}{500}$ Atmosphäre, so daß sich die Druckwirkung entsprechend erhöht.“

Ein Angestellter der Jungfraubahn erzählte mir, daß ihm beim Abfahren der großen Eigerlawine, die ziemlich tief unter ihm vorbeibrauste, die Luft so stark durch die Atmungsorgane in die Lunge gepreßt wurde, daß er die heftigsten Schmerzen verspürte, da er gleichsam aufgeblasen wurde.

VIII. Lawinen-Einteilung.

Allgemeines.

Wir sahen, daß der Schnee in durch Pausen unterbrochene Schneefall- und Verfrachtungsperioden in Form von *Schichten* abgelagert wird. Wir sahen ferner, daß er nach seiner Ablagerung sehr bezeichnende Veränderungen („Diagenese“, S. 29) durchmacht, durch welche ganze Schichten oder Teile derselben erfaßt werden. Dabei erfolgt teils Verfestigung durch Verfirnung und Bildung harter und glatter Oberflächen = Gleitflächen, Harschtbildung, Firnspiegel, Vereisung; teils Schmierschichtbildung durch Wasserdurchtränkung, teils Lockerung durch Schwimmschneebildung.

Die Bildung glatter Gleitflächen, das Vorhandensein glatter Unterlagen auf dem gewachsenen Boden sowie die Einschaltung von feuchten, nassen oder trockenen Gleitschichten, sowie die Bildung von Preßschnee und „Packschnee“ sind die Hauptvorbereitung für Lawinenbildung.

Alle Lawinen — mit Ausnahme der meisten Firnelawinen — *sind schichtgebunden*. Es ist deshalb ein Unsinn, wenn neuerdings einige wenige (Coaz, „Oberlawinen“) als „Schichtlawinen“ bezeichnet werden, da eben alle Lawinen „Schichtlawinen“ sind.

Für jede naturwissenschaftliche Systematik, die auch für die Praxis notwendig ist, können nur „genetische“ Gesichtspunkte maßgebend sein, d. h. die ausschlaggebenden Ursachen für die Entstehung, Entwicklung und Gestalt der Naturgebilde müssen die Grundlagen für die Art der Einteilung (Systematik) abgeben und nicht irgendwie für die Entstehung

nebensächliche oder zufällige Tatsachen, die — in unserem Falle mit der Bildung und Erscheinungsform der Lawinen — in keinerlei *ursächlichem* Zusammenhang stehen.

Ich habe daher seit langer Zeit (1907) die Lawinen auf *Grund ihrer Entstehungsbedingungen* eingeteilt. Am stärksten bedingt werden die verschiedenen Erscheinungsformen der Lawinen durch die *Beschaffenheit des Schnees*. Durch die verschiedenen physikalischen Eigentümlichkeiten, die der frisch gefallene, wie der verfrachtete Schnee aufweist und die er nach seiner *Ablagerung* erhält, werden die Vorbedingungen für Lockersein, Verfestigung, Haftfähigkeit, nachträgliche Lockerung: also die verschiedenen Beweglichkeitsgrade und die Bewegungsarten des Schnees und die „Spannungserscheinungen“ im Schnee bedingt. Diese — inzwischen weiter durchgearbeitete — Einteilung fand im Grundsätzlichen fast allgemeine Annahme. Ich behielt und behalte aus praktischen Gründen die mit den Erscheinungs- und Bewegungsarten des Schnees in engstem Zusammenhang stehenden Bezeichnungen *Neuschnee* und *Altschnee* als *zusätzliche* Erläuterungen bei und fügte diesen beiden Begriffen noch die der Triebschneegebilde *Preßschnee* und *Packschnee* hinzu.

Die alten aus dem „Volksmund“ entnommenen Namen *Staublawine* und *Grundlawine* müssen unbedingt aufgegeben werden, da sie keine eindeutigen Begriffe darstellen, sondern schon durch den Wortlaut ihres Namens dauernd zu den größten Irrtümern Veranlassung geben.

Die oberflächlichen Beobachter — und das sind die meisten Skiläufer und Bergsteiger — sowie „das Volk“ bezeichnen alle Lawinen, bei denen Schneewolken aufstäuben, mit dem bequemen Sammelnamen „Staublawinen“. Es entwickeln aber Lawinen *verschiedensten Ursprungs* — und darauf kommt es an — große Staubwolken, ohne daß stäubender Lockerschnee *Ursache* dieser Lawinen war, oder der Masse nach überhaupt nennenswert an ihnen beteiligt ist. So liest man z. B. noch heute sogar in populären Schriften über Lawinen unter den Abbildungen aufstäubender „*Firneislawinen*“, die durch Losbrechen von harten Eismassen (von Gletscherbrüchen an Steilabstürzen) entstanden, weil man eine Schneestaubwolke

sieht, die naiv nach dem oberflächlichen Eindruck gewählte Bezeichnung „Staublawine“. —

Hier besteht die Hauptmasse der Lawine aus harten Eisbrocken, die durch Aufschlagen zerstäuben und vielleicht auch etwas auflagernden oder auf ihrem Wege befindlichen Lockerschnee mitreißen. Mit einer stäubenden Lockerschneelawine (die alte „Staublawine“ des „Volksmundes“) haben diese Firneislawinen aber gar nichts zu tun. Die *Hauptgefahr* für den Menschen, der in die Sturzbahn einer solchen Lawine kommt, droht durch die *Eisblöcke*, die ihn erschlagen.

Ebenso viele Unklarheiten werden durch die Anwendung der alten Bezeichnung „Grundlawine“ hervorgerufen, weil der Laie bei Beschreibungen von Lawinenvorkommnissen alle Lawinen, bei denen man nach Abgang den „Grund“, d. h. den „*gewachsenen Boden*“ sieht, wahllos als Grundlawine zu bezeichnen pflegt. Es kann aber fast *jede Lawinenart* (die trockene, die feuchte Lockerschneelawine, das Schneebrett, die nasse Firnschneelawine = echte Grundlawine) und vor allem die „Schwimmschneelawine“ vom „Grund“ abgleiten. Deshalb müssen wir zur Vermeidung dauernder Irrtümer diese alte Bezeichnung ausmerzen (vgl. S. 148, 152, 157).

„*Mischlawinen*“ sind fast alle Lawinen außer den „Oberlawinen“, die meist nur aus einer Schneeart bestehen. Aber *stets* wird *eine Schneeart* die *Ursache für das Entstehen der betr. Lawine* sein, und *diese Schneeart gibt dann der Lawine den Namen*. Das beste *Beispiel* ist die „*Schwimmschneelawine*“, bei welcher der „Schwimmschnee“ Ursache und Voraussetzung für ihre Entstehung ist; bei welcher aber stets alle auf dem Schwimmschneehorizont liegenden höheren Schichten als Lawine mit abgehen. Zur Schilderung einer „Mischlawine“ gehört also stets namengebende Angabe der ihre Bildung *bedingenden Schneeart* und Mitteilung des Profils der anderen mitgerissenen Schichten.

Ein gütiges Geschick bewahre uns aber vor der besonderen Benennung aller Kombinationsmöglichkeiten von „Mischlawinen“! —

Spezielles.

Vgl. Tabelle S. 210—211.

Durch die *Schneebeschaffenheit* ist die Lawinenbildung in erster Linie bedingt (vgl. S. 134 sowie Abb. 71, 72, S. 65, 66); eine weitere sehr wichtige Voraussetzung für die Lawinenentstehung ist die Art der *Schneeablagerung* (vgl. S. 68 ff. sowie Abb. 84, S. 85, und Abb. 90, S. 94).

Wir müssen also die Art der *Schneebeschaffenheit* in erster Linie zur Aufstellung und sachgemäßen Benennung einer natürlichen Einteilung der Lawinen wählen und die *Ablagerungsart* außerdem besonders berücksichtigen. Die Nomenclatur muß so eindeutig wie möglich sein.

Wir unterscheiden (vgl. Übersichtstabelle):

- A. Trockenschneelawinen.
- B. Feuchtschnee- und Naßschneelawinen.
- C. Eislawinen.

A. Trockenschneelawinen:

Schneebeschaffenheit: trocken. Entstehung erstens nach Neuschneefällen bei niederen Temperaturen, wenn nach der Ablagerung noch keine nennenswerten (diagenetischen) Veränderungen in den Schneemassen vor sich gegangen sind, und zweitens, wenn durch den Wind *Triebschnee* gebildet (vgl. S. 70) und verfrachtet und als „*Preßschnee*“ oder als „*Packschnee*“ abgelagert worden ist.

I. *Lockerschneelawinen*: Der *trockene* Schnee ist *locker*, durch den Neuschneefall aus der Luft über weite Gebiete (regional) als *oberste Schicht* abgelagert oder als *Triebschnee* nach *Lee* verfrachtet (örtlich und regional!).

1. *Unverfrachteter Schnee*: Nicht vom Wind vertragen; die Schneekristalle sind z. T. in ihrer Form erhalten, vereinzelt oder in Flocken über weite Gebiete aus der Luft „sperrig“ *locker* abgelagert.

a) **Wildschneelawinen**¹: Schnee in Einzelkristallen oder kleinsten Flöckchen bei sehr niedriger Temperatur (— 10 bis

¹ Zum Teil wörtlich nach Hess¹⁴ (Alpen 1931 und Eidg. Dep. d. Inneren 1936).

— 30°) gefallen, sehr leicht (sp. Gew. 0,01 bis 0,05); überaus locker, sehr beweglich, *durch einen Hauch wegzublasen*, flattert wie Flaum auseinander.

Dieser „Wildschnee“ geht von glatter Unterlage wegen Mangels an Zusammenhalt sehr leicht ab. Die kleinste Ursache: Schneeabfall von den Bäumen, ein Windstoß veranlaßt das Losgehen des Wildschnees, der während der Bewegung locker bleibt und zu einer Schneewolke auseinanderfährt.

Wildschnee fällt bei Windstille — ist also nie windgepreßt oder gepackt — und gleitet lautlos ab; die an einer Stelle begonnene Bewegung pflanzt sich unmittelbar auf die hangabwärts liegenden Massen fort, so daß die Bewegung sich alsbald auf weite Hanggebiete fortpflanzt. Wildschnee kann überall abgleiten, auch in lichten Wäldern und auf bestockten Weiden. Er durchfährt auch normale dichtere Bestände. Nach Erreichen einer gewissen Geschwindigkeit werden die obersten Schneeschichten durch den entgegenwirkenden Luftwiderstand in die Luft emporgehoben; es entsteht eine Schneewolke, deren Höhe und Geschwindigkeit wechselt; die Luft wird (nach Heß) vor der Lawine fortgedrängt und wirkt bei Auftreffen auf Widerstände: Bäume, Häuser, Mauern usf. verheerend (vgl. Abb. 103, S. 125). Der Wildschnee dringt in die feinsten Fugen ein (vgl. S. 124).

Nach schweizerischen Beobachtungen brachen Wildschneelawinen besonders los, wenn der Wildschnee in größerer Mächtigkeit abgelagert wurde.

Oberförster Eugster-Brig beobachtete am 19./20. II. 1918 während Neuschneefalls Schneedichten von 0,02 „Wildschnee“. Samstag den 21. war die Dichte, nachdem der Neuschneefall seit etwa 5 Stunden aufgehört hatte — also schon ganz leichtes „Setzen“ erfolgt war —, auf 0,05 gestiegen. Im Laufe des Vormittags hatte die Temperatur 0° erreicht, und als dann mittags die Schneedichte auf 0,1 gestiegen war, hatte die Lawinengefahr abgenommen.

Bisweilen wird der Wildschnee während des Falles während des Sturzes vollkommen in die Luft zerstäubt und gelangt nicht zu Tal.

Die Gewalt der Wildschneelawinen ist groß. Wildschneelawinen verschoben Ställe um 0,50 bis 3,00 m, zerstörten Häuser, drückten Mauern ein. Sie dringen in die Häuser ein. In einem Haus einer Camsitfabrik in Schratz (Wallis) wurden drei schwere Kassenschränke von der Wand bis in die Mitte des Zimmers geschoben. Bei Brig drang der Wildschnee durch das Fenster ein und deckte die im Bett liegenden Familieneltern zu. Beide wären erstickt, wenn nicht das 9jährige Kind aus der Nebenstube sofort herbeigeeilt wäre und den Eltern durch Wegscharren des gepreßten Schnees Luft verschafft hätte. In den Räumen lag 1,50 bis 1,56 m Pulverschnee vom spezifischen Gewicht von 0,2. Eine 60 cm dicke Mauer war durch den Anprall gesprengt worden und zeigte mehrere 1,2 cm breite Risse. Die Wildschneelawinen sind erfreulicherweise verhältnismäßig selten; sie spielen für den Wintertouristen kaum eine bemerkenswerte Rolle. Aber ihre verheerenden Wirkungen zwingen den Menschen, auf Schutzmaßnahmen zu sinnen. Vgl. Kapitel Lawinenschutz (Verbauungen). —

b) Locker-Pulverschneelawinen (trockene). Schnee in kleinen bis mittleren Flocken bei niedrigen Temperaturen gefallen; leicht, trocken, locker; leicht beweglich. Spezifisches Gewicht 0,05 bis 0,1.

Als oberste Lage direkt abgelagert; nicht oder kaum vom Wind verfrachteter, über weite Gebiete (regional) gleichmäßig abgesetzter *Neuschnee*. —

Das Material dieser Schneeart liefert also in dieser Beschaffenheit stets der *letzte Schneefall*, und es handelt sich immer um die *oberste Schicht*.

Diese Schneeart geht von glatter Unterlage: Gras, glatter Fels, Eis, Harscht, leicht von allein ab, und zwar dann, wenn das Eigengewicht der Schneemasse (Mächtigkeit) so stark ist, daß es die Reibung mit der Unterlage überwindet (je steiler die Neigung, um so leichter), oder wenn Störungen von außen einwirken: z. B. plötzliche Belastung oder Erschütterung durch Auffallen eines Wächtenstückchens, eines Steines (im Krieg durch Artilleriefeuer; im Frieden durch Losschießen und Entlastung überbelasteter Hänge durch Minenwerfer zur

gewollten Zeit) oder Belastung und Anschneiden (Unterschneiden) der Schicht durch einen Skiläufer usw.

Auch diese Lockermassen brechen an scharfem Abbruchrand los, und zwar zuerst als geschlossene Schicht, die rasch Querrisse bekommt, sich anfangs in Schollen zerteilt (Abb. 121, S. 168) und dann als brodelnde Masse talabgleitet.



Abb. 104. Kleinere trockene Lockerschneelawinen. Unten am Gefällbruch von Skiläufern losgelöst; oben unter dem Kamm wahrscheinlich durch auffallende Schneebrocken gelöst. Hahnenmoos. (Photo: Gyger-Adelboden.)

Das Verhalten des trockenen Lockerschnees ist bei dem Sturz je nach Steilheit, Länge und Form der Sturzbahn verschieden. Bei glatter, nicht zu steiler Sturzbahn gleitet eine verhältnismäßig große Menge von Schnee am Boden weiter und nimmt dabei naturgemäß durch Reibung und Druck an Dichte zu; es kann bei der Bewegung am Boden zu leichter Knollenbildung kommen, während die oberflächlichen Massen zu einer Schneewolke emporgestäubt werden. Je steiler die

Sturzbahn ist, desto mehr Schnee wird emporgestäubt und dann vom Luftstrom (vgl. S. 126) in das Vorgelände des Ablagerungskegels, in dem sich der am Boden verbliebene Schnee staut und zusammengepreßt wird, getragen und dort abgelagert.

Diese Lawinenart erzeugt besonders starke Luftbewegungen, und zwar wirkt der Luftdruck weit in das Vorgelände und richtet dort oft sehr starken Schaden an. —

Die Wirkungen der Luftströmungen sind verheerend: Dächer werden abgehoben, Häuserwände werden eingedrückt, Heustadel werden weggefegt, der Wald im Strömungsbereich dieses Orkans wird fortrasiert, manns hohe Bäume werden noch am Gegenhang, gegen den der Luftstrom anprallt, geknickt wie Zündhölzer. (Abb. 103, S. 125.)

Durch solche stäubende, trockene Lockerschneelawinen werden — mit Besinnung raubender Bewegung — die Menschen mit unwiderstehlicher Gewalt mitgerissen, fortgewirbelt, der Besinnung beraubt, gegen Felsen geschlagen. Die *Hauptgefahr*, welche dem Menschen durch diese stäubenden Lawinen droht, besteht darin, daß der feine Schneestaub durch Mund und Nase in die Atmungsorgane dringt. Die feinen Lungenbläschen werden mit feinem Schneestaub erfüllt, der sofort schmilzt und die Lungenbläschen mit Wasser erfüllt. Folge dieser Schnee-Einatmung ist *Erstickungstod*.

Schutzmaßnahmen: Vor Betreten — Queren — des Hanges Feststellung der Mächtigkeit und Ausdehnung der von Lockerschnee bedeckten Fläche (auf der Karte: enge Stellung der Höhengichtlinien). *Feststellung des Neigungswinkels* (Neigungsmesser!) und der Beschaffenheit der Unterlage (Glätte, Härte), auf der die oberste Neuschneelage ruht. Bei größerer Mächtigkeit, glatter Unterlage und stärkerer Neigung — über 22° — den Hang nicht betreten.

Wenn ein Hang auch nur einigermaßen Lockerschneelawinen verdächtig ist und *unbedingt* passiert werden muß, vor Betreten Seidentuch oder Wollschal vor Mund und Nase binden! —

Ganz lockerer Trockenschnee, bei dem die Skispur nicht „hält“, da der Schnee sofort über die furchenden Ski und die leere Spur zusammenfällt (während starker Neuschnee-

fälle bei niederer Temperatur), ist weniger gefährlich als leicht gesetzter Schnee, der noch keine innigere Verbindung mit seiner Unterlage eingegangen ist. Die Haftung wird fester, sowie nach längerem Setzen diese Verbindung mit der Unterlage hergestellt ist.

Bei den Trockenschneelawinen staut sich der am Boden gleitende, während der Bewegung zusammengepreßte Schnee zuerst als Staukegel, und der nachfolgende, weniger dichte Schnee stürzt über ihn weg und lagert sich — und den mitgerissenen — bei rascher Bewegung an der *Lawinstirn* ab. Bei langsamerer Bewegung auf weniger steiler Sturzbahn staut er sich hinter dem Hauptstaukegel.

Auf *Schneeunterlage* wird die Verbindung (und damit Haftung) bei Neuschneefall um so inniger, je ähnlicher die Beschaffenheit des aufgelagerten Schnees mit dem der Unterlage ist (am besten Lockerschnee auf Lockerschnee, weniger, je stärker die Veränderung ist, die der ältere Schnee durchgemacht hat, am wenigsten auf Harscht und Eis).

Gering ist die Verbindung mit Felsunterlage, ebenso gering ist die Haftfestigkeit auf Grasschöpfen. Von dieser Haftmöglichkeit hängt die Stärke der Lawinengefahr ab.

Die Stärke der Verbindung kann — an sicherer Stelle (eventuell Seilsicherung!) — durch Antreten mit Ski, Graben mit Lawinenschaufel oder Sondierung (vgl. Sondierungsübungen!) festgestellt werden. (S. 196.)

Befindet man sich oben am Hang oder will von einem Joch oder Grat aus einen Hang queren, so kann ein Teilnehmer am Seil gesichert versuchen, durch scharfes Einfahren auf kurze Strecke mit halber Schneepflugstellung, oder Aufspringen, den Schnee loszutreten (besonders von glatten Unterlagen), um die oberste Schicht als Lawine in Bewegung zu setzen. Solche Experimente dürfen aber *nur erfahrene alpine Skiläufer* machen!

Ist dann die Lawine abgegangen, so kann man ungefährdet über die freigefegte Bahn abfahren. Vgl. allgemeine Verhaltensmaßregeln bei Lawinengefahr S. 175 ff. — An lawinenverdächtigen Hängen nie Schwünge reißen, keine Quersprünge machen. Stürze vermeiden! —

2. Verfrachteter Schnee.

c) **Packschneelawinen:** (= Gegenböschungslawinen und Schneeschildlawinen). Diese Lawinenart ist nach meinen Feststellungen *die* für den Wintertouristen *gefährlichste*: erstens weil die Leehänge auf weite Strecken am stärksten mit



Abb. 105. Gegenböschungslawine aus Packschnee am Nüllisgrätli bei Davos (Ende Januar). (Photo: E. Meerkämper-Davos.)

Packschnee wurde mit auskeilender Feinschichtung auf Lee eines NNO-Hanges abgelagert. Gleichzeitig mit Packung erfolgte hier am Kamm Winddruck, der die Verdichtung verstärkte. In der Hauptspannungszone (Gegenböschung) unterhalb des Kammes riß die Schneemasse los und glitt in Schollen ab. Unterhalb der zusammenhängenden Packschneemasse hatte sich offenbar „Schwimmschnee“ gebildet, der als *weit durchgehender* Gleithorizont wirkte.

Schnee überlastet sind, zweitens weil die (S. 84) geschilderten Lagerungsformen (Gegenböschung, Schneeschild [Abb. 84, 89, 90]) leichteste Loslösung durch Anschneiden bedingen, und drittens weil alle Packschneeablagerungen auf Lee die am stärksten ausgesprochene Schichtung aufweisen. Da überdies in unseren Gebirgen vorwiegend die schattigen Ost- und Nord-

osthänge die ausgesprochenen Leehänge sind und den besten „Skischnee“ aufweisen, werden sie mit besonderer Vorliebe zur sausenden Abfahrt „im Pulver“ bevorzugt. Also Vorsicht an allen Leehängen! —

Der als Tribschnee auf Lee abgelagerte „Packschnee“ (vgl. S. 74) weist verhältnismäßig innigen Zusammenhang innerhalb der Schichten auf. Folge davon ist, daß sich in ihm stärker als im gewöhnlichen Lockerschnee Spannungen entwickeln, die besonders bei Störungen durch Skiläufer ausgelöst werden.

Packschnee ist normalerweise verhältnismäßig locker; der Ski fürcht eine kräftige Spur, ohne tief einzusinken wie beim normalen Lockerschnee. Er zeigt — wenn keine *nachträgliche*, durch Umspringen des Windes erzeugte Winddruck- oder Preßwirkung erfolgt ist — keine Krustenbildung wie der windgedrückte (Abb. 72 d, S. 66) und der vom Wind angewehte Preßschnee.

Die *gefährlichsten Störungsstellen* befinden sich *am Fuße* der „*Gegenböschungen* und der *Schneeschilder*“ in der auf Abb. 84, S. 85 bezeichneten Gegend. Dort liegen die Zonen geringster Mächtigkeit, so daß an diesen Stellen die nach oben stark an Mächtigkeit anschwellenden Massen bis auf oder nahe an die glatte Unterlage durchschnitten werden. Damit können die Spannungen ausgelöst und der Zusammenhang gestört werden; ferner Abb. 90, S. 94.

Wenn an solchen Stellen der unerfahrene Skiläufer z. B. nur wenige Zentimeter Lockerschnee auf Harscht (oder einer anderen glatten Unterlage) beobachtet, ahnt er nicht, daß diese scheinbar harmlose Lage *oben große Mächtigkeit* besitzt, daß dort enorme Lasten, die ihn mit ihrer Wucht fortreißen, abfahrtbereit lasten.

Packschnee bricht natürlich auch — je nach der Geländegestaltung — in gerader Linie, in konvexem oder konkavem Bogen an scharfem Bruchrand ab; bildet als zusammenhängende Masse (Schicht) zuerst Querklüfte, dann zerteilt er sich in Schollen, die je nach der Steilheit der Sturzbahn zusammengeschoben, leicht knollig werden oder mehr oder weniger stark zerstäuben. Der Zusammenhalt in Packschnee-

massen ist naturgemäß stärker als im normalen Lockerschnee. (Abb. 107 u. 116--118.)

Diese Lawinenart wird leider in fast allen Veröffentlichungen (im Text und auf Abbildungen) *fälschlicherweise* als „Schneebrettlawine“ bezeichnet und mit dieser auf die Luvhänge und windumspieltten Kämme und Grate beschränkten Lawinenart verwechselt.



Abb. 106. Schneeschild, welches leicht hätte umgangen werden können, wurde durch eine Partie angeschnitten; die Lawine brach los; zwei Teilnehmerinnen wurden verschüttet, eine Tote. Marsch mit nur 4 m Abstand (!!!). Keine Lawinenschnur, keine Schneesonde, keine Lawinenschaufel! Führung durch einen Skilehrer („Skikanone“!) (Photo: G. Brandt-Arosa).

Der Laie pflegt jede trockene Lawine, bei der er scharfen Abbruchrand und Schollenbildung sieht, kritiklos als „Schneebrett“ zu bezeichnen. Immer und immer wieder liest man bei Schilderung von Lawinenunfällen, daß ein „Schneebrett“ losgelöst worden sei, auch wenn das gar nicht der Fall war. Meist handelt es sich in solchen Fällen um Packschnee — also Gegenböschung- oder Schneeschildlawinen auf Leeseiten.

Echte „Schneebretter“ sind wegen der Art ihrer Vorkommen und ihrem bezeichnenden Aussehen (vgl. S. 101) viel leichter zu erkennen wie „Schneeschilde“.

d) Preßschneelawinen = Schneebrettlawinen vgl. S. 100.

Entstehung, Beschaffenheit und Vorkommen der Schneebretter siehe Abb. 93 u. 95, S. 70.

Schneebretter täuschen dem Unerfahrenen falsche Festigkeit vor; er glaubt sich auf sicherem — weil hartem — Untergrund zu befinden, während er überaus trügerischen Boden betritt.

Auf der harten Oberfläche findet der Skiläufer keinen guten Halt; deshalb schlägt er die Ski scharf gegen den Hang ein, *kerbt durch die Kanteneinschnitte die spröde Oberfläche* und löst dadurch die im Brett herrschenden Spannungen aus. Es bricht dann leicht — vergleichbar dem vom Diamanten geritzten Glas oder dem mit einem Feilenstrich angekerbten Metallrohr, die sich beide nach diesem Eingriff leicht brechen lassen —. Dazu kommt die Belastungswirkung, die besonders bei hohlliegenden Schneebrettern und solchen mit Schwimmschneeuunterlage in Verbindung mit der Kerbwirkung zu plötzlichem „Setzen“ und Abfahren der Massen als „*Schneebrettlawine*“ (Preßschneelawine) führt.

Mit dumpfem Ton oder kurzem Knall geht das Brett an scharfen Bruchrändern ab, zerteilt sich in *eckige*, verhältnismäßig recht feste *Schollen*, welche bei nicht steiler Sturzbahn lange zusammenhalten, sich übereinander-



Abb. 107. Schneeschild aus lockerem Packschnee ist durch das eigene Gewicht auf einer Harschtoberfläche losgegangen. Trotz der lockeren Beschaffenheit des trockenen Schnees sind am weniger steilen Hang zusammenhängende Schollen erhalten geblieben. Station Eigergletscher. Vgl. die gleiche Stelle! Abb. 96, sowie Abb. 119—121. (Photo: Paulcke.)

schieben, den Skiläufer umwerfen und mit in die Tiefe reißen.

