

**Beiträge zur Geologie der Schweiz - Geotechnische Serie - Hydrologie**  
**Lieferung 2**

Herausgegeben von der Geotechnischen Kommission der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft  
gemeinsam mit der Schweiz. Schnee- und Lawnenforschungskommission

**SCHNEESTUDIEN**  
**IM OBERWALLIS UND IHRE**  
**ANWENDUNG AUF DEN**  
**LAWINENVERBAU**

VON

**ERNST EUGSTER**  
KREISOBERFÖRSTER

KOMMISSIONSVERLAG KÜMMERLY & FREY, BERN  
1938 - DRUCK VON ASCHMANN & SCHELLER A.-G., ZÜRICH



**Vorwort der Präsidenten der Geotechnischen Kommission  
der Schweiz. Naturforschenden Gesellschaft und der  
Schweiz. Schnee- und Lawinenforschungskommission.**

Schnee und Eis der Alpen- und Firnenwelt sind wichtige natürliche Stoffe unseres Landes. Nicht nur, daß sie die hydrologischen Verhältnisse weitgehend bedingen, sie müssen um ihrer selbst willen untersucht werden. Die Geotechnische Kommission der S. N. G. hat nicht gezögert, ihre Publikationsorgane, besonders die hydrologische Serie der Beiträge der Schweiz. Schnee- und Lawinenforschungskommission zur Verfügung zu stellen und an den Arbeiten des Schnee- und Lawinenlaboratoriums auf Weißfluhjoch aktiv teilzunehmen. Diese Forschungsstätte hat sich das Ziel gesetzt, Grundfragen der Schnee- und Lawinenbildung abzuklären. Bereits sind über das Methodische Aufschluß gebende Arbeiten im Druck, sie werden 1938/39 als Band III dieser Serie erscheinen. Doch die Fragen der Schnee- und Lawinenbildung und -umbildung, der Entstehung der Schneeverwehungen und der Lawinen, sowie der zu treffenden Schutzmaßnahmen benötigen Beobachtungen und Studien in allen Teilen der Alpen. Es ist selbstverständlich, daß der Forstingenieur in erster Linie berufen ist, Erfahrungen zu sammeln und der Diskussion freizugeben. Mit den « Schneestudien im Oberwallis und ihrer Anwendung auf den Lawinenverbau » des Herrn Ernst Eugster, Forstinspektor, sei daher die Folge der größern Arbeiten eröffnet, welche die Eidg. Inspektion für Forstwesen, Jagd und Fischerei, die Schnee- und Lawinenforschungskommission und die Geotechnische Kommission planvoll zu unterstützen gewillt sind.

Für den Inhalt von Text und Figuren ist der Verfasser allein verantwortlich.

Zürich, den 15. August 1938.

Bern, den 17. August 1938.

Der Präsident der  
*Geotechnischen Kommission der S. N. G.: Schnee- und Lawinenforschungskommission:*

Prof. Dr. P. NIGGLI,  
Mineralog. Institut E. T. H.

Der Präsident der  
M. PETITMERMET,  
eidg. Oberforstinspektor.



## Vorwort.

Bis in die jüngste Zeit beruhten unsere Lawinenverbauungen ausschließlich auf zufälligen praktischen Erfahrungen. Im Verbauen herrschte deshalb nur wenig Einigkeit. Dies veranlaßte mich, eingehende methodische Schneestudien in Lawinengebieten zu machen.

Im Jahre 1928 hatte ich mich erstmals als Forstingenieur im Goms (Oberwallis) mit der Verbauung von Lawinen zu befassen. Um zweckmäßige Lawinenverbauungen zu erstellen, war es unumgänglich, in den Abbruchgebieten im Winter zusammenhängende Beobachtungen durchzuführen. Dieses Vorhaben fand die verdankenswerte Unterstützung der Eidg. Inspektion für Forstwesen in Bern und der Behörden des Kantons Wallis.

Im ersten Winter wurden neben Lawinenbeobachtungen auch Untersuchungen über die Schneeablagerungen auf den Schutzbauten durchgeführt, wobei sich herausstellte, daß für die Lawinenforschung vorerst eingehende Schneeuntersuchungen nötig sind. Im Einverständnis mit der Eidg. Inspektion für Forstwesen setzte ich die Studien im Winter 1929/30 auf breiterer Basis fort. Um die Beobachtungen vielseitiger zu gestalten, wurden am Geschiner- und Obergestelergalen (Oberwallis) Versuchsbauten erstellt, und sämtliche Lawinenverbauungen im Oberwallis und einige Verbauungen im Berner Oberland und Graubünden im Winter begangen und ihr Verhalten untersucht. In den folgenden Wintern setzte ich die Schneeuntersuchungen besonders im Simplongebiet fort. Auf Saflisch, d. h. in der Umgebung der Hütte des SAC oberhalb Roßwald (Top. Bl. Nr. 497), widmete ich mich besonders den Problemen der Schneeverwehungen. Auch hierbei unterstützte mich die Eidg. Inspektion für Forstwesen, indem sie jedes Jahr in verdankenswerter Weise einen Kredit für Instrumente und Versuchszwecke zur Verfügung stellte.

Im Jahre 1932 wurde die Schweiz. Schnee- und Lawinenforschungskommission geschaffen und mir die Forschungsstation Simplon übertragen. Die Saflischhütte (2090 m ü. M.) des SAC wurde mit einer meteorologischen Station ausgerüstet, die der Hüttenwart bediente. So standen mir die fortlaufenden meteorologischen Daten dieses Gebietes zur Verfügung.

In der vorliegenden Arbeit habe ich versucht, die während neun Jahren (1928 bis 1937) gesammelten reichen Beobachtungen und Messungen zusammenzufassen. Da Jahrzehnte nötig sind, um alle Geheimnisse der Schnee- und Lawinenprobleme zu erforschen, können die Untersuchungen nicht abschließend sein. Die Schneeunter-

suchungen finden nur insoweit Berücksichtigung, als sie für unsere Studien notwendig sind. Ueber allgemeine Schneeforschung sei auf die Arbeiten von Paulcke, Welzenbach, Seligman, wie auch auf die nächsthin erscheinenden Veröffentlichungen von Ing. Haefeli und Dr. Bader, im Auftrage der Schweiz. Schnee- und Lawinenforschungskommission, verwiesen.

Die Arbeit gliedert sich in zwei Hauptabschnitte, einen *ersten Teil* über *allgemeine Schneeuntersuchungen* unter Berücksichtigung der physikalischen Beschaffenheit der Schneedecke und ihrer Veränderungen und aus einem *zweiten Teil* über *das Verhalten des Schnees an Schutzbauten* gegen Schneeverwehungen und an Bauten gegen Lawinenabbruch. Die beigelegten Photographien und Abbildungen stammen sämtlich vom Verfasser und bilden eine kleine Auswahl aus den zahlreichen Aufnahmen.

Zum Schluß liegt mir noch die angenehme Pflicht ob, der Eidg. Inspektion für Forstwesen und der Schweiz. Schnee- und Lawinenforschungskommission den Dank auszusprechen für die finanzielle Unterstützung, durch welche die langjährigen Studien ermöglicht wurden. Den eidgenössischen Forstinspektoren Herren Dr. Heß und Müller, sowie meinem Freunde Dr. Gauß bin ich besonders Dank schuldig für die Durchsicht der vorliegenden Studie vor der Drucklegung.

Herrn Prof. Dr. Staub spreche ich für seine freundliche Unterstützung und stete Zuvorkommenheit mit Ratschlägen den verbindlichsten Dank aus.

Der Geotechnischen Kommission der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft danke ich für die Bereitwilligkeit, die Untersuchungen zu veröffentlichen, und den Herren Prof. Dr. Niggli und Dr. de Quervain besonders für die mir dabei erwiesene Hilfe.

*Brig*, im Dezember 1937.

## Inhaltsübersicht.

---

	Seite
<b>Vorwort</b> . . . . .	V
 <b>I. Teil. Allgemeine Schneeuntersuchungen.</b>	
<b>I. Kapitel: Schneehöhen.</b>	
Untersuchungsmethoden . . . . .	3
1. Zunahme der Schneehöhe mit der Höhe über Meer . . . . .	4
2. Einfluß der Exposition auf die Schneehöhe . . . . .	8
3. Aenderung der Schneehöhen im Laufe des Winters . . . . .	10
 <b>II. Kapitel: Zusammenhangskräfte des Schnees</b> . . . . .	
1. Zusammenhangskräfte des Trockenschnees . . . . .	13
2. Zusammenhangskräfte des Naßschnees . . . . .	16
3. Aenderung der Zusammenhangskräfte und der Schneedecke im Laufe des Winters . . . . .	18
 <b>III. Kapitel: Haften des Schnees auf dem Untergrund.</b>	
1. Einfluß der Neigung der Unterlage . . . . .	25
2. Einfluß der Schneeart, sowie des gefrorenen und ungefrorenen Bodens . . . . .	25
3. Einfluß der Beschaffenheit der Unterlage . . . . .	27
4. Zurückhalten des Schnees durch Alpenerle und Vogelbeerbaum . . . . .	28
 <b>IV. Kapitel: Veränderungen der Schneeoberfläche.</b>	
1. Veränderung durch Wind . . . . .	29
2. Veränderung durch Besonnung und Regen . . . . .	33

**II. Teil. Verhalten des Schnees an Schutzbauten.**

Seite

**Abschnitt A. Schutzbauten gegen Schneeverwehungen.****V. Kapitel: Versuchsbauten.**

1. Allgemeines über Schneeverwehungen . . . . .	39
2. Schneerechen und Schneezäune . . . . .	40
3. Drahtgitter . . . . .	42
4. Jutegeflecht . . . . .	52

**VI. Kapitel: Verbauungen in der Praxis.**

1. Gratwächtenverbau . . . . .	55
2. Plateaugwächtenverbau . . . . .	60

**Abschnitt B. Schutzbauten gegen Lawinenabbruch.****VII. Kapitel: Schutzbauten in der Waldregion.**

1. Schneeablagerung in der Waldregion . . . . .	61
2. Einwintern . . . . .	62
3. Verhalten im Laufe des Winters . . . . .	62
4. Ausapern . . . . .	64

**VIII. Kapitel: Schutzbauten über der Waldregion.**

1. Schneeablagerung über der Waldregion . . . . .	66
2. Versuchsbauten . . . . .	67
3. Einwintern . . . . .	69
4. Verhalten im Laufe des Winters . . . . .	71
5. Ausapern . . . . .	74

<b>Schlußfolgerungen . . . . .</b>	<b>77</b>
------------------------------------	-----------

<b>Verzeichnis der Figuren . . . . .</b>	<b>81</b>
--	-----------

<b>Literaturverzeichnis . . . . .</b>	<b>83</b>
---------------------------------------	-----------



Lawinenverbauung Faldumalp.  
Oberste Partie des Verbauungsgebietes. 29. April 1930.



**I. Teil**

**Allgemeine  
Schneeuntersuchungen**



## I. Kapitel: Schneehöhen.

Eine der vielen Ursachen für die Lawinenbildung ist die Schneehöhe. Eine große Schneehöhe an sich bedingt allerdings nicht ohne weiteres Lawinengefahr. Die Ueberlastung, besonders wenn Regen hinzukommt, ferner die Schichtenbildung und die Schneeneubildungen, wie auch die Umlagerungen an der Oberfläche nehmen aber bei großen Schneehöhen größeres Ausmaß an. Die Lawinenbildung wird dadurch begünstigt. Wenn auch die Schneehöhen in den verschiedenen Wintern und in den Höchstwerten schwanken, so geben sie uns doch einen Fingerzeig, welche Art von Schutzbauten erstellt, und wie sie angeordnet werden sollen.

### Untersuchungsmethoden.

Für die Schneehöhenmessung an *zugänglichen Orten* diene der Metaldoppelmeter, und bei Schneehöhen über 2 m eine Schneesonde. Diese besteht aus ineinanderschraubbaren, polierten Stahlstäben von 1 m Länge mit Dezimetereinteilung. Oefters wurde auch die handlichere, wegen der Stablänge von 80 cm jedoch weniger geeignete Lawinensonde von Bilgeri verwendet. Für die periodischen Schneehöhenmessungen an bestimmten Standorten dienten Meßstangen oder Stationspegel mit Zentimetereinteilung. Sie waren weiß angestrichen, um das Abschmelzen nicht zu beeinflussen. Sowohl die Holz- wie die Metallstationspegel bewährten sich gut. Felsen, Telephonstangen usw. wurden selten als Nivometer benutzt, da dort, wie die Erfahrung lehrte, die Schneehöhe nur selten mittlere Werte ergab.

An *unzugänglichen Orten mit Lawinengefahr* erfolgten die Ablesungen mit dem Fernrohr an Geländepegeln. Im Gegensatz zu den einfachen Meßstangen bestanden diese aus Holzlatten oder «Doppel-I-Eisen», an denen alle 50 cm abwechselnd ein 50 cm und 100 cm langer Querstab angebracht war. Um den sich ansetzenden Schnee rasch zum Schmelzen zu bringen und sofort nach Schneefällen die Höhe ablesen zu können, waren die Querstäbe schwarz angestrichen. Auf Steilhängen bewährten sich die oben an den Pegeln befestigten und bergseits verankerten Verstrebungen nicht. Durch den Schneedruck auf die Verstrebungen wurden die Pegel bergseits gezogen und brachen, so daß unverankerte, dafür aber stärkere Pegel vorzuziehen sind. Im Winter 1936/37 wurden aber auch Pegel aus Profileisen in der Verbauung «Räuften» vollständig abgebogen. Die 7 m langen, 10 cm starken «Doppel-I-Eisen» ragten 5,5 m aus dem Hang. Die Neigung des Hanges betrug  $40^\circ$ , die Schneehöhe 2,5 m.

Genau und beliebig viele Angaben über die Schneehöhen wären durch photogrammetrische Aufnahmen erhältlich. Bis jetzt mußte aber aus finanziellen Gründen auf diese beste Methode der Schneehöhenmessung in Lawinenverbauungen verzichtet werden.

### 1. Zunahme der Schneehöhe mit der Höhe über Meer.

LUGEON<sup>1)</sup> fand, daß die Zunahme der Niederschläge mit der Höhe über Meer parabolisch geht, daß jedes Tal seine eigene Formel für den Vertikalgradienten der Regenmenge hat, und ferner die Höhe der Niederschläge von der Neigung des Geländes abhängt. HULIN<sup>2)</sup> kam nach Messungen mit sechs Pluviometern in drei Wintern zum Ergebnis, daß das Maximum der Niederschläge zwischen 1010 m und 3284 m liegt. TSCHUDI<sup>3)</sup> fand dagegen, daß die größten Niederschläge in den Alpen auf 2000 bis 2600 m fallen, und HEIM<sup>4)</sup> setzte nach Beobachtungen auf Pässen das Maximum bei wenigstens 2000 m an.

Uns interessieren besonders Schneehöhen bis gegen 3000 m ü. M., da der Großteil der Lawinenabbrüche, mit denen wir uns zu befassen haben, unter dieser Höhe liegt. Bei meinen Beobachtungen stellte sich heraus, daß über 2000 m mehr die Geländebeschaffenheit als die Höhe über Meer ausschlaggebend war. Da mit zunehmender Höhe über Meer im Oberwallis das Gelände unregelmäßiger, offener wird, sind auch die Schneehöhen infolge der Windwirkung ungleichmäßiger. Der Schnee wird von den windexponierten Geländeerhebungen in die windgeschützten Mulden und Gräben geweht. Apere Geländerippen wechseln so auf kleiner Fläche mit Mulden und Gräben, die mehrere Meter hoch mit Schnee überlagert sind. Die Schneehöhenmessungen ergaben daher, daß in Mulden bei 2000 m ü. M. in der Regel mehr Schnee lag, als auf exponierten Erhebungen einige hundert Meter höher. Auch die Schneehöhen in Mulden schwankten mehr nach der Umgebung des eingewehten Schnees als infolge der Höhe über Meer.

Den Einfluß des Windes auf die Schneehöhe werde ich im ersten Kapitel des zweiten Teiles noch näher beschreiben.

LUGEON<sup>5)</sup> wies darauf hin, daß sich um die Berggipfel der Schnee wegen der Verwehungen, in ruhigeren Zonen in größeren Mengen ablagert, als der Regen, der auf Kreten und Mulden gleichmäßiger fällt. Für uns ergibt sich daraus, daß es nicht angeht, aus Regenmessungen im Sommer auf die Schneemenge zu schließen, und daß wir deshalb auf direkte Schneehöhenmessungen angewiesen sind.

#### a) Stärke der Schneefälle mit der Höhe über Meer.

Meine Beobachtungen ergaben, daß bei ruhigem Schneefall ohne Verwehung die Mächtigkeit der Neuschneesicht in der Regel mit der Höhe über Meer zunimmt.

Bei den Schneehöhenmessungen am 30. Januar 1930 von Bevers (1760 m ü. M.) nach Alpetta (2100 m ü. M.) stieg die Neuschneedecke von 8 cm auf 20 cm, also um das 2- bis 3fache an und für je 100 Höhenmeter im Mittel um 3,4 cm (Tab. 1). Eine stärkere Zunahme zeigten die Neuschneehöhen von Geschinen nach dem Geschiner Galen (Oberwallis) am 21. März 1930. Von 1400 m bis 2000 m ü. M. stieg die Neuschneedecke von 20 cm auf 50 cm (12 Stunden nach dem Schneefall). Die Lufttemperatur betrug in Geschinen während des Schneefalls  $-2^{\circ}$  bis  $-7^{\circ}$ . Die

<sup>1)</sup> Lugeon: Cycle des précipitations atmosphériques. Diss. Lausanne 1928.

<sup>2)</sup> Hulin: Les avalanches. Annuaire de la Société des Touristes du Dauphiné, S. 249. Grenoble 1911.

<sup>3)</sup> Tschudy: Alpenwelt.

<sup>4)</sup> Heim: Handbuch der Gletscherkunde. Stuttgart 1885.

<sup>5)</sup> Lugeon: Op. cit.

Neuschneehöhe nahm also bei 600 m Höhenunterschied um das 2- bis 3fache zu, oder im Mittel um 6 cm für je 100 Höhenmeter (Tab. 1).

Zunahme des Neuschnees mit der Höhe über Meer.

Tabelle 1

Ort und Zeit	Höhe ü. M.	Neuschneehöhe cm	Unterschied auf 100 Höhenmeter	Umgebung	Bemerkungen
<b>Bevers-Alpetta</b> 30. Januar 1930 $\frac{1}{2}$ Tag nach Neuschneefall	1760	8		Wiese	Zunahme der Neuschneehöhe bei 340 m Höhenunterschied um das 2- bis 3fache. Für je 100 m im Mittel 3,4 cm.
	1900	9	1	Waldlichtung	
	2000	12	3	do.	
	2170	17—23	6	Waldgrenze	
	2200	0—50		im Freien (verweht)	
<b>Geschinen — Geschiner Galen</b> 21. März 1930 Lufttemperatur in Geschinen — 2 bis — 7° C $\frac{1}{2}$ Tag nach Neuschneefall	1400	20		Wiese	Zunahme der Neuschneehöhe bei 600 m Höhenunterschied um das 2- bis 3fache. Für je 100 m im Mittel 6 cm.
	1600	32	6	Waldlichtung	
	1800	43	5	do.	
	2000	50—56	6	Waldgrenze	
	über 2000	0—110		im Freien (verweht)	

Besonders groß ist die Zunahme der Neuschneesicht mit der Höhe über Meer jeweils im Herbst und Spätwinter, wenn im Tal bei hohen Temperaturen Naßschnee (zum Teil mit Regen vermischt) fällt, in höhern Lagen jedoch die Lufttemperatur niedrig ist und sich Trockenschnee ablagert.

Bei Schneefällen im Goms konnte ausnahmsweise aber auch eine Abnahme der Neuschneehöhe mit zunehmender Höhe über Meer festgestellt werden. So fielen z. B. bei einer Lufttemperatur um 0° C in Ulrichen (1400 m ü. M.) 15 cm Schnee, und gleichzeitig auf dem Obergesteler Galen (2100 m ü. M.) bei —7° C nur 5 cm. Diese Unregelmäßigkeit rührte von den bedeutend größern Schneeflocken im Talgrund her, die sich mächtiger, aber lockerer anhäuften, als die kleinern Schneeteilchen auf dem Galen. Einen Tag später hatte sich jedoch der lockere Neuschnee in Ulrichen auf 6 cm gesetzt, während der dichtere Neuschnee auf 2100 m bei der niedrigeren Temperatur nahezu gleiche Mächtigkeit behielt.

Im Winter 1932/33 fiel beim gleichen Schneefall auf Saflisch (2000 m) und in Brig (680 m) dieselbe Menge (15 cm). Die Lufttemperatur war an beiden Orten um 0° C.

Unregelmäßigkeiten können auch durch ungewöhnliche Temperaturverhältnisse in Hochlagen entstehen (warme Winde, Temperaturumkehr z. B. bei Föhnlage), die sich der Messung vom Boden aus zum Teil entziehen. Diese Tatsache ist für uns von geringerer Bedeutung als jene, daß in der Regel die Neuschneeablagerung mit der Höhe stark zunimmt und daß ihr deshalb besonders in Verbauungen in hohen Lagen wegen vermehrter Lawinengefahr Rechnung getragen werden muß.

**Gesamtschneedecke auf den Hängen des Rhonetales bei Münster  
von 1400 m ü. M. bis 2100 m ü. M. (Winter 1928/29).**

Tabelle 2

Münster-Räuften (Nordhang)					Münster-Nollje (Südhang)							
Pegel Nr.	Höhe ü. M.	Standort	Schnee- höhen am		Pegel Nr.	Höhe ü. M.	Standort	Schneehöhen am				
			29.1. 1929	26.5. 1929				12.1. 1929	30.1. 1929	11.3. 1929	4.4. 1929	20.5. 1929
	m		cm	cm		m		cm	cm	cm	cm	cm
1	1400	<b>Auf der untern Eggen:</b> Wiese, vorm. Schatten	72	aper	11	1400	<b>Hinter dem Biel:</b> im Freien, nachm. Sonne	70	70	62	45	aper
2	1500	<b>Auf der Eggen:</b> Blöße, 10×10 m, Lä. u. Fi., 10 m hoch, Schatten	85	aper	12	1500	<b>Judigen:</b> Lä., Altholz, 15 m hoch, 20×20 m auseinander, Sonne	68	64	32	3	aper
3	1600	<b>Ob dem Berbel:</b> Blöße, 15×15 m, Fi. u. Lä., 20 m hoch, Schatten	100	aper	13	1600	<b>Ob Riti hag:</b> Blöße, 20×20 m, Lä., 15 m hoch, Altholz, Sonne	70	75	49	7	aper
4	1700	<b>Berbelwald:</b> Blöße, 10×10 m, Fi., 15 m hoch, Schatten	123	aper	14	1700	<b>Göicheten:</b> Blöße, Fi., Altholz, 20 m hoch, Sonne	86	90	42	8	aper
5	1800	<b>Berbelwald:</b> wie 4	132	25	15	1800	<b>Drosselboden:</b> Blöße, östl. 6 m hoher Jungwuchs; westl. 15 m hohe Fi.-Stangen, nachm. Schatten	100	103	88	53	aper
6	1900	<b>Berbelwald:</b> Blöße, 10×20 m, Lä., 15 m hoch, Schatten	151	80	16	1900	<b>Flühli:</b> Blöße, 10×10 m, Lä. u. Fi., 15 m hoch, Sonne	110	110	51	9	aper
7	2000	<b>Berbelwald:</b> wie 6	175	130	17	2000	<b>Ob Kellerstafel:</b> Waldgrenze, Blöße, 10×10 m, Lä., 15 m hoch, Sonne	140	145	133	75	10
8	2100	<b>Berbelwald:</b> Waldgrenze, vorm. Schatten	190	135	—	—		—	—	—	—	—
1, 6, 7, 8 liegen auf flachem N-Hang . . . . . 40%					11, 15 liegen auf flachem S-Hang . . . . . 20%							
2, 3, 4, 5 auf steilem N-Hang 70%					12, 13, 14, 17 auf steilem Hang . . . . . 60%							
					16 auf sehr steilem Hang . . . . . 100%							

## Zunahme der Gesamtschneedecke mit der Höhe über Meer.

Tabelle 3

Ort	Exposition	Höhe ü. M. m	Schneehöhe cm	Unterschied für je 100 m cm
Goppenstein-Faldum 4. Januar 1929	N	1100 bis 2300	60 150	7,5
Oberwald-Nulla 31. Januar 1929	N	1370 bis 2000	75 195	19,0
Geschinen-Verbau 15. Januar 1929	S	1360 bis 2300	85 220	14,4
Bergün-Muot 14. Januar 1930	N	1380 bis 2040	30 80	7,6
Pontresina-Verbau Schafberg 24. Januar 1930	S	1800 bis 2300	60 110	10,0
Bervers-Verbau Alpetta 30. Januar 1930	S	1730 bis 2100	50 75	6,7
Mittlere Zunahme der Schneehöhe für je 100 m Höhenunterschied: 9 cm.				

## b) Die Zunahme der Gesamtschneedecke mit der Höhe über Meer.

LÜTSCHG<sup>9)</sup> kommt bei den Untersuchungen über « das Wachsen der Schneebedeckung mit zunehmender Meereshöhe » im obern Rhonetal zum Schluß, daß die Schneehöhen mit der Höhe über Meer sehr ungleich zunehmen, teils infolge der sehr ungleichen Schneefälle, teils wegen der ungleichen klimatischen Verhältnisse. Von Brig (674 m ü. M.) bis Oberwald (1370 m ü. M.) betrug am 5. Februar 1919 das Mittel der Zunahme auf 100 m Höhenunterschied 27 cm. Für die Strecke Brig—Fiesch war das Mittel auf 100 m Höhenunterschied 22 cm, für Niederwald—Oberwald 81 cm.

Im Oberwallis untersuchte ich die Zunahme der Schneedecke mit der Höhe über Meer bei *geringer waagrechter Entfernung*. Die Messungen wurden von Münster (1390 m ü. M.) nach dem Verbau « Nollje » (2000 m ü. M.), waagrechte Entfernung 1500 m, und von Münster bis Verbau « Räuften » (2100 m ü. M.), waagrechte Entfernung 2000 m, regelmäßig an festen Pegeln vorgenommen, die unter sich je 100 m Höhenunterschied aufwiesen.

Am 12. und 30. Januar sowie am 11. März 1929 war die Schneedecke auf 2000 m ü. M. (Nollje) jeweils genau 70 cm mächtiger als auf 1400 m in Münster. Im Mittel stieg die Schneehöhe also 11,5 cm bei 100 m Höhenunterschied. Die Zunahme der

<sup>9)</sup> Lütshg: S. 173 f.: Ueber Niederschlag und Abfluß im Hochgebirge. Zürich, Sekretariat des Schweiz. Wasserwirtschaftsverbandes, 1926.

Schneehöhe war aber nicht regelmäßig, da sich zum Teil auch die Exposition der Pegelstandorte geltend machte (Tab. 2). An dem Münster gegenüberliegenden Hang nach dem Verbau «Räuften» nahm die Schneedecke am 29. Januar 1929 bei 700 m Höhenunterschied um 120 cm zu, was im Mittel auf 100 Höhenmeter 17 cm ausmachte (Tab. 2).

In der gleichen Gegend und zu annähernd derselben Zeit kam ich zu ähnlichen Ergebnissen. So maß ich am 31. Januar 1929 in der Verbauung «Nulla» (2000 m ü. M.) eine Schneehöhe von 190 cm, was 120 cm mehr ausmachte als in Oberwald (1370 m ü. M.). Der Unterschied in der Schneehöhe betrug also im Mittel für 100 Höhenmeter 19 cm, oder annähernd gleichviel wie oben (vgl. Tab. 3).

Von Geschinen (1360 m ü. M.) nach dem Verbau «Geschiner Galen» (2300 m ü. M.) betrug die Zunahme auf 940 m Höhenunterschied 135 cm, was für 100 m einem Mittel von 14,4 cm entsprach. (Auf 2300 m ü. M. war es allerdings schwer, infolge der Schneeverwehungen eine Durchschnitts-Schneehöhe zu ermitteln.) Bei weiteren Messungen, so von Goppenstein nach Faldum, Bergün—Muot, Pontresina—Schafberg, nahmen die Schneedecken mit steigender Höhe über Meer bedeutend weniger zu, im Mittel für 100 m Höhenunterschied 9 cm (Tab. 3). Hier zeigten sich infolge der ungleichen Schneefälle und der verschiedenen lokalklimatischen Verhältnisse große Schwankungen.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß an den Berglehnen im Goms die Schneehöhe in den Monaten Dezember bis Februar in der Regel bei je 100 m Höhenunterschied um 6—20 cm zunimmt. Die Zunahme der gesetzten Schneedecke ist in der Regel größer als beim frischgefallenen Neuschnee, weil sich der Schnee in tiefern Lagen stärker setzt als in hohen.

## 2. Einfluß der Exposition auf die Schneehöhe.

(Sonnen- und Schattenhang.)

Bei den im vorhergehenden Abschnitt erwähnten lokalklimatischen Einflüssen, die die Regelmäßigkeit der Zunahme der Schneedecke mit der Höhe über Meer wesentlich stören, ist die Exposition einer der Hauptpunkte. Teilweise schon während des Schneefalls und besonders nachher beginnen die Einflüsse der Exposition, wie Besonnung, Hangneigung und Lufttemperatur, die Schneedecke zu verringern.

Vergleichen wir die Schneehöhen auf gleichen Meereshöhen am Nord- (Schatten-) und Süd- (Sonnen-) hang, so sehen wir, daß diese auf dem Nordhang durchweg höher sind. So waren z. B. am 29./30. Januar 1929 (Tab. 2) die Schneehöhen am Schattenhang (Nordhang) des Rhonetales bei Münster um folgende Werte größer:

bei 1400 m ü. M. um 2 cm,  
 bei 1500 m ü. M. um 21 cm,  
 bei 1600 m ü. M. um 25 cm,  
 bei 1700 m ü. M. um 33 cm,  
 bei 1800 m ü. M. um 29 cm,  
 bei 1900 m ü. M. um 41 cm,  
 bei 2000 m ü. M. um 30 cm.

Auf beiden Talseiten war auf gleicher Meereshöhe annähernd gleich viel Schnee gefallen. Durch den Einfluß der Sonne setzte sich aber der Schnee am Südhang

stärker. Weil in obigem Beispiel bei zunehmender Höhe über Meer die Neuschneeschicht mächtiger war, kam der Einfluß der Sonne auf das Setzen am Sonnenhang auch bei 2000 m ü. M. stärker zum Ausdruck. Deshalb waren auch die Unterschiede in den Schneehöhen am Sonnen- und Schattengang mit steigender Höhe über Meer

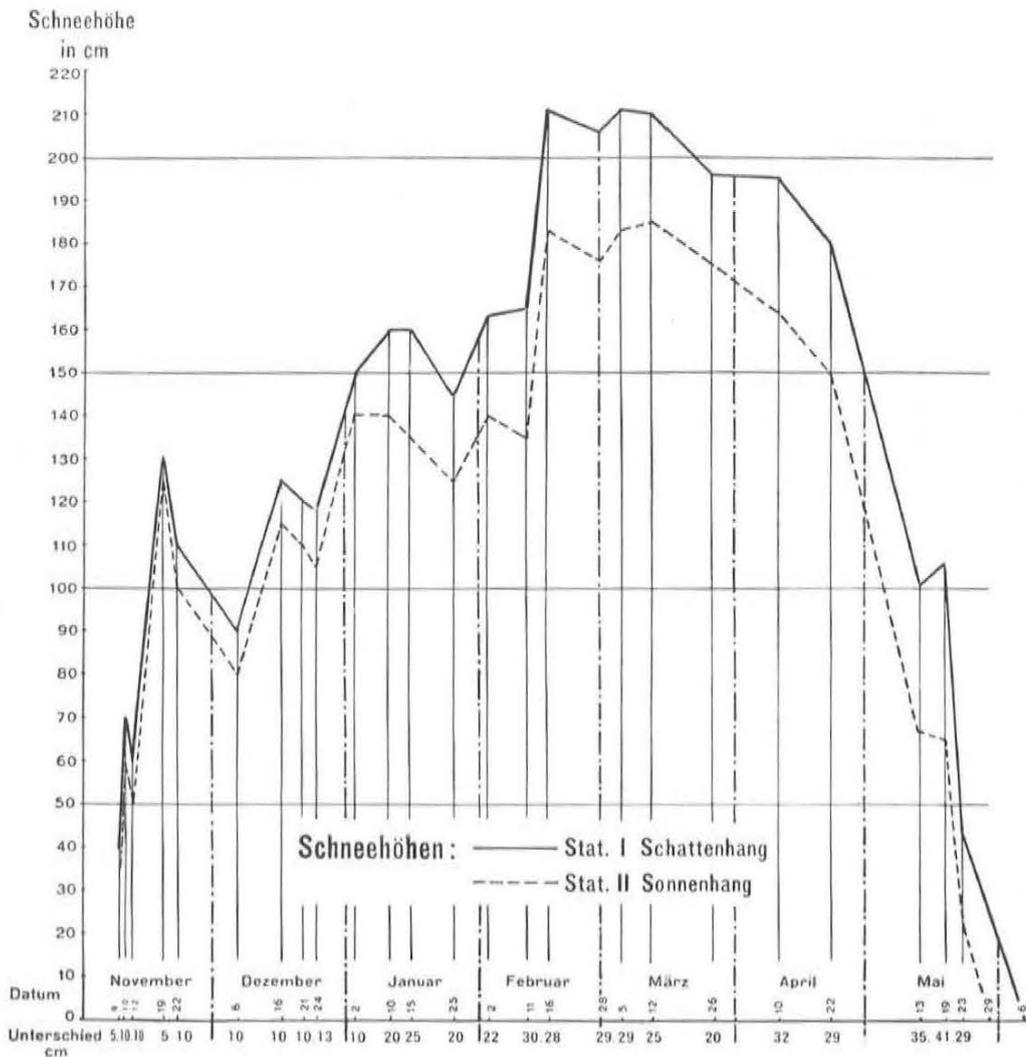


Fig. 1. Schneehöhen am Schattengang und Sonnenhang. 2000 m ü. M. (Saffisch). Winter 1934/35.

größer. Daß die sonnige Exposition besonders gegen den Frühling auf die Mächtigkeit der Schneedecke größeren Einfluß haben kann, als die Höhenlage über Meer, kam z. B. am 11. März 1929 auf dem Hang von Münster nach Nollje zum Ausdruck. Da bei Pegel Nr. 11 auf 1400 m ü. M. am Vormittag die Sonne nur ca. 2 Stunden weniger schien, als bei Pegel Nr. 14 auf 1700 m ü. M. und Nr. 16 auf 1900 m ü. M., war die Schneehöhe beim untersten Pegel Nr. 11 20 cm höher als bei Pegel Nr. 14, und 11 cm höher als bei Pegel Nr. 16, obschon diese 300 m, bzw. 500 m höher gelegen waren.

In den Wintern 1931/32 bis 1936/37 machte ich auf Saflisch an zwei Standorten bei 2000 m ü. M. fortlaufende Schneehöhenmessungen, die nach Monaten graphisch aufgetragen wurden. Station I lag auf dem Schattengang in einer Waldlichtung, Station II auf dem Sonnenhang im Freien. Obschon auch hier an beiden Orten annähernd gleichviel Schnee fiel, war die Schneehöhe auf dem Sonnenhang stets geringer. Im Winter 1931/32 lag auf der Sonnenseite im Mittel 43 cm weniger Schnee als auf dem Schattengang; im Winter 1932/33 und 1933/34 im Mittel 44 cm weniger. Es ist auffallend, wie also während der drei Beobachtungswinter die Unterschiede der Schneehöhen nahezu gleich waren. Von Beginn des Winters bis Anfang Januar, als der Stand der Sonne niedrig und die Sonnenscheindauer gering waren, maß die Schneedecke auf dem Schattengang nur 5—10 cm mehr, im Februar stieg der Unterschied bis 30 cm und im Mai bis über 40 cm (Fig. 1).

### 3. Aenderung der Schneehöhen im Laufe des Winters.

Obschon die Schneehöhen jeden Winter verschieden sind, so zeigen sich doch oft Aehnlichkeiten im Zeitpunkt des Einschneiens, in den Schwankungen der Schneehöhen im Laufe des Winters und beim Aern.

So fiel z. B. auf Saflisch und in den Verbauungen im Goms in den Jahren 1928 bis 1935 der erste Schnee schon im August oder September. Dieser Schnee aber verschwand wieder. Gewöhnlich brachte in diesen Höhen der Oktober die erste, den Winter über bleibende Schneedecke. Bis Neujahr betrug die Schneehöhe während der letzten Beobachtungswinter ungefähr 60 cm. Erst nach Neujahr setzten Zeitabschnitte mit größern Schneefällen ein. Der Winter 1934/35, mit den großen Schneefällen Mitte November, die im Simplongebiet ausgedehnte Lawinen zur Folge hatten, machte eine Ausnahme <sup>7)</sup>. Die eigentlichen großen Schneefälle, bei denen ohne größern Unterbruch 50—90 cm fielen, fanden hauptsächlich im Februar statt.

Nach übereinstimmenden Beobachtungen war in tiefern Lagen bis ungefähr 1500 m ü. M., abgesehen von außergewöhnlichen Schneefällen, die *größte Schneedecke* des Winters im Januar oder Februar. Bei steigender Höhe über Meer verschob sich der Höchstwert mehr gegen den Frühling (April, Mai). In Münster (1360 m ü. M.) hatten wir in der Regel im Februar oder März die größte Schneedecke, auf Saflisch (2100 m ü. M.) im März, seltener im April, und in den Lawinenverbauungen im Goms (über 2000 m ü. M.) hauptsächlich im April (Fig. 2). Diese Beobachtungen finden wir bei den Schneehöhenmessungen von MERCANTON <sup>8)</sup> bestätigt. Diese Feststellung ist ohne weiteres erklärlich, da es in den höhern Lagen in den Frühlingsmonaten noch schneit, die Schneedecke also noch wächst, während in den tiefern Lagen die Niederschläge bereits in Form von Regen fallen und die Schneehöhe verringern. Dies ist in den Lawinenverbauungen von großer Bedeutung, da die oft großen Spätschneefälle meist auf schon eingeschneite Schutzbauten fallen.

Je mehr sich die größte Schneedecke gegen den Frühling verschiebt, um so rascher nimmt sie dann aber ab, wegen der stärkern Einwirkung von Sonne, Regen und der höhern Lufttemperatur, soweit es sich um Höhenlagen unter der Firngrenze

<sup>7)</sup> In Gondo (860 m ü. M.) fiel am 14. November 1934 zwischen 11 und 13 Uhr die große Menge von 60 cm, also 30 cm in der Stunde.

<sup>8)</sup> Mercanton, P. L.: Schneehöhen am Großen St. Bernhard, Zeitschrift für Meteorologie, Nr. 11/12, 1918, S. 272.

handelt. Auch dies ist nicht ohne Bedeutung für den Lawinenverbau, da dieses rasche Schmelzen verlangt, daß für den schadlosen Abfluß des daraus entstehenden reichlichen Schmelzwassers gesorgt wird.