Bei wenig steilen Sturzbahnen bleiben die Schollen bis zum Staukegel erhalten, werden dort übereinander und durcheinander geschoben und decken den mitgerissenen Körper ein; da meist zwischen den Schollen größere Hohlräume für Atmung erhalten bleiben, ist Rettungsmöglichkeit günstig. (Abb. 95, S. 101.)

e) **Schwimmschneelawinen (= Trockene Altschneelawinen)** vgl. S. 45 ff.

Die Gefährlichkeit des Schwimmschnees = Tiefenreif für den Lawinenlosbruch ist bedingt durch die Trockenheit und Härte der Schwimmschneekristalle und das dadurch bedingte *geringere Regelungsvermögen* (Zusammenfriering bei Berührung und Druck), auf die *sehr große Beweglichkeit* (Abb. 46, S. 48) und die *lockere Lagerung* der Kristalle (Abb. 48, S. 50), sowie den *Reichtum an Hohlräumen* (Abb. 71, 72, S. 65, 66) in den Schwimmschneelagen, sowie die *Art des Vorkommens* (besonders über dem gewachsenen Boden) in Lagen, die *auf weite Strecken durchgehen*, so daß fast immer bei Störungen mächtige Lagen über große Gebiete hin in Mitleidenschaft gezogen werden, d. h. losgehen.

Über Schwimmschneelawinen findet man in der Lawinenliteratur zum Teil unklare und irrtümliche Vorstellungen und dementsprechende Darstellungen. Da heißt es z. B., sie seien verhältnismäßig sehr selten und würden selten „angeschnitten“. Erstens sind sie sicher nicht sehr selten, sondern sie dürften sich — wenn einmal erst mehr Skiläufer und Bergsteiger gelernt haben werden, die Schneesverhältnisse in den Alpen zuverlässig zu beobachten, bei Lawinenfällen richtige Profile aufzunehmen und die wahren Ursachen des Abbruchs einwandfrei festzustellen — als eine der häufigsten Winterlawinen von großem Ausmaß erweisen. Ich erwarte, daß später einmal eine *exakte Lawinenstatistik* (mit Angabe der Auslösungsursachen) diese meine Ansicht und Beobachtungen bestätigen wird.

Zweitens werden Schwimmschneelawinen nicht — wie manche andere, vgl. S. 143 — „angeschnitten“, ihre Aus-

lösung erfolgt also *nicht* durch „Unterschneiden“ (trockene, feuchte Lockerschneelawinen, Schneeschilder, Gegenböschungslawinen), auch nicht durch „Kerbwirkung“ (Schneebretter), sondern *in erster Linie durch* „Belastung“ (Überlastung) des Hanges.

Sie drohen besonders dann, wenn längere Zeit starke Kälte geherrscht hat. *Nord- und Nordost-* bzw. Osthänge (also zugleich typische Leehänge), an denen wegen geringerer Sonnenbestrahlung stets niedrigere Temperaturen herrschen, sind der Hauptschauplatz der Schwimmschneelawinen.

Bei *Belastung* von Schneeschichten, unter denen sich größere Massen tückischen Schwimmschnees entwickelt haben, senkt sich plötzlich, sowie der Skiläufer das gefährliche Gebiet betritt, die auflastende Schneemasse mit dumpfem, dröhnendem Ton: *Wumm!* Die aus locker aneinanderhaftenden Schwimmschneekristallen bestehenden schwachen Stützen (Abb. 48, S. 50) brechen unter der Last zusammen. Aus den zahlreichen Hohlräumen, die sich bei der Neukristallisation gebildet hatten, entweicht die Luft, sie bläst durch die entstehenden Risse nach oben ab, die bewegliche Masse der harten Schwimmschneekristalle rieselt zusammen und wirkt — roh einem Kugellager vergleichbar — als Bewegungshorizont.

Auf der Ebene und in wenig geneigtem Gelände kommt der Skiläufer bei dem dumpfen Tönen mit dem Schrecken davon; ist aber der Hang steiler, so gerät die ganze Schichtmasse auf diesem überaus beweglichen Gleithorizont ins Rutschen, und die „*Schwimmschneelawine*“ gleitet mit zischendem, rauschendem Ton in die Tiefe. Das Abbrechen erfolgt auch hier an scharfem Bruchrand.

Alle über der — meist basalen — *Schwimmschneelage ruhenden Schichten* (alte Firnschneeschichten mit Harschtlagen, mit oder ohne Lockerschneeauflagerung) *werden mitgetragen*. Sie zeigen die bekannten Querrisse, Zerteilung in Schollen, die bei langsamer Bewegung erhalten bleiben, bei steiler Sturzbahn naturgemäß zerstäuben. Auch bei Schwimmschneelawinen kann sich eine bemerkenswerte Luftbewegung entwickeln.

In den meisten Fällen liegt nach dem Abgleiten im Abbruchgebiet der gewachsene Boden (Fels, Gras), der „Grund“, frei, da Schwimmschneelawinen sich vorzugsweise über dem „Grund“ entwickeln. Es wäre aber „grundfalsch“, deshalb — wie man es häufig erlebt — hier die veraltete, Verwechslungen fördernde Bezeichnung „Grundlawine“ anzuwenden oder sie wegen der Schollenbildung als „Schneebretter“ zu bezeichnen! —

Alle „*Schwimmschneelawinen*“ müssen nach der Gesamtbeteiligung der verschiedenartigen mitgerissenen Schneemasen, die über dem Schwimmschneehorizont lagerten, naturgemäß „*Mischlawinen*“ sein.

Als ich bei den Vorbereitungen zu Lawinenversuchen im Berner Oberland etwa 1 cbm sehr wenig verfestigten (eine Nacht alten), frisch angewehten Wächtschnee mit dem Pickel löste und diese verhältnismäßig geringfügige Masse auf die Gegenböschung fiel, löste sich in der darunter befindlichen Rinne sofort eine mächtige Schwimmschneelawine vom Grund und fuhr zischend in die Tiefe. Sofort lösten sich — gleichfalls auf basaler Schwimmschneelage — die Massen der in die Hauptrinne einmündenden Nebenrinnen und folgten unmittelbar, so daß das ganze zusammenhängende Gebiet bis zur nächsten abgrenzenden Bergrippe in Bewegung geriet. Es war eine Lawine von 25 000 bis 30 000 cbm Masse entstanden. Die Mächtigkeit der Gesamtschneemasse in der Abbruchregion betrug 2,60 m. Das Profil zeigte oben eine Lage eine Nacht alten, frisch abgelagerten Triebsschnee (lockeren „Packschnee“), darunter folgten ältere, verfirnte Schneeschichten mit Harschtlagen. Die basale, den Lawinenabbruch bedingende Schwimmschneesicht hatte eine Mächtigkeit von 60 cm.

Aus der Schichtenfolge und der Lagerung der beweglichen, hohlraumreichen Massen über dem Grund ergibt sich, daß die *Schwimmschneelawinenbewegung* wohl stets *das gesamte Gebiet ergreift, über welches sich der zusammenhängende Schwimmschneehorizont erstreckt*. Das kann eine Rinne, es kann ein Rinnensystem sein, ein von Rücken oder Rippen abgegrenztes, weites Hanggebiet oder ein weit ausgedehnter, gleichmäßig geneigter Hang.

Der Blick auf das Gelände, der Vergleich mit der Karte können also dem Skiläufer gute Anhaltspunkte für die Ausdehnung der drohenden Gefahr geben.

Aus den geschilderten Verhältnissen ergibt sich zwangsläufig, daß die Schwimmschneelawine es besonders — wenn nicht ausschließlich — ist, welche durch sogenannte „*Fernauslösung*“ in Bewegung gesetzt wird; dabei wird die Auslösung einer Lawine nicht etwa „aus der Ferne“ hervorgerufen, sondern sie wirkt von einer Stelle (Störungsstelle) aus „auf weite Entfernung“.

Wenn z. B. ein Skiläufer von einem Joch in ein Kaar einfährt und den Nordosthang plötzlich belastet, so ertönt der dumpfe Ton, das unheimliche „Wumm“! In diesem Augenblick hat sich an der Belastungsstelle der Schnee ruckartig über eine Schwimmschneelage gesetzt. Dabei entweicht die Luft schlagartig aus der basalen Schwimmschneelage, und zwar *nicht nur an der Störungsstelle*, sondern auf weite Entfernung hin auch aus dem gesamten zusammenhängenden, luftgefüllten Schwimmschneeraum, und es gerät die gesamte Schneemasse *am ganzen Hang* — oft auf Kilometerentfernung — in Bewegung. —

Die Schwimmschneelawinengefahr ist nicht immer leicht — sagen wir für den Durchschnittsskiläufer schwer — zu erkennen. Während bei allen „Oberlawinen“ die gefährliche Lage, deren Abbruch droht, obenauf liegt, also sichtbar und in ihrer Beschaffenheit erkennbar ist, und während bei diesen Verhältnissen auch die direkte Unterlage unter der obersten Schicht (Harscht, Eis, gewachsener Boden) meist unschwer festgestellt werden kann, läßt sich das Vorhandensein einer Schwimmschneesicht in der Tiefe nur auf folgende Weise erwarten bzw. feststellen: 1. aus der Kenntnis der Temperaturverhältnisse der letzten Zeit, 2. durch Auftreten des „Dröhnens“ beim Zusammenbruch der belasteten, auflagernden Schichten („Wumm“), 3. durch Sondierung und Grabung. —

Dabei ergeben die aus den unter Punkt 2 und 3 gemachten Feststellungen einwandfreie positive Anhaltspunkte für das Vorhandensein von „Schwimmschnee“ und die drohende Gefahr.

Der alpine Skiläufer muß also lernen, die allgemeine Wetterlage richtig in Rechnung zu stellen, um wissen zu können, ob die Voraussetzungen für stärkere Schwimmschneebildung an Ort und Stelle gegeben waren oder nicht. Das dumpfe „Wumm“ ist jedenfalls höchstes Warnungssignal!

Profilgraben ist selbstverständlich auf der Tour eine zu langwierige und mühsame Arbeit, aber *richtiges und sorgfältiges Sondieren* ist *ernsteste Pflicht* für jeden Skiläufer, sowie irgendwie Schwimmschneelawinengefahr drohen könnte. Die Sondierung führt auch rasch und sicher zur klaren Erkenntnis der Verhältnisse (vgl. Abschnitt „Sondieren“, S. 195).

Wenn z. B. die 6-mm-Sonde nach Durchstoßen von verschiedenen Widerständen durch alte Harschtschichten *plötzlich fast ohne Widerstand versinkt* und dann auf gewachsenen Boden stößt, dann ist sicher Schwimmschnee vorhanden, und seine Mächtigkeit ist mit der Sonde meßbar. Je größer die Mächtigkeit ist, desto größer ist die Lawinengefahr.

Also bei der Möglichkeit von Schwimmschneengefahr: *sofort Sonde heraus und sondieren!* (Vgl. S. 45 ff.)

Ist Schwimmschnee in gefährlichem Ausmaß festgestellt, so sucht man einen anderen, sicheren Weg. Nie Umwege scheuen! Ist eine solche Möglichkeit nicht vorhanden, so versucht man, die Lawine sachgemäß, von zuverlässigem Stand aus, gut gesichert, künstlich zum Abfahren zu bringen; das erfolgt, je nach den örtlichen Verhältnissen, durch plötzliche Hangbelastung: Aufspringen auf den hohlliegenden Schnee oder durch Losschlagen eines Wächtenstückes. (Vgl. S. 148.)

Ist dann die Lawine abgefahren, so kann man gefahrlos seinen Weg über die freigelegte Lawinenbahn nehmen.

B. Feuchtschnee- und Naßschneelawinen.

Wie die Bezeichnung sagt, beruht die Hauptursache des Losgehens und der Art der Entwicklung und Bewegung dieser Lawinen auf der *Durchfeuchtung* des Schnees (vgl. Abschnitt: Wasserbewegung im Schnee, S. 37).

f) Feuchte und nasse Lockerschnee- (= Neuschnee-) und Packschnee- (= Tribschnee-) Lawinen. *Frisch gefallener Neuschnee* — regional abgelagert — wie *ver-*

frachteter Packschnee — auf Lee abgelagert —, die beide stets als *oberste Schicht* am Hang liegen, verhalten sich bei Durchfeuchtung praktisch gleich bezüglich der Lawinengefahr.

Lawine 3: 200 m breit
Lawine 2: 150 m breit Lawine 1: 160 m breit



Abb. 108. Lawinen am Birkkogel. Zweiter Tag nach Schneetreiben. Drei Lawinen brachen rasch nacheinander los. Auf den Hang rechts brannte die Sonne während des ganzen Tages. Folge war dort Feuchtschnee- und Schmierschichtbildung und Losbruch der Lawine 1 wegen mangelnder Reibung mit dem Untergrund. Breite etwa 160 m. Sowie Lawine 1 im Talboden anlangte, schnitt sie spitzwinklig den unter der Terrasse schildartig abgelagerten Packschnee an. Es brach in etwa gleicher Höhe Lawine 2 los; ihre Rutschstreifen kreuzen die von Lawine 1. Dadurch erfolgte Auslösung der Spannungen am ganzen Hang unter dem Gipfel; den lastenden Schneemassen war das Widerlager entzogen und Lawine 3 folgte sofort nach. Zwei schon tief am Hang befindliche Skiläufer wurden durch Lawine 2 und 3 verschüttet. (Photo: W. Machemer.)

Wenn in diesen zwei Lockerschneearten Wasser entsteht durch Sonnenbestrahlung oder durch Erhöhung der Lufttemperatur Schmelzwasser, oder es wird durch Regen zugeführt, dann sickert das Wasser bis zur nächsten Harschtschicht, bzw. der nächsten undurchlässigen Fläche (Eis, Fels usw.), wird kapillar von diesen tieferen Grenzschichten aus nach

oben emporgesogen oder staut sich über ihnen und bildet stark wasserdurchtränkte *Schmierschichten*. (Abb. 70,2 u. 71.)

Am Steilhang bilden sich im feuchten Lockerschnee durch rollende Abwärtsbewegung kleiner Schneebrocken, die oft zu



Abb. 109. Feuchte nasse Neuschneelawine im Suvrettatal. Nach langem Regen bei Südwind folgte Schneefall im November. Bei warmem Wetter entwickelte sich offenbar durch Schmelzwasser eine ausgesprochene Schmierlage über dem gewachsenen Boden. Sowie die auflastende durchnässte Schneemasse die Bodenreibung überwinden konnte, rutschten am gleichen Tage diese und zahlreiche gleichartige feuchte Neuschneelawinen vom „Grunde“ ab. (Photo: A. Pedrett-St. Moritz.)

größerem Ausmaß anwachsenden *Schneerollen oder Schneewalzen* (vgl. Abschnitt: Lawinenbewegung).

Wird durch den zunehmenden Wassergehalt des Schnees in dem durchtränkten Schmierhorizont die Reibung mit der Unterlage zu stark vermindert, so kann eine feuchte Locker-

schneelawine schon ohne eine von außen kommende Störung unter dem Gewicht der auflastenden Schneemasse losgehen.

Die Auslösung solcher Lawinen erfolgt besonders durch Anstoß von außen. Das Auffallen eines abbrechenden Steines, das Aufschlagen eines abstürzenden Wächtenstückes, die Überbelastung durch eine größere Schneerolle (vgl. Schneegewichte, S. 63), die Belastung durch einen Skiläufer erzeugen „*Belastungsstörungen*“, die den Schnee zum Abgleiten bringen. Außerdem kann die obere feuchte Schicht auch durch einen Skiläufer *angeschnitten* werden, so daß die oberste Schicht durch Entzug des Widerlagers, bzw. Störung des Zusammenhaltes in Bewegung gerät (*Kerbstörung*). Stets gleitet in diesen Fällen der Feuchtschnee — von oben heruntergedrückt (Störungsstelle oben) oder von unten angeschnitten (Störungsstelle unterhalb des Abbruchs) — auf der Unterlage mittels der feuchten bis nassen Schmierschicht los und bildet die „feuchte Lockerschnee = Neuschneelawine.“

Erfolgte die Störung von oben durch Auffallen einer (siehe oben) kleinen Last, so zeigt die Lawinenbahn meist die Gestalt eines spitzen, sich nach unten verbreiternden Keiles, da im Verlauf der Bewegung unterwegs seitlich Schneemassen mitgerissen werden.

Erfolgt der Losbruch „spontan“ durch die eigene Last und Überwindung der Reibung in der Gleitschichtzone, oder wird die Lawine von unten angeschnitten, so bricht sie an scharfem Abbruchrand los und geht meist in breiterer, dem Gelände entsprechender Front ab.

Während die Bewegung der feuchten und nassen Lockerschneelawinen als Ganzes eine auf der Unterlage teils gleitende und strömende ist, bilden sich in dieser Masse alsbald rundliche Schneeknollen, die ihrerseits *rollende Einzelbewegung* zeigen. Diese Knollen verbacken — verfrieren — miteinander und nehmen im Verlauf des Sturzes an Größe zu. Ich beobachtete bei der großen Eigerlawine Knollen bis zu 2,20 m Durchmesser. (Vgl. Abb. 113, S. 157.)

Während auf der Sturzbahn (Gleitbahn) der Untergrund — wenn er aus altem Schnee besteht — gepreßt und gerieft wird (vgl. Abb. der Rutschstreifen), bilden sich am Rande

gegen den in Ruhe bleibenden Schnee Scherflächen und Scherklüfte, an denen der bewegte Schnee entlang gleitet, wobei durch den Druck sehr starke Verfestigungen an den Gleitwänden erfolgen. Die randliche Scherfläche geht in die Bodenfläche allmählich in Form einer Bootrundung über.

Bei den feuchten und nassen Lockerschneelawinen wird der anfangs noch lockere — wenn auch schwere — Schnee während der Bewegung in den Knollen mehr und mehr zu-



Abb.110. Feuchte Lockerschnee-Lawinen. Im Vordergrund, durch die große Scherfläche begrenzt, die sog. Eigerlawine. a. Knollenbildung. Gleitfläche gerieft. (Photo: Paulcke.)

sammengepreßt. Am stärksten naturgemäß im Gebiet des Staukegels, wo die Massen oft zu einer festen, vereisten Masse zusammengedrückt werden, wobei der relativ geringe Luftgehalt weiter ausgepreßt wird.

Den Skiläufer überwältigen die schweren nassen Schneemassen, drücken auf die Ski und reißen ihn in den brodelnden Strom. Bei Bildung grober Knollen werden die menschlichen Körper durch die sich aneinanderreibenden und vorbeischiebenden, sowie überstürzenden Knollen und beim Entlangscheren an den (randlichen) Scherflächen gepreßt; die Glieder werden verrenkt oder gebrochen. Brustkorb und Bauch werden zusammengedrückt. —

Ist ein Mensch im Staukegel einer solchen Lawine eingepreßt, so ist selten mehr Hilfe möglich — muß aber stets sofort durchgeführt werden. — Wenn nicht beim Lawinensturz selber schwere (tödliche) Verletzungen oder Erstickungen erfolgten, findet der Verschüttete meist in kurzer Zeit den Erstickungstod im Staukegel. Hier wird erstens der Körper (Brustkorb und Leib) meist so stark zusammengedrückt, daß Einatmung nicht möglich ist, und zweitens ist der Luft-



Abb. 111. Eigerlawine. b. Nahaufnahme der gerieften Gleitfläche von Abb. 110 und den darüber geglittenen Feuchtschneeknollen. (Photo: Paulcke.)

gehalt des zu dichter Masse zusammengepreßten Schnees so gering, daß auch bei Möglichkeit der Atmung nur ungenügend Luft zur Verfügung steht. So war bei bekannten Lawinenunfällen schon bei rascher Auffindung 20 Minuten nach der Verschüttung bereits der Tod eingetreten. Das darf aber nie Grund sein, nicht mit aller Kraft in allen Fällen die Rettungsarbeit mit allen Mitteln durchzuführen, da stets die Möglichkeit vorliegt, daß der Verunglückte z. B. in einer Lücke zwischen Lawinenknollen genügend Luft bekam.

Die Wahrscheinlichkeit, daß bei und nach starker Sonnenbestrahlung, allgemeiner Temperaturerhöhung, Föhn, Regen feuchte bis nasse Lockerschneelawinen losgehen können, ist

verhältnismäßig leicht zu beurteilen (S. 176); die Gefährdung also durch vernunftgemäßes Handeln vermeidbar.

Die weitverbreitete Annahme, daß Feuchtschneelawinengefahr am durchweichten Hang nicht mehr vorliege, wenn sich z. B. nach Sonnenuntergang eine harte Harschkruste gebildet hat — ist falsch! Sie wird unter Umständen vermindert, aber wie ich durch Profilgrabungen nachweisen konnte, dauert die Wasserbewegung in der Tiefe im Schnee (S. 37 ff.)



Abb. 112. Eigerlawine. c. Linksseitige Scherfläche, welche in die waagerechte untere Gleitfläche übergeht und von den vorbeigeschleiften Knollen und mitgerissenen Eisblöcken tiefe Furchen zeigt und hart gepreßt ist. (Photo: Paulcke.)

nach Sonnenbestrahlung auch bei Eintritt beträchtlicher Kälte in der Nacht *sehr lange* an!

Die „Schmierschichten“ bleiben also noch lange Zeit wirksam, und die sogar in einem alpinen Lehrbuch stehende „Beruhigung“, daß mit harter Schmelzkruste bedeckte Hänge lawinensicher seien, ist ein schwerer Irrtum! —

Meine Freunde de Beaclair und Guyer traten einst beim Jungfraujoch — als sie im Vertrauen auf diese Irrlehre einen tagsüber stark von der Sonne bestrahlt gewesenen Hang angingen — eine beträchtliche Feuchtschneelawine los.

Schlußfolgerung: Vorsicht an Hängen — West- und Südhänge —, die tagsüber unter starker Sonnenbestrahlung gelegen haben; desgleichen an allen Hängen nach vorangegan-

gener allgemeiner Durchweichung — auch wenn der erweichte Schnee eine Kruste bekommen hat. — Aufbrechen der Kruste und Prüfen des darunterliegenden Schnees auf seine Beschaffenheit.

Die feuchten Neu-Lockerschneelawinen sind *stets* „Oberlawinen“. Außer der Prüfung der Beschaffenheit der obersten Lage kommt also auch *stets* die Feststellung des Zustandes ihrer Unterlage Gleitfläche: Harscht, Eis, Fels, Gras) in



Abb. 113. Eigerlawine. d. Staukegel mit Blöcken von einem Durchmesser bis zu 2,20 m. (Photo: Paulcke.)

Frage. Mit Skistöcken und zu dicken Sonden kommt man in dem dichtgepreßten Schnee der Feucht- und Naßschneelawinen schwer oder gar nicht durch. (Vgl. Sondieren, S. 196.)

g) Nasse Firnschneelawinen = nasse Altschneelawinen. Das Material für diese Lawinen liefert der alte, körnige, verfirnte „Altschnee“, der durch Schmelz- und Regenwasser beweglich geworden ist. —

Diese Lawinen sind vor allem für das Frühjahr — besonders bei Regen und Föhnwetter — bezeichnend. Bei solchem Wetter steht der Wald schwarz oder dunkel blauviolett in der Landschaft; die schneebedeckten Hänge heben sich dazwischen fast ohne Modellierung in hartem Gegensatz fahl und bleich ab. Auch die ferneren Bergkämme sehen aus, als seien sie

flächlich auf die glatte Leinwand des Bildes hingestrichen. Es fehlt der Landschaft jegliche Plastik, und es scheint, als ob die hintereinanderliegenden Käme dicht aneinandergerückt seien. —

Die Temperatur ist erhöht, von den schneebedeckten Häusern trieft das Schmelzwasser. Der Schnee am Boden wird wasserdurchtränkt. Wenn es dann nicht mehr zwischen den Firnkörnern kapillar festgehalten werden kann, so sickert es zu Boden und hilft mit der einstrahlenden Erdwärme die Schneemassen von unten her zu erweichen und beweglich zu machen. Die untersten körnigen Firnschichten werden salzig, breiig: ein „Schmiermittel“ auf dem glitschigen Boden.

Innerhalb der erweichten Firnschneemasse vermindert das darin enthaltene Schmelzwasser die Reibung, so daß auch diese Schneemassen in Bewegung geraten.

Oft liegt der Schnee, unter dem das Schmelzwasser auf dem gewachsenen Boden herabsickert oder fließt, wegen Schmelzung oder Unterspülung hohl auf; er kann sich dann nicht mehr halten, sackt zusammen oder gerät wegen der durch den starken Wassergehalt verminderten Reibung durch die eigene Schwere in Bewegung — und zwar fast immer über dem gewachsenen Boden.

Diese Lawinenart wurde deshalb auch von den alten Autoren (Coaz⁶, Sprecher³¹) „Grundlawine“ genannt. Ausführliche Beschreibungen der Art ihres Vorkommens und ihrer Bewegung verdanken wir Sprecher³¹:

Wir müssen aus schon S. 134 erwähnten Gründen diese alte, nicht eindeutige Bezeichnung fallenlassen und die in Rede stehende Lawinenart auf Grund der Schneebeschaffenheit, die ihre Entstehung bedingt, als „*nasse Firnschnee*“ = *nasse Altschneelawinen*“ bezeichnen.

Da sind vor allem die Lawinen, welche von jeher der Bevölkerung am bekanntesten waren, da sie in Tobeln, Bachrissen, Runsen, Schluchten aus den Regionen weit über der Waldgrenze bis tief in die bewohnten Täler herabstürzen. Sie galten als „*die* Lawinen“, die älteren Autoren befaßten sich in erster Linie mit ihnen, und die alten Statistiken erfaßten fast nur sie.

Die Bahnen dieser Lawinen vom Abrißgebiet bis zum Ablagerungskegel weisen sehr beträchtliche Längen auf. Sprecher gibt in seiner Tabelle „bemerkenswerter Lawinenzüge des Taminatales“ Weglängen bis 2000—3364 m an.

Die nassen Altschneelawinen können — wie alle Lawinen — an Hängen, wie in Rinnen losbrechen; besonders bezeichnend ist das Abgehen in Rinnensystemen. „Abrißgebiet und Sturzbahn dieser Lawinen ist identisch“ — schreibt Sprecher stark verallgemeinernd — „mit dem Sammelgebiet und dem Sammelkanal der gleichnamigen Wildbäche.“

Diese Bemerkung gilt auch betr. der Benennung bekannter Lawinen auch für andere Gebiete der Schweizer Alpen. Durch den „Alprüfitobel“ kommt die „Alprüfileue“, durch den „Vidameidatobel“ die „Vidameidaleue“ usw. Andererseits haben die Einwohner auch auf Grund des sie stark beeindruckenden Naturereignisses der Lawinenstürze Bäche und Tobel nach den Lawinen benannt: z. B. „Leuezugtobel“. —

Bezeichnend für die Wildbäche im Gebirge ist ihr trichterförmiges Einzugsgebiet, das sich fast immer über der Waldgrenze befindet und im Winter in seinem verzweigten Rinnen- und Muldensystem ein Hauptsammelgebiet für große Schneemassen darstellt (Tribschnee!). —

Durch die Rinnen fahren naturgemäß im Laufe des Winters zahlreiche Lawinen aller Art ab (vgl. S. 113 f.), die anfangs meist das untere Ende der Rinnen nicht erreichen, da unterwegs in Ausflachungen, auf Bändern und Terrassen der Lawinenschnee liegenbleibt. Dabei bilden sich unterhalb der Steilabstürze — wie auch bei Tribschnee — Schneekegel, die von den Bändern und Terrassen gegen die Steilstufen emporgewachsen, bis sie an deren Oberkante anstoßen — mit Böschungskluft gegen die Wand. (Abb. 102, S. 114.)

Auf diese Weise wird in der Rinne ein „Gefällsausgleich“ hergestellt, es wird mit der Zeit eine einheitlich durchgehende Gleitbahn geschaffen, der Weg für die Lawine wird verkürzt. Die Folge davon ist, daß immer weniger Schnee in den „toten Winkeln“ liegenbleibt, also immer größere Massen einen weiteren Weg — schließlich bis zum Ende der Rinne — zurücklegen, und zwar mit immer wachsender Geschwindigkeit.

Das Bezeichnende an allen Lawinenstürzen — auch trockenen — in diesen Bachgebieten, wie in allen Rinnensystemen ist die Tatsache, daß in ihnen nie alles Material auf einmal losbricht. Es fährt z. B. die erste kleine Lawine aus einer der Nebenrinnen in die Hauptrinne. Dabei stört sie unter Umständen die Zusammenhänge und Spannungen im ganzen Rinnengebiet und entzieht den Schneemassen oberhalb im Hauptkanal, wie in den anderen Nebenrinnen das Widerlager.

Die Folge ist, daß je nach den örtlichen Verhältnissen aus der zweiten, dritten usw. Nebenrinne Lawinen nachbrechen, die je nach Masse und Wucht schließlich das ganze Rinnengebiet freifegen (vgl. Abb. 100, S. 108 u. Abb. 102, S. 114; *Vorsicht vor Nachlawinen!*).

Schlußfolgerung: Bei Gefahr des Sturzes nasser Firnschneelawinen — auch auf Talstraßen — rasches Queren der Rinneneinmündungen in weiten Abständen! —

Abgesehen von der an jedem mit nassem Firnschnee beladenen Hang (besonders wenn dieser nicht terrassiert ist und glatte Unterlage — Grasboden, Schieferhänge, glatte Felsunterlage — aufweist) drohenden Gefahr sind auch die Talwege — Straßen — an den Einmündungen von Bachrinnen gefährdet. In entwaldeten Gebieten stärker als in solchen mit gut gepflegtem, dichtem Wald.

So ist das Haslital in der Schweiz auf das stärkste diesen Frühjahrslawinen ausgesetzt. Der Volksmund dort sagt: „Überall da, wo kein Haus steht, kann eine Lawine kommen.“ Und im Haslital muß man weite Strecken durchwandern, wo der Mensch es nicht wagte, ein Haus zu bauen. Es war daher auch unmöglich, die Leitungen für das große Grimselwerk über Masten talab zu führen wegen der Gefährdung durch Lawinen; sie mußten in Stollen unterirdisch verlegt werden.

Die Bewegung der nassen Feuchtschneelawinen schildert Sprecher³¹ ausführlich etwa folgendermaßen: Nach dem Losbruch — an scharfem Bruchrand — *gleiten* die Massen anfangs als Ganzes, wird die Sturzbahn steiler, treffen sie auf Hindernisse, so entsteht wirbelnde Bewegung. Der Schnee ballt sich zu Knollen, die ihrerseits rollen, sich überstürzen, an Größe zunehmen. Wälzt sich — in nicht zu steilem Ge-

lände — ein aus Schneeknollen bestehender Strom zu Tal, in dem die Gerölle sortiert werden: die größeren eilen voraus, werden vom folgenden Strom eingeholt, zerdrückt, an ihre Stelle werden andere vorausgeworfen. Bei geringer Geschwindigkeit der Lawine geschieht das nicht; in diesem Falle werden die vorausstürzenden Knollen vom einholenden Strom nicht überwältigt und zerdrückt, sondern durch neuen Anstoß wieder vorausgeschickt.

In der Lawinenzunge findet dauernde Durcheinanderbewegung der Teile statt; die tiefen Knollen bleiben in Bodennähe zurück, andere stürzen nach. In den weiter zurückliegenden Teilen der Lawine schwimmen die oberen Massen auf den bewegten tieferen, entwickeln dabei größere Geschwindigkeit, da ihre Eigenbewegung sich zu der ihrer bewegten Unterlage addiert. Sie drücken daher auf die vorderen Teile.

Auf *glatter Unterlage* gleitet der ganze Strom als zusammenhängende Masse ohne Teilverschiebungen; das gleiche gilt für große Lawinen, die als Ganzes „pfeilschnell dahingleiten“, ohne daß die Hauptmasse rollende Bewegungen oder größere Teilverschiebungen des Materials aufweist.

Die Lawinenkegel größerer nasser Feuchtschneelawinen zeigen Längen von 50 bis 400 m, Breiten von 50 bis 500 m und Mächtigkeiten von 10 bis 40 m. Sie zeigen — wie die feuchten Lockerschneelawinen — Ausschmieren der Unregelmäßigkeiten des Untergrundes — z. T. Auspflasterung mit Schneeeröllen, die oben abgeschert sind. Man sieht die basale, vielfach geriefte Gleitfläche und seitliche Scherklüfte, deren Oberflächen hart gepreßt und verfroren sind.

Die Geschwindigkeit der nassen Feuchtschneelawinen ist naturgemäß abhängig von der Steilheit, wie Beschaffenheit und Länge der Sturzbahn. Auf kurzer, flacher Bahn erfolgt ein träges, murstromartiges Gleiten, beim Sturz über Steilwände pfeilschnelle Bewegung; dazwischen liegen — je nach Geländebeschaffenheit — alle möglichen Geschwindigkeiten. Die Vidamedalawine durchläuft z. B. einen 2730 m langen Weg in 1—2 Minuten.

Die Wucht dieser Lawinen kann außerordentliches Aus-

maß annehmen. So glitt die Kreuzbachlaue bei Vättis über die 500 m breite, in der unteren Hälfte völlig ebene Terrasse des Gamsbodens noch pfeilschnell dahin. Die Angabe in einer „Lawinenkunde“, daß „Lawinen, aus dem Hochgebirge kommend, die 10 bis 16 km lange Ebene durchrasen“, darf vom wißbegierigen Leser nicht ernst genommen werden.

Dagegen wurden z. B. beim Sturz der Veiaolalawine beim Aufschlagen in der Tamina mehrzentrige Flußgerölle am jenseitigen Hange weit über die Fahrstraße hinaufgeworfen. Die Lawine, welche von der Alpweide Schofsäß über die 54° steile Wand bei St. Martin in die Tamina stürzte, riß aus dem Bachbett große Felsblöcke heraus und schleuderte sie am gegenüberliegenden Hang einen Büchenschuß weit empor. Ein solcher Block war $2\frac{1}{2}$ m breit und $1\frac{1}{2}$ m hoch und besaß ein Gewicht von etwa 400 Zentnern! —

Die Massen des in diesen Lawinen zu Tal stürzenden Schnees schwanken naturgemäß je nach der Ausdehnung und Gestalt der Einzugsgebiete stark. Kleine Lawinen führen 10 bis 2000 cbm, mittlere 2000—20 000, sehr große 20 000 bis 200 000, außergewöhnlich große 200 000—2 000 000 (selten).

Während die Schneemassen, welche aus dem weiten, trichterförmigen Einzugsgebiet in den engen Sammelkanal gelangen, dort zusammengepreßt weiterbefördert werden, breiten sie sich am unteren Ende der Rinne oder Schlucht beim Einmünden in das Tal meist fächerförmig aus, oder folgen den durch das Gelände vorgeschriebenen Vertiefungen und gelangen in der Taltiefe — oft auch erst am jenseitigen Berghang — zur Ruhe.

Sehr oft werden die Bäche und Flüsse vom Lawinenschnee überbrückt; dabei erfolgt auf meist kurze Zeit Stauung des Wassers.

Die wärmeren Wassermassen pflegen den nassen Firnschnee rasch zu durchschmelzen und auszuwaschen, so daß der Bach oder Strom bald durch einen selbstgeschaffenen Tunnel unter der sich darüber wölbenden Lawinenschneebrücke fließt.

Diese Brücken — wie die Lawinenkegel in den Tälern — erhalten sich oft sehr lange. Sprecher berichtet, daß die im

Frühjahr 1899 gefallene Tristelleue am 12. Oktober — trotz warmen Sommers und Septemberregens — noch auf eine Strecke von über 80 m als ein mit Steinen, Holz und Schmutz bedeckter, 20 m mächtiger Lawinenkegel erhalten



Abb. 114. Nasse Firnschneelawine des Frühjahrs durchfuhr ein Wildbach-Rinnensystem. Großes Einzugsgebiet. Grobknollig mit viel Schuttmaterial beladen. Am Ende des Lawinenkegels vom Bergbach erzeugtes Lawinentor.
Haslital, 26. Mai 1926. (Photo: Grimselwerk.)

war, und A. Heim¹³ führt an, daß der letzte Rest des 600 000 cbm großen Lawinenkegels der im April 1876 bei Zernetz gefallenen „Raschitsch“-Lawine (durch den man einen 75 m langen Straßentunnel machen mußte) im gleichen Jahre nicht mehr wegschmolz, sondern daß seine letzten Reste erst am 22. Juni 1877 verschwanden. —

Wenn im Frühjahr und Sommer der Schmelzvorgang weit vorgeschritten ist, werden die *Schneebrücken*, welche die Bachrisse in der Sturzbahn wie die überschütteten Bäche und Flüsse überspannen, in ihrer Mitte immer dünner und weicher; dann herrscht *Einbruchsgefahr*; diese ist deshalb so tückisch, weil die Schollen der eingestürzten Brücken meist über dem Eingebrochenen zusammenklappen und den Kanal verstopfen. — Dann staut sich das Wasser, und das mitgerissene Opfer findet keinen Ausweg nach oben, sondern muß elend ertrinken! — wenn es nicht schon vorher durch Anschlagen des Schädels an Felsblöcke zugrunde gegangen ist. Schwere Unfälle dieser Art waren Folge leichtsinnigen Betretens unsicherer Lawinenbrücken.

Schlußfolgerung: Keine derartig abgeschmolzenen Brücken überqueren, und vor allem auch nicht in einer Rinne auf dem bequemsten Weg in der Mitte, also der dünnsten Stelle mitten über den Bach gehen! —

Im allgemeinen wird der Bergsteiger und Skiläufer kaum durch diese Wildbachlawinen gefährdet werden; es sei denn, daß er *auf Talwegen* — z. B. Marsch durch das Haslital von der Grimsel nach Innertkirchen — zahlreiche solche Lawinenbahnen — rasch in weiten Abständen — bei Regen oder Föhnwetter queren muß.

In den Hochregionen gelten an Hängen, die durch nasse Firnschneelawinen gefährdet sind, die Regeln, die bei den feuchten bis nassen Lockerschneelawinen erwähnt wurden.

Auch bei den nassen Firnschneelawinen ist die Gefahr, rasch erstickt oder bei heftigen Stürzen tödlich verletzt zu werden, sehr groß; noch größer wie bei den nassen Lockerschneelawinen; die Hoffnung auf lebendiges Geborgenwerden nach Verschüttung noch geringer.

Alle Lawinen, die vom „Grund“ losgehen, führen Schuttmaterial mit sich zu Tal. Besonders stark ist dieser Transport bei den Frühjahrslawinen; sie tragen meist sehr viel Fremdmaterial (Bäume, Sträucher, Steine, Feinschutt) mit sich, welches beim Sturz vom Boden abgeschürft und mitgerissen wird. Die Gesteins- und Schuttmenge, welche dabei

aus den oberen Regionen in die Tiefe gerissen wird, ist abhängig von der Beschaffenheit des Untergrundes.

Am stärksten schuttbeladen sind die Neuschneelawinen in den Gebieten, deren Baumaterial aus leicht verwitterbaren Gesteinen (Tonschiefer, Sandschiefer, manche Gneise usw.) bestehen.

Durch diesen Transportvorgang werden fruchtbare Weiden mit Geröll überstreut, und eine Schweizer Berechnung besagt, daß dort in historischer Zeit mehr als ein Drittel aller guten Alpen „vergandet“ worden sind. Als Beispiel möge das von A. Heim¹³ angeführte obere Fellital dienen, in dem hinter dem Dorfe Hinterrhein von 1700 m bis zum Zapportgletscher im Laufe des vergangenen Jahrhunderts die einst guten Alpweiden fast ganz von Lawinen mit Steinen überschüttet worden sind.

Durch den starken Lockermaterialtransport sind die Schneemassen der nassen Firnschneelawinen meist sehr stark verschmutzt. Größere Steine schmelzen aus ihnen beim Tauvorgang heraus und liegen dann auf einem Firneisfuß; Gebilde, wie wir sie auf den Gletschern als „Gletschertische“ kennen.

Das von den Lawinen nach dem Abschmelzen über das Gelände verstreute Gesteinsmaterial entspricht den „Feldmoränen“ der Gletscher, wir können mit vollem Recht von „Lawinenmoränen“ sprechen.

Jedenfalls stellen neben Wind, Wasser und Eis (Gletscher) auch die Lawinen in den Gebirgen sehr bemerkenswerte und wirksame Transportmittel für Lockermaterial dar.

Nach Coaz⁶ befinden sich in dem 325 qkm großen Gotthardgebiet 530 ausgeprägte Lawinenzüge (hier sind, wie bei den meisten älteren Autoren, immer nur die Rinnensysteme und die Frühjahrslawinstürze in Rechnung gestellt — es fehlt die große Masse der Winterlawinen — besonders in den Hochregionen).

Coaz schätzt die Fläche der Lawinensammelgebiete auf ein Viertel der gesamten Oberfläche, und die Menge des durch diese Lawinen zu Tal geführten Schnees auf 325 000 000 cbm.

Diese Zahl aus einem eng begrenzten Gebiet gibt einen Begriff von den Schneemassen, die in den Gebirgen durch Lawi-

nen aus höheren Regionen in tiefere, wärmere gebracht und damit einer verstärkten und beschleunigten Schmelzung ausgesetzt werden. Auf diese Weise wirken, wie A. Heim¹³ bemerkt, die Lawinen als „wesentliches Moment der Ausgleichung des Klimas der verschiedenen Höhenregionen und Jahreszeiten“. Ohne die Lawinen würde die Schneelinie im Gebirge tieferstehen; zahllose schöne Alpweiden und Heuwiesen



Abb. 115. Durchtunnelung einer nassen Firnschneelawine auf der Grimselstraße. (Photo: Grimselwerk.)

des Gebirges würden zu dauernden Schneefeldern werden — das Gebirge würde viel weniger bewohnbar sein. Wenn diese Lawinen die Straße oft viele Meter hoch überdeckt und den Verkehr gesperrt haben, wird meist zuerst eine behelfsmäßige Fahrbahn mit geringer Steigung im Bogen über die Lawine gelegt, um den Fußgänger- und Pferdeschlittenverkehr überhaupt zu ermöglichen.

Dann erfolgt — je nach der Mächtigkeit der Lawine — Aufschlitzen oder Durchtunnelung über der alten Fahrbahn. Die Tunnels werden im Bedarfsfall — besonders an den Eingängen — verschalt. Durchtunnelung hat den Vorteil, daß auf diese Strecken die Straße vor Schneeanhäufungen und Nachlawinen geschützt ist.

Künstliche Loslösung von Lawinen für Forschungszwecke und Praxis.

Auf 3 Arten. Stets zuverlässige *Seilsicherung* und Anwendung aller nötigen Vorsichtsmaßregeln! —

1. *Durch Lostreten von oben und vom Rande.* Anstoß durch einen Skiläufer oder durch Erschütterung: Aufspringen. Möglich

Lawinenexperiment
(vgl. Abb. 116—118).

Künstliche Loslösung einer „Trockenen Lockerschneelawine“ durch Lostreten von oben. Ein — am Seil gesicherter — Skiläufer bringt den auf einer Harschtlage abgelagerten „Pulverschnee“ zum Abgleiten. Abb. 116 zeigt am Gefällsbruch oberhalb des Steilabfalles das Auftreten von Querrissen. Abb. 117 zeigt, daß selbst diese lockere Masse sich in Schollen zerteilt. Abb. 118 zeigt, daß diese Lockerschneeschollen sogar so viel Zusammenhalt haben, daß sie sich am Schneerand (Grenze gegen den in Ruhe bleibenden Schnee) aufrichten. Bei steilerer Sturzbahn zerstäuben diese Schollen natürlich sofort, es entsteht eine trockene, aufstauende Lockerschneelawine. (Aus der Laufbildreihe des Schnee- und Lawinenfilms von Prof. Paulcke.)



Abb. 116.



Abb. 117.

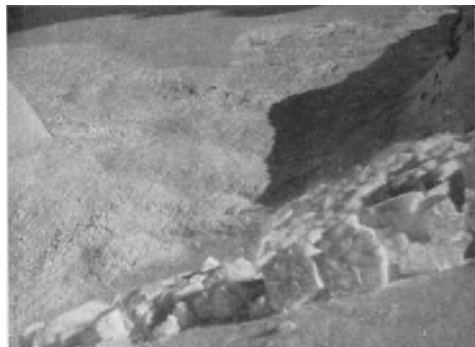


Abb. 118.



Abb. 119.



Abb. 120.

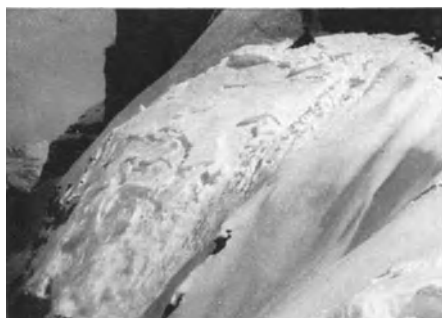


Abb. 121.

zur Loslösung aller „Oberlawinen“ und von „Schwimmschneelawinen“. (Abb. 116—118.)

2. *Durch Unterschneiden* mittels Drahtkabel. Insonderheit bei Loslösung von Schneeschildern mit gutem Erfolg verwendbar. (Abb. 119—121.)

Methodik: Zwei Mann steigen an den Seiten eines Schneeschildes abwärts und schaffen dabei zwei tiefe Kanäle, die nach unten divergieren sollen, etwa bis in das untere Drittel des Schneeschildes. Dann wirft der eine Mann dem anderen das eine Ende des Drahtkabels zu, beide spannen es und ziehen es, bis es im Schnee gute Führung hat, in den Kanälen etwas an. Dann führen sie die Kabelenden, jeder im Kanal seiner Seite, hoch; setzen oder stellen sich oben hin und sägen das Schild los.

3. *Durch Lossägen von Wächtenstücken*: Man sucht einen günstigen wächtengekrönten Hang und teilt die Wächten in Strecken von 6—10 m ein. Dann gräbt man (Seilsicherung!) tiefe Gräben — in der Richtung senkrecht zum Wächtenrand —, womöglich bis auf den gewachsenen Boden; mindestens bis zum „Wächtenfuß“. Die gewonnenen Profile dienen gleichzeitig zum Studium des Wächtenbaues. Sie können unter Umständen gefärbt werden. (Abb. 122—124.)

Lawinenexperiment (vgl. Abb. 119—121).

Künstliche Loslösung eines „Schneeschildes“ durch Unterschneiden mit einem Drahtkabel. Trockene „Packschneelawine“ (vgl. Abb. 96 u. 107), auf denen die gleiche Stelle in verschiedenen Wintern dargestellt ist. (Aus einer Laufbildreihe des Schnee- und Lawinenfilms von Prof. Paulcke.)

Abb. 119: Das Drahtkabel ist am unteren Teil des noch ungestörten „Schneeschildes“ — dort, wo die Pfeile eingezeichnet sind — durchgezogen. Links oben sieht man den Kopf des Mannes, der das eine Ende des Kabels in der Hand hält, der zweite Mann — rechts — begibt sich gerade an seinen Platz am oberen Ende des Schildes. Dann beginnen beide (Abb. 120) mit dem Kabel zu „sägen“, um auf diese Weise dem „Schneeschild“ das „Widerlager“ zu entziehen — was auch ein eine Spur durchschneidender Skiläufer tun würde. Das Schneeschild gerät auf einer Harschtunterlage in Bewegung (Abb. 120) und zerteilt sich in Schollen, die in sich zusammenhängend bergab gleiten und erst zerstieben, wenn die Sturzbahn steiler wird (Abb. 121). Ein „Schneeschild“ ist eine bezeichnende Leehangbildung. Der Wind hat feinkörnigen Tribschnee von Luv nach Lee getragen und dort den Lockerschnee relativ dicht „gepackt“: „Packschnee“. „Schneeschilder“ werden von Laien und oberflächlichen Beobachtern oft als „Schneebretter“ bezeichnet.

Dann markiert man durch eine Fußspur den Weg, den man bei der Sägearbeit beschreiten muß, damit man bei der Arbeit nicht auf das Abbruchgebiet der Wächte kommt.

Zuerst begeben sich hierauf zwei Mann mit dem Kabel auf ihre Standpunkte rechts und links des loszusägenden Wächtenstücks. Seilsicherung! Sie schleudern das Kabel um den Wächtenabschnitt und ziehen es an, bis es gut um den Wächtenfuß und in der Tiefe des Grabens sitzt und richtig einschneidet. Dann beginnt die Sägearbeit mit dem Kabel, wobei sich beide Kabelleute in der Spur entgegengehen — eventuell kreuzen.

Beobachter, Zeitnehmer, Kinomann haben schon vorher an geeigneten Stellen Aufstellung genommen. Je nach der Mächtigkeit, der Länge des Abschnittes, dem Grad der Verfestigung der Wächte bricht sie bald lautlos oder mit leichtem Dröhnen auf der Sägefläche los, stürzt in die Tiefe, schlägt auf und setzt den Lawinenschnee in Bewegung. Gleitet das Kabel beim Absturz der Wächte nicht glatt durch, so müssen die Griffe sofort losgelassen werden, damit die Sägemannschaft nicht mitgerissen wird! Also Vorsicht!!! —

Losschießen von Lawinen: Man hat schon lange darüber nachgedacht, nach Möglichkeiten zu suchen, Lawinen zu einem gewollten Zeitpunkt künstlich loszulösen. Der erste, der sich darüber äußerte, war wohl der badische Dichter Emil Gött. Auch Sprecher³³ machte Vorschläge, die aber nicht verwirklicht wurden.

Im Kriege wurden die Lawinen als Kampfmittel benutzt. Man schoß z. B. Lawinen mit Artillerie los, wenn Kolonnen lawinenträchtige Hänge durchschreiten mußten.

Neuerdings hat man bei der Berninabahn und Parsenn mit Erfolg zu gewolltem Zeitpunkt Lawinen durch Minenwerfer losgeschossen und so Hangentlastung herbeigeführt.

C. Eislawinen.

h) Firneislawinen. Die Firneislawinen bedrohen den Bergsteiger und Skiläufer im Sommer und Winter; und zwar erstens durch die vernichtende Wirkung der stürzenden Eis-

blöcke allein und zweitens dadurch, daß abstürzende Eismassen außerdem auf ihnen liegenden Schnee mitreißen, sowie auf schneebedeckte Hänge und schneeerfüllte Rinnen fallen und durch ihren Aufprall (Stoß — Überlastung — Spannungsauslösung) Schneelawinen verursachen — so daß eine Mischung von Eis- und Schneelawinen entsteht, bei der unter Umständen sogar die Menge der Firneisbrocken zurücktreten und die Masse des Schnees überwiegen kann. So ist z. B. die große „Eigerlawine“, die fast alljährlich bei Station Eigergletscher vorbei über den Gletscher stürzt, so sind die an den Nordflanken der großen Berner Berge (Mönch und Jungfrau usw.) abstürzenden trockenen wie feuchten Lockerschneelawinen vielfach durch Eisabbrüche verursacht.

Auch die Eismassen „zerstäuben“ beim Aufschlagen zu großen „Schneewolken“; sie reißen selbstverständlich jeglichen Schnee, der auf dem abbrechenden Eis ruhte oder sich in der Sturzbahn befand, mit und wirbeln ihn zu großen Wolken hoch auf. (Abb. 128.)

Der Laie spricht dann von „Staublawinen“, und gar manches mit der irreführenden Unterschrift „Staublawine“ versehene Bild, z. B. aus dem Berner Oberland, stellt in Wirklichkeit eine *stäubende Firneislawine* dar, welche weit davon entfernt ist, losbrechenden Lockerschneemassen ihren Ursprung zu verdanken.

Eislawinen bilden sich an Steilabbrüchen, wie in starken Zerreißungsgebieten der Gletscher. Dort sind die Gletschereismassen durch Spaltensysteme stark zerklüftet. Durch die dauernde Abwärtsbewegung des Gletschereises werden die Eismassen entweder über die Steilwände vorwärtsgeschoben, reißen an Querspalten los, verlieren das Gleichgewicht und stürzen mit donnerndem Krachen in die Tiefe, oder die Eistürme in den Gletscherabbrüchen (Séracs) neigen sich vornüber, krachen zusammen und bestreuen das ganze Vorfeld mit Eisblöcken.

Außer den normalen Bewegungsvorgängen beim Gletschervorstoß spielen im Sommer auch Schmelzvorgänge eine bestimmende — auslösende — Rolle. Alle von Eisabbrüchen bedrohten Strecken sind bei warmem Wetter (Föhn, starker



Abb. 122.



Abb. 123.



Abb. 124.

Lawinen- experiment

Abb. 122. Lossägen einer großen Wächte mit Drahtkabel. Die aus festem „Preßschnee“ mit Harschtschichten und „Schwimmschnee“-Zwischenlagen bestehende, leicht eingerollte Wächte zerbricht in große Schollen, welche auf einer Harschtschicht, über der eine „Schwimmschnee“-Lage liegt, abgleiten. Abb. 123: drei Bewegungsmomente der zerberstenden Schollen. Abb. 124: auf der Harschtschichtfläche fließt der „Schwimmschnee“, der als ausgesprochenes Gleitmittel wirkte, ab „wie Reis aus dem Sack“ (vgl. Abb. 46) und stürzt wie ein Wasserfall in die Tiefe. (Photo: Paulcke, Laufbildreihe.)