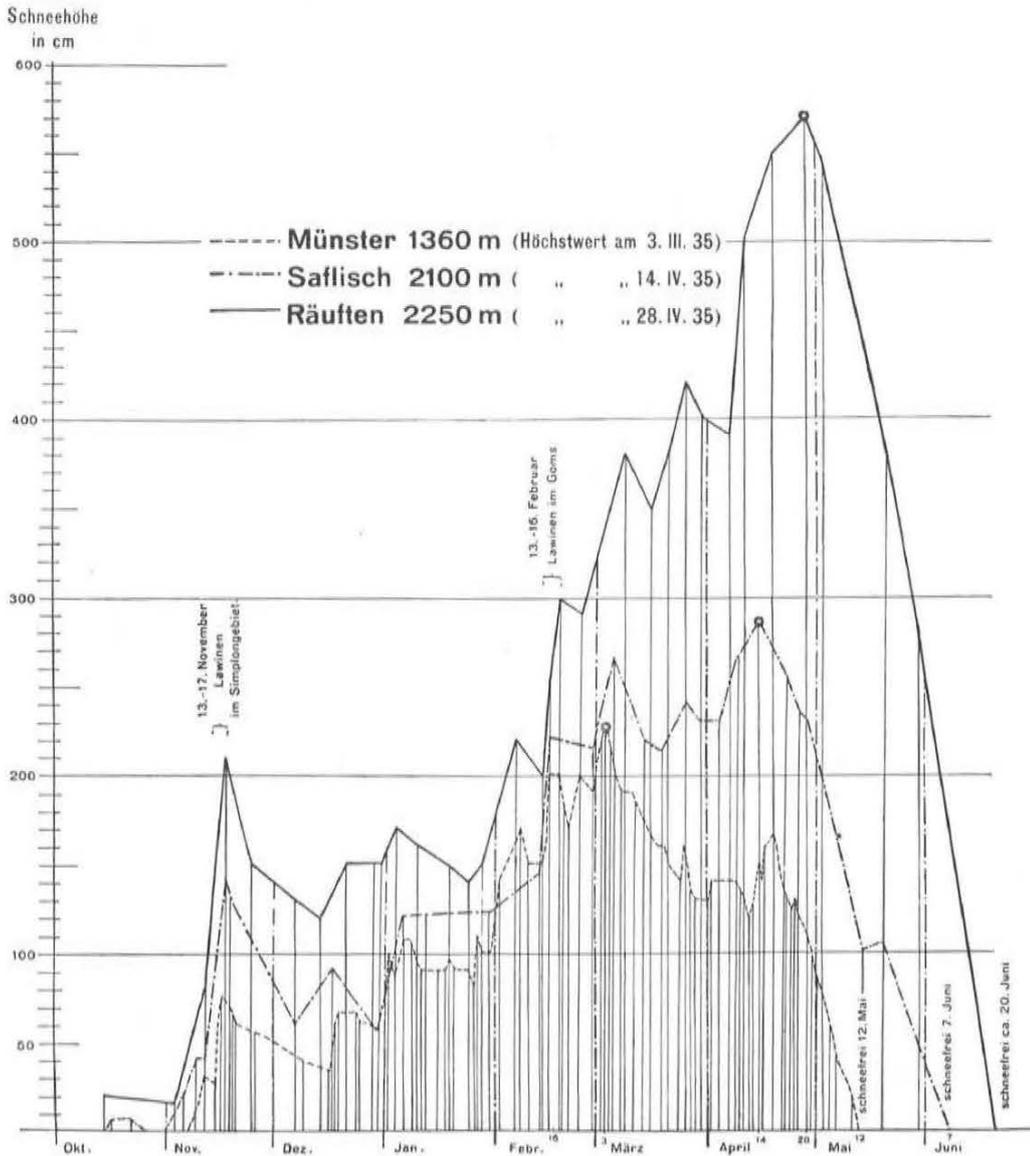


Fig. 2. Schneehöhen im Winter 1934/35.

## II. Kapitel: Zusammenhangskräfte des Schnees.

Wie sich beim Studium über die Ursachen der Entstehung von Lawinen zeigte, lassen sich aus dem spezifischen Gewicht wenig Schlüsse auf die Schneebeschaffenheit ziehen. Bei der von mir angewendeten Methode<sup>9)</sup> zur Messung des spezifischen

<sup>9)</sup> Zur Bestimmung des spezifischen Gewichtes, als Raumbgewicht 1 dm<sup>3</sup> Schnees, diente ein Stahlrohr von 0,5 dm<sup>3</sup> Inhalt. Aus der Schneedecke wurde 0,5 dm<sup>3</sup> Schnee ausgestochen und gewogen.

Gewichtes war es zudem nicht möglich, dünnere Schneeschichten als solche von 7 cm für sich allein zu untersuchen. Sehr oft war aber gerade die Beschaffenheit dünner Schneeschichten ausschlaggebend für die Bildung von Lawinen.

Im folgenden sind unter den *Zusammenhangskräften in einer Schneeschicht* jene Kräfte zu verstehen, mit welchen die einzelnen Schneeteilchen in *einer Schneeschicht* aneinanderhaften, und unter der *Zusammenhangskraft zweier Schneeschichten* jene Kräfte, mit denen die *beiden Schneeschichten aneinanderhaften*.

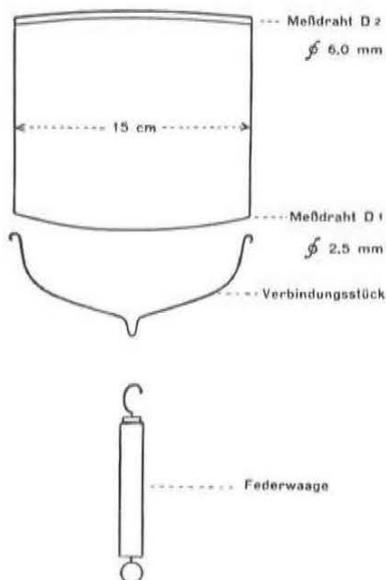


Fig. 3. Instrument 1 zur Messung der Zusammenhangskräfte (bis 1929 verwendet).

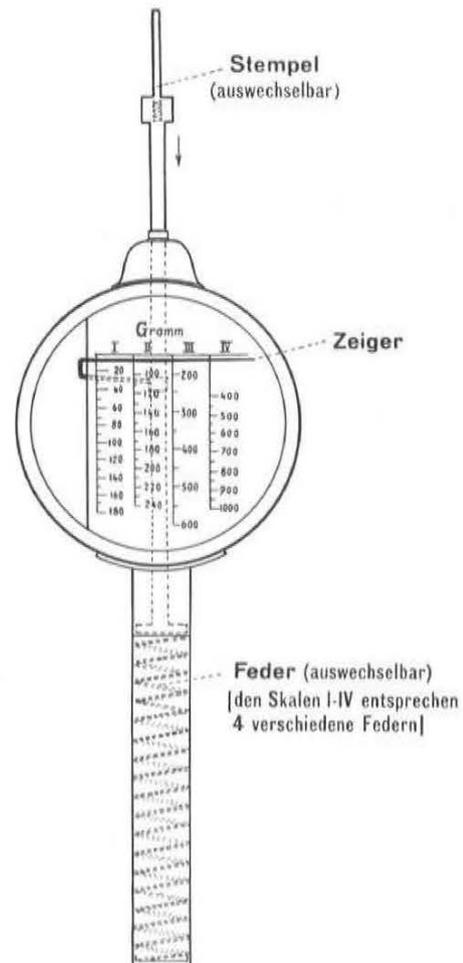


Fig. 4. Instrument 2 zur Messung der Zusammenhangskräfte (seit 1930 verwendet).

Die Kräfte maß ich nach folgenden zwei Verfahren:

Mit einer Federwaage wurde die Kraft ermittelt, die es brauchte, um einen Draht von bestimmter Dicke und Breite quer durch den Schnee zu ziehen. Die Ablesung erfolgte in jenem Augenblick, bei welchem die gespannte Feder den Draht durch den Schnee riß. Da bei lockerem trockenem Neuschnee einige Gramm Kraft genügten, bei windgepreßtem Schnee hingegen 1000 gr zu wenig waren, verwendete ich zwei verschieden dicke Drähte. Der feine Draht für dichten Schnee war 2,5 mm

dick, 15 cm breit, der gröbere für lockeren Schnee maß 6 mm und obige Breite (vgl. Fig. 3). Mit diesem Verfahren konnten auch sehr dünne Schichten und Schichttrennungsflächen gemessen werden. Die Nachteile bestanden darin, daß die Ergebnisse nur Vergleichswerte, aber keine absoluten waren. Der Schnee wurde zudem in der Nähe der zu messenden Zone durch das Einführen des Drahtes in seinem Zusammenhange gestört, was sich bei der Untersuchung der Schichttrennungsflächen, die bei Lawinenanbrüchen eine große Rolle spielen, nachteilig auswirkte.

Seit 1930 machte ich auf folgende Weise Untersuchungen: Es wurde der Druck gemessen, den der Schnee einem gegen ihn gepreßten Stempel entgegensetzt. Die Ablesung erfolgte in dem Augenblick, da der Stempel in den Schnee einzudringen begann. Auf vier Skalen, von 0—180 gr, 100—240 gr, 200—600 gr und 400—1000 gr entsprechend vier auswechselbaren Federn im Handgriff des Instrumentes, konnte der Druck in Gramm abgelesen werden. Um den Meßbereich zu vergrößern, wurden sieben verschiedene Stempel mit Stirnflächen von 3 mm<sup>2</sup> bis 1922 mm<sup>2</sup> verwendet. Durch Umrechnen war der Druck auf den cm<sup>2</sup> erhältlich. Die erhaltenen Zahlen wurden als Vergleichszahlen ausgewertet, da das Instrument keine Einzelwerte ergab, sondern verwickelte Funktionen von Kohäsion, Scherfestigkeit und zum geringen Teil auch von Komprimierfähigkeit. Wie wir aber im folgenden sehen, geben die Zahlen gleichwohl wertvolle Aufschlüsse über den Zusammenhang in der Schneedecke und besonders bei Lawinenanbrüchen. Bei diesem Instrument (Fig. 4) mußte schließlich auch darauf geachtet werden, daß es handlich war und leicht im Rucksack mitgenommen werden konnte, um unmittelbar an Schneeprofilen Messungen zu ermöglichen.

### 1. Zusammenhangskräfte des Trockenschnees.

Diese schwankten nach den verschiedenen Schneearten stark. Wie zu erwarten war, wies bei den Untersuchungen der *Wildschnee* den geringsten Zusammenhang auf. Dieser wattenweiche Schnee liegt derart leicht auf und ist so zusammenhanglos, daß er beim Dreinblasen hoch aufwirbelt. Der Meßdraht konnte gar nicht verwendet werden. Er sank infolge seines Eigengewichtes ein. Mit dem Stempelinstrument maß ich am 9. Januar 1935 auf Saflisch  $\frac{3}{10}$  gr, auf 1 m<sup>2</sup> bezogen, bei welchem der Stempel in den Schnee eindrang. Dieser Zusammenhang war so gering, daß die Gefahr für ein «Abfließen» bestand.

Beim ruhig und unter *normalen Verhältnissen* gefallenem *Trockenschnee* der obersten gleichartigen Schicht war der Zusammenhang bereits stärker. Sechs Tage alter, trockener Neuschnee zeigte am Schattenhang (Saflisch, 3. Februar 1934) einen 10mal, am Sonnenhang einen 30- bis 40mal stärkern Zusammenhang als der oben erwähnte Wildschnee, also 9—12 gr auf 1 cm<sup>2</sup> bezogen. In ungefähr dem gleichen Verhältnis standen auch die spezifischen Gewichte zwischen Wildschnee und Trockenschnee am Schattenhang. Am Sonnenhang waren jedoch die Zusammenhangskräfte des Trockenschnees gegenüber den spezifischen Gewichten verhältnismäßig höher.

Die größten Zusammenhangskräfte des Trockenschnees wiesen die *Schneebretter* auf. So zeigte am 11. März 1930 ein unmittelbar nach *der Entstehung gemessenes* Schneebrett 375 gr Zusammenhangskraft (mit Instrument 1, vgl. Fig. 3,

gemessen), während der ruhig abgelagerte Neuschnee daneben nur 21—25 gr aufwies. Durch Verdichtung stieg der Zusammenhang auf das 15fache an. Das spezifische Gewicht hatte sich dabei in einer Viertelstunde nur etwas mehr als verdoppelt und stieg von 0,06 auf 0,16.

In der *Trockenschneedecke* waren die Zusammenhangskräfte in den obersten Schichten in der Regel geringer als in den tiefern. Sie änderten sich aber sehr unregelmäßig und nahmen bei den Schichthorizonten oft sprunghaft zu oder ab. Waren die einst homogenen Schichten durch Tauwetter, starke Besonnung usw. aufgeweicht

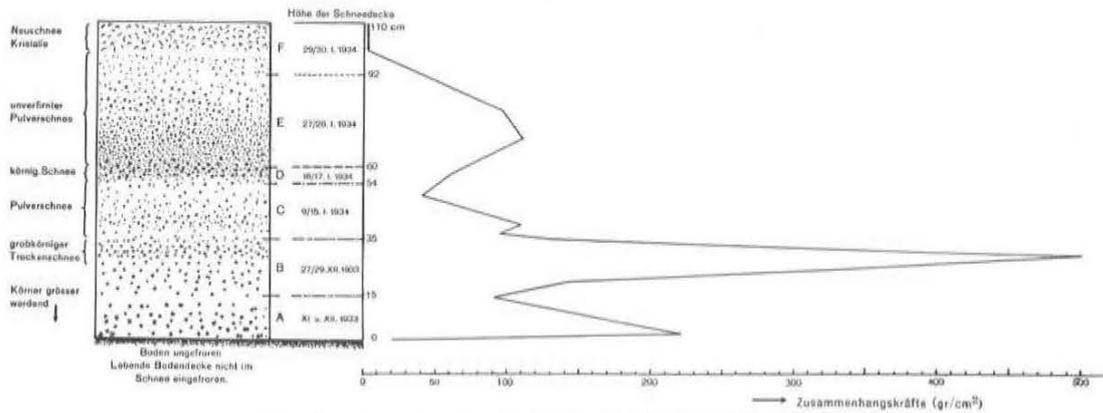


Fig. 5. Zusammenhangskräfte in Trockenschneedecke.

Saffisch, Stat. I (Waldlichtung, Schattenhang), 3. Februar 1934.

Die Zusammenhangskräfte in  $\text{gr/cm}^2$  sind auf der Abszisse abgetragen. Die Ordinate stellt die Schneedecke mit den erkennbaren Schichtgrenzen (Schneefällen) dar. Die Buchstaben und Daten entsprechen den Schneefallperioden.

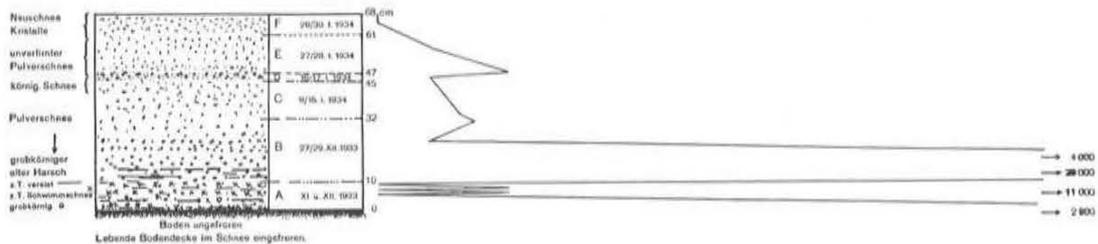


Fig. 6. Saffisch, Stat. II (im Freien, Sonnenhang), 3. Februar 1934.

und wieder gefroren, so hatten sich auch die Zusammenhangskräfte wesentlich geändert, und die Zunahme der Kräfte von der Oberfläche gegen den Boden war nicht mehr so regelmäßig. Die größten Schwankungen in der Trockenschneedecke wies meist die den Boden überlagernde Zone auf. Dünne Lockerschneeschichten wechselten hier dicht übereinander mit stark verhärteten ab. Diese Ablagerungen, die von den ersten Schneefällen herrührten, wurden von Tauwetter unterbrochen und waren zum Teil auch durch die Bodenwärme geschmolzen und nachher wieder gefroren. Charakteristisch für den gesetzten Trockenschnee waren in der Regel die großen Zusammenhangskräfte *innerhalb der einzelnen Schichten*, gegenüber den oft geringen Zusammenhangskräften von einzelnen *Schichten aneinander*. Dementsprechend erfolgten beim gesetzten Trockenschnee auch mehr Abbrüche an den Schichtgrenzen (Adhäsionslawinen), als innerhalb einer Schneesicht (Kohäsionslawinen).

Bei den Untersuchungen auf Saflisch konnte ich feststellen, daß mehr oder weniger jede homogene Schicht ihre besondere Kurve hatte. Von der obersten Zone der Einzelschicht, wo der innere Zusammenhang am geringsten war, nahm dieser nach unten zu und erreichte einen Höchstwert, um dann meist rasch abzunehmen. Waren zwischen zwei gleichartigen Schneeschichten keine ausgesprochenen Trennungsflächen vorhanden, so verliefen die Zusammenhangskräfte ähnlich wie in einer Einzelschicht. Diese Feststellung zeigte, daß hier die Gefahr für das Loslösen zweier Schichten voneinander nicht bestand.

Verfolgen wir nun die Zusammenhangskräfte in zwei *Trockenschneeprofilen*, wie ich sie auf Saflisch seit dem Winter 1930/31 untersuchte. Die Messungen erfolgten gleichzeitig bei Station I (in Waldlichtung, Schattenhang) und bei Station II (im Freien, Sonnenhang). Es ließen sich beim Trockenschnee bei gleichen Schneefällen am Schatten- und Sonnenhang nur so lange entsprechende Zusammenhangskräfte feststellen, als in Station II Wind und Sonne nicht einwirkten. Am 3. Februar (vgl. Fig. 5 und 6) wies der drei Tage alte Neuschnee der Oberfläche kaum meßbare Zusammenhänge auf. Der Neuschnee ging ohne merkliche Schichtgrenze mit inniger Verbindung in die ältern, unverfirnten Schneeschichten über, die von Schneefällen von Mitte und Ende Januar herrührten. Die obersten drei Schichten zeigten also den Charakter einer gleichartigen Einzelschicht. In beiden Profilen am Schatten- und Sonnenhang erreichte der Zusammenhang des Schnees in der mittlern Schicht (Schneefall vom 27./28. Januar 1934) den gleichen Höchstwert. Die Zusammenhangskräfte verringerten sich dann aber in der untersten der drei Schichten, am Sonnenhang plötzlich, am Schattenhang langsamer. Diese unterste Schicht zeigte oben leichtkörnigen Trockenschnee, der von einem kurzen Temperaturanstieg Mitte Januar herrührte. Die größten Zusammenhangskräfte der Schneedecke wies die zweitunterste Schicht des Profils (Schneefälle vom 27. bis 29. Dezember 1933) auf. In der Waldstation erreichten diese den Wert von  $500 \text{ gr/cm}^2$ . Am Sonnenhang bewirkte die Schönwetterperiode vom 30. Dezember bis 8. Januar (gesamte Besonnung 52 Stunden oder auf den Tag im Mittel 5 Std. 10 Min.) eine stärkere Verfirnung und zum Teil Vereisung der Schicht, so daß die Zusammenhangskräfte den 8fachen, zum Teil 50fachen Betrag gegenüber dem Schattenhang erreichten. Zwischen dieser Schicht und der dem Boden aufliegenden war in der Waldstation der Uebergang nicht sehr ausgeprägt. Der Zusammenhang der Schichten aneinander war immerhin wesentlich geringer als in den einzelnen Schichten. Bei Station II (Sonnenhang) bestand die Bodenschicht zum Teil aus sehr lockern Einzelschichten, in denen der Schnee vom November und Dezember durch Sonnen- oder Bodenwärme stark verfirnt war. Die einzelnen Schneeteilchen lagen ohne Zusammenhang lose aneinander (« Schwimmschnee » von PAULCKE<sup>10)</sup>). Bei genügender Hangneigung hätte hier, auf der 7 cm mächtigen Lockerschicht, die überlagernde Schneedecke abgleiten können. Ausschlaggebend für einen Lawinenabbruch wäre allerdings auch noch die Flächenausdehnung dieser zusammenhanglosen Schicht gewesen. Je größer diese ist, um so größer ist auch die Spannung in der übergelagerten Schicht und somit die Bruchgefahr.