Sonnenbestrahlung im Sommer) — besonders in den Mittags- und Nachmittagsstunden — am stärksten gefährdet.

Es scheint und ist wahrscheinlich — eine Statistik liegt bis jetzt noch nicht vor —, daß Firneislawinen im Spätwinter und Frühjahr — besonders auch nach starken Schneefällen — am häufigsten losbrechen.

Das ist auch verständlich, da ja in dieser Zeit und unter diesen Verhältnissen der Druck der auflastenden Schneemassen und damit der Bewegungsvorgang am lebhaftesten ist.

Lawinenexperiment
Lawinenverschüttung.
Eine Modellpuppe wird in die Bahn der künstlich zu lösenden Lawine gestellt, um die Bewegung und Art der Verschüttung usf. eines menschlichen Körpers zu studieren. Abb. 125—127: Die Lawine kommt. (Photo: Paulcke, Laufbildreihe.)



Abb. 125.



Abb. 126.



Abb. 127.

Die Firneislawinen sind die einzigen, bei denen die Massen — von seltenen Ausnahmefällen abgesehen — *nicht* auf alten Schichtflächen losgehen und gleiten. Eine dieser Ausnahmen

war der Gletscherabsturz am Altels. Der Mensch, der in solche Lawinen gerät, geht meist dadurch zugrunde, daß er von den ihn treffenden Eisblöcken erschlagen wird. — Aus dem Gesagten ergibt sich, daß an allen gletscherbedeckten Bergen, den von Eisbrüchen bedrohten *Steilflanken* (Himalaja!), stets



Abb. 128. Firneislawine am Nordabsturz der Jungfrau. Die abstürzenden Eisblöcke haben den auflagernden und auf der Sturzbahn liegenden Lockerschnee mitgerissen; dieser sowie die zerberstenden Eisblöcke erzeugen die Schneestaubwolke. (Photo: Paulcke, Laufbild.)

höchste Gefahr herrscht. Dementsprechend sind bedrohte Flanken sowohl für Anstiege wie für Lageranlagen und Biwaks streng zu vermeiden. Die Grate bleiben stets die sichersten Anstiegswege. —

Eispanzer vor Wasserfällen.

An steilen Talwänden bilden sich oft durch Sickerwasser, wie an Wasserfällen außer Eiszapfenbehängen verschiedenen Ausmaßes mächtige Eispanzer, welche an den Felswänden in bläulichgrünen Kaskaden herabhängen. Wenn der Föhn kommt,

wenn im Frühjahr Regen und Tauwetter herrscht, brechen diese Eismassen los, stürzen mit mächtigem Krachen in die Tiefe und bedecken Wege und Straßen.

Als wir nach der zweiten Berner-Oberland-Durchquerung 1901 im Abenddämmer von der Grimsel nach Guttannen eilten, zuckten Blitze aus den dunklen Wolken, das Rollen des Donners klang von den engen Talwänden wider, in der Höhe erfolgten dauernd schwere Naßschneelawinstürze. Dazwischen mischte sich das Krachen der herabstürzenden Eismassen, und als wir eine Brücke überschritten, war die Straße mit Eisblöcken von z. T. über Kubikmetergröße bedeckt.

IX. Lawinengefahr.

1. Vorbedingungen für Lawinenbildung.

Wenn der Mensch bei Gebirgsfahrten Lawinengefahr vermeiden will, muß er vor allem Kenntnisse über die im vorstehenden dargelegten Ursachen der Lawinenbildung haben.

Anleitungen, Lehrbücher sind praktisch und notwendig; sie übermitteln in langer Zeit erarbeitete Erkenntnisse und Erfahrungen und sollen zu eigener, richtiger und scharfer Beobachtung führen, damit jeder selbst im Laufe der Zeit lernt, in sachgemäßer Weise eigene Erfahrungen zu sammeln, welche letzten Endes allein dazu befähigen, Gefährdungen nach Möglichkeit durch richtiges Verhalten auszuschalten.

Beherrschung vollkommener Auswertung der topographischen Karte, Geländekenntnis und Geländeverständnis (S. 106 ff.), genaue Kenntnis der Eigenarten des Schnees (S. 19 ff.) bei verschiedener Beschaffenheit sowie der Lagerungsformen (S. 68 ff.) sind, abgesehen vom technischen Können, neben mannigfachen anderen Dingen Voraussetzung für sachgemäßes Verhalten im Gebirge¹.

¹ Es ist unverantwortlich, Laien in Lawinenfeuilletons zu predigen, daß nicht das mit der Zeit gewonnene Wissen über die Natur der Lawinen den „denkenden (?) Wanderer“ leiten solle, sondern daß er „besser mit dem Gefühl fährt“! Jawohl — aber ins Jenseits!

Der Führende trägt ernste Verantwortung für seine Schutzbefohlenen! Er darf sie nicht durch Unkenntnis, Unerfahrenheit und Leichtsinns gefährden. Das verschneite Gebirge ist kein harmloser Sportplatz, sondern ein Kampfplatz, an dem schwere Gefahren drohen.

Aus dem Gesagten ergeben sich, kurz zusammengefaßt, folgende Grundregeln:

Schnee als Lawine gleitet um so leichter ab, je glatter (Harscht, Firn, Eis, Rasen, glatter Fels) und je steiler die Unterlage und je einheitlicher und ausgedehnter der lawinengefährliche Hang ist. Da an sonnenbestrahlten Hängen Harschtbildung am häufigsten ist, sind auch „Oberlawinen“ (Coaz) dort häufiger wie an Schattenhängen.

Schnee gleitet um so leichter ab, je lockerer — je weniger gesetzt (Wildschnee, lockerer Neuschnee) er nach Ablagerung oder je lockerer er nachträglich (Schwimmschnee) geworden ist, oder wenn sich in ihm durch Pressung (Preßschnee durch Winddruck; Schneebretter S. 100) windgedrückter Schnee auf Luv oder durch dichte Packung (Packschnee auf Lee) starke Spannungen entwickeln konnten. (Abb. 89, S. 93.) —

Schnee gleitet um so leichter ab, je stärker er durchfeuchtet ist:

a) Neulockerschnee, Wasserhorizonte über wasserführender bzw. undurchlässiger Schicht (Harscht, Eis, Gras, glatter Fels): besonders nach Sonnenbestrahlung;

b) wasserdurchtränkter alter Firnschnee auf glatter Unterlage (Föhnwetter, Regen, Frühjahr). —

Schnee gleitet um so leichter ab, je mächtigere Schwimmschneelagen sich unter ihm entwickelt haben. (S. 148.) —

Schnee gleitet um so leichter ab, je größer die Mächtigkeit des oberen Teiles des „Keiles“ der „Gegenböschung“ (Abb. 84, S. 85) und je mächtiger die obere und mittlere Dicke des „Schneeschildes“ (Abb. 91, S. 96) ist — besonders, wenn diese Ablagerungen an den Stellen ihrer geringsten Mächtigkeit (Abb. 89, S. 93) gekerbt und durchschnitten werden, weil auf diese Weise erstens ausgiebiger Entzug des Widerlagers erfolgt und weil dabei zweitens Auslösung der Spannungen in der oberen Hauptspannungszone erfolgt. —

Schnee gleitet um so leichter ab, je ausgiebiger er an kritischer Stelle durchschnitten bzw. belastet wird — besonders durch falsches und zu stark „aufgeschlossenes“ Gehen! —

Schnee gleitet um so weniger leicht ab, je weniger glatt, einheitlich und ausgedehnt seine Unterlagsfläche ist: Bewachsung (außer Rasen), Blockbestreuung, Terrassierung usw. (also stärkere Reibung und Widerlager: Frühwinter). —

Schnee gleitet um so weniger leicht ab, je inniger er mit seiner Unterlage verbunden ist: verzapft, verfroren.

Schnee gleitet um so weniger leicht ab, je stärker er in sich verfroren, verfirnt ist. —

Luvseiten sind im allgemeinen stets lawinensicherer als *Leeseiten*. (Abb. 84, S. 85.) Vorsicht vor örtlichen Schneebrettern auf Luv! —

Vorsicht, wenn überlastete Leeseiten durch Wechsel der Windrichtung Luvseiten wurden und Winddruck erlitten haben. (S. 102, 103.)

Auf *Leeseiten*:

1. Vorsicht vor *weitgreifender* Lawinengefahr bei Gesamtüberlastung weiter Hangflächen durch mächtige Triebsschneemassen (Packschnee);

2. vor Abgehen von „Gegenböschungen“, besonders unter Wächtengraten;

3. vor Abgehen örtlicher „Schneeschilder“. (Abb. 91, 106! 107.)

Größte Vorsicht nach kräftigem Guxwetter, da dann die mächtigsten Keile der „Gegenböschungen“ und die mächtigsten „Schneeschilder“ entstehen! —

Lang andauernde starke Kälte hat starke Entwicklung von „Schwimmschnee“ in der Tiefe zur Folge (Wumm!), besonders gefährdet sind N-NO- und O-Flanken. (S. 147.)

Aus dem Gesagten ergeben sich folgende *Verhaltensmaßregeln*:

Nichtbetreten derartiger lawinengefährlicher Hänge; vor allem: vermeiden, sie zu queren und in den besonders kritischen Zonen anzuschneiden!

Aufsuchen von Buckeln, Rücken, Rippen, Graten: Wegwahl über diese sicheren Linien.

Im Bedarfsfalle: *rechtzeitiges Abschnallen der Ski* und Emporstapfen in der Fallinie. Auch am Lawinengang ist — wenn *Begehen im Notfall* auf- oder abwärts unbedingt notwendig ist — diese Marschart die verhältnismäßig sicherste, weil dann die gefährliche Querstörung vermieden wird und durch das Einstampfen und Durchtreten der oberen Schneeschichten diese gleichsam mit den tieferen „verzapft“ werden.

Eine notwendige Querung des Hanges erfolgt stets *so weit oben* als möglich, damit möglichst geringe Schneemassen über

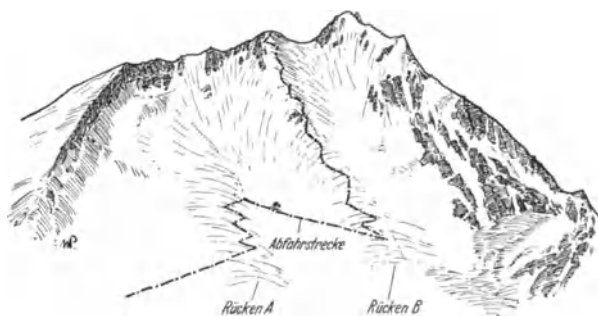


Abb. 129. Anstiegsskizze mit eingeschalteter Abfahrstrecke. Die Mulde oberhalb Rücken A ist lawinengefährlich; Rücken B ermöglicht sicheren Anstieg.

dem Störenden lasten und die Möglichkeit gegeben ist, daß der Schnee unterhalb losbricht. Bei Losbrechen einer Oberlawine weit oben: Einstoßen des Pickels, den umgekehrten Skistock bis in die feste Unterlage und festhalten.

Der alpine Skiläufer muß wissen, daß es nicht unsportlich, sondern *ernsteste Pflicht* ist, unter den geschilderten Verhältnissen die Skier abzuschneiden und zu tragen, bzw. den Befehl an die Kameraden zu geben, dies zu tun. —

Verantwortungsgefühl und richtige Handlungsweise müssen stets Trägheit, sowie falsche „sportliche“ Einstellung überwinden. —

2. Wegwahl: Taktik.

Talmarsch vgl. S. 111 f. Auswertung der Karte vgl. Abb. 100, S. 168.

Nur sehr wenige Skiläufer verstehen es, am Berg *eine Spur richtig zu legen*, d. h. so, daß sie erstens und vor allem lawinengefährliche Stellen vermeidet und zweitens die günstigste Anstiegslinie bildet, d. h. möglichst geringen Kräfteverbrauch bei gut gefördertem Vorwärtskommen benötigt. —

Heutzutage kann man wohl immer damit rechnen, daß alle Teilnehmer Felle mitführen oder mit Steigwachs ausgerüstet sind. Trotzdem sollten Anstiegsspuren nie zu steil gelegt werden!

Eine gut geführte Spur soll im sicheren Gelände in ruhigem Zuge mit gleichmäßig fördernder Steigung emporgeführt werden, nicht in unbedachtem, kurzatmigem Wechsel von Steilaufstiegen und flacheren Strecken. Man erkennt sofort die mit Feingefühl für das Gelände dem Hang harmonisch und sicher eingefügte Spur des Erfahrenen gegenüber der unsicheren, stümperhaft zappeligen des Anfängers.

Vor allem lasse man sich nie dazu verführen — aus Bequemlichkeit —, einer alten, schlecht geführten Spur nur deshalb zu folgen, weil sie da ist. Erstens ist ein solches Vorgehen fehlerhaft, zweitens läßt sich ein selbständig denkender Mensch von irgendeinem Stümper keine Vorschriften machen, und drittens kann auch eine bei ihrer Anlage sicher gewesene Spur unter Umständen in der Zwischenzeit lawinengefährlich geworden sein.

Man darf also nie dem weitverbreiteten Übel, welches ich „Spurenhypnose“ genannt habe, verfallen, sondern muß die Wegwahl stets auf eigene Verantwortung, wie der Berg und die Lage es erfordern, treffen.

Will man denselben Weg zurückgehen, den man im Aufstieg nahm, so ist die Spur so zu legen, daß sie für die verkürzte Abfahrtslinie günstig erkennbare Kreuzungsstellen aufweist. Bei Nebel kann es sogar das beste sein, die Aufstiegs spur stets auch bei der Abfahrt zu benutzen, zum mindesten sie immer in Sicht zu behalten.

Will man die eigene Spur von anderen unterscheiden und wiedererkennen oder nachfolgenden Kameraden kenntlich machen, so markiert man sie durch seitlich in bestimmter Weise eingedrückte Schneetellerspuren. —

Muß man einen Hang angehen, der lawinenverdächtig erscheint, so muß der Versuch gemacht werden festzustellen, ob Gefahr durch Abgehen einer Lawine droht. Erfahrene Skiläufer können unter Umständen — zuverlässig gesichert — versuchen, den gefährlichen Schnee zum Abfahren zu bringen (vgl. S. 150).

Müssen lawinenverdächtige Hänge unbedingt überwunden werden, so empfiehlt sich „*spannerrauenartiges*“ oder *abschnittsweises* Vorgehen: d. h. man sucht einzeln nacheinander sichere Stellen (Felspartien, Rücken, Rippen) zu gewinnen und benutzt diese als Sammel- und Ruhepunkte. Auch Abfahrten ohne Zwischenhalte sind in solchen Fällen einzeln nacheinander auszuführen. Der erste wartet an sicherer Stelle auf die Nachfolgenden, der letzte — der bei jeder größeren Kameradschaft zum verantwortlichen „Schließenden“ vom Führenden zu bestimmen ist — meldet, wenn alle Teilnehmer vollzählig beisammen sind.

Unter Umständen überwindet man einen lawinenverdächtigen Hang auch während eines Aufstieges derart, daß man, wenn das Gelände es zuläßt, einen vorübergehenden Höhenverlust in Kauf nimmt und eine Zwischenabfahrt einschaltet, wenn man jenseits eine sichere Anstiegslinie gewinnen kann. Überhaupt dürfen selbst *weite Umwege* nicht gescheut werden, wenn auf diese Weise das Begehen lawinengefährlicher Strecken vermieden werden kann. Vgl. Karte Abb. 100 u. 129.

Ist ein Hang, der unbedingt gequert werden muß, verdächtig, so heißt es: scharf beobachten! Augen auf! Ohren auf! lauschen, ob kein verdächtiger Ton vom Setzen hochliegender Schneemassen vernehmbar ist. Vor allem muß jeder Hang mit den „Augen abgetastet“ werden: *nach oben*, um Stellen möglicher Abbruchgefahr zu erkennen, *nach den Seiten*, um sichere Zufluchtsstellen (Abb. 130, S. 185) (Rücken, Rippen, Felsköpfe usw.) und die beste Möglichkeit, sie zu erreichen, seitlich aus der Lawinenbahn herauszufahren, festzustellen.

Vor einer Lawine in ihrer Bahnrichtung abzufahren, ist in den allerseltensten Fällen möglich, meist ausgeschlossen. —

Anseilen — außer mit der Verbindungsschnur — ist bei Lawinengefahr, wenn irgend angängig, zu vermeiden, selbst in Gletschergebieten. Hier ist zu entscheiden, ob die Spalten oder die Lawinen die größere Gefahr bilden. Ist Seilanlegen bei Lawinengefahr notwendig, so gehen jeweils Zweierpartien mit weiten Abständen. Abfahren am Seil — gestaffelt — muß geübt werden. Nur beim Queren schmaler lawinengefährlicher Rinnen, eventuell auch beim Queren kleiner Schneebretter — also wenn vorübergehend Sicherung notwendig ist — kann Seilanwendung geboten sein, wenn der einzelne zuverlässig gesichert werden kann, bis er außer Gefahr ist, und wenn er dann seinerseits den Nachkommenden vom festen Standpunkt aus zuverlässig zu sichern vermag. Vgl. außerdem S. 182—183. —

Das Seil wird bei Skifahrten immer vom „Schließenden“ getragen.

Marschordnung:

Vgl. hierzu Abb. 130.

Eine nicht auszurottende *Unsitte* entspringt der Dummheit und dem Leichtsinne gedankenlos im Gebirge gehender Skiläufer: auch an unsicheren Hängen entweder *dicht beieinander oder doch zu eng aufgeschlossen* zu gehen! —

Die unausbleibliche Folge dieser Torheit war und ist, daß bei Lawinenunfällen stets gleich 3, 6, 8 Leute und mehr (!) zusammen verschüttet werden und zugrunde gehen! — Vgl. Statistik im Vorwort.

Seit Jahrzehnten predige ich — vergeblich —, daß an lawinengefährlichen Hängen — besser gesagt stets dann, wenn die Beteiligten der Zuverlässigkeit des Hanges nicht vollkommen sicher sind — *weite Abstände* gehalten werden müssen, und zwar nicht etwa nur 20 oder 30 m, sondern 100—200 m! — Lawinen von 100—200 m Breite werden häufig losgetreten, breitere — außer Schwimmschneelawinen — verhältnismäßig selten.

Wenn also bei 100—200 m Abstand ein Teilnehmer -- das ist dann meist der Vorangehende — eine Lawine lostritt, so wird bei genügend weiten Abständen wenigstens nur ein Teilnehmer mitgerissen, und es werden nicht alle verschüttet. Die in Sicherheit gebliebenen Kameraden können dann sofort Hilfe bringen; das Unglück ist auf das Mindestmaß beschränkt geblieben; für die Rettungsmöglichkeit wurde die größte Wahrscheinlichkeit gewährleistet.

Das beste Mittel, einen Verschütteten so rasch wie möglich aufzufinden, verdanken wir E. Örtel: *die Lawinenschnur*.

Die *Örtelsche Lawinenschnur* ist eine etwa 25—30 m lange rote Schnur; sie soll nicht zu dick sein, damit sie reißen kann, wenn ein Skiläufer, der aus einer feuchten Lawine herausfahren will, nicht von Knollen, die sich um die Schnur gewickelt haben, zurückgerissen wird, etwa 5 mm.

Die Lawinenschnur wird um den Leib gebunden und nachgeschleift. Gerät ein Skiläufer in eine Lawine, so wird zwar der schwere Körper in die Tiefe gezogen, die leichte rote Schnur wird aber nach oben gewirbelt, und es liegt die größte Wahrscheinlichkeit vor, daß mindestens ein Teil für die Suchenden sichtbar bleibt, so daß die Retter durch Verfolgen der Schnur den Körper rasch finden können. Zum wenigsten ist es auch bei völliger Eindeckung der Lawinenschnur bei den Such- und Grabarbeiten wahrscheinlicher, den Verschütteten zu finden, wenn außer seiner Körperlänge noch 25 m rote Schnur die Auffindungsmöglichkeit erweitern.

Schwierig wird die Lage, wenn *unsichtiges Wetter* (Nebel oder Schneetreiben) herrscht. Dann ist erstens kein Überblick über das Gelände möglich, die Beurteilung des Schnees auf das stärkste erschwert, und es liegt die Gefahr vor, daß — besonders bei Abfahrten und Verwehung der Spuren — die Partie auseinander kommt, die Teilnehmer sich verlieren. In solchen Fällen sofort Karte heraus! — Gelände nach der Karte beurteilen und begehen: Rücken, Grate, Rippen benutzen und weite, geringe Anhaltspunkte bietende Hänge und Mulden vermeiden. Unter Umständen: Skier abschnallen und zu Fuß Falllinien benutzen. Kann man auf Ski bleiben und abfahren, so habe ich vorgeschlagen, die Verbindung von Mann zu Mann

durch die „*Verbindungsschnur*“ sicherzustellen. Die „*Verbindungsschnur*“ ersetzt die Lawinenschnur. Sie ist etwa 50 m lang, rot gefärbt; die Kameraden verbinden sich — wie beim Anseilen — gegenseitig mit dieser Schnur und können auf diese Weise wenigstens einen Abstand von 50 m halten und trotzdem das Beisammenbleiben sicherstellen.

Tritt dann einer der Teilnehmer eine Lawine los, so wird — und soll — die Schnur zwischen ihm und den auf festem Schnee Bleibenden reißen; sie wirkt dann als Lawinenschnur. Soll die „*Verbindungsschnur*“ nur als „*Lawinenschnur*“ gebraucht werden, so wird von der stets von zwei Seiten, hälftig, gebündelten Verbindungsschnur nur die eine Hälfte freigemacht und nachgeschleift.

Es ist Pflicht — wie jedes andere Mittel, welches zu rascher Rettung führen kann —, auch die Lawinenschnur oder Verbindungsschnur stets anzuwenden, wenn Gefahr drohen *kann*.

Bei manchen Leuten gilt es als „*forsch*“, die Lawinenschnur lächerlich zu machen und sie als überflüssig zu bezeichnen; andere legen sie aus „*Feigheit*“ nicht an: nicht aus Feigheit vor Lawinen, sondern vor den Mitmenschen, von denen sie befürchten, „*angefrozzelt*“ zu werden, wenn sie „*das rote Bandl*“ angelegt haben. Solchen Anödungen gegenüber muß der aufrechte Skiläufer unbeeinflußbar das Richtige tun.

Jeder Teilnehmer an einer alpinen Skitour muß eine von Ch. Iselin erfundene *Aluminiumschaufel* mitführen, damit *sofort* durch wirksames, rasches Ausgraben Verschütteten Rettung gebracht werden kann. (Abb. 134, S. 199.) Diese Schaufel ist sehr vielseitig verwendbar: zum Freilegen von Hüttentüren, Schneeholen zu Kochzwecken (S. 51), Profilgraben, sogar als Bratpfanne.

Jeder alpine Skiläufer sollte auf der Skitour eine zusammenlegbare *Schneesonde* bei sich haben. (Abb. 134, S. 199 und S. 196.)

Das *Mitführen von Schneesonde, Schaufel und Lawinenschnur* ist bei den deutschen Hochgebirgstruppen vorgeschrieben. Die Lawinenschnur (*Verbindungsschnur*) muß am Koppel getragen werden, um sofort zum Anlegen frei gemacht werden zu können.

Was für den deutschen Hochgebirgssoldaten selbstverständlich ist, sollte es auch für jeden deutschen Skiläufer sein. Kameradschaftssinn und Pflichtgefühl müssen Faulheit und Nachlässigkeit überwinden.

X. Rettung und Bergung: Verhalten der Gefährten nach Lawinenlosbruch und Verschüttung.

Die nicht von der Lawine ergriffenen Kameraden müssen größte Ruhe zu klarer Beobachtung und Überlegung bewahren! *Nicht den Kopf verlieren!* Sie merken sich genau, *wo der Verschüttete stand*, als ihn die Lawine ergriff (der Mitte oder dem Rand der Lawine genähert), sie *beobachten scharf*, welchen *Weg er in der Lawine nahm*, *an welcher Stelle der Körper verschwand* und in welcher *Fließrichtung* der Körper weitergetragen worden sein kann. (Abb. 130, S. 185.)

Sie stellen fest, ob eine Ablenkungsmöglichkeit für die normale Strömungsrichtung vorhanden ist, oder ob in der Lawinenbahn ein Stauhindernis lag, hinter dem der Mitgerissene festgehalten oder vor dem er liegeengeblieben sein kann. *Sie stellen fest*, in welcher Weise der *Stau der Lawine* erfolgte: vor allem, ob sie am Hang oder in der Ebene allmählich auslief oder durch ein Hindernis gestaut wurde. Im ersteren Fall kommt die Lawine in einem allmählich nach oben und kürzer und steiler nach unten auskeilenden Schuttkegel zum Stehen; im zweiten Fall wird ihre Stirn durch das Hindernis gebildet, hinter dem der Schnee sich oft zu großer Mächtigkeit in Gestalt eines gedrungeneren Kegels aufstaut und dabei den Verschütteten tiefer eindeckt. (Abb. 101 D u. E, S. 112.)

Die klare Feststellung aller dieser Beobachtungen gibt die Grundlage für rasche zuverlässige Rettungsmaßnahmen.

Nachdem die Lawine zum Stehen gekommen ist, wird zuerst festgestellt, ob *Nachlawinen* zu erwarten sind (besonders aus Rinnsystemen!). (Abb. 102, S. 114.)

Aufstellen von Warnposten! Dann erfolgt ruhige, klare Aufstellung eines Arbeitsplanes mit richtig verteilten Rollen und *rasche energische Rettungsarbeit*:

Bevor die Kameraden den Platz, von dem aus sie die Vorgänge beobachteten, verlassen, stellen sie genau den Punkt fest, bei dem der Mitgerissene verschwand: *Verschwindepunkt*; während die Übriggebliebenen *diesen Punkt im Auge behalten* und *stehenbleiben*, begibt sich sofort ein Mann — von ihnen durch Zuruf geleitet — zu *diesem Punkt*, markiert ihn mit

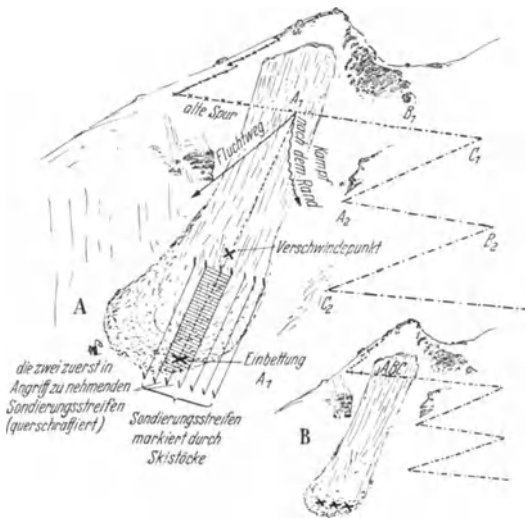


Abb. 130. Lawinenschüttung und Rettung.
z. T. Benutzung der Skizze von W. Gut.