Während also die Zusammenhangskräfte von der Schneeoberfläche bis in die bodennahe Zone in den einzelnen Schneeschichten und der Schichten aneinander auf

<sup>10)</sup> Paulcke, W.: Der Schnee und seine Diagenese; Zeitschrift für Gletscherkunde, Bd. XXI. 1934.

dem Schatten- und Sonnenhang ähnlich waren, hafteten die Schneedecken am Boden sehr ungleich. In beiden Stationen war beim ersten Schneefall im Spätherbst der Boden ungefroren. Weil bei Station I (Waldstation) der Schnee liegen blieb und die lebende Bodendecke (Alpenrose und Heidelbeere) nicht im Schnee eingefror, haftete die Schneedecke am Boden sehr schlecht. Bei der Station im Freien (II), die der Sonne exponiert ist, schmolz der erste Schnee auf dem ungefrorenen Boden weg und beim spätern Schnee, der auf leicht gefrorenen Boden fiel und nicht mehr verschwand, war die lebende Bodendecke (Erika und Preiselbeere) in den Schnee eingefroren, so daß die Schneedecke bis am 3. Februar am Boden gut haftete. Hier, bei der Station im Freien, war auch bei stärkerer Hangneigung ein Abgleiten der Gesamtschneedecke auf dem Boden nicht zu erwarten, während dies in der Station I bei steilerem Hang nicht ausgeschlossen gewesen wäre.

## 2. Zusammenhangskräfte des Naßschnees.

Je nach der Stärke der Wasseraufnahme ändern sich die Zusammenhangskräfte des Naßschnees zwischen großen Grenzen. Je mehr freies Wasser in wassergesättigtem Schnee vorhanden ist, um so geringer sind die Zusammenhangskräfte. In der Regel wechseln die Zusammenhangskräfte im Naßschnee noch stärker als im Trockenschnee. Während in diesem die Schichten der Schneedecke meist den Schneefällen entsprechen, bilden sich im Naßschnee durch die mannigfachen Umwandlungen neue Schichten hinzu. Dadurch ändern sich auch die Zusammenhangskräfte vollständig.

Die Untersuchungen zeigten, daß der ruhig gefallene, *unveränderte, nasse Neuschnee* in der Regel größere Zusammenhangskräfte aufwies als der trockene Neuschnee. Durch Schmelz- oder Regenwasser nahmen die Zusammenhangskräfte aber rasch ab, besonders in den tiefern Zonen des Neuschnees. Konnte das Schmelzwasser der untersten Zone infolge einer undurchlässigen Unterlage nicht austreten, nahm hier der Zusammenhang besonders stark ab. Dies war häufig die Ursache von Frühjahrsoberlawinen, wie sie sich zum Beispiel im Mai 1930 am Obergesteler Galen und am 14. Mai 1930 am Geschiner Galen ereigneten. In den Lawinenverbauungen von Geschinen lagen folgende Verhältnisse vor:

In der 53 cm mächtigen, obersten, nassen Neuschneesicht nahmen die Zusammenhangskräfte nach unten zu, waren aber dann plötzlich im Trennungshorizont am grobsulzigen Altschnee sozusagen Null, so daß auf dem 60 % geneigten Hang die Lawine abbrach. Obwohl der Altschnee einen geringern Zusammenhang aufwies als der Neuschnee, erfolgte der Abbruch nicht dort, sondern im untersten Teil der 53 cm mächtigen, besonders wässerigen Neuschneesicht, die eine günstige Gleitschicht bildete und große Ausdehnung besaß. Bei einer andern Naßschneelawine, die am 24. März 1929 neben dem Verbau « Mittel Kreuz » (1900 m ü. M.), Reckingen (Oberwallis), niederging, erfolgte der Anbruch im Altschnee. Die Lawine brach nach einer Schönwetterperiode vom 5. bis 21. März und starkem Regen am 23. März in der Nacht des 23./24. März ab. Der Lawinenabbruch zeigte sehr unregelmäßigen Verlauf wie bei einer Wildschneelawine. Die Harschdecke an der Oberfläche wie der stark verfirnte Altschnee wurden so durchnäßt und im Zusammenhang gelockert, daß der Schnee wie Wasser abfloß.

Betrachten wir nun die Zusammenhänge an zwei *Profilen* durch die *Naßschneedecke* (Fig. 7 und 8). Diese wurden an denselben Stellen, wie die oben beschriebenen Trockenschneeprofile auf Saflisch, aufgenommen. Am 7. April 1934 lag an beiden Stationen eine Frühlings-Naßschneedecke mit auffallend geringen Zusammenhängskräften. Es waren keine harten, vereisten Schichten mehr vorhanden wie am 3. Februar 1934 am Sonnenhang. Den größten Zusammenhang in der Waldstation (Fig. 7) wies die oberste Schicht auf, die aus feinem, wenig durchnäßtem

#### Zusammenhängekräfte im Naßschnee.

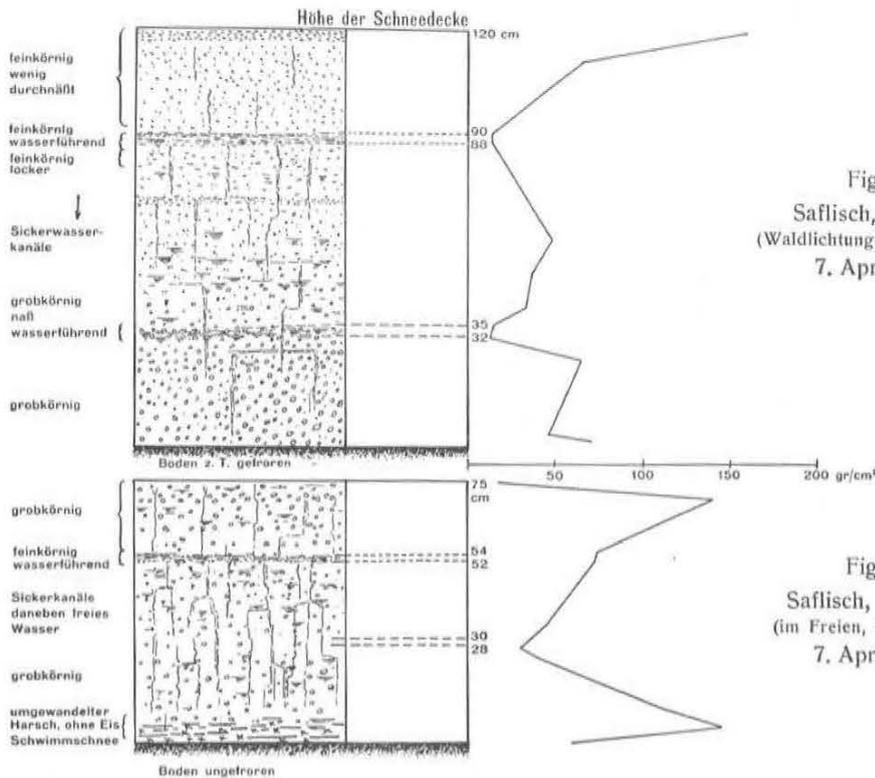


Fig. 7.  
Saflisch, Station I  
(Waldlichtung, Schattenhang).  
7. April 1934.

Fig. 8.  
Saflisch, Station II  
(im Freien, Sonnenhang).  
7. April 1934.

Schnee bestand. 30 cm unter der Oberfläche befand sich die erste, deutlich feststellbare wasserführende Schicht. Der Zusammenhang mit der untern Schicht, die oben lockern Schnee enthielt, war annähernd Null. Von hier abwärts durchsetzten sie wasserführende Zonen und Kanäle. Die Zusammenhängekräfte waren deshalb senkrecht wie waagrecht bis auf den Boden sehr gering. In der Schichtgrenze bei 35 cm, in der beinahe freies Wasser austrat, fielen sie wieder gegen Null. Am Boden, der an einzelnen Stellen, infolge der Profilaufnahme im Februar, gefroren war, haftete der grobkörnige Schnee wenig.

Am Sonnenhang (Fig. 8) war der Schnee durchweg grobkörniger. Der Harsch an der Oberfläche hatte sich in grobe Körner umgewandelt, und das Schmelzwasser konnte ungehindert auf die 20 cm tiefer liegende wasserführende Schicht sickern. Darunter lag wiederum grobkörniger Sulzschnee, reichlich durchsetzt von Sickerwasserkanälen, die den Zusammenhang lockerten. 30 cm über dem Boden war der Zusammenhang am geringsten, um nachher wieder vorübergehend etwas anzusteigen.

Das wenige, am 3. Februar vorhandene Eis war seither geschmolzen und auch die lebende Bodendecke war nicht mehr im Schnee eingefroren.

In beiden Naßschneeprofilen in der Frühlingsschneedecke nahmen die Zusammenhangskräfte von der Oberfläche gegen den Boden ab. Die im Februar noch ausgeprägten Schneeschichten, die teilweise den Schneefällen entsprachen, waren nicht mehr festzustellen, da sie sich in lockern Frühlingsschnee umkristallisierten. Es hatten sich zwei ausgeprägte wasserführende Horizonte gebildet, in denen der Zusammenhang sehr gering war. Bei genügender Hangneigung hätten hier Abbrüche erfolgen können. Auch haftete der Schnee am Boden so schwach, daß ein Abgleiten der gesamten Decke möglich gewesen wäre; zudem hätten die zahlreichen lotrechten Sickerkanäle ein Abreißen in der Schneedecke begünstigt.

### 3. Aenderung der Zusammenhangskräfte und der Schneedecke im Laufe des Winters.

Infolge der Umlagerung des Schnees und der Schichtenneubildung wechseln die Zusammenhangskräfte in der Schneedecke im Laufe des Winters fortwährend.

Die hier beschriebenen Untersuchungen wurden im Winter 1935/36 gemacht (Fig. 9—14). Der erste größere Schneefall ereignete sich anfangs November (42 cm) bei ungefrorenem Boden (Schichten A + B, Fig. 9). Durch Tauwetter und Regen vom 11. bis 13. November wurden diese bis auf den Boden durchnäßt, was im Simplongebiet die ersten großen Lawinen verursachte. Nachher setzte Schneefall bei Kälte ein. Es bildete sich die Schicht C, unter dieser aber eine Reihe von Schichten, die bis im April 1936 starke innere Zusammenhänge aufwiesen und mit Schicht C gute Verbindung hatten.

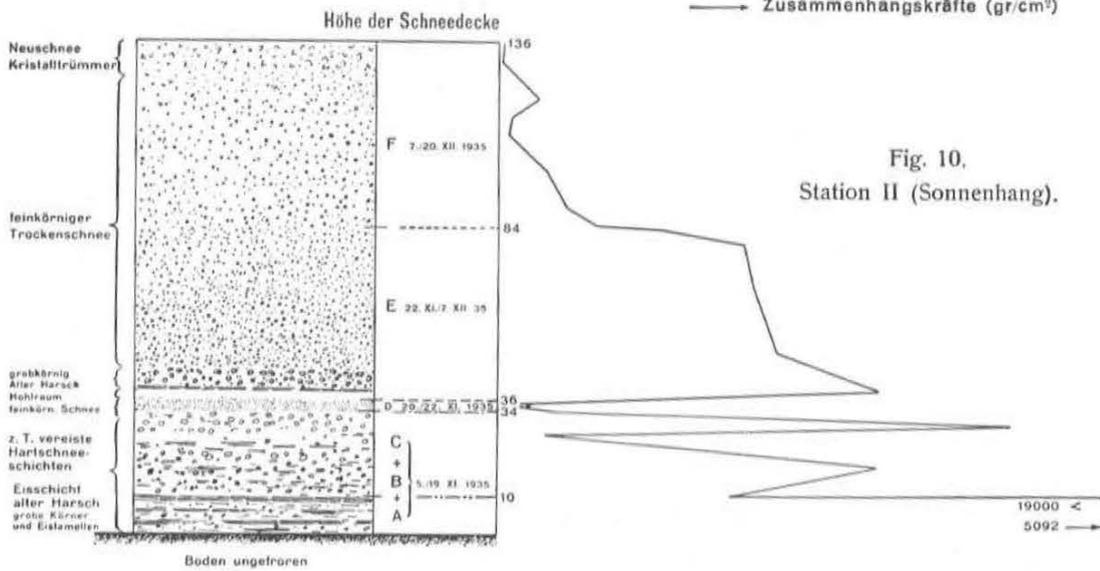
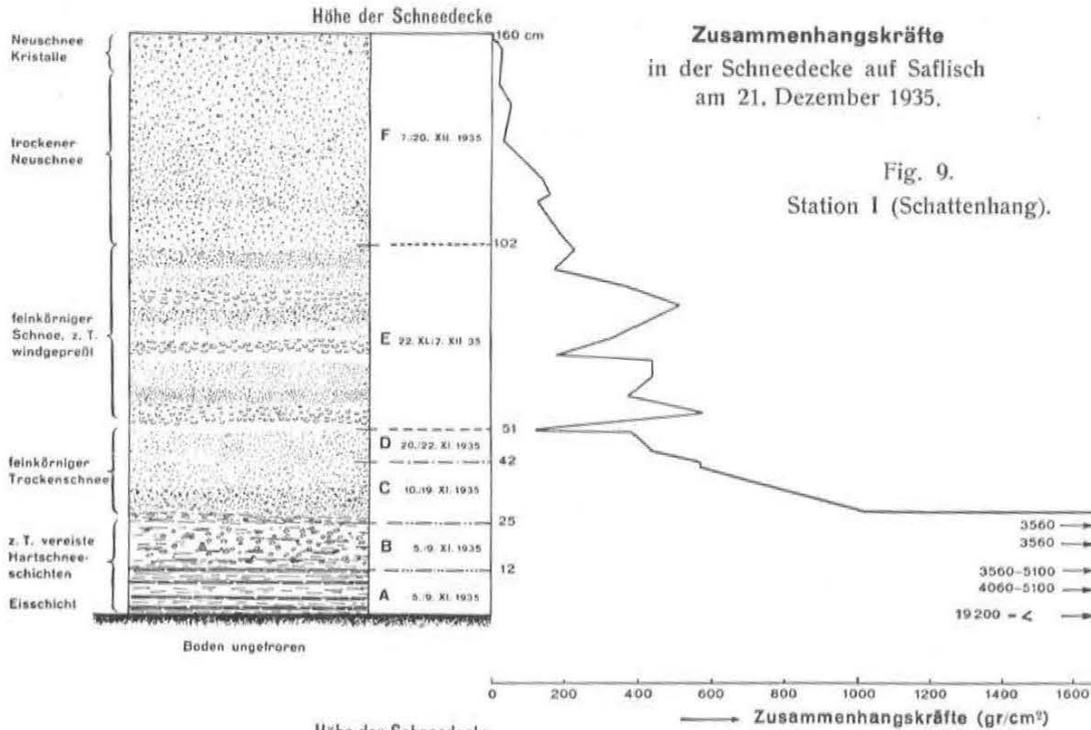
Vom 20. bis 22. November fiel bei Temperaturen von  $-3^{\circ}$  bis  $-7^{\circ}$  ungefähr 20 cm sehr lockerer Schnee (Schicht D). Diese wurde vom 22. November bis 7. Dezember mit 107 cm zum Teil windgepreßtem Neuschnee überlagert (Schicht E). Am Sonnenhang setzte sich die lockere Schicht D von 20 cm auf 2 cm, am Schattenhang auf 9 cm, ohne daß sich die Schicht E mitsetzte. So entstand zwischen den Schichten E und D nahezu ein Hohlraum, in dem der Zusammenhang auf der Sonnenseite ganz, am Schattenhang beinahe auf Null sank. Vom 7. bis 20. Dezember häufte sich mit Unterbrüchen bei niedern Temperaturen von  $-4,5^{\circ}$  bis  $-17^{\circ}$  64 cm lockerer Neuschnee an (Schicht F).

So waren am 21. Dezember 1935 (vgl. Fig. 9 und 10) bei beiden Stationen die Zusammenhangskräfte der ausgesprochenen Trockenschneedecke festzustellen. Von der Oberfläche nach der Tiefe nahmen die Zusammenhangskräfte in den Schneeschichten wie in der Gesamtschneedecke im großen und ganzen zu. Der sehr geringe Zusammenhang im Schichthorizont DE der Sonnenseite und die überaus starken Zusammenhangskräfte in den untersten Schichten erklären sich aus den oben erwähnten Witterungsverhältnissen von Mitte November.

Am 27. Dezember stieg die Lufttemperatur auf  $+2^{\circ}$ , und der Schnee begann bei beiden Stationen an der Oberfläche leicht zu schmelzen, um nachher zu gefrieren, ohne daß sich jedoch eine ausgesprochene Harschdecke gebildet hätte.

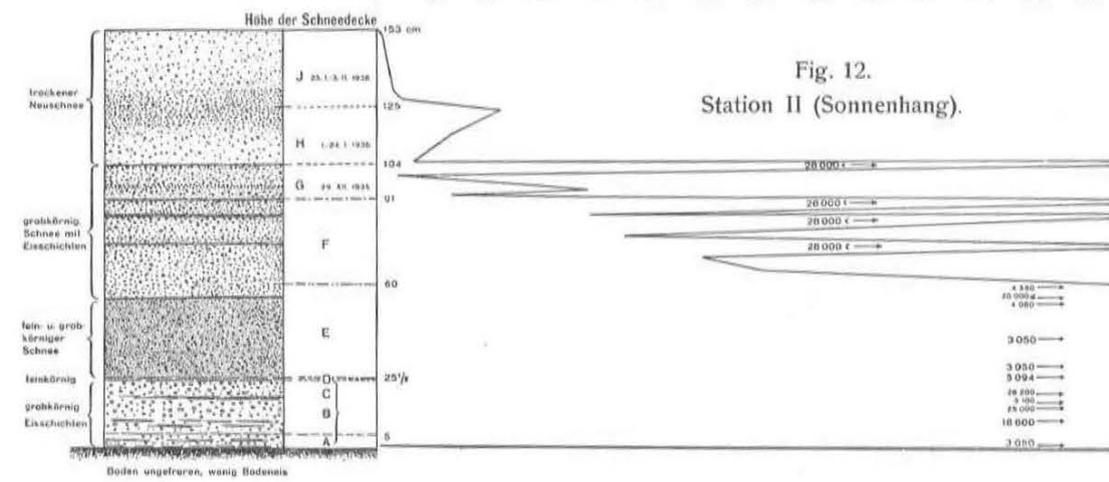
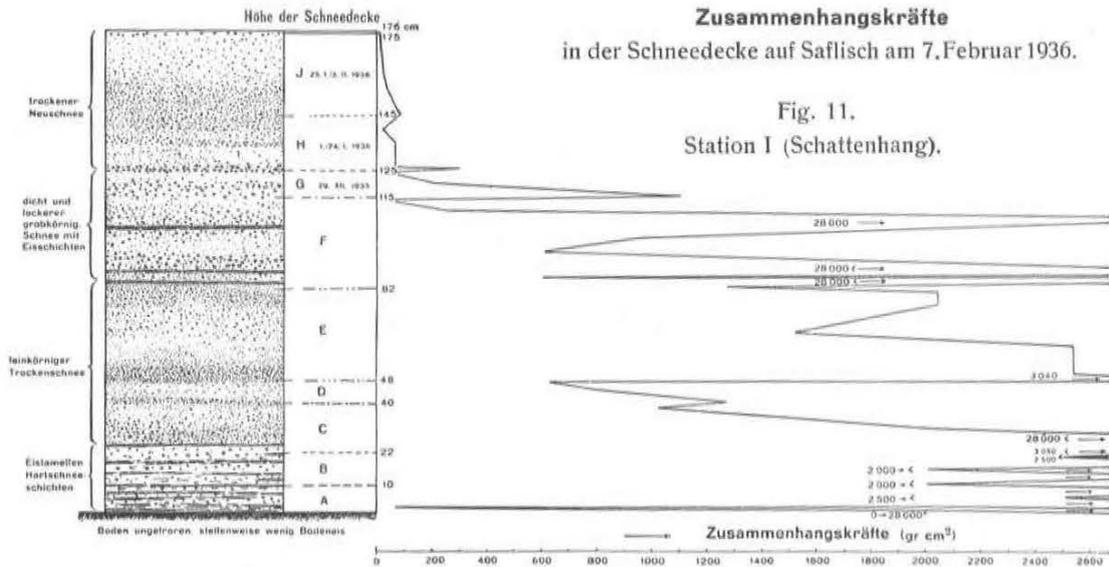
In der Waldstation vermochte sich der Neuschnee vom 29. Dezember (35 cm, Schicht G) nicht mit der Unterlage zu verbinden, und es entstand der Schichthori-

zont FG. Die Lufttemperatur am Schattengang schwankte vom 29. Dezember 1935 bis 8. Januar 1936 zwischen  $-3^{\circ}$  bis  $-14^{\circ}$  C. Auf der Sonnenseite verbanden sich die Schichten infolge der Sonnenwärme besser, besonders auch infolge des Regens



vom 10. Januar und der Lufttemperatur bis  $+5^{\circ}$  C am 11. Januar 1936. Die 21,9 mm Regen drangen am ersten Tag 25 cm tief ein und machten sich bei der Waldstation später noch 40 cm, im Freien 49 cm tief durch Verfirnung und Vereisung des Schnees geltend.