A. Der Vorgehende, A 1, einer mit weiten Abständen richtig gehenden Dreierpartie hat eine Lawine losgetreten; er wurde allein mitgerissen; es gelang ihm weder durch Abfahrt vor der Lawine auf dem „Fluchtweg“ den schützenden Felskopf zu erreichen, noch sich bis zum Rande der Lawine durchzukämpfen.

B 1 und C 1 haben scharf aufgepaßt; desgleichen die zweite Dreierpartie A 2, B 2, C 2. Punkt A 1 und der Verschwindepunkt wurden festgestellt und sofort mit Skistöcken markiert; desgleichen der in der Verlängerung der Verbindungslinie zwischen diesen beiden Punkten liegende Endpunkt der Lawine (Fließrichtung). Weitere Hilfskräfte steckten die Sondierungsstreifen ab; sofortige Sondierung hat zuerst auf dem schraffiert gezeichneten Streifen einzusetzen. Rasche Rettung möglich, falls Hilfsgeräte (Sonden und Lawenschaukeln) vorhanden, siehe S. 189 u. 190.

B. Eine Dreierpartie ging falsch: zu kurze Abstände! Folge: alle drei Teilnehmer wurden mitgerissen und verschüttet. Da keine weitere Partie in der Nähe war, war Rettung unmöglich!

einem Skistock, stellt dann mit den anderen die Fließrichtung fest und *markiert den Endpunkt* des wahrscheinlichen Weges, auf dem der Verschüttete fortgetragen wurde, abermals mit einem Skistock.

Dann erfolgt *genauestes Absuchen* der Lawine von oben nach unten — zuerst rechts und links der festgelegten Linie — mit Auge und Ohr (ab und zu stehenbleiben und lauschen!). Dabei Ausschau nach vorragenden Körperteilen, Skistücken, Stöcken, Bekleidungsstücken, Teilen der Lawinenschnur usf. Bergführer H. Kasper, Pontresina, schrieb mir, daß in einem Falle nur ein *Stück des Daumens* zu sehen war! Also Augen auf!

Die *Lage des Verschütteten* ist bedingt durch die Art der Lawine, Schneebeschaffenheit, Schneemasse, Geschwindigkeit und Wucht der Lawinenbewegung, Geländebeschaffenheit, Stauhindernisse in der Lawinenbahn wie im Gebiet des Lawinenendes.

Außerdem kommt es darauf an, wo der Verschüttete beim Abbruch der Lawine stand, und ob er in der Lage war, selbst gegen tiefe Einbettung anzukämpfen oder sich nach der Seite hinzuarbeiten.

Nach den Erfahrungen von Bergführer Kasper, Pontresina, werden die Leute, die bei Abbruch der Lawine in der Mitte der Bahn standen, am tiefsten begraben.

Stand der Verschüttete im oberen Teil der losgegangenen Masse und war die Sturzbahn steil, so wird er meist durch den von oberhalb nachgleitenden Schnee über die tieferen, langsamer gleitenden Lawinenteile und über den unteren Hauptteil des Staukegels weggetragen.

Bei einem meiner kinematographisch festgehaltenen Verschüttungsversuche wurde die Modellpuppe, die ziemlich hoch im Abbruchgebiet gestanden hatte, über den Hauptstaukegel weg bis an die Stirn der Lawine geschoben und erst dort ziemlich oberflächlich durch die trockene, aus ziemlich lockerem Packschnee bestehende Lawine nur wenig eingedeckt.

Bei einem anderen derartigen Modellversuch stand die Puppe beim Losgehen der Lawine nicht in der Mitte ihrer Bahn, sondern dem linken Rande — im Sinne der Sturz-

richtung — genähert. In diesem Falle erfolgte seitliches Hinaustragen im fächerförmig sich ausbreitenden Lawinenkegel und so geringfügige Einbettung, daß noch Körper- und Skiteile vorschauten.

Weitere Anhaltspunkte über die jeweils zu erwartende Lage des Verunglückten müssen weitere planmäßige Verschüttungsversuche unter den verschiedensten Bedingungen — Stand bei Verschüttung, Schneebeschaffenheit, Geländeverhältnisse — erbringen. Außerdem muß eine genaue Zusammenstellung einer möglichst großen Zahl von Befunden mit zuverlässiger Angabe aller wichtigen Einzelheiten gemacht werden.

In den meisten Fällen dürften die Verschütteten bis *in den unteren Teil des Lawinenkegels* getragen und einige Meter oberhalb des Vorderrandes desselben eingebettet sein. Die Suche hat also — wenn nicht Anhaltspunkte für eine andere Lage vorliegen — *stets in erster Linie in der Stirnregion einzusetzen* und muß von dort nach oben vorschreiten.

Auf meine Anfrage schreibt mir Dr. R. Campbell⁷, der wohl als Skiläufer, Bergsteiger und Arzt die größte Erfahrung im Lawinenrettungswesen besitzt, daß nach seinen und anderen ihm bekannten Befunden der Verschüttete „meist an der vorderen Zunge des Lawinenstaukegels — je nach Geländegestaltung — oberflächlich oder manchmal tiefer eingebettet ist. — Sind Hindernisse vorhanden — große Steine, Bäume usw. —, so bleiben die Verschütteten *manchmal vor, manchmal auch hinter* diesen hängen.“ — In solchen Fällen müssen also auch diese Stellen stets rasch und besonders sorgfältig abgesucht werden.

Am tiefsten sind die Verschüttungen — 3–5 m (Campbell) —, *wenn Gegensteigungen* (Geländewellen, Gegenhang, Hang einer Seitenmoräne — Fall Ehlert-Mönnichs — Abb. 101 D, S. 112) einen *starken Stau der Lawine verursachen*. Dann ist auch der Staudruck meist so stark, daß Rettung höchst fraglich ist.

Im Falle Scheller, der von einer trockenen Packschneelawine in einer steilen Rinne am Seebuck zum Feldsee (Schwarzwald) hinabgerissen worden war, wurde der Körper gegen eine Tanne geschleudert und im Schritt zerrissen.

Wenn keine Metallsonden vorhanden sind, so muß mit jedem nur irgend tauglichen Ersatz (Skier, Skistöcke nach Abnahme des Schneetellers oder umgekehrt nach Entfernung der Lederknaufs, Pickel usw.) sondiert werden!

Hat eine Kameradschaft sofort mit aller Energie ihr möglichstes zu raschster Auffindung des Verschütteten getan, ohne Erfolg zu haben, so müssen sofort ein oder zwei Leute zu Tal geschickt werden, um eine *Rettungskolonne zu alarmieren!* *Die übrigen suchen inzwischen unentwegt weiter.*

Ist *nur ein Kamerad übriggeblieben*, so versucht auch er *zuerst*, den (die) Verschütteten zu *retten*, bevor er nach gründlichster Sucharbeit und *genauer Markierung der Unglücksstelle* zu Tal eilt, um Hilfe zu holen.

Wenn die Lage festgestellt ist, wird sorgfältig mit der Grabarbeit begonnen. Ist aus Leichtsinn oder Bequemlichkeit keine Schaufel mitgenommen worden, so muß mit allen denkbaren Ersatzmitteln: Becher, Kochgeschirre, Skienden, Pickel usw., gegraben werden.

Haben alle *Rettungsversuche keinen Erfolg* gehabt, und sind die Kräfte und Rettungsmittel unzureichend, so eilt einer der Übriggebliebenen zu Tal. Nie darf eine Unfallstelle ohne *zuverlässige Markierung* verlassen werden. Am besten durch eingerammten Skistock mit angebundenem flatterndem Tuch. Jeder, der zur Alarmierung von Rettungsmannschaften zu Tal eilt, muß sich die *Unfallstelle* nach Karte und Gelände *sorgfältig einprägen*; ebenso seinen Talweg, an bezeichnenden Stellen umschauen, damit er den Rückweg sicher wiederfindet, da er für die Rettungsmannschaften als Wegweiser zu dienen hat.

Nur in Fällen völliger Unfähigkeit durch Erschöpfung darf er unten bleiben und sich damit begnügen, dem Führer der Rettungsmannschaft eine genaue Beschreibung von Weg und Unglücksstelle zu *diktieren*.

Rettungsstationen mit Niederlagen von Rettungsmaterial gibt es in den meisten Alpengebieten. — Eine ausgezeichnete Anleitung über Unfallhilfe bietet das Büchlein von Dr. med. P. Gut¹¹.

Der *Obmann der Rettungsstelle* (z. B. Bergwacht) stellt die Kolonne zusammen und sorgt für Mitnahme von Rettungsschlitten, Schaufeln, Sondierstangen, Laternen, Woldecken, Sauerstoff-Flaschen, heißen Getränken, Proviant und Medikamenten, sofern nicht schon bei Aufbruch der Kolonne ein sofort alarmierter Arzt zur Stelle ist, der alle Medikamente, Spritzen usw. mitnahmebereit in seinem Rettungsrucksack verpackt hatte.

Stets sollte ein *Zelt* als Unterschlupf mitgenommen werden, damit ein windgeschützter Raum für Warmhalten bei Wiederbelebungsversuchen zur Verfügung steht. Dieser Schutz kann über Leben oder Tod eines Geborgenen entscheiden!

Unter Umständen auch Mitnahme von Hunden.



Abb. 131. Sondierübung bei der Schweizer Truppe. Ausstellung für streifenweises Sondieren mit den großen Eisensonden. Hinter den Sondiermannschaften der Trupp der Schaufler; dahinter bereitgestellte Transport-schlitten. (Photo: Frau Dr. Gut.)

Der Alarm von Rettungskolonnen, Zusammenstellung des gesamten Materials nach vorbereiteten Listen, Marsch, Abtransport, *wie alle Rettungsmaßnahmen* (Sondieren, Graben) *müssen gründlich vorgeübt werden!*

Ist die Rettungsmannschaft an der Unglücksstelle angelangt, so ordnet der Führer — bei Bedarf nach Einteilung der Helfer in Untergruppen — nach genauer Feststellung der Lage die planmäßige Sucharbeit an. (Abb. 130, S. 185.)

Sind Verschwindepunkt und Strömungsrichtung markiert, so setzt naturgemäß die Suche zuerst auf einem *Streifen dieser Linie entlang* ein. Ist keine Aufklärung durch Überlebende möglich und keine Markierung vorhanden, so erfolgt stets zuerst systematisches Absuchen der Lawinenoberfläche — in breiter Schwarmlinie — nach Anzeichen (vgl. Abb. 131) von den Verschütteten. Werden auch dabei keine Anhaltspunkte gefunden, so wird die Lawine in der Falllinie durch parallel nebeneinander verlaufende *Längsstreifen* (mit Stöcken am Ober- und Unterende markiert) (Abb. 130 u. 131) eingeteilt. Die *Streifenbreite* beträgt etwa *einen Meter*, so daß die Leute sich beim Sondieren nicht behindern. Alle Sondierungsarbeit beginnt (vgl. Aus-

nahme Abb. 101 D u. E) stets vom *unteren Ende* des Lawinenkegels aus. Die Mannschaft wird dann in Linie am unteren Ende der Lawine aufgestellt. Jeder erhält von dem das Kommando führenden Kolonnenführer seinen Streifen zugeteilt, und kein Mann darf ohne Befehl seinen Posten verlassen. Die Mannschaft rückt dann in der Weise vor, daß jeder Retter an der linken Grenze seines Streifens mit dem Sondieren beginnt und in gleicher Höhe von links nach rechts alle 10—15 cm die Sonde einsenkt — nie roh in die Tiefe stößt.

Ist eine solche Linie durchsondiert, so rückt die gesamte Mannschaft 10—15 cm vor und führt die Sondierung auf der zweiten Linie durch usw. Alle fertigsondierten Strecken werden markiert, damit keine unnötige und zeitraubende Wiederholungsarbeit geleistet zu werden braucht und damit man sicher ist, keine Stelle übersehen zu haben.

Reicht die Sondenlänge nicht aus, was besonders in den unteren Teilen des Staukegels der Fall sein kann, so müssen Gräben ausgeschaufelt werden, und zwar zuerst so tief, daß man von ihrer Sohle aus mit den Sonden den „gewachsenen Boden“ erreichen kann. — Die Sondierung erfolgte dann in den Gräben nach der Tiefe und schräg nach rechts und links abwärts in die stehengebliebenen Zwischenwände.

Da das Ausheben von Gräben sehr zeitraubend ist, wird man zuerst die Gräben in weiteren Abständen anordnen und später nach Bedarf Zwischengräben einschalten. Die Art des Vorgehens ist abhängig von der Größe der Lawine, der Zahl der verfügbaren Mannschaften und Schaufeln sowie den örtlichen Verhältnissen. Sie wird von Fall zu Fall vom Leiter der Rettungsarbeiten angeordnet. — Sind breitere Gräben auf weitere Entfernung voneinander (aber nicht weiter als knapp zwei Sondenlängen) ausgehoben, so kann von Graben zu Graben mit auseinandernehmbaren Sonden auch *Quersondierung* erfolgen, wodurch sich das Zeit und Kraft erfordernde Ziehen von Zwischengräben erübrigt.

Vor aller Grabarbeit steht aber stets die *gewissenhafte Sondierung*, die bei richtiger Durchführung am raschesten zu einem Erfolg führt!

Während einesteiils rasche Freilegung oft allein Rettung bringen kann, bedenke man stets, daß Verschüttete auch noch nach Tagen aus ihrem Schneegrab gerettet worden sind, und ermatte nie in der Rettungsarbeit.

Es gibt *nur einen Fall*, in welchem *Rettungsarbeiten überhaupt nicht* unternommen werden dürfen *oder abgebrochen* werden müssen: *wenn* wegen andauernder oder erneuter Lawinengefahr *weitere Menschenleben in unverantwortlicher Weise aufs Spiel gesetzt werden*. — Dann muß gewartet werden, bis diese Gefährdung vorüber ist. — Die Entscheidung über Einsatz oder Nichteinsatz von Rettungsmannschaften hat der verantwortliche Leiter der Rettungsstation bzw. -expedition zu fällen.

Erwähnt soll noch werden, daß alle Sondierungsarbeit durch die siebartige Durchlöcherung der Lawine eine sehr beträchtliche *Luftzufuhr* nach der Tiefe bewerkstelligt.

Hat man einen Verschütteten durch Sondierung festgestellt, so wird sofort die Lage seines Körpers durch Abtasten festgestellt, und es wird ihm durch sorgfältigstes Niederbringen zahlreicher Sondenlöcher um den Körper herum möglichst reichlich Luft zugeführt. —

Verhalten des Mitgerissenen in der Lawine und Behandlung Geborgener S. 193 ff. (vgl. Dr. med. R. Campbell⁷ und Dr. med. P. Gut¹¹).

Bricht eine Lawine los und ist ein Entkommen nicht mehr möglich, so versuche man sofort die Füße von den Bindungen frei zu machen. Sehr rasch ist dies bei dem auch sonst vorzüglich bewährten „Bildsteinstrammer“ möglich. Meist überschoben sich die Schneemassen sofort über die Skier, drücken darauf, werfen den Skiläufer um und ziehen ihn in die Tiefe. Durch die starke Hebelwirkung vermehren die fest angeschnallten Skier außerdem die Gefahr der Verrenkung und der Beinbrüche.

Also: *Sofort Skier los! Arme hoch! Beine hoch!* Mit aller Kraft und Energie versuchen, in der gleitenden, fließenden Lawine durch Schwimmbewegungen *an der Oberfläche zu bleiben*, vor allem den *Kopf frei zu behalten!!* — Womöglich sich gegen den Lawinenrand zu arbeiten. (Abb. 130.)

Bei Gefahr, eingebettet zu werden: Arme in Brusthöhe anwinkeln, Hände, als lockere Faust geballt, vor Mund und Nase bringen (Boxstellung). Stets Versuch, einen *Atemraum vor dem Gesicht freizuhalten* und der *Zusammenpressung des Brustkorbs* und des *Zwerchfells* durch den Schnee *entgegenzuarbeiten*, damit Atmung möglich bleibt!

Gegen Erstickungsgefahr durch Eindringen von Schnee in die Atmungsorgane — besonders bei stäubendem Lockerschnee — binde man *vor Betreten* eines lawinenverdächtigen Hanges als Schutz ein Seidentuch oder einen Wollschal vor Mund und Nase.

Während bei stäubenden Lawinen der eindringende Schneestaub und die in den Lungenbläschen entstehenden Wasser-

tröpfchen die Ursache für den meist rasch erfolgenden Tod durch Erstickung sind, ist bei Feucht- und Naßschnee der Erstickungstod meist durch Zusammenpressen von Brust und Bauch bedingt: also durch Behinderung der Einatmung sowie durch Luftmangel wegen zu geringen Luftgehalts des dichten Schnees.

In sehr vielen Fällen kann der Verschüttete durch richtiges Verhalten Eindringen von Schnee in die Atmungsorgane verhindern und in günstiger Lage eingebettet werden oder durch glückliche Zufälle genügend Luft bekommen: also lange bei Bewußtsein und am Leben bleiben.

Die meisten und günstigsten Hohlräume bleiben bei allen Lawinen, in deren Ablagerungskegel widerstandsfähige Schollen sich versperren.

Das wichtigste für den Verschütteten ist, nach Überwindung des Schreckens sich *ruhig und besonnen* zu verhalten, damit er erstens sachgemäß handelt, sich vor allem möglichst *widerstandsfähig erhält*, so daß Rettung auch nach längerer Zeit möglich bleibt.

Er muß vor allem bestrebt sein, *nicht* durch unnütze Anstrengungen, zu krampfhaften Angst-Bewegungen, seine *Kräfte zu vergeuden*; er soll sich nicht durch lang anhaltendes Schreien erschöpfen, nicht die geringe *Atmungsmöglichkeit* und den kleinen Luftvorrat unsachgemäß verbrauchen, sondern mit diesem kostbaren Gut durch haushälterisches, flaches Atmen sparsam umgehen. Laut soll er nur geben, wenn er hört, daß jemand in die Nähe kommt. Er muß wissen, daß er die über ihm gehenden Leute viel besser hört, als sie ihn; also mit dem Lautgeben warten, bis er merkt, daß sie stillstehen und lauschen. Hat er eine Signalpfeife umhängen und kann sie zum Munde führen, so gibt er Pfeifsignale.

Gelingt es dem Verschütteten, die Hände und Arme frei zu bekommen, so wird er — ganz allmählich, *ohne jede Überanstrengung* (!) — vor *allem den Atemraum* zu vergrößern suchen und die Höhlung um Kopf und Brust erweitern. Wenn die Verschüttung ganz oberflächlich ist, kann es in sehr seltenen Fällen auch gelingen, sich selbst zu befreien.

Ist das nicht möglich, so denke jeder Verschüttete, daß die Kameraden alles tun werden, ihn zu finden, und daß Rettung noch nach Stunden und Tagen möglich ist. *Einzelgänger haben* im winterlichen Hochgebirge nichts zu suchen; sie sind im Falle der Lawinenschüttung *unrettbar verloren!* —

Außer der Gefahr der Erstickung, des Erdrücktwerdens, Erschlagen durch Eisblöcke (Firneislawinen) oder Anschlagen an Fels oder Eis, Davontragen schwerer Verletzungen aller Art während des Sturzes, sowie Erschöpfung kann auch eine allmähliche Abkühlung zum Tode führen. Kälteeinwirkung hat zunehmende Gleichgültigkeit (Kälteapathie), dann Bewußtseinstrübung — Erstarren — Erlöschen zur Folge.

Wenn ein Verschütteter ausgegraben ist, so läßt sich für den Laien oft schwer entscheiden, ob er wirklich oder nur scheinbar leblos ist.

Ist der Körper hartgefroren oder ist ausgeprägte Leichenstarre vorhanden, ist die Hautfarbe marmorweiß, so ist nichts mehr zu hoffen.

Dr. med. Campell⁷ und Dr. med. Gut¹¹ geben in ihren vorzüglichen Schriften, denen ich folge, wichtige Anhaltspunkte:

Können die Gliedmaßen noch bewegt werden und ist der Rumpf noch warm, dann ist — trotz scheinbar aufgehobener Atmung und nichtfühlbarem Puls — noch Hoffnung auf Wiederbelebung.

Die Ärzte unterscheiden „*weiße und blaue Ohnmacht*“ sowie „*weißen und blauen Scheintod*“. Man darf beide nicht miteinander verwechseln.

a) *Weißer* = *alltägliche Ohnmacht*; Gehirn = Gesicht: blutleer = weiß. Während des Anfalls: nichts geben; nach Aufwachen: Alkohol, ja.

b) *Blaurote Ohnmacht*: Hitzschlag, Sonnenstich, Hirnschlag; Gehirn = Gesicht: blutüberfüllt = blaurot. Während des Anfalls nichts geben; nach Aufwachen: Alkohol, nein.

c) *Weißer Scheintod*: sehr ernst; durch primären Herzstillstand; für Rettung ungünstig.

d) *Blauer Scheintod*: günstig; beweist Herztätigkeit, Blutumlauf geht weiter bei Luftmangel. Rettungsmöglichkeit durch künstliche Atmung.

Anm. An dieser Stelle soll auf die sehr erfolgreichen Versuche von Lindemann hingewiesen werden, Verschüttete durch starke *Riechstoffe* rasch aufzufinden. Lindemann schlägt vor, daß der Skiläufer des Gürtel eine verschließbare Dose mit Riechstoff trägt. „Betritt er unsicheres Gebiet, so öffnet er die Dose und der Riechstoff wird frei.“ Die Versuche ergaben rasches Auffinden ausgestopfter, einen Meter tief im Schnee vergrabener Säcke — erst durch die Geruchswahrnehmung, dann durch Sondierung. Am verblüffendsten war die Auffindung beim *Suchen gegen den Wind*. Dort, wo der Geruch dann plötzlich nicht mehr (ab Wind) wahrnehmbar war, lag das Versuchsobjekt.

e) *Rötlich bis lilafarben* ist die Haut bei raschem Tod durch Erdrücktwerden innerhalb weniger Minuten.

f) *Marmorweiße Farbe* weist auf allmähliches Absterben durch Erschöpfung, Abkühlung, Erfrierung: — Bei Senkung der *Körpertemperatur* unter etwa 20° erlischt das Leben, lange bevor der Körper hartgefroren ist. Also bei allen aus dem Schnee Geretteten Zufuhr von Wärme, Wärme, Wärme!!! — Schutz vor Kälte!

Betr. der Maßnahmen, die ergriffen werden müssen, sowie ein Verschütteter nach sorgfältiger Sondierung und vorsichtiger rascher Grabarbeit gefunden worden ist, folge ich wieder besonders Campell: Zuerst wieder Arbeitsteilung unter den zur Verfügung stehenden Rettern. Verteilung der Rollen durch den Führer.

Dann erfolgt *sofort* nach Freilegung:

1. *Freimachen des Mundes und der Nase von Schnee.*

2. *Lockern* aller einengenden Kleidungsstücke: Kragen, Gürtel, Hosensbund! *Aber nicht* zur Erleichterung der künstlichen Atmung in der Kälte *halb ausziehen!!!*, sondern:

3. Möglichst *warm betten*: Lager auf Skiern, mit Mosetigbattist-Schlafsäcken, Windjacken, Joppen, leeren Rucksäcken polstern. Rumpf mit warmen Decken, Wollschals reiben. *Warm* einpacken und *warm* erhalten. Bedecken mit trockenen Kleidern.

Falls genügend Material und Arbeitskräfte vorhanden: als Windschutz Schneemauer bauen, Windschirm aus Skiern mit zwischengespannten Decken oder Mänteln usw. errichten. Zelt als Unterschlupf aufbauen.

4. *Nicht den Unsinn* machen, *dem Bewußtlosen, der ja nicht schlucken kann (!), Tee oder Cognak* einflößen zu wollen, da diese Flüssigkeiten durch den offenen Kehledeckel in die Atmungswege gelangen und den *größten Schaden* anrichten!

5. *Planmäßige, richtige künstliche Atmung* muß umgehend durchgeführt (von 2, womöglich 3 Helfern) werden. Gleichzeitig entkleiden — wenn genügend Helfer vorhanden sind — zwei die unteren Extremitäten und behandeln sie:

a) wenn erfroren: durch *Massieren* mit *trockenem* Schnee oder mit kalten, *trockenen Tüchern*;

b) wenn sie nicht gefroren sind, durch kräftiges Reiben mit warmen Tüchern (Wollfäustlingen).

Der *Arzt* wird mit Einspritzungen von Kampfer, Digitalis, Koffein, Cardiazol usw. die Herztätigkeit zu steigern suchen und — wenn möglich — warme Einläufe in den Darm (Zuckerlösung, Alkohol usw.) machen.

Die *künstliche Atmungstechnik nach der Silvester-Campell'schen Methode* wird folgendermaßen durchgeführt:

Retter I legt:

a) dem Scheintoten eine Stoffrolle (Rucksack, Joppe) in der Höhe der unteren Hälfte der Schulterblätter unter den Rücken;

b) setzt sich ritlings (auf entsprechend hergestelltem Schneesitz oder auf dem Rettungsschlitten) an das Kopfende des Bewußtlosen und nimmt

den Kopf des auf dem Rücken Liegenden zwischen seine Hände auf den Schoß, so daß der Kopf nicht nach hinten herunterhängt, weil sonst die Luftröhre abgeklemt wird; Kinn leicht in natürlicher Haltung angezogen;

c) er dreht den Kopf des Scheintoten zwanglos nach der rechten Seite, *öffnet den Mund, faßt mittels eines trockenen Tuches die Zunge und hält sie mit der rechten Hand fest*; mit der linken Hand nimmt er ein weiteres trockenes Tuch, trocknet dem Patienten damit von Zeit zu Zeit den Mund und Hals und sorgt, daß die Nase frei ist und Lufteintritt ermöglicht. Feststellung, ob der Verschüttete ein Gebiß trug, welches verschluckt sein kann!

Retter II:

der inzwischen die Lockerung der Kleidungsstücke besorgt hatte, *kniert zuerst rittlings* über dem Patienten, Gesicht gegen Gesicht. *Er umfaßt mit seiner rechten Hand das linke Handgelenk des Liegenden, mit seiner linken dessen rechtes Handgelenk*. Dann beginnen die Bewegungen der künstlichen Atmung.

Zuerst — besonders wichtig!!! — gründliche Ausatmung.

Retter II verfährt dabei folgendermaßen:

Er sitzt leicht auf dem Unterbauch des Liegenden und *kreuzt* zugleich ganz allmählich *und unter Druck die Arme des Scheintoten über dessen Brust und Oberbauch*.

Er *zieht* nun die *Arme kräftig* kreuzweise *nach unten-außen* und erreicht so gleichmäßig und müheles Auspressung der Brust des Scheintoten. Seine Ellbogen drücken dabei sehr wirksam auf den Brustkorbrand, und die über dem Bauch gekreuzten Unterarme helfen das Zwerchfell nach oben drängen, wobei der Schenkeldruck des Retters auf den Unterbauch mithilft.