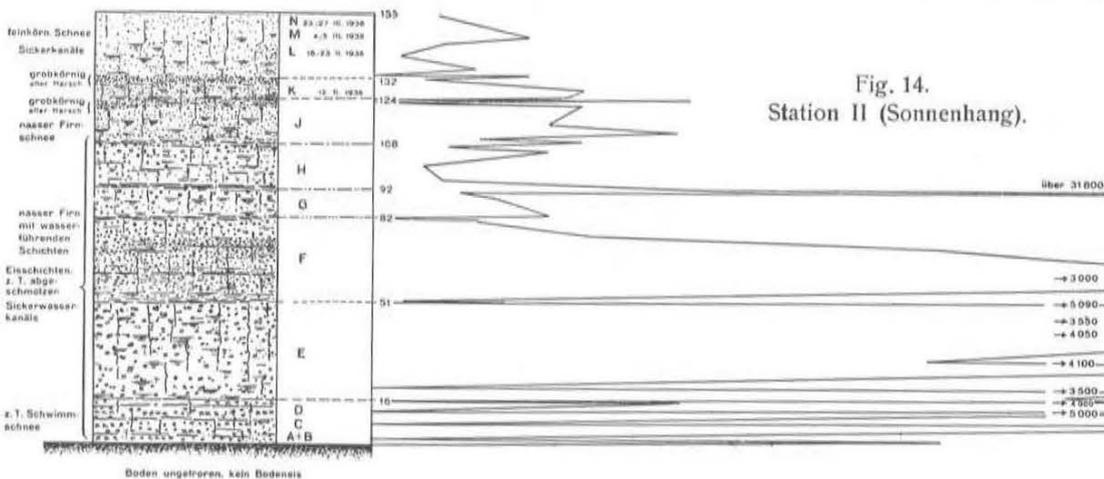
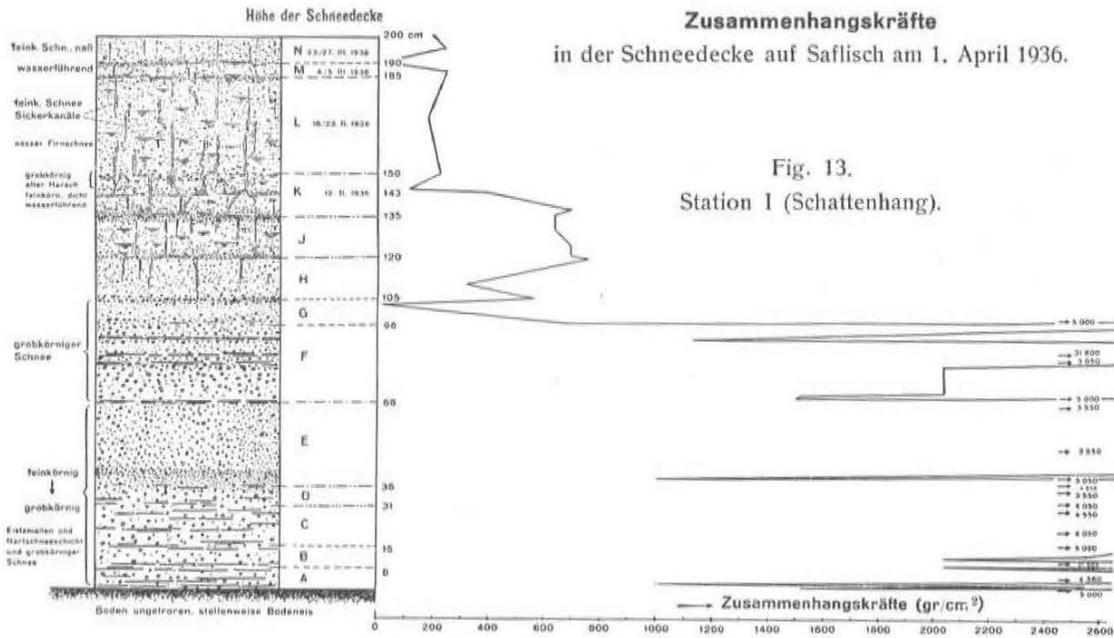
Diesem Regen folgte im Simplongebiet die zweite Lawinperiode des Winters. Der Zusammenhang in den Schneesichten löste sich auf und die mehr wasser- aufnahmefähigen, dichtern Schichten verwandelten sich in wässrige Schmier- schichten. In den Schichten G und besonders in F verwandelten sich später die dicht- ern Ablagerungen, wie Windharsch und Schneebretter, in sehr harte Eislamellen.



Dazwischen entstand grobkörniger Schnee mit geringem Zusammenhang. An der verregneten Schneeoberfläche bildete sich nicht, wie zu erwarten gewesen wäre, eine harte Decke, sondern der Schnee verwandelte sich infolge der Lufttemperatur von wenig unter 0° und der Neuschneeüberlagerung vom 23. Januar bis 3. Februar (30-cm-Schicht H und 40-cm-Schicht J) in eine körnige Masse mit schwachem Zusammenhang.

Am 7. Februar 1936 zeigten die Zusammenhangskräfte gegenüber der letzten Profilaufnahme die folgenden Verhältnisse (Fig. 11 und 12): Trotz der vorüber-

gehenden Durchnässung der Schichten G und F wiesen beide Stationen ausgesprochenen Trockenschnee auf. In den untersten Schichten A—D hatte sich der Zusammenhang in den einzelnen Schichten und der Schichten aneinander vergrößert. Am Sonnenhang war die ehemalige Lockerschicht D durch Setzen beinahe verschwunden und die Schichten C und E hafteten durch die Schicht D gut zusammen.



In den früher durchnässten Schichten F und G fanden sich sehr harte Eishorizonte. Der grobkörnige, verfirnte Lockerschnee zwischen den Eislamellen zeigte um so geringern Zusammenhang, je höher er in der Schneedecke lag. Die Neuschneeschichten H und J wiesen die dem trockenen Neuschnee eigenen geringen Zusammenhangskräfte auf.

Vom 5. bis 9. Februar herrschte windstilles, wolkenloses Wetter mit 43 Stunden Sonnenschein, so daß sich nachts, bei Temperaturen von  $-12^{\circ}$  bis  $-22^{\circ}$  C, am

Sonnenhang eine Harschdecke bildete. Unter der 25 cm hohen Neuschneeüberlagerung (Schicht K vom 12. Februar) wandelte sich die Harschdecke wieder in grobkörnigen Schnee um und bildete eine Schicht mit sehr ungleichen, vorwiegend geringen Zusammenhängen. Zwischen der Neuschneeschiicht K und der umgewandelten Harschdecke am Sonnenhang bestand sozusagen keine Bindung; dagegen hafteten diese am Schattenhang, weil dort gleichartiger, dermaßen aneinander, als ob sie eine einzige Schicht bilden würden. Am 15. und 18. Februar stieg aber die Lufttemperatur am Schattenhang tagüber auf  $+3^{\circ}$  und fiel nachts nur auf  $-4^{\circ}$  C, wodurch sowohl am Sonnen- wie am Schattenhang auf der Schicht K eine dünne Harschdecke entstand. Diese verwandelte sich durch den Neuschnee vom 22./23. Februar (Schicht L, ungefähr 30 cm) in grobe Firnkörner, weshalb besonders am Sonnenhang die Schichten K und L lose aneinander hafteten.

Auf Saflisch fielen am 4. und 5. März bei starkem Südostwind annähernd 70 cm Schnee (Schicht L—M, vermischt zum Teil mit Gelbschnee, Saharastaub). Jenseits des Simplons (Simplon-Dorf) lagen ungefähr 2 m Schnee, die am 4. März große Lawinengänge verursachten (3. Lawinenperiode im Winter 1935/36). Die Lawinen gingen infolge geringer Kohäsion in der hohen Neuschneeschiicht nieder (in den Profilen 13 und 14 am 1. April 1936 kommt dies allerdings nicht mehr zum Ausdruck, da sich der Schnee von 70 cm auf 40 cm setzte).

Am 23., 26. und 27. März fielen 65 cm Neuschnee (Schicht N), der in den fünf folgenden sonnigen Tagen in Station I und II bis auf einen Sechstel, also 11 cm, zusammensinterte. Die Lufttemperatur stieg unter Föhn einfluß nachts bis  $+0,5^{\circ}$ , tagüber bis  $+7^{\circ}$  C; die Sonnenscheindauer betrug 35 Stunden, also durchschnittlich 7 Stunden im Tag. Das Schmelzwasser — ohne Regen — drang in der Waldstation bis 90 cm tief, auf einen undurchlässigen, zum Teil durchlöcherten Horizont. Dabei wurde der Zusammenhang in der dem Horizont aufliegenden Trockenschneezone vorübergehend vergrößert. Durch vermehrte Wasseraufnahme verringerte sich der Zusammenhang wieder, und der mit Wasser gesättigte Schnee gab dieses an die tiefern Schichten ab. Es entstanden Sickerkanäle, die sich bei zunehmendem Schmelzwasser ausweiteten und so die Zusammenhangskräfte in den einzelnen Schneeschichten wesentlich verringerten. Bis zu diesem Zeitpunkt (27. März 1936) hatte die Schneedecke auf Saflisch mehr Trockenschneecharakter. Mit dem Durchsickern des Schmelzwassers bis in 90 cm Tiefe und der Entstehung von zahlreichen Sickerkanälen auch am Schattenhang verwandelte sich allmählich die ganze Decke in Naßschnee.

Am 1. April 1936 (vgl. Fig. 13 und 14) wies sowohl die Schneedecke am Schatten- wie am Sonnenhang durchgehend Temperaturen um  $0^{\circ}$  C auf. Am Schattenhang in den Zonen zwischen den Sickerkanälen vergrößerten sich im allgemeinen die Zusammenhangskräfte im Vergleich zu denen der Profile vom 21. Dezember 1935 und 7. Februar 1936. In den Sickerkanälen selbst verminderten sie sich jedoch stark. Die bodennahen Schichten änderten sich, weil wenig durchnäßt, abgesehen von einzelnen neuentstandenen Horizonten, nur wenig. Am Sonnenhang entstanden in den Schichten G bis J und ebenfalls besonders in Bodennähe (Schichten A bis E) neue Horizonte. Die Umkristallisation in zusammenhanglosen Schwimmschnee war aber noch nicht sehr fortgeschritten; immerhin verringerte das reichlich vorhandene

Sickerwasser zwischen den in Schmelzung begriffenen Eislamellen die Zusammenhängekräfte auf Null (Fig. 14).

Da im Winter 1935/36 nach dem 1. April auf Saflisch kein Schneeprofil aufgenommen wurde, sei zur Ergänzung die ausgesprochene Frühlingsschneedecke vom 11. April 1935 beschrieben (Fig. 15). Charakteristisch für diese Schneedecke auf Saflisch am Sonnenhang am 11. April 1935 war die auffallend starke Abnahme der

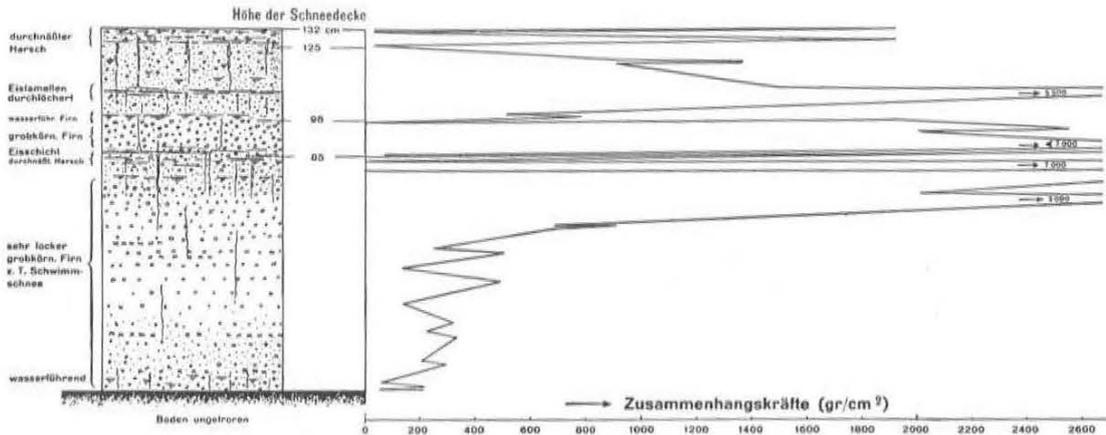


Fig. 15. Zusammenhängekräfte in einer Frühlingsschneedecke auf Saflisch. 11. April 1935.

Zusammenhängekräfte gegen den Boden. Im oberen Teil der Schneedecke widerstanden die stark verfirnten (zum Teil aus Sonnenharsch und Schneebletern entstandenen) Eislamellen der Auflösung durch das Sickerwasser bis am 11. April. Zwischen den harten Horizonten lag grobkörniger Schnee mit sehr geringem Zusammenhang. Gegen den Boden waren die wie im Winter 1935/36 vorhandenen (vgl. Fig. 14) Hartschneesichten und Eislamellen bereits aufgelöst, zum Teil in zusammenhanglosen Schwimmschnee umkristallisiert oder abgeschmolzen. Ein Abgleiten einer solchen Schneedecke, die sozusagen «*faul*» ist und keine Verbindung mit dem Boden hat, ist leicht verständlich.

In diesem Zusammenhang sei auch noch auf das *Setzen des Schnees* im Laufe des Winters hingewiesen (Fig. 16). Die Schneedecke in der Waldstation am 21. Dezember 1935, umfassend die Schichten A bis F von 160 cm, betrug am 7. Februar 1936 noch 115 cm; setzte sich also um 28 % und bis am 1. April 1936 auf 96 cm, also um 17 %.

Im Freien setzten sich die Schichten A bis F von 136 cm bis am 7. Februar 1936 auf 91 cm, also um 33 % und bis am 1. April 1936 auf 82 cm, also um 10 %.

Diese Zusammenstellung zeigt, daß sich naturgemäß die Schneedecke im Laufe des Winters am Sonnenhang stärker setzt als in der schattigen Waldlichtung. Während sich ferner im Monat Januar die Trockenschneesichten mit geringem Zusammenhang um annähernd 30 % setzten, sinterten die gleichen Schichten in den Monaten Februar und März trotz höhern Lufttemperaturen, aber gesetzterem Schnee, nur noch um annähernd 15 % zusammen. Diese Erscheinungen sind in den Lawinverbauungen von Bedeutung. Sie zeigen, wie sich die Altschneedecke auf den eingeschneiten Terrassen bis Ende März langsam setzt. Dementsprechend bildet sich

das « Stützprofil » an der Schneeoberfläche auf Terrassen oft nur langsam aus, und während dieser Zeit werden die Neuschneeablagerungen oft ungenügend gestützt, so daß trotz des Verbaues Oberlawinen abbrechen können.

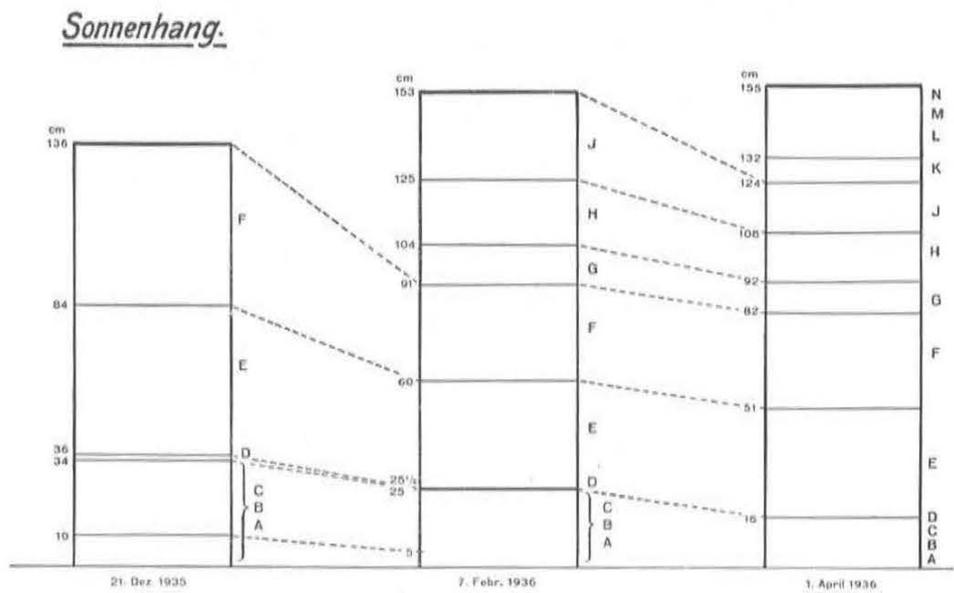
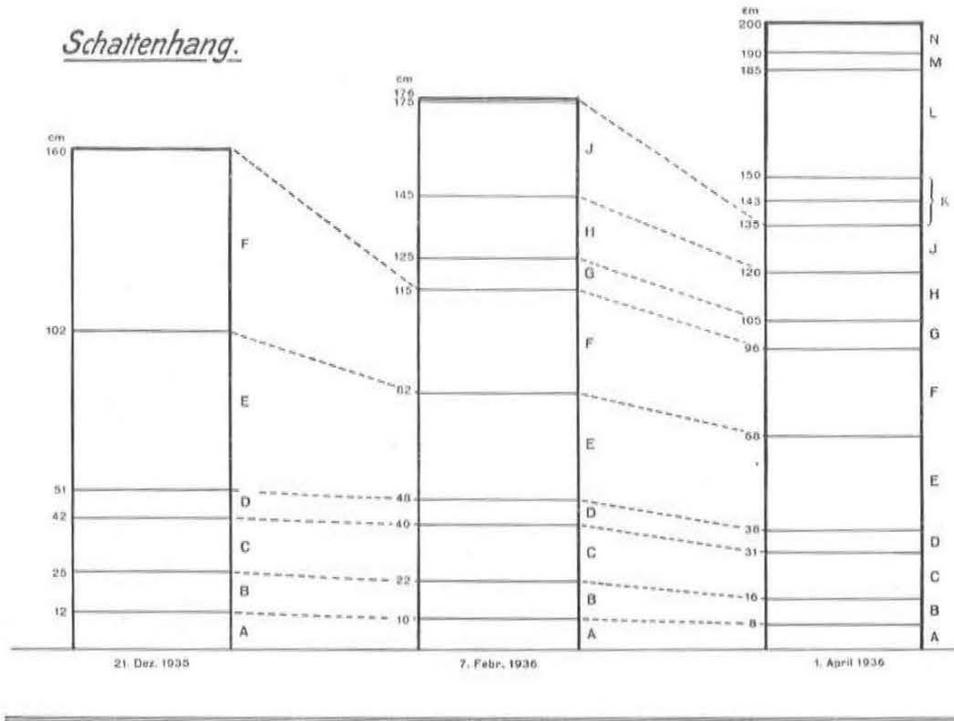


Fig. 16. Setzen der Schneedecke auf Saflisch im Laufe des Winters 1935/36.

### III. Kapitel: Haften des Schnees auf dem Untergrund.

Die wichtigsten Faktoren für das Haften des Schnees am Untergrund sind: Neigung, Beschaffenheit der Unterlage, Schneebeschaffenheit und die Witterungsverhältnisse vor und nach der Schneeablagerung.

#### 1. Einfluß der Neigung der Unterlage.

Eine allgemeine Grenzneigung, bei welcher der Schnee noch haftet oder abgleitet, kann nicht angegeben werden. Als natürlichen Böschungswinkel von Schnee auf Schnee fand WELZENBACH<sup>11)</sup> bei Gewächten 52,5°. Diese Neigung kann je nach lokalen Verhältnissen auf 55 bis 60° steigen, so daß für ruhig fallenden Schnee die obere Grenze bei 60° sein dürfte. An Mauern und Felspartien, deren Neigung 80° betrug, habe ich zum Beispiel am Geschiner Galen (feinkörniges Gneisgestein) Schneeschichten von 10 cm angetroffen. An dem senkrechten Jutegeflecht auf Saflisch betrug der Behang oft über 25 cm. In diesen Fällen ist der Schnee durch Wind aber angepreßt worden und festgefroren.

So wie zahlenmäßig keine genaue obere Grenzneigung angegeben werden kann, bei welcher Schnee abrutschen muß, läßt sich auch die untere Grenzneigung, bei welcher kein Schnee abrutschen kann, nicht durch eine Zahl ausdrücken. In Geschinen konnte ich am 17. April 1929 beobachten, wie eine Feuchtschneeschicht von 30 cm auf einem Wellblechdach mit nur 20% (11,2°) Neigung abrutschte. Hier half das Schmelzwasser durch Schmierer der ohnehin schon glatten Unterlage mit.

Aus Beobachtungen ergab sich also, daß Schnee schon bei 11° Neigung abgleiten, aber auch bei über 60° auf der Unterlage haften kann.

#### 2. Einfluß der Schneeart sowie des gefrorenen und ungefrorenen Bodens.

Beim Einschneien im Herbst hat die Schneeart, ob trocken oder feucht, einen großen Einfluß auf den Zusammenhang zwischen Schneedecke und Boden. Je nach den Witterungsverhältnissen ändert sich aber die Schneeart durch Einfluß von außen (oben) und vom Boden her. Auch der Zustand des Bodens, ob gefroren oder ungefroren, spielt eine große Rolle. Je nachdem kann der erste Schnee anfrieren oder nicht. Unter einer zusammenhängenden Schneedecke gefriert der Boden nur bei geringer Schneehöhe, und zwar nur wenig an der Oberfläche. So stellte ich zum Beispiel in Ried-Brig Ende März 1932 fest, daß bei einer Schneeschicht von 20 cm der Boden nur 3 cm, bei unbedeckter Fläche jedoch 140 cm tief gefroren war.

Wichtig für das Haften der Schneedecke am Boden ist die *Aufnahmefähigkeit des Bodens für Schmelzwasser*. Ist der Untergrund vor dem Einschneien mit Wasser gesättigt, kann er weniger Schmelzwasser aufnehmen. Dieses fließt auf dem gefrorenen Boden sofort oberflächlich ab. Es kann entweder gefrieren und eine gutbin-

<sup>11)</sup> Welzenbach, W.: Untersuchungen über die Stratigraphie der Schneeablagerungen und die Mechanik der Schneebewegungen nebst Schlußfolgerungen auf die Methoden der Verbauung. Diss. Innsbruck 1930.

dende Eisschicht zwischen Boden und Schnee bilden oder bei andauerndem Tauwetter, besonders im Frühling, den Zusammenhang zwischen Boden und Schneedecke lösen und ein Abgleiten der letztern verursachen. In Geschinen beobachtete ich am 17. April 1929 an drei Stellen kleine Lawinen, wo eine Wasserleitung überbordete und das Wasser den Zusammenhang zwischen Schneedecke und Grasboden löste. Vermag der Untergrund viel Schmelzwasser aufzunehmen, wird die Bildung einer wassergetränkten Schicht verringert, was sich günstig auf den Zusammenhang zwischen Schneedecke und Boden auswirkt. So haftet z. B. die Schneedecke auf Waldboden und Geröll in der Regel gut, da das Schmelzwasser in die Tiefe fließen kann, ohne den Zusammenhang zwischen Schnee und Bodenoberfläche wesentlich zu lockern.

Fällt *Trockenschnee auf ungefrorenen Boden*, so beginnt er bei Luft- und Oberflächentemperaturen über  $0^{\circ}$  zu schmelzen, dagegen bei Temperaturen unter  $0^{\circ}$  und besonders bei Wind anzufrieren. Fällt wenig Schnee, so kann sich die Außentemperatur geltend machen durch Anfriern oder Schmelzen am Boden. Bei mehr als 20 cm Schnee dringen nur große Temperaturschwankungen bis auf den Boden. Bei warmer Witterung und wenig Schnee sickert das Schmelzwasser rasch bis auf den Boden und kann hier den Zusammenhang lösen. Ist eine größere Schneeschicht vorhanden, wird das Wasser absorbiert und dringt nicht immer bis auf den Boden.

Fällt *Trockenschnee auf gefrorenen Boden*, haftet er bei Temperaturen unter  $0^{\circ}$  schlecht. Es ist kein Schmelzwasser vorhanden, das nachher als « Kitteis » den Schnee an den Boden bindet. Wird nach der Schneeablagerung das Wetter wärmer, so daß etwas Schmelzwasser bis auf den gefrorenen Boden dringt, gefriert der Schnee am Untergrund fest, und es entsteht der größtmögliche Zusammenhang.

Lagert sich *Feucht- oder Naßschnee auf ungefrorenen Boden* ab, so spielt wiederum die Temperatur nach der Ablagerung die entscheidende Rolle, ob die Schneedecke am Untergrund angefroren oder nicht.

Fällt *Feucht- oder Naßschnee auf gefrorenen Boden*, gefriert er in der Regel an, und die Schneedecke haftet sehr gut. Auch eventuelles Schmelzwasser bei Tauwetter löst die angefrorene Schicht nicht leicht vom Boden, da sich eine Eisschicht gebildet hat, die nur schwer schmilzt.

Während des Winters bleibt der Zusammenhang des *gefrorenen Bodens* mit der Schneedecke, solange sie aus Trockenschnee besteht, derselbe. Beim *ungefrorenen Boden* macht sich die Bodenwärme auf das Haften der Schneedecke während des ganzen Winters geltend. Hat sich über dem Boden eine Eisschicht gebildet, bleibt diese den Winter über bestehen, und der Schnee haftet gut. Ich konnte nie beobachten, daß eine vereiste Bodenschicht, solange die Schneedecke aus Trockenschnee besteht, ausschließlich durch Bodenwärme verschwindet. Häufig entstehen jedoch bei der am Boden nicht vereisten Schneedecke zwischen dieser und dem ungefrorenen Boden Hohlräume. In kleinen Vertiefungen, welche vermutlich vom Abschmelzen des Schnees durch die Bodenwärme oder von Sickerwasser herrühren, vermindern sie den Zusammenhang zwischen Schneedecke und Boden. Zudem bildet sich in diesen Hohlräumen und darum herum den Winter über meist lockerer, grobkristallinischer Schnee (Schwimmschnee) mit geringem Zusammenhang, so daß ein Abgleiten der Schneedecke am Steilhang leicht möglich wird. Eine solche Schneedecke wird zur Hauptsache nur noch durch die Bodenwiderstände gestützt, die in

die Schneedecke hineinragen. Die Bedeutung dieser Auflagestellen zeigt uns die Notwendigkeit aus dem Hang herausstehender Bauten. Entsprechend dem großen Druck der gesamten Schneedecke, die sie stützen müssen, sind sie auch genügend fest zu erstellen. Besonders im *Frühling* löst sich der Schnee vom Boden unter dem Einfluß des vermehrten Schmelz- und Regenwassers. Durch das Verschwinden des isolierenden Bodeneises macht sich auch die Erdwärme stärker bemerkbar.

### 3. Einfluß der Beschaffenheit der Unterlage.

Je rauher die Bodenoberfläche ist, desto besser kann naturgemäß die Schneedecke haften. Das Haften am Boden hängt aber auch hier wiederum sehr davon ab, ob der Schnee an die Bodendecke anfrieren kann oder nicht.

Bei *nacktem Boden* bildet unter gleichen Neigungsverhältnissen das Geröll, abgesehen von den guten Wasserabflußverhältnissen, den günstigsten Untergrund. *Stulige Hänge* bieten der Schneedecke naturgemäß günstigeren Halt als gleichmäßig geneigte. Ebenso wird die Schneedecke an *Hängen mit vorspringenden Schichtköpfen* besser zurückgehalten als da, wo die Gesteinsschichten längs der Oberfläche fallen. So gingen z. B. auf den Berghängen im Goms von den Schichtköpfen (Räuften, «In den Lauenen») nach den ersten Schneefällen regelmäßig kleinere Lawinen nieder. Auf den gleichförmigen Haupthängen der «Galen» (Geschinen, Obergestelen) waren die Lawinen seltener, aber dann meist sehr groß.

Bei der Grasnarbe ist nicht nur die Länge des Grases, sondern ebenso seine Beschaffenheit, ob hart oder weich, aufrecht oder niederliegend, von großer Bedeutung für das Haften des Schnees.

Bei *langem Gras* kommt es vor allem darauf an, wie es eingeschneit wird. Auf Räuften (Reckingen), Schattenhang, 2000 m ü. M., konnte ich im Oktober 1928 beobachten, daß sich der trocken fallende Schnee zwischen das aufrechtstehende Gras einlagerte. Der Boden war gefroren. Da sich nach dem Schneefall (20—30 cm) Kälte einstellte, gefror das Gras im Schnee ein; dieser haftete somit fest. Es ist jedoch selten, daß langes Gras beim endgültigen Einschneien aufrecht steht. Auf dem Ulricher Galen, Sonnenhang, 1900 m ü. M., fiel der große Novemberschnee 1928 auf ungefrorenen Boden. Das Gras war vom ersten Schnee im Oktober niedergedrückt worden, aperte später wieder aus, blieb aber dem ungefrorenen Boden dicht anliegend. Die unterste Schicht des Novemberschnees gefror auf dem glatten Grasteppich fest. Im Dezember 1928 wie auch im März 1929 schmolz aber die unterste Schicht und der Schnee kam auf dem glatten Gras ins Rutschen.

Oberhalb Wiler (Obergestelen) konnte ich bei ungefrorenem Boden beinahe regelmäßig beobachten, daß der Schnee jeweils schon bei einer Höhe von 8—15 cm auf dem ungefrorenen Boden abrutschte. Bei dem Gefälle von 90 % genügten einige Stunden Sonnenschein, um die geringe Schneemenge auf dem 5—8 cm langen, niederliegenden, mit *Lärchennadeln* vermischten Gras zum Gleiten zu bringen. Unter diesen Verhältnissen haftet der Schnee auf den Schattenhängen im allgemeinen besser.

Allgemein war festzustellen, wie sich langes und steifes, aber nasses Gras am Hange unter dem ersten Schnee flach niederlegt und nach dessen vorübergehendem Verschwinden nicht mehr aufrichtet. Die kleinen Vertiefungen des Hanges werden

durch das liegende Gras überdacht, es entsteht eine einheitliche glatte Fläche, auf welcher der später fallende Schnee nirgends Halt finden kann. Die Schneedecke wird nur durch hervorstehende Unebenheiten gestützt. Ist die stützende Wirkung zu gering, so bewegt sich die ganze Decke langsam als «Kriechender Schnee»<sup>12)</sup> abwärts oder bricht plötzlich ab und geht als Lawine nieder.

Das *kurze stoppelartige Gras* heftet den Schnee an den Boden, ob er angefroren oder nicht. Die aufrecht stehenden «Grasborsten» legen sich beim ersten Schnee nicht nieder, sondern bilden eine rauhe, bürstenartige Oberfläche. Im gleichen Sinn weist auch COAZ<sup>13)</sup> darauf hin, daß auf abgemähten Rasenflächen Lawinen seltener sind, als auf nichtgemähten.

Das *kurze weiche Gras* verhält sich gleich wie das lange; es wird niedergedrückt und bietet nur schlechten Halt. So stellte ich im Dezember 1928 auf ungefrorenem Boden am Schattenhang («Zum Loch», Ulrichen) das Abrutschen einer Schneedecke von 80 cm, im April 1929 von 30 cm fest. Die Hangneigung betrug 80 %. Der zartberaste, glatte Boden war zudem mit feinen Lärchennadeln bedeckt, die das Haften des Schnees am Boden erschwerten.

Ueber das Haften des Schnees an *niedern Sträuchern* (Heidelbeere, Alpenrose, niedern Weidenarten usw.) waren am Geschiner Galen, Sonnenhang, bei 1700 m ü. M. die folgenden Feststellungen zu machen: Ende November 1928 fiel der erste, größere Schnee ohne Unterbruch während fünf Tagen auf ungefrorenen Boden. Bei der nächsten Schönwetterperiode vom 4. bis 7. Dezember gingen hier auf dem 80 bis 110 % geneigten Hang neun, unter sich getrennte Schneeschlipfe nieder. Die Rutschungen fanden meist zwischen 12 und 13 Uhr bei starker Besonnung statt. Bei näherem Untersuchen der Schlipfe zeigte sich, daß die 20–50 cm hohen Sträucher von der Schneelast niedergedrückt waren. Die ganze, 90–100 cm mächtige Schneedecke überlagerte die Sträucher, ohne daß sich in und zwischen diesen Schnee befand. Im Winter 1929/30 fanden an denselben Stellen keine Schlipfe statt, obschon der Boden ebenfalls ungefroren war. Das Einschneien (vom 6. bis 14. Dezember) geschah jedoch in kleinen Mengen, wobei die Lufttemperatur nur mittags über 0° stieg. Die Sträucher konnten im nach und nach abgelagerten Schnee festgefrieren, und so entstand eine gute Verbindung zwischen Schneeschicht und Unterlage.

#### 4. Zurückhalten des Schnees durch Alpenerle und Vogelbeerbaum.

Bei den Alpenerlen konnte ich beobachten, daß ihr Einfluß auf das Zurückhalten des Schnees ebenfalls wesentlich von der Art des Einschneiens abhängt. Ob die Erlen zu Boden gedrückt werden oder nicht, hängt besonders vom Zustand der Bepflanzung beim ersten Schneefall ab, ferner von der Schneemenge, der Art des Schnees und der Neigung des Hanges. Wenn die Blätter beim ersten größern Schneefall noch vorhanden sind, werden selbst armdicke Erlensträucher zu Boden gedrückt. Apert sie vor dem endgültigen Einwintern nicht mehr vollständig aus, so bleiben sie den Winter über niedergedrückt. Selbst wenn ein Teil der dicken Aeste ausapert, die kleinen Zweige aber noch im Schnee stecken, richten sich die Erlen

<sup>12)</sup> Ueber das «Kriechen des Schnees» vgl. Dr. E. Heß: «Erfahrungen über Lawinenverbauungen»; Heft 4 der Veröffentlichungen über Lawinenverbauungen der Eidg. Inspektion für Forstwesen, Jagd und Fischerei, Bern 1936.

<sup>13)</sup> Coaz, Dr. J.: Die Lawinen der Schweizeralpen, S. 30. Bern 1881.

nicht mehr auf. Sind sie jedoch beim ersten größern Schneefall blattfrei, so werden sie mehr oder weniger niedergedrückt, je nachdem es sich um nassen, also schweren und stärker anhaftenden, oder dann um trockenen Schnee handelt. Je steiler der Hang ist, und je weniger aufrecht die Erlen gewachsen sind, desto mehr Schnee lagert sich auf ihnen und nicht zwischen ihnen ab; dementsprechend werden sie auch stärker zu Boden gepreßt.

Ist der Boden beim Einschneien ungefroren und fällt auf einmal über 50 cm Schnee, der die Sträucher vollständig niederdrückt, so gefrieren sie meist nicht mehr oder nur vorübergehend im Schnee ein (Obergesteln 1928/29, Binn 1928/29). In dieser Lage können die Erlen nur wenig Schnee zurückhalten und bei größern Schneemengen wird das Abrutschen geradezu begünstigt (Räuften, April 1929). Fällt das erstemal nur wenig Trockenschnee, so bleiben selbst zarte Erlen aufrecht, wenn sie laubfrei sind, und ragen durch die Schneedecke empor, diese am Boden festhaltend. Die in aufrechter Stellung im Schnee eingefrorenen Sträucher wirken lawinenverhindernd.

Handelt es sich nur darum, die untersten Schneeschichten gegen ein Abrutschen zu sichern, werden die Erlen mit gutem Erfolg auf etwa 60 cm über dem Boden abgeschnitten. Der Schnee vermag dann die aufrechten Aststummel weniger niederzudrücken, und lagert sich zwischen diesen ab.

Der *Vogelbeerbaum* hält im allgemeinen den Schnee besser am Boden fest, als die Alpenerle. Infolge des aufrechten Wuchses und der zähen Aeste wird er weniger zu Boden gedrückt. Wenn auch die jungen Sträucher vom Schnee niedergelegt werden, so ist die Gefahr der Bildung einer ausgedehnten Gleitfläche weniger vorhanden, da diese Holzart nicht in so dichten Beständen vorkommt wie die Alpen-erle. Günstig wirkt ebenfalls, daß das kleinere Blattwerk früher abfällt als bei den Alpen-erlen, und daß der Vogelbeerbaum infolge seiner hohen Wuchsform nebst den untersten, auch die obern Schneeschichten zu halten vermag.

#### **IV. Kapitel: Veränderungen der Schneeoberfläche.**

Die Schneeflocken sind ein Gebilde aus verhackten oder zusammengefrorenen Schneekristallen. Je nach der Art der Schneeablagerung häufen sich die Flocken rasch an zu Lockerschnee oder werden bei Wind in Kristalltrümmer zerbrochen und mehr in dichtem « gepreßtem » Schnee abgelagert. An der Schneeoberfläche und in der Schneedecke ändert sich der Schnee fortwährend, so durch Wind und Eigen-gewicht, durch Temperaturschwankungen, Schmelzwasser, Aenderung der Feuch-tigkeit usw.

##### **1. Veränderungen der Schneeoberfläche durch Wind.**

In der Regel wird nur der Trockenschnee vom Wind verweht. Ausnahmsweise, und ohne daß dabei die Schneeoberfläche eine wesentliche Umgestaltung erfährt, kann auch grobkörniger Frühlingsschnee verweht werden.<sup>14)</sup> Im folgenden sei ver-

<sup>14)</sup> Ueber die Schneeverwehungen sei auch auf den II. Teil dieser Arbeit verwiesen.

sucht, die verschiedenen Gebilde der Schneeverwehungen nach ihrer Entstehung zu definieren und, soweit praktisch von Bedeutung, auseinanderzuhalten. Da die Gebilde zur Hauptsache durch die Geländeformen bedingt sind und oft ineinander übergehen, können wir sie in der Natur nicht immer auseinanderhalten.

#### a) Schneebrett.

##### Begriffsbestimmung:

Schneebretter entstehen an der Snowoberfläche bei Verwehung und Windpressung von unverfirtem Trockenschnee. Sie haben kreidiges, mattes Aussehen, flächige Ausdehnung, starken innern Zusammenhang, haften an der Unterlage wenig oder liegen hohl auf. Dadurch entstehen in ihrem Innern *Spannungen*.

Das Wort «Brett» kennzeichnet nach PAULCKE und ZSIGMONDY<sup>15)</sup> die brettartige Auflagerung. Die Bezeichnung haben ALLIX<sup>16)</sup> im französischen Sprachgebiet, PAULCKE und ZSIGMONDY<sup>17)</sup>, ALBRECHT<sup>18)</sup> im deutschen, und SELIGMAN<sup>19)</sup> und LUNN<sup>20)</sup> im englischen eingeführt und näher erläutert. Das Schneebrett ist primär ein Gebilde der dem Winde zugekehrten Seite. Während des Winters wechseln die Windrichtungen sehr oft und damit auch Luv- und Leeseiten. Aus diesem Grunde entstehen an ganz verschiedenen Orten Schneebretter. Oertlich bilden sie sich am leichtesten über flachen Vertiefungen der Snowoberfläche und naturgemäß am meisten über der obern Waldgrenze, wo besonders starke und häufige Schneeverwehungen vorkommen.