Ergebnis: sehr vollständige Ausatmung.

Bei Ausatmung fängt *Retter I* die mit der Luft *ausfließenden Entleerungen sorgfältig ab*.

Retter II hebt nun *plötzlich den Druck auf Oberbauch und Unterbauch* auf, desgleichen die gekreuzte Armstellung und *führt die Arme erst seitwärts und dann mit einem Ruck seitwärts hoch*; man hört in diesem Augenblick — selbst bei einem Toten — eine kräftige Einatmung.

Auf Einatmung folgt nun auf diese Weise wieder Ausatmung 16—20 mal in der Minute.

Diese Atembewegungen werden peinlich genau so lange wiederholt, bis entweder der Scheintote wieder *regelrecht* zu atmen beginnt, oder bis nach *zwei Stunden* von weiterer Arbeit kein Erfolg mehr zu erwarten ist. Sind mehrere Retter vorhanden, so lösen sie sich ab. Sind nur zwei Retter zur Verfügung, so vertauschen sie von Zeit zu Zeit ihre Rollen.

Da plötzlich wieder *Verschlechterungen im Befinden des Patienten* auftreten können, muß man stets darauf gefaßt sein, die *Wiederbelebungsarbeit wiederaufnehmen* zu müssen.

Ein Abtransport darf erst erfolgen, wenn die Atmung einwandfrei geworden ist und das Herz normal arbeitet. Wiederholte Prüfung des Zustandes bleibt also wichtig; desgleichen künstliche Wärmezufuhr (Kälte-

schutz auch durch Anbringen eines Windschirms aus Skiern mit ausgespannten Mänteln usw.). Wärmezufuhr erfolgt durch warme Getränke (warmer Kaffee, warmer Tee mit Zucker und Alkohol).

Sehr wertvoll als Anregungs- und Wiederbelebungsmitel ist Cardiazol der Firma Knoll A.G., 1—2 Tabletten in Flüssigkeit gelöst. Am wirksamsten — in dringenden Notfällen auch durch Laien — eine Spritze subkutan. Alle Mittel und Getränke *erst, wenn der Patient vollkommen zu sich gekommen ist und einwandfrei schlucken kann!*

Alle Rettungsmaßnahmen müssen vorschriftsmäßig und gründlich eingeübt werden — Skilehrerprüfung!!!

XI. Die Schnee- und Lawinensonde und das Sondieren.

Seit 1926 ließ ich verschiedene Modelle zusammenlegbarer Sonden herstellen und gebrauchte jetzt solche aus Leichtmetallrohr von 5—6 mm Durchmesser mit abnehmbarem Handgriff und auswechselbaren Sondenspitzen. Für Schneesondierung gewährleistet die *schlank konisch zulaufende Spitze* das glatte Durchdringen aller Schneearten am besten. Zur Feststellung des Materials am Grunde und zum Heraufholen von Stoffetzen der Bekleidung Verschütteter leistet die „Fräsbohrerspitze“ gute Dienste.

Die zusammenschraubbare „*Bilgeri-Sonde*“ ist brauchbar zur Feststellung der Schneebeschaffenheit ungestörter Schneemassen und zur Sondierung nach Verschütteten in nicht zu fest gepreßtem Schnee. Sie ist zu schwach und wird in Lawinenkegeln aus schwerem, dichtgepreßtem Schnee verbogen.

Vorzüglich ist die nach Art der zusammenlegbaren Gewehreinigungsstöcke mit Drahtkabel versteifbare schweizerische „*Lindemann-Sonde*“. (Abb. 134, S. 199.) *Jeder alpine Skiläufer muß eine Sonde mitführen!*

Alles Sondieren muß — wenn die Sonde nicht durch ihr eigenes Gewicht von allein in die Tiefe sinkt — mit ganz leichten, kurzen, feinfühlig geführten Auf- und Abwärtsbewegungen ausgeführt werden. Zum Sondieren gehört Geschick und Übung.

Bei feuchtem und nassem Schnee bilden sich durch Zusammenpressen Eispfropfen, welche mit ganz kurzen Stößen vorsichtig durchstoßen werden. Durch heftigen Stoß gefährdet man den Verschütteten und kann z. B. den Schädel glatt durchbohren! — Beim Auftreffen auf einen menschlichen Körper spürt man einen sehr bezeichnenden elastischen Widerstand. Trifft die Metallsonde auf Fels, so erfolgt leichtes Zurückfedern unter hellem Klang. Ist Erdboden oder Gras vorhanden, so spürt man Eindringen unter zähem Widerstand.

Beim *Durchtasten* von „Schneeprofilen“, in denen man das Wichtigste über die Beschaffenheit der Schneelagen in der Tiefe „erfühlen“ muß, hat das Gehör den Tastsinn zu ergänzen. Durch *Lockerschnee* sinkt die Sonde lautlos mittels ihres eigenen Gewichtes. Auf *Harschtschichten* bleiben sie stehen. Je nach Dicke derselben genügt leichtes Anlüften und Fallenlassen oder mehr oder weniger leichter Stoß zum Durchdringen; dabei erklingt ein schärferer Ton. Bei *Eislagen* hört man einen helleren Ton und verspürt einen stärkeren Widerstand. Erfolgt bei leichtem Druck sanftes Gleiten mit „schleifendem“ Ton, so durchfährt man verhältnismäßig weichen, dichten *Firnschnee*. In *größerem Firnschnee* ist der Ton schärfer, „kratzend“, der Widerstand je nach Dichte und Stärke der Verfrierung größer. Fällt dann in der Tiefe die Sonde glatt durch, so liegt „*Schwimmschnee*“ vor.

Sondierübungen bei Lehrgängen, Skikursen werden derart vorgenommen, daß man Profile durch möglichst verschiedenartige Schichtmassen gräbt und dann an ihre Wand einen Maßstab stellt. Jeder Schüler hat das gemeinsam vorher genau aufgenommene Profil in sein Notizbuch (karriertes Papier) maßstabgerecht aufgezeichnet. Dann muß jeder Prüfling die ungestörte Schneemasse neben dem Profil sondieren und den Befund melden, während die übrigen das Ergebnis notieren und Kontrolle ausüben.

XII. Bohren, Graben, Biwakbau.

Paulckes Schneeborher für Kernbohrungen. (Abb. 132).

Dieses Instrument konstruierte ich besonders für Forschungszwecke, um rasch ohne zeitraubende Grabung Profile

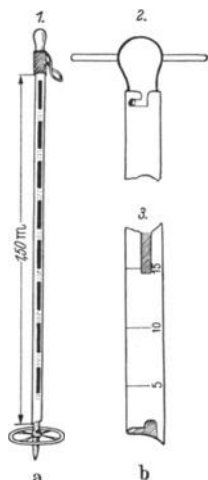


Abb. 132. Paulckes Schneeborher für Kernbohrungen. 1. Das Aluminiumbohrrohr mit den Beobachtungsschlitzen wird über den Skistock mit abnehmbarem Schneeteller geschoben. Am Stockoberende befindet sich eine Lederhülse oder ein Stück Gummischlauch als Kälteschutz für die Hand. 2. Der im Rucksack mitgeführte abnehmbare Holzknobel hat Bajonettverbindung mit dem Bohrrohr. 3. Zugeschärftes Unterende mit Maßeinteilung. Dazu zweites, eventl. drittes Rohr zur Verlängerung. Verbindung durch Bajonettverschluß.

jeder alpine Skiläufer im Rucksack mit sich führen. Zur Grabarbeit ist zu bemerken, daß schwerer Schnee nie „herausgehelt“ werden darf, da dabei die Schaufeln abbrechen



Abb. 133. Bohrung mit Paulckes Schneeborher zur Feststellung von „Schneeprofilen“ und der Sickergeschwindigkeit des gefärbten Schmelzwassers in der Tiefe, am leicht nach links geneigten Hang. (Photo: Paulcke.)

feststellen zu können; desgleichen z. B. Fortschreiten der Wasserbewegung nach Färbversuchen. (Abb. 133, S. 198.) Anwendung und Beobachtungsmöglichkeit ist aus der Abbildung ersichtlich. (Abb. 30, S. 40.)

Das Graben mit der Lawinenschaukel. (Abb. 134, S. 199.)

Dieses wichtige, von Chr. I s e l i n eingeführte Hilfsmittel muß

jeder alpine Skiläufer im Rucksack mit sich führen. Zur Grabarbeit ist zu bemerken, daß schwerer Schnee nie „herausgehelt“ werden darf, da dabei die Schaufeln abbrechen

oder verbiegen; schwererer Schnee wird im Geviert umstochen und in Quadern ausgehoben.

Schnee-Biwakbau.

muß geübt werden. Jeder Skiläufer muß in der Lage sein, im Falle der Not (Erschöpfung eines Kameraden, Verlust der Orientierung, Schneesturm usw.) ein gutes Schneebiwak zu bauen. Ein rechtzeitig bezogenes, richtig gebautes Biwak bewahrt vor Erschöpfungs- und Erfrierungstod! — Für den Skiläufer und Bergsteiger kommen drei Bauformen in Betracht:

1. *Biwakgrube* wird im Boden unter Belassung bankartiger Sitzgelegenheiten ausgehoben; mit Ski- und Schneequadern gedeckt. (Abb. 135.)

2. Die *Schneehütte* am Hang angelehnt aus Schneequadern; der Hang wird als Rückwand benutzt.

3. „*Murmeltierbau*“ = „*Schneehöhle*“. (Abb. 136.) Nachdem durch Sondierung hinreichende Mächtigkeit und Standfestigkeit

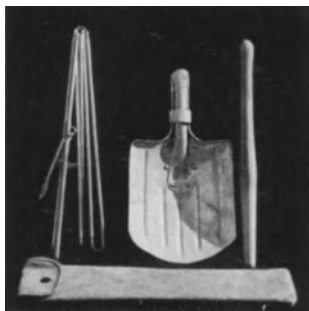


Abb. 134. Zwei wichtige Rettungswerkzeuge: Lindemanns Schneesonde und Iselins Lawinschaufel mit Stiel. (Photo: Frau Dr. Gut.)

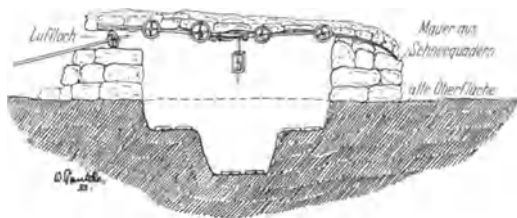


Abb. 135. Schneegrubenbiwak. Querschnitt. Der Aushub (Quadern) ist zum Mauerwerk verwendet; Sitze ausgespart, wie der Boden mit Ski belegt; Dach aus Ski, Skistöcken, Zelttuch und Schneebeleg.

am Hang, in einer großen Schneewehe usw. festgestellt ist, wird an der Basis der künftigen Höhle im Abstand von 2–3 m je ein Schließkanal von 1–1,5 m Tiefe senkrecht zum Hang in

den Schnee gegraben; dann arbeiten die zwei Männer einen Verbindungskanal parallel zur Vorderwand aus, bis sie sich treffen, und weiten hierauf die Höhle zur gewünschten Form und Größe. Bankartige Sitzgelegenheit bleibt immer an der Rückwand stehen. Die Schiefelöcher werden nach Beziehen der Höhle mit bereit gelegten Quadern verschlossen.

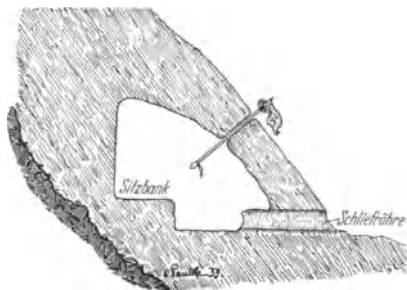


Abb. 136. Schneehöhlenbiwak „Murmeltierbau“ in einer Schneewehe Typus „Kapselle“. Querschnitt.

Bei Wahl aller Biwakplätze ist Lawinensicherheit und Vorhandensein standfesten Schnees Voraussetzung.

XIII. Schneekunde und ihre praktische Auswertung.

Schneeschutz — Lawinenschutz — Verbauung.

Besonderes Verdienst um die erste Klärung der Lawinenfragen und die Aufgaben der Lawinenverbauung gebührt dem schweizerischen Forstinspektor J. Coaz⁶, der schon 1881 eine zusammenfassende Arbeit schrieb. Seither hat sich ein reiches Schrifttum entwickelt Fankhauser⁹, Hess¹⁵ u. a. In allen Ländern, die von Schneegefahren aller Art — in der Ebene durch Verwehungen, im Gebirge besonders durch Lawinen — bedroht sind, hat man von jeher nach Mitteln und Wegen gesucht, die durch den Schnee bedingten Gefährdungen und Schäden zu vermindern und auf ein erträgliches Maß zurückzuführen.

Der Schaden, der durch Schnee angerichtet wird, ist ganz ungeheuer; er beträgt — abgesehen von den unersetzlichen Menschenverlusten — durch Zerstörung von Sachwerten jährlich viele Millionen! Es ist daher merkwürdig, daß man bis vor ganz kurzer Zeit alle Schutzmaßnahmen — allerdings auf Grund langer Erfahrungen — vorwiegend rein „gefühlsmäßig“, ohne Anwendung systematischer experimenteller Forschungsarbeit durchführte. Auf allen Gebieten der Technik — ich erinnere nur an den Wasserbau — haben planmäßige Arbeiten mit Experimenten und Modellversuchen hervorragende wissenschaftliche, wie praktische Erfolge gezeitigt, die sich auch materiell durch Kostenverminderung bei Bauten und Ersparnisse durch Verhütung von Schäden auf das stärkste auswirkten. Für die mit dem Schnee zusammenhängenden Fragen fehlte diese planmäßige Untersuchung.

Ich behandelte daher schon vor über 33 Jahren — ab 1905 — in meinen Vorlesungen über „Technische Geologie“ an der Technischen Hochschule zu Karlsruhe auch die Gebiete der Schnee- und Lawinenkunde, des Schneeschutzes und der Verbauung.

Seit etwa 15 Jahren unternahm ich mit verschiedenen Mitarbeitern systematische Schnee- und Lawinenforschungen im Schwarzwald und in den Alpen, insonderheit bei Station Eigergletscher und Jungfraujoch. Das geschah — abgesehen von vielgestaltigen Naturbeobachtungen — durch Einrichtung sog. „Naturlaboratorien“, in denen ich an geeigneten Stellen mannigfache Versuche derart anordnete, daß sich ihr Ablauf unter Einwirkung der verschiedensten Naturkräfte vor meinen Augen vollzog.

Neben diesen Versuchen laufen solche in Hochschullaboratorien, die — sich ergänzend — zur Entwicklung einer vielgestaltigen Forschungsmethodik führten.

Geklärt wurden insonderheit die Veränderungen, die der Schnee nach seiner Ablagerung durchmacht: die „Diagenese“, der Verfirnungsvorgang, die Wasserbewegung in den Schneeschichten, die Eislagenbildung, die Schwimmschnee-Entstehung. Festgestellt wurden die Lagerungsverhältnisse des Schnees, insbesondere durch Windumlagerung — die Gesetze der Wächtenbildung, der Hangausgleich, Gegenböschung, Schneeschild, Schneebrett und ihre Zusammenhänge mit der Lawinenbildung. Untersucht wurden die Wirkungen von Schneeschutzeinrichtungen gegen Verwehung, die Bewegungen des Schnees am Hang usw. Betr. Bildung und Bewegung der Lawinen und Verschüttung konnten durch künstliche Loslösung von Lawinen wertvolle Feststellungen gemacht werden. Wo es irgend möglich war, erfolgte kinematographisches Festhalten der Vorgänge, woraus auch ein instruktiver Schnee- und Lawinenlehrfilm entstand.

Eine nachdrückliche Anregung — mit Einführung in mein „Naturlaboratorium“ bei Station Eigergletscher — zur Inangriffnahme solcher systematischer rationeller Schnee- und Lawinenforschungen in „Naturlaboratorien“ unter Beigabe eines ausführlichen Arbeitsplanes übermittelte ich 1931 dem schweizerischen Schuldepartement, sowie dem Eidgen. Dep. des Inneren. Sie wirkte sich bald erfolgreich aus.

Da die Behandlung der *Schnee- und Lawinenschutzfragen*, ein Spezialgebiet des Bauingenieurwesens, ein Buch für sich in Anspruch nehmen würde, muß ich mich an dieser Stelle darauf beschränken, einen kurzen Einblick in Hauptfragen, um die es sich hier handelt, zu geben.

W. Welzenbach hat in seiner Dissertation diese Fragen zusammenfassend behandelt.

Neuerdings hat E. Hess¹⁵, Bern, eine zusammenfassende Darstellung gegeben. Beiden Veröffentlichungen folge ich vielfach.

Wir unterscheiden zwei große Gruppen von Schneeschutzeinrichtungen: und zwar solche:

I. *Gegen Schneeverwehungen.*

II. *Gegen Lawinen.* (Schneerutschungen, Schneestürze).

I. Schutz gegen Schneeverwehungen.

Schneeverwehungen bedrohen Straßen, Bahnen, Häuser, Siedlungen usw.

Bei der Anlage von Neubauten aller Art ist daher in schneereichen Gegenden bei der Planung: Trassierung, Wahl des Bauplatzes, Gestaltung des Baues — bei Straßen z. B. Art des Straßeneinschnittes, Gestalt des Dammes (Böschungsverhältnisse) die Verwehungsmöglichkeit mit in Rechnung zu stellen und es müssen die günstigsten Bedingungen gesucht bzw. geschaffen werden.

Versuche über Luftbewegung und Lockermaterialtransport in der Natur wie am Modell im Windkanal müssen für alle Verwehungsfragen und den Bau von Windschutzanlagen systematische Vorarbeit leisten.

Diese Maßnahmen gegen Verwehungen bestehen

1. in *richtiger* d. h. keine Verwehung zulassender, zum mindesten sie nicht fördernder *Bauweise*;

2. in Anordnung von *Ablenkungsbauten*, durch die

a) entweder die mit Schnee beladenen Luftströmungen vom bedrohten Objekt abgelenkt werden, oder durch welche

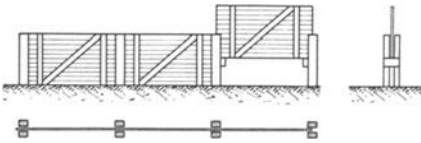


Abb. 137. Bretterwände aus einsetzbaren Bretttertafeln.

b) die Luftströmungen auf das Objekt gelenkt werden, womöglich unter Querschnittsverminderung der Luftströmung zur Steigerung der Transportkraft über dem Objekt und damit Freiblasen desselben.

Gefühlsmäßig angeordnete Einrichtungen zur Erreichung des genannten Zwecks haben teils Mißerfolge, teils Erfolge gebracht. Systematische Experimente über Leitwerkwirkung sind notwendig und werden rentieren;

3. *Maßnahmen durch die der Schnee von zu schützenden Objekt ferngehalten wird.*

a) durch *Bewachsung*. Aufforstung im großen, Waldschutzstreifen, lebende Hecken;

b) durch *Zäune, Schutzwände usw.*

Derartige Schutzbauten werden als Dauereinrichtungen gebaut oder jeden Winter neu aufgestellt.

Es gelangen zur Errichtung:

Barrierenartige Zäune mit senkrecht am oberen Querbalken angenagelten Tannen- oder Fichtenzweigen — eine der billigsten und recht wirksamen Einrichtungen; ferner Lattenzäune, Bretterzäune aller Art. Bockzäune, ausgespannte Netze aller Art (Faden-, Drahtgeflechte). Bohlenwände. Zäune aus Eisenbetonteilen. Steinmauern. Schneemauern.

Alle diese Einrichtungen haben den Zweck, den Tribschnee aufzufangen, zurückzuhalten bzw. zurückzuwirbeln (Stauwalzenbildung, Abb. 138). Vgl. meinen Vorschlag der *luweiseitigen Verbauung* von Lawinhängen S. 204.

Von ausschlaggebender Bedeutung für die schützende Wirkung dieser Einrichtungen ist außer ihrer Bauart ihre Höhe und die Art ihrer Anordnung: Entfernung vom Objekt; Stellung zur Hauptwindrichtung, die Schneetreiben vorzugsweise bringt, und Stellung zum Objekt. Reihenanordnung; Anordnung

in Feldern; gestaffelte Anordnung. Wahl des günstigsten Winkels zum schneebringenden Wind und dem zu schützenden Objekt usf.

c) Durch *Überwölbung des Verkehrsweges, bzw. Verlegung desselben in den Berg: Tunnelbau.*

Diese beiden Methoden finden bei kostspieligen Bauten (Bahnen) und bei Anlage wichtiger Verkehrswege Anwendung. Die einmalige große Ausgabe ist oft der Dauerbelastung für Schneeräumungsarbeiten und Einnahmeausfall durch langandauernde Verkehrsunterbrechung bei Bahn- und Straßenbauten vorzuziehen, besonders wenn der Tunnel die Straße gleichzeitig gegen Lawinenschüttung schützt.

II. Schutz gegen Lawinen.

Das klassische Land, in welchem die Aufgaben, die der Schutz gegen Lawinen stellt, mit größtem Erfolg behandelte, war die *Schweiz*. Zur Bekämpfung der Lawinengefahr und der Lawinenschäden hat man die verschiedensten Maßnahmen ergriffen:

I. *In erster Linie* muß es sich dabei darum handeln, die *Grundursachen* für die *Entfesselung der Lawinenbildung zu bekämpfen*.

Das muß geschehen:

1. *Im Einzugsgebiet der Tribschneemassen* (besonders von mir vorgeschlagen, aber meines Wissens noch nirgends systematisch durchgeführt);

2. durch *Festhalten der Schneemassen im Abbruchgebiet* der Lawinen;
a) durch Bepflanzung (Aufforstung),
b) durch Verbauung.

II. Es muß weiter darauf hingearbeitet werden, daß die *stürzende Lawine* möglichst unschädlich gemacht wird; das sucht man zu erreichen:

1. durch *Ablenkung der stürzenden Lawine* mittels *Leitwerken* vom bedrohten Gegenstand weg an Stellen, wo sie keinen Schaden anrichten kann;

2. durch *unmittelbaren Schutz von Bauwerken*.

III. Ferner wird telegraphischer und telephonischer Warnungsdienst eingerichtet. *Zeitungsdienst* und *Plakate* in Wintersportplätzen und an Bahnhöfen warnen an besonders kritischen Tagen vor *Lawinengefahr*.

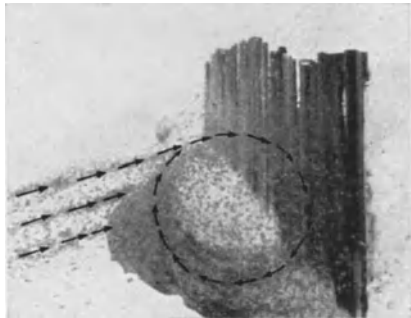


Abb. 138. Tribschnee-Experiment. Starker Wind treibt Konfetti gegen senkrechte Wand; es erfolgt nahezu vollkommenes Zurückwirbeln und Bildung einer Stauwalze und Hohlkehle. (Photo: Paulcke. Laufbildreihe.)

I. Bekämpfung der Grundursachen.

Der Kampf gegen jedes Übel muß an der Wurzel beginnen.

Da die mächtigsten Schneemassen, die zur Lawinenebildung Veranlassung geben, sich aber auf den Leeseiten befinden, auf welchen die größten Trieb-
schneemengen (vgl. S. 70 ff.) abgelagert werden, schlug ich 1926 vor, den
*Schnee schon im eigentlichen Wurzelgebiet, das ist das Einzugsgebiet auf
der Luvseite, zurückzuhalten, damit kein, oder möglichst geringer Transport
nach Lee und damit keine Wächtenbildung an den betreffenden Firsten
und keine Überlastung der gefährdeten Leehänge stattfindet.*

Ich bildete auch — mit Welzenbach²⁰ (vgl. S. 84) — meinen Vorschlag
für die Anordnung einer luvseitigen Verbauung ab (Abb. 139).

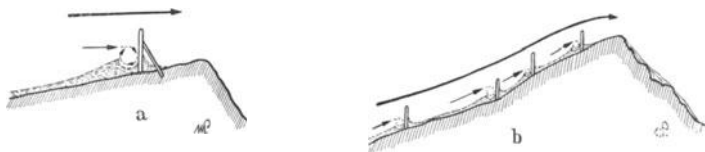


Abb. 139. Vorschlag Paulcke von 1926 bezüglich Verbauungen von Lawinengelände auf der Luvseite von Kämmen und Graten zur Verhinderung stärkeren Schneetransportes nach Lee und damit Verhinderung von Wächtenbildung und Ansammlung größerer Schneemassen auf den bedrohten Leehang.

Luvseitige Verbauungen müssen nach den Grundsätzen der Schutzbauten gegen Trieb-
schneeverfrachtung erfolgen, d. h. es müssen an den Luvhängen, welche Nährgebiete für
Trieb-
schnee sind, Festhalteeinrichtungen geschaffen werden, die den Schnee auf Luv festhalten:
also nicht nur Aufforstung auf Lee, sondern auch auf Luv.

Ferner: *auf Luv Anordnung von Schneeschutzwänden* (vgl. S. 202). In den meisten Fällen werden diese
Schutzwände am geneigten Hang terrassenartig in mehreren Reihen angeordnet werden,
und zwar nicht in schematischen, sondern dem Gelände angepaßten Abständen.

Beobachtungen über die Wirksamkeit (Experimente im Windkanal, wie im Naturlaboratorium)
müssen die Brauchbarkeit dieses Vorschlags erproben.

Ich glaube, daß die „*luvseitige Verbauung*“ in Zukunft mehr und mehr angewendet werden wird.

Besonders wirksam dürfte sie dort durchführbar sein, wo in Gratscharten und Sätteln große
Wächten zu entstehen pflegen, unterhalb derer sich an Hängen oder in Rinnengebieten
mächtige Trieb-
schneemassen auf Lee anzu-
häufen pflegen, so daß dort örtlich außerordentliche Lawinengefahr zu herrschen pflegt.
Lückenverbauung.

Bei einigermaßen stärkerem Gefälle der Luvseite kann man auch den Luvhang — wenn die
Bodenbeschaffenheit das ohne allzu große Kosten erlaubt — terrassieren, d. h. künstlich
gemachte senkrechte Wände für den Schneerückstau herstellen.

Es kann auch notwendig werden, daß vorübergehend, z. B. zu militärischen Zwecken (bei
Errichtung von Unterständen in der Kammregion), Wächten und Gegenböschungsbildung,
wie überhaupt Trieb-
schneeverwehung von der Luvseite her bekämpft werden muß, da man an die betreffende
Stelle gebunden ist. Dann entfernt man vorhandene Wächten und tritt das Gebiet

der „Gegenböschung“ — wenn diese nicht abfährt — fest und errichtet am Kamm nach Luv senkrecht abfallende *Schneemauern*, terrassiert im Schnee und mit Schnee. *Schneemauerbau* erfolgt auf Luv zum Rückstau und auf Lee zum Festhalten. Der Soldat baut außerdem Windschirme mit Zeltbahnen.

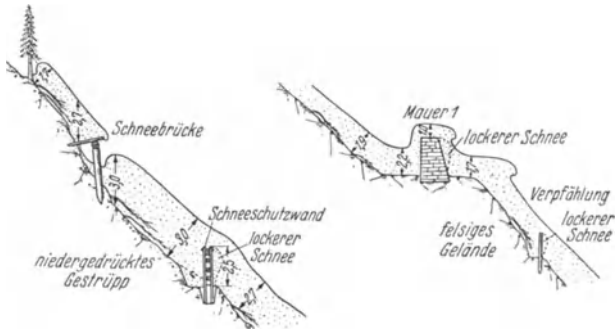


Abb. 140. Wirkungsweise der Verbaumethoden.

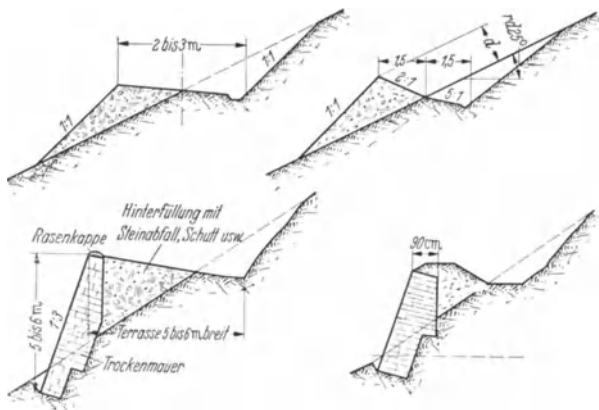


Abb. 141. Terrassierung von Hängen (im steilen Gelände) mit Hilfe von Trockenstützmauern.

II. Durch Festhalten der Schneemassen im Abbruchgebiet.

Das geschieht:

a) *Durch Bepflanzung (Aufforstung)*. Durch Unverstand und Habsucht der Menschen wurde in vielen Gebirgsregionen der Wald vernichtet und damit die Lawinengefahr entfesselt. Wo es nur immer geht, muß Wald hochgezogen, zu lichter Wald verdichtet und vorhandener Bestand als „Bannwald“ geschont und geschützt werden.

Unverstand der Bewohner beim Weidegang des Viehs — Zertreten, Knicken, Abweiden der jungen Triebe (besonders durch die Ziegen! — „die Kuh des kleinen Mannes“) — stört und vernichtet vielerorts die fürsorgliche Arbeit des Forstmannes.

b) *Durch Verbauung.* Diese kann erfolgen durch:

Verpfählung ohne und mit Verdrahtung oder Flechtwerk, *Schneezäune*, *Schutzwände* (Abb. 140) verschiedener Art und Höhe, *Erdgräben*.

Es werden also vermehrte *Haftmöglichkeiten* für den Schnee künstlich geschaffen.

Diese Anordnung: „vermehrter kleiner Reibungswiderstände“ ist naturgemäß zum Festhalten größerer Schneemassen, besonders an steileren und



Abb. 142. Schneeräumung bei der Bernina-Bahn mittels Schneeschleuder.
(Photo: Paulcke, Laufbild.)

ausgedehnten Hängen, nicht ausreichend. Sie findet aber besonders an den Böschungen der Straßen- und Bahneinschnitte mit Erfolg Anwendung. Wirksamere Maßnahmen bestehen darin, daß man für den Schnee wirksame *Widerlager schafft*, die gleichmäßigen Hangfluchten unterbricht, also vor allem *künstlich terrassiert*. Das geschieht in verschiedener Weise:

1. *Durch Terrassierung:* in wenig standfestem Boden (weiche Flyschgesteine, Glimmerschiefer usw.) nicht haltbar (Rutschungen). In felsigem Gelände günstig. *Im einfachsten Falle* wird das *Material* am Hang aufgehoben und talabwärts *als Terrasse aufgeschüttet* (Abb. 141).

In den meisten Fällen werden am vorderen Terrassenrand *Trockenmauern* errichtet. Den Terrassen wird meist rückwärtiges Gefälle gegeben. Für sorgfältige Entwässerung muß Sorge getragen werden.

2. durch „*Schneefänge*“ aus *Trockenmauerwerk*, *Massivmauerwerk* oder Holz. Häufigste Verbauungsart. Gutes Trockenmauerwerk gewährleistet gleichzeitig Entwässerung.

Mauerkonstruktionen sehr verschiedenartig; teils freistehende Mauern, teils Verbindung von Mauerwerk mit Erdwällen und Steinpackungen.

Schneefänge aus Holz werden seltener ausgeführt; in der Nähe von Bahnlagen werden häufig — wie zum Schutz gegen Steinschlag — Altschienen eingerammt oder eingemauert (betoniert) und Bohlen oder Altschienen dazwischengelegt.

II. 1. *Ablenkung durch Leitwerke.* Leitwerke können in Gestalt von Erdwällen, Steinwällen, Mauern sowie Holz und Eisenbauten (Schienen) errichtet werden. Ihre Anordnung verlangt großes Feingefühl für das Gelände und genaue Beobachtung des „gewöhnheitsmäßigen“ Weges sowie der zu erwartenden Schneemassen, den die abzuleitende Lawine nimmt. Danach richtet sich auch die Höhe der Bauten und der Winkel, in dem sie zur Lawinenbahn gestellt werden, damit die Lawine das „Leitwerk“ nicht übersteigt. Das Verhalten wird sehr verschieden gegenüber trockenen und nassen Lawinen sein (vgl. Experimente).

2. *Unmittelbarer Schutz von Bauwerken.* a) *Gebäude* werden geschützt: durch Einbau in den Hang mit flachem, in den Hang übergehendem Dach, so daß die Lawine darüber weggeführt wird (Sennhütten, Heustadel). Gegen stauende Lawinen Stellung mit der Schmalfront gegen den Berg. Ferner durch sog. „Spaltecken“, d. h. keilförmige Erd- oder Steinbauten, hangwärts vor oder am Hause, so daß die Lawine zerteilt und nach den Seiten abgelenkt wird.

Leitungsmasten werden entweder aus Beton in Keilform hergestellt oder es werden niedrigere keilförmige Betonpfeiler oder Holzkonstruktionen hangwärts von den Masten angeordnet.

Große Objekte (Siedlungen) werden durch mächtige Lawinenmauern geschützt (Stuben am Arlberg).

III. *Meldedienst*, telephonisch oder telegraphisch, ist auf Bahnstrecken und Straßen unbedingt notwendig, ebenso *Lawinenwarnung der Touristen* in Zeitungen, auf Bahnhöfen und in Wintersportplätzen.

Schneeräumung erfolgt von Hand durch *Schnee-Schaufler*; durch *Schneepflüge*, *Schneefräsen* und *Schnee-Schleudern*.

XIV. Fragebogen, Anhaltspunkte für Lawinenbeobachtungen.

Vorbemerkungen.

Erfahrungsgemäß werden so gut wie nie von Touristen zuverlässige Feststellungen bei Lawinerlebnissen gemacht und an Ort und Stelle notiert. Selbstverständlich muß bei Unfällen die erste Sorge der Rettung der Verschütteten gelten.

Zuverlässige, genaue Feststellungen bei Lawinenvorkommnissen aller Art werden allein in Zukunft Material zu einer exakten Lawinenstatistik liefern können. Nur auf einer solchen, auf reichem Material beruhenden Zusammenstellung wird sich erkennen lassen, wie sich bei den verschiedenen Witterungsverhältnissen das Zahlenverhältnis der verschiedenen Lawinenarten gestaltet, durch welche Lawinenarten und Störungsursachen die meisten Unfälle erfolgten. Es erhellt ferner daraus, welche Maßnahmen sich am günstigsten auswirkten.

Hier kann und muß wichtige Mitarbeit durch alle Wintertouristen geleistet werden: zum Wohle der Gesamtheit!

Ich erbitte Einsendungen aller wichtigen Beobachtungen. Auf meinen ersten vor 12 Jahren veröffentlichten Fragebogen erhielt ich im ganzen 2 (!) Mitteilungen aus Bergsteiger- und Skiläuferkreisen.

Gründliche Kenntnisse über Schnee und Lawinen müssen erworben und durch geeignete Lehrkräfte verbreitet werden!

A. Allgemeines.

1. Zahl der Teilnehmer, Marschordnung, Abstand? Aufstieg oder Abfahrt? Ausrüstung: Lawinenschnur, Sonden, Schaufeln?

2. Monat, Tag, Stunde des Lawinensturzes?

3. Wetter: Temperatur, Sonne, Föhn, Regen? Schneetreiben?

B. Gelände.

1. Ort des Lawinensturzes: Höhe über dem Meer, Luvhang, Leehang? Hangneigung?

2. Geländegestaltung: Profil des Hanges, Terrassen, einheitliche Hangflucht, Stauhindernisse, Rinnen?

3. Untergrund: Gesteinsart, Blöcke, Schutt, Bewachsung?

C. Schnee.

1. Beschaffenheit der losgegangenen Masse: Lockerschnee, trocken, feucht, Packschnee, Preßschnee, Schwimmschnee, Krustenbildung?

2. Profil der Abbruchstelle: wurde sondiert?

3. Lagerung: Schneebrett, Gegenböschung, Schneeschild?

4. Schichtenfolge mit Angabe a) der Gleitfläche: Harscht, Eis, Fels, Gras usf.? b) der abgeglittenen Masse. Gleitmittel: Schmierschicht, Schwimmschnee?

5. Neigung und Ausdehnung des Schneehanges?

6. Art der Lawine; ihre Breite und Länge? — Höhe und Breite des Abbruchrandes, Schollenbildung? Gesamthöhenunterschied vom Abbruchrand zur Lawinenstirn? Art der Bewegung: Aufstäuben, Knollenbildung?

7. Größe und Gestalt des Lawinenkegels? Art und Stärke der Verfestigung?

8. Geschwindigkeit der Bewegung, Fließrichtung, Ablenkung, Stau?

9. Nachlawinen?

D. Verlauf des Unfalls.

1. Art der Störung: Ursache des Losbrechens, ohne menschliche Veranlassung? Belastung oder Anschneiden? Oberflächliche Kerbung? Tiefes Einschneiden gegen die Gleitfläche? Schwung, Quersprung, Spitzkehren, Sturz?

2. Stand des Verschütteten, seine Versuche, zu entinnen, Verschwindenpunkt, Einbettungsstelle.

E. Rettungstätigkeit.

Maßnahmen der Überlebenden. Markierung, Sondierung, Art der Feststellung der Lage des Verschütteten, Dauer der Verschüttung bis zur Bergung, Verschüttungstiefe, Zustand des Verschütteten, Verletzungen, Wiederbelebungsversuche? Alarm und Tätigkeit einer Rettungskolonne?

XV. Literatur.

1. Albrecht, Fr.: Lawinenkunde, ein Querschnitt durch die neuere Lawinenliteratur. Jahrb. Österr. Ski-Verband. Wien 1936. — 2. Bächtold: Staublawinen. I. Die Alpen. Bern 1937. — 3. Bütler, M.: Luftdruck bei Staublawinen. Ebenda. — 4. Gerber, E.: Staublawinen. II. Ebenda. — 5. Bentley, W. A., u. Humphreys: Snow Crystals. New York und London 1931. Hervorragendes Abbildungswerk von Schneekristallen. — 6. Coaz, J.: Die Lawinen der Schweizer Alpen. Bern 1881. — 7. Campell, R.: Hilfeleistungen bei Lawinenverschüttungen. Ski. Bern 1932. — 8. Bergfahrer und Lawine. Die Alpen. Bern 1934. — 9. Fankhauser: Über Lawinen und Lawinenverbau. Schweiz. Z. Forstwes. 1928, Beih. 2. — 10. Flaig, W.: Lawinen. Leipzig 1935. Sehr reich mit guten Lawinenphotos illustriert. — 11. Gut, P.: Unfall, Hilfe und Hygiene beim Wintersport. Davos 1935. — 12. Häfele, R.: Tätigkeitsbericht 1934—37 der Schweizer. Kommission für Schnee- und Lawinenforschung, Station Davos-Weisfluhjoch. Schweiz. Bauztg. 1937. — 13. Heim, A.: Handbuch der Gletscherkunde. Stuttgart 1885. — 14. Hess, E.: Wildschnee-Lawinen. Die Alpen 1931. — 15. Erfahrungen über Lawinenverbauungen. Eidg. Departement des Inneren. Inspektion für Forstwesen usw. Bern 1936. — 16. Mörikofer, W.: Zur Möglichkeit der Schneemengenprognose. Gerlands Beitr. Geophys. 1936. — 17. Paulcke, W.: Lawinengefahr in: Der Skilauf, 1. bis 4. Aufl. Freiburg i. Br. 1899—1908. — 18. Paulcke, W.: Vom Schnee, in Zsigmondy-Paulcke: Die Gefahren der Alpen, 4. bis 9. Aufl. München 1908—1933. — 19. Paulcke, W.: Lawinengefahr, ihre Entstehung und Vermeidung. München 1926. — 20. Paulcke, W., u. W. Welzenbach: Schnee, Wächten und Lawinen. Z. Gletscherkde. 1928. — 21. Paulcke, W.: Aus meinem „Naturlaboratorium für Schnee- und Lawinenforschungen: 1. der Schnee und seine Diagnose, 2. Schnee, Wind und Wächten, 3. Lawinen, ihre Entstehung und ihre Gefahren. Der Bergsteiger. Wien 1932. — 22. Paulcke, W.: Vom Schnee. Die Alpen Bern 1933. — 23. Paulcke, W.: Schnee- und Lawinenforschung. VDI-Nachr. 1933. — 24. Paulcke, W.: Forschungen über Schnee und Lawinen in Naturlaboratorien. Kosmos. Stuttgart 1933. — 25. Paulcke, W.: Schnee- und Lawinenforschungen. Forschg. u. Fortschr. 1934. — 26. Paulcke, W.: Schnee, Wächten und Lawinen. Z. dtsh. u. öst. A.-V. 1934. — 27. Paulcke, W.: Eisbildungen. I. Der Schnee und seine Diagenese. Z. Gletscherkde. 1934. — 28. Schlumpf: Zur Mechanik der Staublawinen. Die Alpen. Bern 1937. — 29. Seligman, G.: An Examination on Snow Deposits. 3 Aufsätze; British Ski Yearbook 1932—1934. — 30. Seligman, G.: Snow Structure and Snow Fields. London. Sehr vollständige Verarbeitung der gesamten Schnee- und Lawinenliteratur und Literaturzusammenstellungen. — 31. Sprecher, F. W.: Grundlawinenstudien I. u. II. Jb. S.A.C. 1900 und 1902. — 32. Sprecher, F. W.: Über die Mechanik der Staublawinen. D. A. Z. 11. Jg. — 33. Sprecher, F. W.: Über künstliche Veranlassung von Lawinen. Schweiz. Z. Forstwes. 1910. — 34. Sprecher, F. W.: Alpiner Skilauf und Lawinengefahr. Ski des S.S.V. Bern 1912. — 35. Welzenbach, W.: Untersuchungen über die Stratigraphie der Schneeablagerungen und die Mechanik der Schneebewegungen nebst Schlußfolgerungen auf die Methoden der Verbauung. Doktor-Dissertation, Techn. Hochschule zu Karlsruhe. Wiss. Veröff. dtsh. u. öst. A.-V. 1930 Nr. 9. — 36. Zimmermann: Von Lawinen. Schweiz. Bauztg. 1936.

XVI. Lawineneinteilung auf Grund der Schneebeschaffenheit und Ablagerungsart von W. Paulcke (Fassung 1936).

Lawineneinteilung	Schneebeschaffenheit und Schneebezeichnung	Art und Ort der Ablagerung des Schnees
a) Wildschneelawinen (trockene Neuschnee-Lawinen)	Lockerschnee („Wildschnee“). Schnee bei sehr niedriger Temperatur (—10 bis —30 °C) in Form von <i>Einzeltrestalten</i> („keine Flocken“) gefallen, sehr leicht (spez. Gew. 0,01—0,05), <i>sehr locker</i> („staubtrocken“), sehr beweglich!	Als oberste Lage direkt abgelagerter, nicht durch den Wind verfrachteter Neuschnee. Über weite Gebiete (regional) abgesetzt. Geht von glatter Unterlage: Harscht, Gras, Eis, Fels wegen Mangels an Zusammenhalt sehr leicht spontan ab, d. h. ohne von außen kommende Störung. (Ober-Lawinen).
b) Trockene Lockerschneelawinen (Neuschnee-L.)	Lockerschnee („Pulverschnee“). Schnee in kleinen bis mittelgroßen <i>Flocken</i> bei niedrigen Temperaturen gefallen; trocken, <i>locker</i> , beweglich (spez. Gew. 0,05—0,1), sperrig, nicht in sich geschichtet.	Ablagerung wie bei a), geht bei Hangüberlastung spontan und bei Anschneiden sowie Belastung leicht ab. (Ober-Lawinen). a u. b starkes Aufstauben mit z.T. verheerenden Luftbewegungen.
c) Packschneelawinen (Gegenböschung-, Schneeschilde-Lawinen)	Packschnee, trocken; durch Windtransport in <i>feine Körnchen zerstäubt</i> , von Luv nach <i>Lee</i> getragen und dort beim Niedersinken wegen der Feinheit seines Korns dicht „ <i>gepackt</i> “, aber keine starke Verfestigung; in sich fein, auskeilend, z. T. nach Korngröße, geschichtet, verfrachteter Trieb-schnee.	Der vom Wind von Luv nach Lee über die Grate und Kämme gewehrte feinkörnige Schnee wird in obersten Lagen auf <i>weite Strecken</i> regional abgesetzt. Vor allem aber an sehr charakteristischen Stellen in sehr ausgesprochener Form abgelagert: Unterhalb der Kämme als örtlich entwickelte, <i>keilförmige „Gegenböschung“</i> und in Gefällsnicken und Einmuldungen in Form lokal entwickelter „ <i>Schneeschilder</i> “ (Ober-Lawinen und Misch-Lawinen).
d) Preßschneelawinen (Schneebretter)	Preßschnee. Durch Windtransport in feine Körnchen zerstäubter Lockerschnee wird an den <i>Luwseiten</i> der Kämme und Grate in trockenem Zustand oder in Verbindung mit	Örtlich an Luvhängen festgeweht. Ablagerungsart und Art (Ausdehnung, Dicke) durch Triebschneedauer, Windrichtung und Geländegestaltung bedingt. Schneebretter

A. Trocken-Schnee-Lawinen

<p>e) Schwimmschnee-Lawinen (Trockene Altschnee-Lawinen)</p>	<p>Nebelfeuchtigkeit durch den Winddruck zu dichten, <i>breitigen</i> Schichten <i>festgepreßt</i>, verbacken; feine, wirre Kreuzschichtung. „<i>Schneebretter</i>“. Farbe meist kreidig weiß; Oberfläche meist durch Windrippeln gemasert.</p> <p>„Schwimmschnee“ (Tiefenreif). Trockener, <i>grobkörniger</i>, durch Verdunstungsvorgänge und Neukristallisation nach Ablagerung (sekundär) gebildeter, aus <i>wohlgeformten Kristallen</i> (Becher- und andere Formen) bestehender, mit Firnkörnern gemischter Lockerschnee. Altschnee. Tiefenreif, „Schwimmschnee“. Diagenetisch veränderter alter Firnschnee. <i>Hohlraumreich, locker gelagert, sehr beweglich!</i></p>	<p>liegen oft hohl oder auf Schwimmschneeunterlage. (Meist Ober-Lawinen).</p> <p>Stets nachträgliche, in der Tiefe <i>innerhalb</i> der Schneeschichten entstehende Neubildungen. Entwickeln sich <i>besonders über Grenzschichten</i> (Harschtlagen, Gletschereis) <i>am ergiebtesten über dem gewachsenen Boden</i>, oft über weite Strecken; „Fernauslösung“; (Misch-Lawinen).</p>
<p>f) Feuchte, nasse Lockerschnee- und Packschnee-Lawinen</p> <p>g) Nasse Firnschnee-Lawinen (Nasse Altschnee-Lawinen)</p>	<p>Feuchtschnee. Feuchter bis nasser, feinkörniger Lockerschnee. Frischgefallen (Neuschnee) oder verfrachtet (Packschnee = feinkörniger Triebtschnee), nachträglich durch Schmelzwasser ± stark durchfeuchtet.</p> <p>Nasser <i>Firnschnee</i>, Altschnee. Mittel- bis grobkörniger, nach der Ablagerung vorwiegend durch Schmelzvorgänge nachträglich gebildet. Firnkörper. Stark, oft bis zum Grund mit Wasser durchtränkt.</p>	<p>Wie frisch gefallener oder wie verfrachteter, feinkörniger Triebtschnee in obersten Lagen abgelagert. (Ober-Lawinen).</p> <p>Alte nachträglich verfirnte und dann wasserdurchtränkte Schneelagen, die durch Verfirnung und Wassergehalt zu einer einheitlich umgewandelten Masse geworden sind.</p>
<p>h) Firneis-Lawinen</p> <p>i) Gletschereis-Lawinen</p>	<p>Firneis: lufthaltige, grobkörnige Firneismassen.</p> <p>Dichtes, luftarmes Gletschereis.</p>	<p>Aus Firneis in den oberen Teilen der Gletscher gebildet.</p> <p>Durch Druckvorgänge in den mittleren und unteren Teilen der Gletscher gebildete Eismassen.</p>
<p>B. Feucht- und Naß-Schnee-Lawinen</p>		
<p>C. Gletscher-Lawinen</p>		

Sachverzeichnis.

A = Abbildung. E = Experiment.

- Ablagerungen** 27, 72, 75, 134.
Abschnittsweises Gehen 180.
Abstände 181, 185 A.
Abtragung 75.
Achsen der Kristalle 21 A.
Adelboden 98, 99.
Alpenvereinskarte 108.
Altels, Gletschereis-Lawine 174.
Altschnee 133.
— -Lawinen, trockene 146; nasse 157 A.
Anilinfärbung 8, 38ff.
Anraum 9, 14, 16, 17.
Anstiegsweg 117, 178 A.
Atmosphäre 5, 29.
Atmung, künstliche 191 f.
Auskultung d. Wind 104, 106 A.
Ausschmieren des Untergrundes 161.
Auflockerung bei Schwimmschnee-
bildung 49.
Aufschüttung der Gegenböschung
85 A.
Aufsteilung des Geländes 85 A.
- Bächtold** 125.
Bänder 115.
Barchan 75.
Barockformen der Kristalle 60 A.
Basisfläche 21 A, 47 A.
Basiswachstum 52 A, 57, 58 A.
Bäume 116, 125 A, 201.
Bauer, P. 40.
Bauingenieure IX.
Bauingenieuraufgaben 199ff.
Becherformen der Kristalle 21 A,
32 A, 46, 47 A, 52 A.
Belastungswirkung 145, 147.
Bentley 24, 25.
Bergformen 111.
Bergführer VIII, 65.
- Berggestalt und Ablagerung** 85 A,
91.
Bergsturzgebiete 115.
Bewachung 116, 117, 201f.
Bewegungsvorgänge im Schnee,
langsame: Kriechen 120; rasche
bei Lawinensturz 122, 153ff.
Bilgeri-Sonde 198.
Birkkogel-Lawine 151 A.
Biwakbau 198, 199 A.
Bergung Verschütteter 184f.
Blaublätter 39.
Blöcke 115.
Blockbestreuung 115, 117.
Bodenbildungen 14.
Bodenreibung bei Lawinensturz 128.
Bodenreif 21.
Bodenschnee 26.
Bodenwind 74.
Böschungskluft 87, 93 A, 97.
Bogendüne 75.
Bohrungen 40, 198.
Bruchebene bei Wächten 89 A.
Bruchharscht 31.
Büßerschnee 41.
- C-Achse = Längs-Hauptachse** 21 A.
Campbell, R. 124, 187, 191, 193.
Cassini 7.
Cardiazol-Knoll 195.
Chion = Bodenschnee (griech.) 26.
Coaz, J. 133, 158, 165, 200.
Compatsch 131.
Confettiversuche siehe Konfetti.
- Dachflächen der Felschichten** 115.
Dauerwächten 88.
Diagenese = Veränderung des
Schnees 26, 29ff., 63.
dichte Ablagerungen des Schnees 100.

- Dichte des Schnees 43, 63.
 Diem 49, 54.
 Diffusion 21.
 Dröhnen des Schnees 148.
 Druckveränderungen 18, 30, 62.
 Druckwächte 83, 83 A.
 Durchschlagen von Wächten 89 A.
 Durchtunneln von Wächten 89.
 — von Lawinen 166 A.
 Dynamometamorphose 18, 20.
- Ebenen** 74.
 Eidgenöss. Departement d. Innern
 1f., 201.
 Einrollung der Kristalle 58 A, 59,
 60 A.
 — der Wächten 79 A, 82 A, 87.
 Einzugsgebiete für Triebsschnee 85 A,
 92, 162.
 Eisberge 3.
 Eisblöcke 128, 134, 174 A.
 Eisblumen 11 A.
 Eishöhlen 52f. A.
 Eislagen im Firnschnee 39.
 Eislawinen 134, 136, 170, 174 A.
 Eisschicht im Firnschnee 64 A.
 Eissprengwirkung 10.
 Eiszapfen 39.
 Engelmann 7, 24.
 Ernährung der Gletscher 72, 92.
 Erstickungstod 140, 155, 192.
 Eugster 69, 118, 137.
 Experimente:
 Lawinen 166ff. AA.
 Sog 80 A, 81 A.
 Spaltenbrückenbildung 90 A.
 Triebsschneetransport 202 A.
 Verschüttung 173 A.
 Wächtenbildung 77 A.
 „Explosionen“ bei stäubenden La-
 winen 129.
- Färbversuch mit Anilin** 39—40 A.
 Falsches Gehen 177, 185 A.
 Fankhauser 68, 200.
 Fauler Schnee 41, 120.
 Feigheit 183.
 Feinschichtung 64 A, 85, 104 A.
 Feinschnee 42.
 Fels, glatter 115, 117, 176.
 Felsspalten 53.
 Fernauslösungen von Lawinen 169.
- Feuchtschnee 30, 64 A, 65 A.
 —-Lawinen 38, 136, 150ff., 152 A,
 154—157 A.
 Firneis 10.
 —-Lawinen 134, 170, 174 A.
 Firnschleier = Firnspiegel 33ff.
 Firnhauben = Firnkämme 40.
 Firnkörner 30ff., 32 A.
 Firnschnee 30f., 32 A, 36, 63, 64 A,
 65, 66 A, 119.
 —-Lawinen, nasse 157ff., 163 A.
 Firnspiegel 33, 34 A, 35 A, 36 A,
 64 A.
 First der Bergkämme 75, 76 A.
 Fließen des Schnees 123.
 Flocken 30.
 Föhn 33, 42, 157.
 Forschungsarbeit 200.
 Forstleute IX.
 Fragebogen für Lawinenbeobach-
 tungen 207.
 Franke 24.
 Frühjahrslawinen 157.
 Führung auf Wintertouren 176.
- Gefällsausgleich** 93 A, 94 A, 114 A,
 159.
 Gefällsbruch 85 A, 93 A.
 Gegenböschung 81 A, 84f., 85 A,
 94 A.
 Gegenböschungs-Lawinen 84 A, 86A,
 98 A, 142 A, 143, 176.
 Geinitz 7.
 Gekriech 120.
 Gelände 85 A, 94 A, 98 A, 99 A,
 106ff., 110ff., 175.
 Geländegestaltung 74, 85 A, 117.
 Geröll 116.
 Geschlossene Formen der Reifkri-
 stalle 52 A, 58 A, 59.
 Geschwindigkeiten der Lawinen 161.
 Gesetzter Schnee 63.
 Gesteinshülle = Lithosphäre 5.
 Gewicht des Schnees 63, 138, 153.
 Gleitflächen 36, 65, 66 A, 94 A, 117,
 133, 141, 147, 176.
 Gleithorizonte 38, 48 A, 65, 66 A.
 Gleitvorgänge 30, 122, 153ff.
 Gletscher 3.
 Gletschereis 1, 41, 62, 63.
 Gletscherernährung durch Trieb-
 schnee 72, 92.