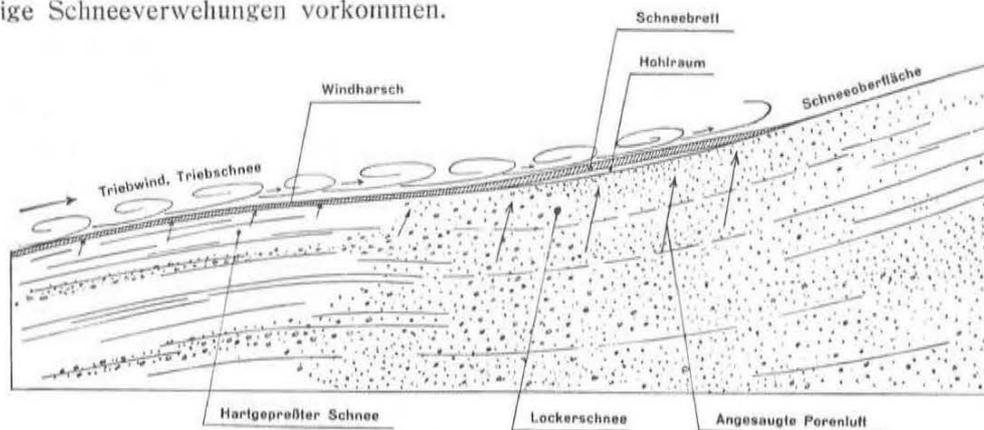


Fig. 17. Schneebrett- und Windharschbildung (schematische Skizze).

Die Entstehung der Schneebretter läßt sich folgendermaßen erklären (Fig. 17): Schneebretter entstehen durch Verwehung bereits abgelagerten Trockenschnees, oder bei Schneefall mit Schneetreiben. Der feinkörnige, aus annähernd gleich großen «Körnern» bestehende Schnee der Schneebretter, der keine «Kristalle» aufweist,

<sup>15)</sup> Paulcke und Zsigmondy, E.: Die Gefahren der Alpen. 9. Auflage. München 1933.

<sup>16)</sup> Allix, André: Les avalanches, Revue de Géographie alpine. Grenoble 1925.

<sup>17)</sup> Paulcke und Zsigmondy: Die Gefahren der Alpen. 9. Auflage. München 1933.

<sup>18)</sup> Albrecht, Friedr.: Lawinenkunde, ein Querschnitt durch die neuere Lawinenliteratur. Verlag Holzhausen, Wien 1936.

<sup>19)</sup> Seligman, G.: Snow structure and ski fields. Macmillan, London 1936.

<sup>20)</sup> Lunn, A.: Alpine Ski-ing. 2. Auflage. London 1926.

zeigt, daß es sich nicht um primär abgelagerten Schnee handelt, der einfach gepreßt wurde. In der Schneedecke ist immer mehr oder weniger Luftfeuchtigkeit vorhanden. Die Porenluft des abgelagerten Trockenschnees, die während der Schneebrettbildung wärmer ist als die Luft an der Schneeoberfläche, wird durch den raschen Triebwind aus dem Lockerschnee ausgesogen. Durch Abkühlung entsteht Tauwasser, das am kalten Trieb Schnee abtaut und beim Nachlassen der Pressung des Triebwindes den Trieb Schnee augenblicklich zu einer festen Schicht zusammengefrieren läßt (Rege-lation). Es entsteht die erste Schicht des Schneebrettes. Je nach der Dauer und Stärke der Verwehung, der Menge des Trieb Schnees und der Feuchtigkeit der Porenluft, die kondensiert wird, nimmt das Schneebrett an Dicke zu. Die Mächtigkeit der einzelnen Schichten der Schneebretter kann 2—10 cm und mehr betragen. Die Ausdehnung und Größe der Hohlräume schwankt stark nach dem Gelände, erstere von einigen bis zu Hunderten von Quadratmetern, letztere bis zu einigen Zentimetern (Photo 3). Diese Hohlräume entstehen durch das Setzen des Lockerschnees, der die Unterlage des Schneebrettes bildet. Durch die aufsteigende, angesaugte « warme » Luft aus den tiefern Schichten wird das Setzen begünstigt, während dies am dichten Schneebrett der kalte Wind eher verzögert. So wird das Schneebrett wie ein Gewölbe nur noch auf den Seiten gestützt. Eine geringe Ueberlastung durch Lebewesen, Neuschnee usw., ja selbst Temperaturschwankungen können das Brett zum Setzen und am steilen Hang zum Abbruch bringen. In großen Höhen über Meer kann dies bei tiefer Temperatur aber auch erst nach Tagen oder Wochen erfolgen. Das Schneebrett setzt sich mit « rücksendem » Geräusch und bei großer innerer Spannung mit Knall. Die höher liegenden Schneeschichten und umliegenden Schneebretter verlieren die Stütze, so daß eine Lawine abbrechen kann. Auf den ausgedehnten, gleichmäßigen Hangpartien über 2000 m Höhe, wo neben- und übereinander in großem Ausmaß Schneebretter und Schneesäcke entstehen, ist im Hochwinter die Gefahr für ausgedehnte Schneebrettlawinen besonders groß.

Ueber die Entstehung von Schneebrettern habe ich auf Saflisch (2200 m ü. M.) folgende Messungen gemacht:

1. *Beispiel* vom 2. Februar 1934, 11 Uhr.

Bei wolkenlosem Himmel entstand in 21 Minuten ein Schneebrett von 1,4 cm Dicke unter folgenden Bedingungen:

	Temperatur °C	Windstärke m/sec	Relative Feuchtigkeit %
5 cm im Lockerschnee . . . .	—6,0	—	—
an der Schneeoberfläche . . .	—12,0	3,6—7,6	80
1,5 m über der Schneeoberfläche	—10,8	7,0 15—20 m/sec + (Windstöße)	73

2. *Beispiel* vom 30. Januar 1934, 14 Uhr.

5 cm im Lockerschnee . . . .	—9,0	—	—
an der Schneeoberfläche . . .	—11,0	0—1,0	92
1,5 m über der Schneeoberfläche	—10,4	0—1,0	81

Es bildeten sich keine Schneebretter, vermutlich infolge der geringen Windstärke.

### 3. Beispiel vom 17. März 1934, 15 Uhr.

Es entstand ein Schneebrett von 1 cm Mächtigkeit unter folgenden Verhältnissen:

	Temperatur	Windstärke	Relative Feuchtigkeit
	° C	m/sec	%
5 cm im Lockerschnee . . . .	—5,0	—	—
an der Schneeoberfläche . . .	—7,0	3,3— 8,9	61
1,5 m über der Schneeoberfläche	—6,0	4,3—10,5	51

+ (Windstöße)

### 4. Beispiel.

Am gleichen 17. März 1934 setzte eine halbe Stunde später leichter Schneefall ein, und die Schneebrettbildung nahm ihren Fortgang. Die Bedingungen waren:

	Temperatur	Windstärke	Relative Feuchtigkeit
	° C	m/sec	%
5 cm im Lockerschnee . . . .	—6,0	—	—
an der Schneeoberfläche . . .	—7,7	5,0—9,4	65

Die mittlere Windstärke an der Schneeoberfläche, bei der Schneebretter entstanden, schwankte zwischen 3,3 m/sec und 9,4 m/sec und war durchweg geringer als bei 1,5 m über dem Schnee gemessen. Bei einzelnen heftigen Windstößen, die bei der Schneebrettbildung auftraten, stieg die Windgeschwindigkeit auf 25 und mehr Meter in der Sekunde.

### b) Windharsch.

#### Begriffsbestimmung:

Windharsch entsteht an der Schneeoberfläche bei Verwehung oder Windpresung von unverfirntem Trockenschnee und besitzt flächige Ausdehnung, starken innern Zusammenhang, kreidiges, mattes Aussehen, jedoch *keine innere Spannung*. Er haftet stark an der Unterlage.

Eine besondere Form des Windharsches sind die durch Winderosion entstandenen «*Schneegangeln*», Schneegänge (RATZEL)<sup>21)</sup>.

Windharsch ist besonders auf windexponiertem Gelände, offenen Plateaux, Hangrücken anzutreffen und hat die gleiche Entstehung wie das Schneebrett, jedoch Hartschnee als Unterlage. Schneebrett und Schneeharsch gehen oft ineinander über.

### c) Schneesack.

#### Begriffsbestimmung:

Schneesäcke sind Lockerschneeanhäufungen und bilden sich bei Verwehung von unverfirntem Trockenschnee. Sie haben stumpfes Aussehen und bestehen aus mehligem Schnee mit geringer innerer Festigkeit. Sie entstehen meist gleichzeitig mit den Schneebrettern nebeneinander, und bei Aenderung der Windrichtung hie und da übereinander. Durch diese Ueberlagerung von lockeren und dichten Schneeschichten treten Spannungen auf, die große Lawinengefahr zur Folge haben.

<sup>21)</sup> Ratzel, Fr.: Die Schneedecke, besonders in den deutschen Gebirgen. Stuttgart 1889.

#### d) Schneegwächte.

##### Begriffsbestimmung:

Die Schneegwächte entsteht an starken Gefällsbrüchen durch Ueberlagerung verschiedener mehr oder weniger windgepreßter Schneeschichten bei Verwehung von unverfirntem Trockenschnee.

Ueber das Gwächtenproblem sei auf die Studien von MARCEL KURZ <sup>22)</sup>, WELZENBACH <sup>23)</sup>, PAULCKE <sup>24)</sup> und SELIGMAN <sup>25)</sup> verwiesen. Welzenbach unterscheidet bei einer Gwächte (Fig. 18):

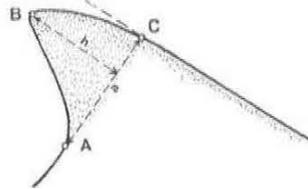


Fig. 18. Gwächte (schematische Skizze).

Gwächtenfuß (A), Gwächten Spitze (B), ideellen Gratfirst (C), Gwächtenbasis (a), Gwächtenhöhe (h).

Unter Intensität der Gwächte ist das Verhältnis von Gwächtenhöhe zu Gwächtenbasis zu verstehen.

Bei meinen Beobachtungen über das Abbrechen von Gwächten kam ich zu den folgenden Feststellungen. Dem eigentlichen Abbruch unverfirnter (junger) Gwächten ging meist ein Abrutschen der lockern Schneesäcke unterhalb der Gegenböschung am Steilhang voraus, worauf der Gwächtenfuß und nachher die Gwächte nachstürzte (Leimbach, Februar 1930).

Der Abbruch *verfirnter Altschneegwächten* erfolgte meist wegen Ueberlastung durch Neuschnee mit starker Wasseraufnahme (Regen). Durch Wasseraufnahme kann sich das Gewicht des Neuschnees vervierfachen und zudem vergrößert das Wasser im Altschnee die Sickerkanäle, so daß längs diesen leicht eine Bruchebene entsteht.

## 2. Veränderung der Schneeoberfläche durch Besonnung und Regen.

Mit zunehmender Höhe über Meer ist die Lufttemperatur häufiger unter oder um Null Grad. Im Winter 1933/34 war z. B. die Lufttemperatur auf Saflisch (2000 m ü. M.) von Anfang Dezember bis Ende Februar nur an 19 Tagen von insgesamt 90 Tagen vorübergehend über Null, im Winter 1935/36 von 91 Tagen sogar nur an 16 Tagen. Bei Temperaturen unter Null Grad ändert sich der pulverige Neuschnee durch langsames Setzen nur allmählich in körnigen. In den Spätwintermonaten März und April, wenn die Lufttemperatur auch über 2000 m Höhe längere Zeit über 0° steigt, ändert sich der Neuschnee durch Abschmelzen der Kristallenden rasch in Altschnee und Firn und sintert zusammen.

<sup>22)</sup> Kurz, Marcel: « Les corniches de neige et leur formation »; Echo des Alpes, 1919.

<sup>23)</sup> Welzenbach, W.: Op. cit.

<sup>24)</sup> Paulcke, W., und Welzenbach: « Schnee, Wächten, Lawinen »; Zeitschrift für Gletscherkunde, 1928.

<sup>25)</sup> Seligman, G.: Op. cit.

Wegen der tiefen Lufttemperatur in den Wintermonaten auf 2000 m ü. M. macht sich hier die *Besonnung* auf die Sonnenharschbildung mehr im Vor- und Nachwinter geltend. METZLER<sup>26)</sup> bestätigt die Beobachtungen, daß bei Schneetemperaturen unter 0° und bei ununterbrochener Schneedecke die Besonnung die Schneeoberfläche nur dann merklich verändern kann, wenn die Lufttemperatur über 0° steigt. Am raschesten ist dies in windgeschützten Mulden der Fall, und um so stärker, je steiler die Sonnenstrahlen zur Schneefläche auffallen (Böschungen bei Verbauungsmauern).

#### Harsch.

##### *Begriffsbestimmung:*

Harsch ist eine durch Schmelzen mit Wiedergefrieren an der Schneeoberfläche entstandene Hartschneesohle. Ist das Schmelzen durch die Sonne erfolgt, so sprechen wir von *Sonnenharsch*, durch Regen von *Regenharsch*.

RATZEL<sup>27)</sup> beschreibt die Entstehung des Sonnenharsches folgendermaßen: «Die Sonne wirkt auf die Schneeoberfläche; eine einzige vorüberziehende Wolke unterbricht die Bestrahlung und die Luftwärme sinkt plötzlich auf -1°. In den dichten Schnee vermag das Schmelzwasser nicht rasch genug einzusickern. Die niedere Temperatur wird noch vermindert durch die Verdunstungskälte, die verglasend auf die feuchte Fläche wirkt. Bei der untergehenden Sonne, wenn plötzlich der Schmelzprozeß aufhört und die Kälte eintritt, vollzieht sich der gleiche Vorgang. Die oberste Schneesohle gefriert zu hartem Schnee, der 1—5 cm dick sein kann.»

Da sich die Regenharschdecke sowohl über Sonnen- wie Schattenhänge erstreckt und zudem meist härter und glatter ist als Sonnenharsch, kommt ihr für die Lawinenbildung bei Neuschnee als Gleitfläche größere Bedeutung zu. Entsteht Sonnen- oder Regenharsch im Hochwinter in geringer Dicke, kann er infolge Neuschneeüberlagerung allmählich wieder in lockern Körnerfirn umgewandelt werden. Bildet sich hingegen im Frühling eine Harschdecke von drei und mehr Zentimeter Dicke, kann diese längere Zeit unter Neuschnee fortbestehen und eine gefährliche Unterlage für ausgedehnte Oberlawinen bilden, da sowohl trockener wie nasser Neuschnee auf dieser harten und glatten Oberfläche nur schwer haften. Am Ulricher und Obergesteler Galen brach am 16. Mai 1930 eine solche Oberlawine ab. Die Anbruchlinie erstreckte sich auf über 7 km und die Lawine umfaßte 6,2 km<sup>2</sup>. Im Oberwallis haben solche auf Harschdecken angebrochene Oberlawinen besonders in den Verbauungen großen Schaden angerichtet. Bei warmem Wetter wandelt sich tagüber die harte Decke an der Oberfläche in weichen Schnee um und dieser sintert mit dem unterliegenden zusammen. Da wo sich Wasser zusammenzieht und sich der Harsch stärker setzt, entstehen einige Zentimeter lange Zapfen<sup>28)</sup>, die die Harschdecke verankern. Nur selten sind hohlliegende Harschdecken anzutreffen. Ist z. B. die gesamte Schneedecke vom Regen durchnäßt, so entsteht in der kalten Nacht an der Oberfläche eine Harschdecke, und der unterliegende Schnee kann allein weiter zusammensintern. Für die

<sup>26)</sup> Metzler; Op. cit.

<sup>27)</sup> Ratzel, Fr.: Op. cit.

<sup>28)</sup> Nach Paulcke, W.: Eisbildungen I, Der Schnee und seine Diagenese; Zeitschrift für Gletscherkunde, Bd. XXI, 1934.

Entstehung von Lawinen ist diese Bildung aber bei weitem nicht so gefährlich wie die Schnee Bretter mit ihren Hohlräumen.

Zusammenfassend ist zu sagen, daß sowohl für den Techniker, der sich mit dem Lawinenverbau zu befassen hat, wie für den Skifahrer die Kenntnis der Veränderung der Schneeoberfläche von größter Bedeutung ist. Die Umwandlungen und der Ort, wo sie stattfinden können, müssen wegen der großen Lawinengefahr, die sie zur Folge haben können, bekannt sein; vor allem über der Waldregion, wo die Trockenschneedecke im Hochwinter fortwährend durch Wind verändert wird. Da die Bildung von Harschdecken nicht verhindert werden kann, und da diese besonders im Frühling günstige Gleitflächen für große Oberlawinen bilden, hat ihnen der Techniker durch geeignete Bauten Rechnung zu tragen.

---



**II. Teil**

**Verhalten des Schnees  
an Schutzbauten**



## Abschnitt A: Schutzbauten gegen Schneeverwehungen.

### V. Kapitel: Versuchsbauten.

Das Versuchsfeld auf Saflisch (Topog. Blatt Nr. 497, Photo 2) liegt auf einer Höhe von 2150 m ü. M. oberhalb der SAC-Hütte, wo seit dem Winter 1932/33 die ununterbrochenen meteorologischen Aufnahmen gemacht wurden. Es ist ein leicht gegen SO ansteigendes Plateau, das am Ende steil abfällt. Am Plateaurand entstehen infolge der vorherrschenden NW-Winde regelmäßig ausgedehnte und mächtige Gwächten.

#### 1. Ueber Schneeverwehungen.

Die Untersuchungen auf Saflisch ergaben, daß Schnee, der einmal verfirnt war, nicht mehr verweht werden kann, oder dann nur in unbedeutenden Mengen. Schneeneubildungen durch Wind, wie Schneebletter, Gwächten usw., entstehen also nur bei unverfirntem Neuschnee, wie folgendes Beispiel zeigt:

Am 3. Februar fiel tagüber 30 cm Neuschnee, der bei heftigen NW-Winden von 13–25 m/sec und mehr während 11½ Stunden verweht wurde. Die Lufttemperatur schwankte zwischen  $-1,5^{\circ}$  und  $-3^{\circ}$ . Am 4. Februar folgte Regen (5,8 mm); die Lufttemperatur stieg bis  $+2^{\circ}$ . Trotzdem an den folgenden Tagen die Temperatur wieder unter  $-1,5^{\circ}$  fiel und die Windstärke sogar 25 m/sec erreichte, fanden keine Verwehungen mehr statt, indem der erwähnte leichte Regen sowie die Lufttemperatur von  $+2^{\circ}$  ein Abschmelzen der Schneekristalle bewirkten mit nachfolgender Verfirnung während der Nacht.

Je leichter der Schnee ist, desto lockerer liegt er, und desto leichter kann er verweht werden. Die Größe der Flocken spielt eine geringe Rolle, da diese bei der Verwehung meist zerfallen und der vom Wind transportierte Schnee aus kleinen Teilflocken und Kristalltrümmern besteht.

Ueber die *Intensität der Schneeverwehungen* seien folgende Messungen erwähnt:

Auf dem Nollje (Münster, Oberwallis) wurden am 4. April 1929 auf einer Breite von 100 m in einer Minute  $1,6 \text{ m}^3$  Schnee in eine Vertiefung geweht. In einer Stunde entspräche dies nahezu  $100 \text{ m}^3$ .

Bei einer Beobachtung auf Faldum (oberhalb Goppenstein) am 31. März 1930, maßen wir  $0,9 \text{ m}^3$  Schnee, der in einer Stunde auf einer Breite von 45 cm über den Boden verweht wurde; auf 100 m Breite entspräche dies annähernd  $200 \text{ m}^3$ . Man kann sich somit vorstellen, was für große Schneemengen im Laufe eines Winters

von einer Hangpartie auf eine andere transportiert werden und welche Bedeutung den Verwehungen im Lawinenverbau zukommt.