- Gletscherkorn 62.
 Gletscherschliffe 115, 117, 176.
 Gletscherspalten 53, 90 A/E.
 Gletschervorstoß 92.
 Gött, E. 170.
 Graben im Schnee 197.
 Grasboden 141, 147, 160, 176.
 Grate 113, 174.
 Gratformen 76 A, 77 A, 78 A.
 Grate, künstliche A/E 77.
 Gratwächten 84.
 Graupel 12, 119.
 Grenzwinkel bei Rückstau 76.
 — bei Schneeböschung 76, 86.
 Großformen von Reifkristallen 60 A,
 62.
 Gruber 118.
 „Grundlawine“ 134, 135, 158.
 Gutowski, Dr. 131.
 „Gux“ = Schneetreiben 72 A, 79,
 80 A, 84, 96, 131, 177.
 Gyerg 99.
 Gut, Dr. med. 188, 189, 191.
- H**äfele, R. 121.
 Haftungsvermögen des Schnees 117 f.,
 141.
 Hagel 12 A.
 Halbecher-Kristalle 44 A.
 Hahnenmoos 98, 99 A.
 Halo 18.
 Handl 53.
 Hangausgleich 93 A, 94 A, 117.
 Hanggestaltung 76 A, 80 A, 85 A,
 108 A, 110.
 Hangüberlastung 85 A.
 Harscht = Harst 31, 64 A, 65 A,
 66 A.
 Hauptachse = C-Achse der Kristalle
 21 A.
 Haupttrinnen 85 A, 113, 114 A.
 Heim, A. 163, 165.
 Helmholtz 71.
 Herzog, Th. 42.
 Hess, E. 68, 118, 121, 137, 199, 2 00
 Himalaya 40, 174.
 Hindernisdüne 73.
 Hochgebirgstruppen IX.
 Hochschullaboratorien 8, 22.
 Hochwald 117.
 Höhlenreif 18, 21, 52 A, 53, 54 A,
 55 A, 58 A, 60 A, 62.
- Hohlkehlen durch Winderosion 104 A,
 105 A.
 Hohlprismen 52 A, 58 A, 60 A.
 Hohlräume im Schnee 40, 50 A, 65 A,
 66 A, 146.
 Humphreys 24, 25.
 Hydrosphäre = Wasserhülle.
- I**selins Lawinenschaukel 183, 199 A.
 Isolator, Schnee als 28.
- K**aare 86, 92.
 Kammformen 76 A, 80 A, 85.
 Kantsch 60.
 Karte 99, 100, 106 ff., 108 A, 175.
 Kasper, H. 186.
 Keilförmige Ablagerungen = Gegen-
 böschung 84, 85 A, 94 A.
 Kerbwirkung 145, 176.
 Kleinformen von Kristallen 24 A, 62.
 Klinometer = Neigungswinkelmesser
 140.
 Knollenbildung 152—154 A.
 Kohäsion 43, 69.
 Kompressionsvorgänge 130.
 Kondensationskerne 18.
 Konfettiversuche 80 A/E, 81 A/E,
 202 E.
 Kordillere 41.
 Kreuzschichtung 64 A, 66 A, 74, 100.
 Kriechen des Schnees 8, 120.
 Kristallachsen 21 A.
 Kristallbildung 56.
 Kristalle 17 ff., 12 A, 24 A, 43 ff.,
 44 A, 47 A, 50 A, 52 A, 54 A,
 55 A, 58 A, 60 A.
 Kristallisation 19.
 Kristallschnee 44.
 Kryosphäre = Eishülle 5, 29.
 Künstliche Atmung 193 f.
 Kunstgewerbliche Vorbilder 52 A,
 55 A, 58 A, 60 A.
 Kurz, Marcel 77.
- L**agerungsverhältnisse 7, 68 ff., 105.
 Lang 131.
 Längsachse 21 A.
 Lawinen 117 ff.
 —, Altschnee-, trocken 146, naß 157,
 163 A.
 — - Beobachtung, Fragebogen 107.
 — - Bewegung 122, 153 ff.

Lawinen-Bildung 30.
 — -Einteilung 133ff., 210—211.
 — -Experimente 166ff. A.
 siehe Experimente.
 — -Fallen 113.
 — -Fernauslösung 149.
 —, Feuchtschnee- 150ff.
 — -Film 8.
 —, Firnschnee- 157.
 —, Frühjahrs- 157.
 — -Gefahr 175.
 —, Gegenböschungs- 84 A, 85 A, 94 A,
 98 A, 142.
 —, „Grund“- 135.
 — -Gleitflächen 133.
 — -Kegel 163.
 —, Lockerschnee- 136ff.
 —, Misch- 134.
 — -Moränen 165.
 — -Opfer VIII.
 —, Packschnee- 142.
 —, Preßschnee- = Schneebrett-L.
 145.
 —, Pulverschnee- = trockene
 Lockerschnee-L. 138.
 — -Schaufel 183, 199 A.
 —, „Schicht“- 133.
 —, Schneebrett- 101 A, 145.
 —, Schneeschild- 96 A, 98 A, 144 A,
 107 A, 168 A.
 — -Schnur von Oertel 182.
 —, Schwimmschnee- 135, 146.
 — -Sonde 183, 199 A.
 — -Statistik 146.
 —, Stäubende 134.
 — -Stau 112 A, 113.
 —, „Staub“- 134.
 — -Stirn 141.
 — -Sturz 122ff.
 —, Trockenschnee- 136, 138, 139 A.
 — -Verbauung 202ff. A/A.
 —, Wildschnee- 136f.
 — -Wirkung 140.
 — -Wolke 127, 128.
 — -Zeichen auf Karten 107.
 Lehmann, O. 22.
 Lehrkräfte, Ausbildung 67, 207.
 Lindemann-Riechdose 192.
 — -Sonde 95, 199 A.
 Lithosphäre = Gesteinshülle 5.
 Lockerschnee 63, 64 A, 66 A, 69, 118,
 138.

Lockerung, nachträgliche, des Schnees
 29.
 — = Schwimmschneebildung 49.
 Lossägen von Schneeschilden 168 A.
 — von Wächten 89, 172 A.
 Losschießen von Lawinen 170.
 Losschlagen von Wächten 89 A.
 Lostreten von Lawinen 141, 167 A.
 Luftbewegungen bei Lawinensturz
 123ff., 140.
 Luftbodenbewegungen 123.
 Luftdruck 125 A, 131—132.
 Lufthülle = Atmosphäre 5, 29.
 Luftporen im Schnee 50.
 Lufttreifbildungen = Schnee 19,
 23ff. A/A.
 Luftverdünnter Raum 125ff.
 Luvseitige Verbauung 202, 204 A.

Mächtigkeiten 28, 48, 138, 143.
 Marschordnung 181, 185 A.
 Menschenopfer VIII, 65.
 Mischlawinen 148.
 Mittlere Schneehöhe 28.
 Modellpuppe, Verschüttung 173 A/E,
 186.
 Mörikofer, W. 28.
 Morgenhorn 78 A.
 Munschuns, Piz, Lawine 131f.

Nachlawinen 85 A, 118, 160.
 Naßschnee-Lawinen 136, 150—173 A.
 Naturexperimente 76 A, 78 A, 80 A,
 81 A, 166—173 A.
 Naturlaboratorien 76 A, 78 A, 80 A,
 81 A, 166—173 A, 201.
 Nebel, Marsch bei 100, 105.
 Nebenachsen der Kristalle 21 A.
 Nebenrinnen 85 A, 113, 114 A.
 Neigungsmesser = Klinometer 140.
 Neigungswinkel 118, 149.
 Neubildungen 14, 29ff.
 Neuschnee 134.
 Nieve penitente = Büsserschnee 41.
 Niphos = Luftschnee (griech.) 26.
 Nix = Schnee (latein.) 14.
 Nord-Nordosthänge 147.

Oberlawinen (Coaz) 70, 133, 210.
 Oberflächenlawinen = Oberlawinen.
 Oberflächenreif 9, 18, 44 A, 45, 64 A.
 Oechslin 70, 133.

Oertels Lawinenschnur 144, 182.
Orientierung siehe Zurechtfinden.
Osthänge 147.

Packschnee 64 A, 73, 85 A, 118, 134,
142 A, 143.

—-Lawinen 142ff.

Pappschnee 31, 69.

Paulckes Schneebohrer 40 A, 198 A.

— Verbindungsschnur 183.

Penitentes = Büßerschnee 41.

Pfauenfederform der Reifkristalle
54 A.

Plättchenform der Kristalle 21 A,
24 A, 36 A.

Plateaus 74.

Plateauwäuchten 84.

Polarvölker 51.

Poren im Schnee 46.

Porenvolumen 46, 51.

Preßschnee 64 A, 70ff., 73, 83, 100,
118, 124.

—-Lawinen 145f.

Prismenformen der Kristalle 21, 23,
32 A, 47 A.

Prismenzone der Eishöhle 58 A.

Profilaufnahmen 67.

Profile 49, 63ff., 64—66 A.

Prüfungen in Schneekunde IX, 68.

Pulverschnee 32 A.

—-Lawinen 138.

Puppe-Verschüttung 173 A, 186.

Pyramidenform der Kristalle 21 A,
23, 74 A.

— der Berge 110, 131.

Quadratischer (?) Kristall 54 A.

Querachsen der Kristalle 21 A.

Quersprünge 141.

Querstörungen 178.

Rauhreif = Anraum 9, 14, 16 A, 17.

Regelation = Verfrüierung 100.

Regen 151.

Reif 9, 15, 43ff., 62 A/A.

—-Diagenese 30, 43ff., 53 A/A.

Reliefüberdruck auf Karten 106.

Rettung Verschütteter 184ff.

Riechstoffe zur Auffindung Ver-
schütteter 192.

Riesengebirge 43.

Rinnen 85 A, 113, 114 A, 118.

Rippeln 11 A.

Rosettenblätter 44 A, 54 A, 55 A.

Rossmann 54.

Rundhöcker 115, 117.

Rutschstreifen 153, 155 A, 156 A.

Sammelkanäle 159.

Sandschnee = Schwimmschnee 61.

Sastrugi 104.

Seilanwendung 114, 181.

Seilsicherung 141.

Seitenmoränen 112 A, 113.

Seligman 100.

Setzen des Schnees 51.

Skelettkristalle 20 A.

Skikurse IX.

Sikläufer 65.

Skilehrer VIII, IX, 65.

Skiroutenkarte 107.

Skistock als Sonde 157.

Sogformen 80 A.

Sogstrahl 80 A.

Sogwächte 82 A.

Sogwirkung 80 A/E, 81 A/E.

Sonde 183, 198 A.

Sondieren 49, 141, 149, 185 A, 189 A,
190ff., 196.

Sonnenstrahlung 23, 151.

Spalten- (bei Gletschern)Brücken 90

Spaltenwäuchten = Brückenbildung
90 A.

Spannerraupeartiges Gehen 180.

Spannungszonen 122, 176.

Spezifisches Gewicht des Schnees 63.

Sprecher 158, 160, 170.

Spurenführung 171.

Spurenhypnose 179.

Staubschichten auf Schnee 37.

Stauhindernisse bei Lawinen 112 A,
187.

Staukegel von Lawinen 141.

Stauung von Lawinen 112 A.

Stauwalzen (Wind) 82, 202 A.

Störungsstellen, gefährliche 65—66A,
85 A, 86 A, 93 A, 94 A, 96, 97 A,
143, 144, 168 A.

Streifung = Riefen 57.

Stürze 141.

Stufenbildung im Gelände 93, 94 A,
98 A.

Suppenschnee 51.

Scheinflächen 54 A, 57.

- Scherflächen 154 A, 156 A.
 Schichtfolgen 64—66 A/A.
 Schichtgesteinsgebiete 111.
 Schichtköpfe 112 A, 115.
 Schichtung des Schnees 29, 30, 64 bis 66 A, 133.
 Schieferberge (Gestalt) 110, 114.
 Schlämmschnee 118.
 Schlemmer, Oberst 131.
 Schlumpf 125.
 Schmauß, Prof. Dr. 132.
 Schmelzen 130.
 Schmelzharscht 31, 35, 64—66 A.
 Schmelzwasser-Vorrat 72.
 Schmierschichten 34, 65 A, 152, 156.
 Schmutzlagen im Schnee 37.
 Schollenbildung 96 A, 101 A, 142, 145 A, 167 A, 168 A.
 Schreien Verschütteter 192.
 Schuhmacher 24.
 Schutttransport durch Lawinen 165.
 Schummerung auf Karten 106.
 Schuppenschnee 104, 105 A.
 Schutz gegen Schneeverwehung 200 ff.
 — gegen Lawinen 200 ff.
 Schwarzwald 43.
 Schwimmschnee 32 A, 43, 45 ff., 47 A, 48 A, 50 A, 172 A.
 Schwünge 141.
 Schnee-Ablagerung 5, 15 A, 68 ff.
 — -Arten 63, 64 A.
 — -Atmung 49.
 — -Beschaffenheit 64—66, 134, 136.
 — -Bewegung 118, 120, 123, 124 ff.
 — -Biwakbau 199 A.
 — -Bohrer, von Paulcke 40 A, 49, 198 A.
 — -Brett 66 A, 71 A, 73, 85 A, 100 ff., 101 A.
 — -Brett-Lawine 101 A, 145 f.
 — -Diagenese (Veränderung) 30 ff., 32 A, 65 A.
 — -Dichte 63.
 — -Dünen 74, 105.
 — -Fahnen 72 A, 80 A.
 — -Flocke 20.
 — -Gewicht 63, 138, 153.
 — -Knollen 69, 152—157 A.
 — -Kolke 104, 105 A.
 — -Kristalle 21 A, 23 ff. A/A.
 Schnee-Lagen = Schichten 29, 65 bis 66 A, 133.
 — -Mächtigkeiten 28, 29, 72, 143.
 — -Profile 64, 66 A, 67.
 — -Räumung 206 A, 207.
 — -Rollen = Walzen 30, 69, 152.
 — -Schild 85 A, 93 A, 94 A, 95 ff., 97 A, 98—99 A, 144 A, 145 A, 168 A.
 — -Schild-Lawine 94 A, 96 A, 98 A, 142, 144 A, 145 A, 168.
 — -Sonde 49, 183, 199 A.
 — -Stern 21, 24 f., 44 A.
 — -Sümpfe 41.
 — -Transport durch Wind 29, 73 ff.
 — -Verwehungen-Schutzbauten 202 ff. A.
 — -Umlagerung 68.
 — -Wolke 128.
 Tabelle der Lawineneinteilung 210 bis 211.
 Taktik 85 A, 98 A, 99 A, 107, 108 A, 112 A, 114 A, 144 A, 178 A, 179 A, 185 A.
 Talformen 108 A, 111, 112 A.
 Technische Geologie IX.
 Temperatur 28, 49, 56.
 Temperaturdefizit 130.
 Terrassen 93, 94 A, 98 A, 108 A, 112 A, 115, 117.
 Tetragonaler (?) Kristall 54 A.
 Thee-Schnee 51.
 Tiefenreif-Schwimmschnee 18, 21, 32 A, 45 f., 47 A, 48 A, 50 A, 172 A.
 Triebsschnee 70 ff., 72 A, 76 A, 80, 81 A, 85 A, 103, 143.
 Trockenschnee 30.
 Trockenschnee-Lawinen 136 ff.
 Trogtäler 108 A, 111, 112 A.
 Tunnel durch Lawinen 166 A.
 Tourenführung IX.
 Übergangsformen der Kristalle 57.
 Überlastung der Hänge 72, 85 A, 92, 147.
 Übersättigung der Luft mit Wasserdampf 56.
 Umbildung (Diagenese) 29 ff.
 Umwege auf Touren 113, 180.
 Unfälle VIII, 65, 185 A.

- Untergrund siehe Gras, Fels, Eis usw.
 —, Wirkung auf den 121.
 Unterlagen der Schneeschichten 100,
 117.
 Unterrichtskurse 67.
 Unverfrachteter Schnee 136.
 U-Täler 108 A, 111, 112 A.
- V**eränderungen des Schnees (Dia-
 genese) 29ff.
 Verantwortung als Tourenführer 176.
 Verbauung von Lawinen 203ff.
 Verbindungsschnur von Paulcke 183.
 Verdampfung, Verdunstung 30, 33,
 43.
 Vereisung 30.
 Verfestigung des Schnees 29, 36, 100.
 Verfirnung 30, 32, 36, 64—66 A.
 Verfrachteter Schnee = Triebsschnee
 28, 70, 72 A, 142.
 Verschüttung, Verhalten bei 184ff.
 Verschwindepunkt 185 A.
 Verwehungen durch Schnee, Schutz
 gegen 201.
 Vollkristalle 19, 46, 47 A.
 V-Täler 108 A, 111, 112 A.
- W**ächten 77ff. A/E, 78 A, 79 A, 80
 bis 81 A/E, 82—83 A, 85 A, 89 A.
 —, Lossägen von 169 A.
 Wächtenfuß 169.
 Wächtenhohlkehle 79, 80 A, 81 A,
 82—83 A.
 Wagner, A., Prof. Dr. 126ff.
 Wallerius 7.
 Wald 116.
 Walzen (Wind-W.) 82.
 Wannentäler 112 A.
- Wasserbewegung im Schnee 37ff.,
 156.
 Wasserhaushalt 73.
 Wasserhorizonte im Schnee 38.
 Wasserstau im Schnee 64 A.
 — durch Lawinen 162.
 Wasserstockwerke in Schneeschich-
 ten 38 A.
 Wechselseitige Gratüberwächung
 78 A.
 Welzenbach 12, 52, 78, 83, 88, 89,
 201.
 Widerlager 83 A, 94 A, 98, 118.
 Wiederbelebung Verschütteter 193ff.
 Wildbachgebiete 159ff.
 Wildschri 63, 6 A, 69, 117.
 — -Lawinen 124, 36.
 Wind-Diarthese 42.
 — -Druck 142 A.
 — -gedrückter Schnee 64 A, 66 A,
 100ff., 142 A.
 — -Harscht 64 A, 66 A, 100.
 — -Richtung 100.
 — -Stärke 84.
 — -Transport 70ff.
 — -Walzen 82.
 — -Wirbel 82.
 — -Wirkung 68ff., 70ff., 77ff., 85 A,
 98 A, 101 A, 102ff., 104ff., 106 A.
 Wintertourenführer 65.
 Winterwächten 79 A, 88.
 Wirbel (Wind-W.) 82, 104, 129.
 Wumm 50, 147.
- Z**ackenschnee 42.
 Zimmermann 125.
 Zurechtfinden bei Nebel 100, 105.
 Zustandsänderungen im Schnee (Dia-
 genese) 29ff., 121.

Schriften von Wilhelm Paulcke:

Die Gefahren der Alpen (Zsigmondy-Paulcke). Erfahrungen und Ratschläge. München, Bergverlag Rud. Rother. 9. Auflage 1933. Mit zahlreichen Abbildungen und 12 Bildtafeln. 472 Seiten.

Das klassische alpine Handbuch und wichtigste Nachschlagewerk für alle Bergsteiger und alpinen Skiläufer. Das Buch der Erziehung der alpinen Jugend zu vornehmer ritterlicher Gesinnung, Kameradschaftlichkeit und Opferbereitschaft in der ersten Schule der Berge.

Steinzeitkunst und Moderne Kunst. 4^o. 64 Seiten. Mit 103 Abbildungen auf 68 Tafeln und 15 Textabbildungen. Stuttgart, E. Schweizerbart. 1923.

Dieses einzigartige Werk bringt eine Entwicklungsgeschichte der Kunst in vorgeschichtlicher Zeit mit dem Nachweis, daß gewisse Grundgesetze künstlerischer Ausdrucksweise schon vom Menschen der Altsteinzeit gefühlt, erfaßt wurden. Der Verfasser zeigt, daß schon zur Altsteinzeit Naturalismus, Expressionismus und Symbolismus als ausgesprochene „Kunstrichtungen“ durchlaufen wurden und in verblüffender Nebeneinanderstellung von „modernen“ und steinzeitlichen Werken den Gegensatz zwischen „gewollter“, verkrampfter Naivität und „gemußter“, selbstverständlicher Einfachheit.

Die Uranfänge der Bildschrift. 27 Seiten. 8 Tafeln. Stuttgart, E. Schweizerbart. 1923.

Eine grundlegende Darstellung der Entstehung der Schrift und ihrer Entwicklung aus dem Bild zur „Bild-Stenographie“. Die überzeugende Nebeneinanderstellung altsteinzeitlicher Zeichen neben ägyptische, babylonische und vor allem chinesische ermöglichte erstmals Deutung der Zeichen, welche der Mensch der Steinzeit schrieb.

Berge als Schicksal. 271 Seiten. 26 Abbildungen auf 16 Tafeln. F. Bruckmann, München. 1936.

Das Erlebnis-Buch von der Entwicklung des deutschen wie des alpinen Skilaufs und des führerlosen Bergsteigens.

„Das Vorbild eines Deutschen. Aus den Seiten dieses Buches tritt uns ein deutscher Mann entgegen, der uns völkisches Vorbild sein muß: gesund an Geist und Körper, verbunden mit den Wundern der Natur und dem Wesen ihrer göttlichen Offenbarung, groß und edel im Denken, energievoll und schöpferisch, kämpferisch mit seinem Volk und jung mit der Jugend. Ein Buch voller fesselnder Ereignisse und von prachtvoller Menschlichkeit.“ *Dr. J. B., Mitteldeutsche Nationalzeitung, Halle.*

„Ein tiefes Lebensbuch, das goldene Buch eines kostbaren wertvollen Lebens.“ *Neue Augsburg. Ztg.*

„... Wir sehen in eine Tiefe und Weite, die hinausreicht über ein Einzelschicksal ... ein Schicksal, das Früchte getragen hat für Wissenschaft, Volk und Vaterland.“ *Der Volksfreund, Aachen.*

„... Es ist ein wundervolles Buch ..., das zum Nutzen der alpinen Generation in tausenden und aber tausenden Exemplaren in der ganzen Welt verbreitet werden muß.“ *Fr. R.-Berlin.*

VERLAG VON JULIUS SPRINGER IN BERLIN

Der Bau der Erde

und die Bewegungen ihrer Oberfläche

Von Professor Dr. **W. von Seidlitz**, Jena

(Verständliche Wissenschaft, Band XVII)

Mit 54 Abbildungen. IX, 152 Seiten. 1932. Gebunden RM 4.80

In dieser außerordentlich geschickt geschriebenen, für gebildete Laien bestimmten Einführung werden ausgewählte Kapitel der allgemeinen Geologie behandelt. Im ersten Teile gibt der Verfasser eine Darstellung des Gesteinsmaterials und der Gestaltung der Erdoberfläche; im zweiten die Vorgänge der Gebirgsbildung und im dritten den Rhythmus der Erdgeschichte, wie er sich in der Entstehung, Abtragung und Zerstörung der Gebirge und den Veränderungen im Anlitz der Erde spiegelt. Das Buch eignet sich vortrefflich als Gabe für Laien, die einen Einblick in den spröden Stoff unserer Wissenschaft wenigstens für ein Teilgebiet zu gewinnen wünschen.

„Geologisches Zentralblatt“

Einführung in die deutsche Bodenkunde

Von Professor **Johannes Walther**, Halle a. d. S.

(Verständliche Wissenschaft, Band XXVI)

Mit 30 Original-Zeichnungen und -Karten. VIII, 172 Seiten. 1935
Gebunden RM 4.80

Dieses kleine, mit schönen, lehrreichen Skizzen ausgestattete Büchlein führt den Leser in die deutsche Bodenkunde ein. Für einen recht großen Kreis bestimmt, werden zuerst nach einigen allgemeinen Bemerkungen in klarer und leichtverständlicher Sprache die geologischen Verhältnisse des antediluvialen Europas und hierauf die großen Veränderungen geschildert, welche das Vordringen des Inlandeises in Nord- und Mitteleuropa bewirkt hat. Anschließend werden die diluvialen Urböden und ihre Lebewelt dargestellt.

Den Hauptteil des Buches nimmt die Entstehung der Böden ein, wobei immer wieder auf die maßgebendsten Faktoren der Bodenbildung, einerseits auf die Gesteinsbeschaffenheit des Untergrundes und andererseits auf die Beeinflussung durch Klima, Lebewelt, Lage usw. hingewiesen wird.

Nach einer Systematik der Böden und einer übersichtlichen Darstellung der deutschen Bodenbezirke werden abschließend die letzten Rückzugsstadien des Inlandeises bis Skandinavien und die nachträglichen Veränderungen des eisfrei gewordenen Gebietes durch den Durchbruch des Ärmelkanales und das Vordringen der Nordsee sowie die Überflutung des baltischen Urstromgebietes durch die Ostsee behandelt, welche Vorgänge hauptsächlich auf das Ansteigen des Meeres durch das Abschmelzen der großen Inlandeis Massen zurückgeführt werden.

Das Büchlein ist jedem, der in die Bodenkunde Deutschlands eingeführt werden will, wärmstens zu empfehlen; aber auch der Fachmann kann manche wertvolle Anregung darin finden.

„Mitteilungen der Geologischen Gesellschaft“

Zu beziehen durch jede Buchhandlung