Ueber die *Dauer der Schneeverwehungen* zeigten die Messungen auf Saflisch folgendes: Der Winter 1934/35 wies 136 Verwehungsstunden auf, während welchen Schnee durch Wind verweht wurde. Im Winter 1935/36 waren es 270 Stunden. Hiervon entfielen allein auf den Monat Dezember 161 Stunden, also im Mittel im Tag über 5 Stunden. Vom 1. bis 4. Dezember 1935 (96 Stunden) wurde während 89 Stunden aus derselben Richtung bei einer mittlern Windgeschwindigkeit von 15–20 m/sec andauernd Schnee verfrachtet. Die Verwehungen vom 7. und 8. November 1935 dauerten 42 Stunden; die mittlere Windgeschwindigkeit betrug 10 bis 15 m/sec.

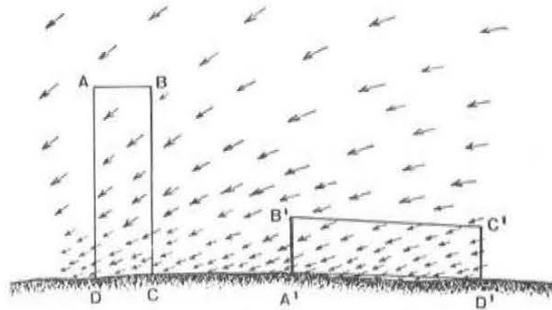


Fig. 19. Transport des Triebschnees (schematische Skizze).

Fläche  $ABCD = \text{Fläche } A'B'C'D'$ .

Auf dem stehenden Rechteck  $ABCD$  wird weniger Triebschnee durchgeweht als auf dem liegenden  $A'B'C'D'$ .

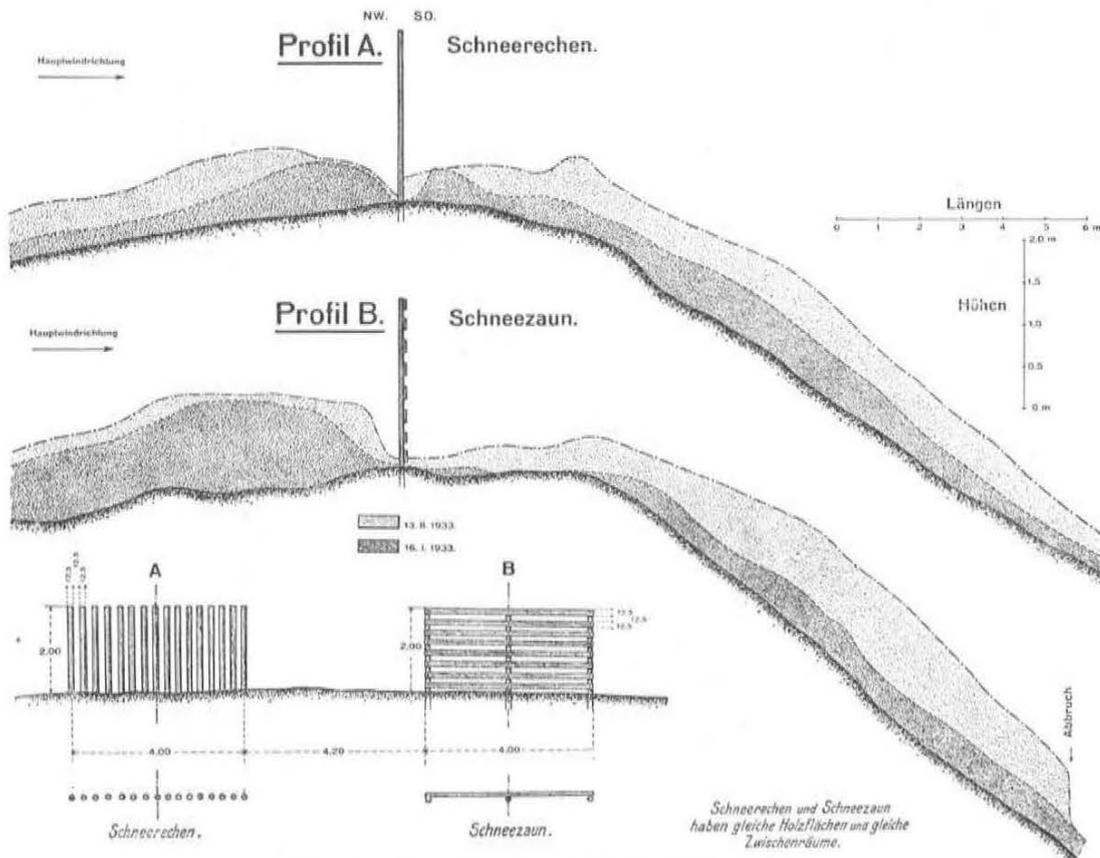
Entsprechend dem geringen Gewicht von Trockenschnee finden die größten Verwehungen vom November bis März statt, im Gegensatz zum Monat April mit meist feuchtem Neuschnee. Dies zeigt sich auch bei den Verbauungen, wo Ende März die Zeit mit den gefährlichen Verwehungen meist vorbei ist, obschon die Gesamtschneedecke in Höhen von über 2000 m ü. M. oft noch bis Ende April anwächst.

Die *Geschwindigkeit des Schneetransportes* hängt nebst der Windstärke und der Schneeart auch von der Beschaffenheit des Hanges ab. Auf Saflisch konnte ich Schneetransporte von über 20 m/sec messen, wobei die Windgeschwindigkeit 30 m/sec überstieg. Hierbei ist zu bemerken, daß nicht die mittlern Geschwindigkeiten des Windes ausschlaggebend sind, sondern die der einzelnen Windstöße. Bei letztern entstehen oft Wirbel, durch welche der Schnee mehrere Meter hochgesogen und durch die Luft transportiert wird. Bei andauernd gleichem Wind bewegt sich der Schnee mehr rollend über die Schneeoberfläche fort, und die größten Schneemengen werden dicht über dem Boden verweht. Dementsprechend hält bei zwei gleich großen Latten, von denen die eine auf die Schneeoberfläche «gelegt», die andere «gestellt» ist, die «liegende» mehr Triebschnee auf als die «gestellte» (Fig. 19). Dies spielt beim Einwehen der «Schneezäune» und «Schneerechen» eine wichtige Rolle.

## 2. Schneerechen und Schneezäune.

Die ersten Versuchsbauten, die im Winter 1931/32 auf Saflisch 2 m breit und 2 m hoch erstellt wurden, erwiesen sich als zu klein, da der Schnee an den Objekten vorbeigeweht wurde.

Im Winter 1932/33 sind sowohl Schneerechen wie Schneezaun auf 4 m verlängert worden. Die Abstände der Hölzer waren gleich groß wie die Dicke der Pfähle und Querlatten und überall gleich. Die Ablagerungen sind aus Figur 20 ersichtlich. Bei beiden Objekten lagerte sich beidseitig Schnee ab. Während beim Schneezaun Kolkwirbel eine verhältnismäßig steile Böschung luvseits verursachten, war beim



Schneerechen die Schneeablagerung geringer und die Böschung fiel flacher ab. Vor und hinter dem Schneerechen lagerte sich der Schnee in langgezogenen Erhebungen, entsprechend den Pfählen; beim Schneezaun in Form eines Walles, wie vor einer dichten Wand. Beidseitig des Schneerechens lag der Schnee annähernd gleich hoch, da er zum Teil durch den Rechen hindurchgeweht wurde. Beim Schneezaun erfolgte die Hauptschneeablagerung luvseits.

Diese Feststellung ist erklärlich, da der Tribschnee, wie oben erwähnt, zur Hauptsache in Bodennähe transportiert wird, und so die « liegenden » Querlatten größere Mengen zurückhalten als die aufrechten Pfähle.

Vom 5. bis 10. Januar 1933 fiel 17 cm Schnee bei NW-Wind, der am 10. Januar während ungefähr 5 Stunden verweht wurde. Am Schneezaun lagerte sich luvseitig Schnee bis 10 m ins Vorland ab. Der Höchstwert betrug 105 cm bei 3 m Entfernung. Auf der Leeseite wurde sozusagen kein Schnee abgelagert. Am Schneerechen er-

reichte die luvseitige Ablagerung bei 2 m nur 60 cm, und der Einfluß machte sich bloß 5 m weit im Vorland geltend, hingegen lag auf der Leeseite in 50 cm Entfernung der Schnee 40 cm hoch. Der Schneerechen hatte die Schneeablagerung weniger beeinflußt als der Schneezaun.

Im Januar und Februar fanden starke Verwehungen bei Windgeschwindigkeiten von 20 m/sec aus SO in spitzem Winkel zum Schneerechen während 15 Stunden statt. Dieser wirkte, da sich die Pfähle in der Windrichtung überdeckten, mehr wie eine feste Wand; der Schneezaun behielt die frühere Wirkung bei. Die Ablagerungen betragen leeseits des Schneerechens über 100 cm, beim Schneezaun nur 70 cm.

Die Versuche mit Schneezaun und Schneerechen zeigen, daß zur Begünstigung der Schneeablagerung an bestimmten Stellen bei Verwehungen Schneezäune zweckmäßiger sind. Handelt es sich bei Lawinenverbauungen im Abbruchgebiet darum, die Wirkung der Bauten durch Aufsatzbauten zu vergrößern, damit diese möglichst lange nicht eingeweht werden, so sind vorteilhafter Schneerechen zu verwenden.

### 3. Drahtgitter.

Vor Erstellung der Gitter hatte sich auf Saflisch früher eine mächtige Gwächte abgelagert. Die Luvseite war vollständig oder nahezu aper geweht.

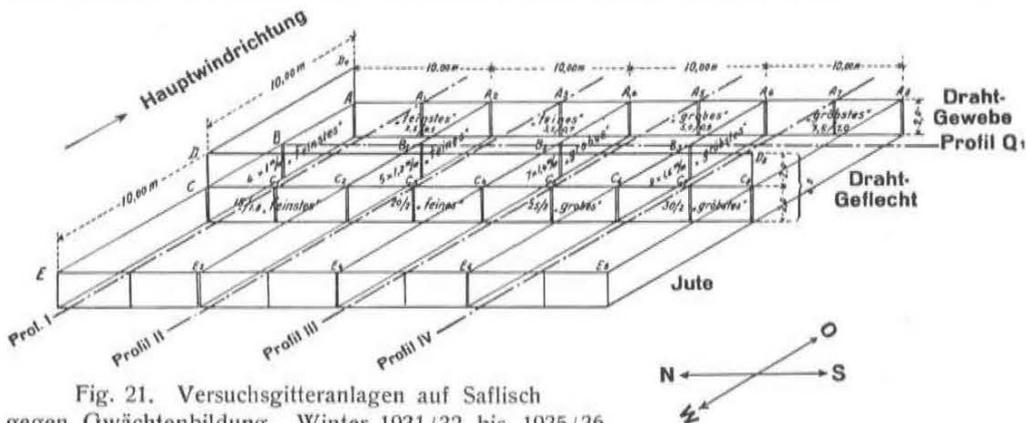


Fig. 21. Versuchsgitteranlagen auf Saflisch gegen Gwächtenbildung. Winter 1931/32 bis 1935/36.

Im Winter 1931/32 bestand die Anlage aus der 2 m hohen Gitterwand A—A<sub>8</sub>.

In den Wintern 1932/33 bis 1934/35 : A—A<sub>8</sub>

+ C—C<sub>8</sub>

+ A—C, A<sub>2</sub>C<sub>2</sub>, A<sub>4</sub>C<sub>4</sub>, A<sub>6</sub>C<sub>6</sub> } 2 m hoch

Im Winter 1935/36 : obiges

+ Jutegeflecht D<sub>0</sub>D<sub>0</sub>D<sub>0</sub> . . . . 4 m hoch

+ " C<sub>2</sub>E<sub>2</sub>A<sub>2</sub> . . . . 2 " "

+ " C<sub>4</sub>E<sub>4</sub>, C<sub>4</sub>E<sub>4</sub>, C<sub>6</sub>E<sub>6</sub> 2 " "

Im Winter 1936/37

Jutegeflecht A—A<sub>8</sub> 4 m hoch

A—E 4 " "

E—E<sub>8</sub> 2 " "

A<sub>4</sub>—E<sub>4</sub> 2 " "

A<sub>6</sub>—E<sub>6</sub> 2 " "

#### a) Anlage 1931/1932.

Die erste Drahtgitteranlage wurde im Dezember 1931 erstellt und bestand aus einer einfachen, 2 m hohen, 40 m langen « Wand » (vgl. Fig. 21 und 22). Die 4 × 10 m langen Felder (entsprechend den Profilen I bis IV, Fig. 22) waren mit folgendem Gewebe bespannt:

Feld	Maschenweite	Drahtdicke	Profil
	mm	mm	Nr.
AA2 « feinstes Gewebe »	2,5	0,5	I
A2A4 « feines Gewebe »	3,5	0,7	II
A4A6 « grobes Gewebe »	5,0	0,9	III
A6A8 « gröbstes Gewebe »	7,5	1,0	IV

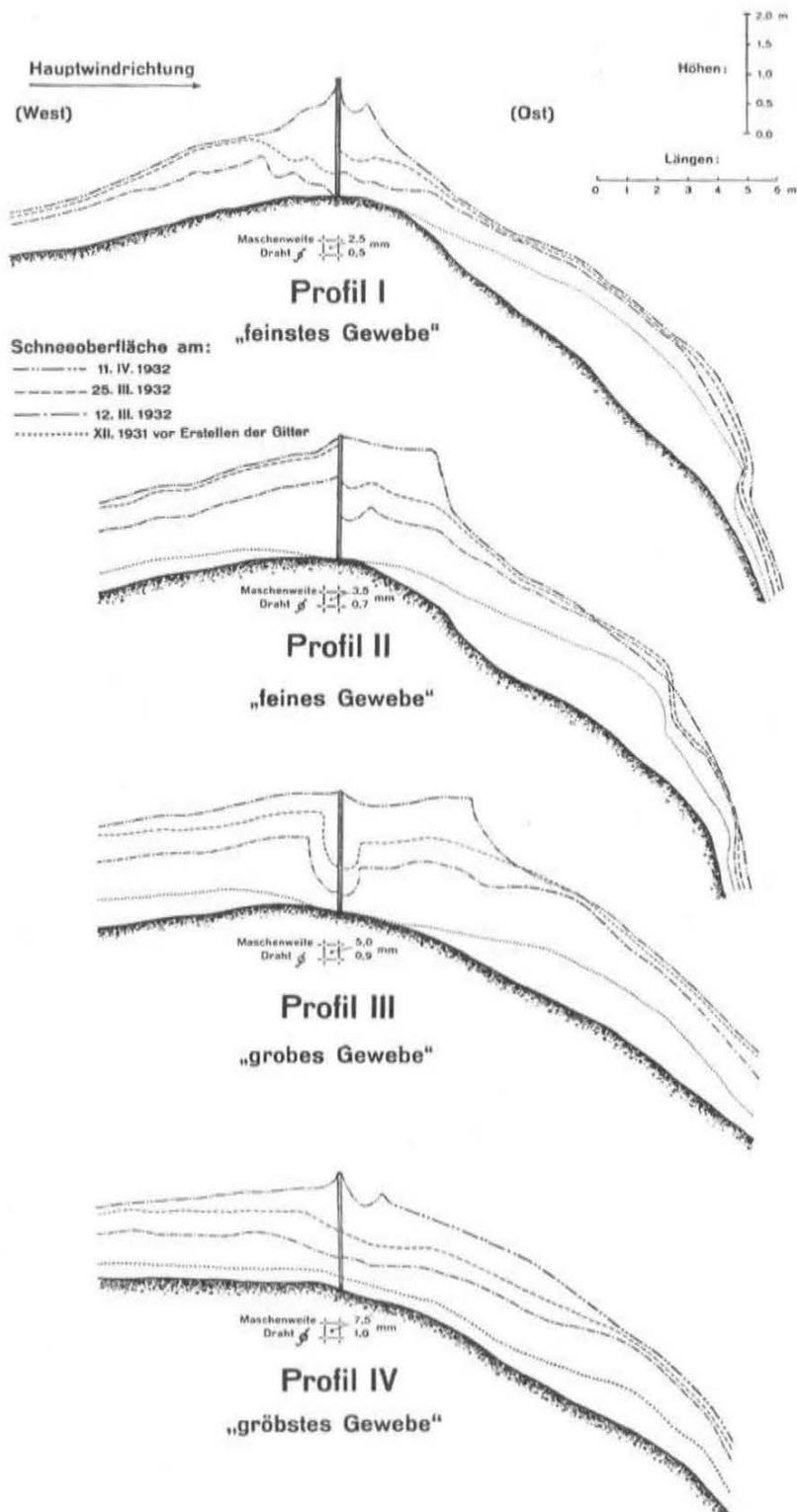


Fig. 22. Wirkung der Gwächtingitteranlage Saflisch.  
Winter 1931/32. „Einfache Wand“, Gitterhöhe 2 m.

In jedem Feld wurde die nördliche Gitterhälfte schwarz angestrichen (AA1; A2A3; A4A5; A6A7), um die Einwirkung der Sonne auf das Abschmelzen zu begünstigen.

Die Schneeablagerung an den Gittern bis im Spätwinter 1931/32 war, nachdem vom 6. bis 11. März 40–60 cm Neuschnee bei wechselnd starkem Westwind und Temperaturen von  $-3^{\circ}$  bis  $-10^{\circ}$  gefallen war, folgende:

Am *feinsten Gewebe* (Prof. I, vom 12. März 1932, Fig. 22) lag luvseits am Gitter nur 40 cm Schnee. 2,5 m luvwärts hatte sich dagegen 110 cm Schnee angehäuft. Auf der Leeseite betrug die Schneehöhe am Gitter 80 cm. Obschon das Gitter mit der Maschenweite von 2,5 cm teilweise als Wand wirkte, so daß luvseits Gegenwirbel entstanden, ist der Wind teilweise durch das Gitter gedrungen, und der Schnee lagerte sich leeseits ruhig ab. Die Schneegwächte am Steilhang hatte sich nicht ausgebildet.

Beim «*feinen*» *Gewebe* (Prof. II, Fig. 22) erreichte der Schnee auf der Luvseite beinahe die Höhe des 2 m hohen Gitters. Auf der Leeseite lag, im Gegensatz zu Prof. I, am Gitter der Schnee weniger hoch als auf der Luvseite, nämlich nur 60 cm. Leewärts, gegen die vor Erstellung des Gitters entstandene alte Gwächte, nahm die Neuschneeablagerung ab und erreichte auf ihr ein Minimum.

Beim «*groben*» *Gewebe* (Prof. III, Fig. 22) hatte sich auf Luv- und Leeseite ein Schneetal gebildet. Trotz der Maschenweite von 5 mm wirkte das Gitter auch hier ähnlich einer Wand.

Beim «*gröbsten*» *Gewebe* (Prof. IV, Fig. 22) übte das Gitter keinen wesentlichen Einfluß auf die Ablagerung aus, da, ähnlich wie am N-Ende der Anlage, der Schnee um das Gitter herum fortgeblasen wurde.

Nach den Schneefällen vom 4./5. April 1932 bei Temperaturen um  $-2^{\circ}$  und Verwehungen von SO, meistens aber von NW, war das Gitter in der Mitte (Prof. II, III, Fig. 22) vollständig zugeweht, und es hatte sich leeseits ein Gwächtenansatz gebildet. Am N- und S-Ende der Anlage war der Schnee wiederum zum Teil fortgeweht.

Die *Ergebnisse im Winter 1931/32* zeigen, daß die Maschenweite auf das Zurückhalten des Schnees nur von vorübergehender Bedeutung ist. Bei Temperaturen um  $0^{\circ}$  haftet in der Regel der angewehrte Schnee am Gitter. In kurzer Zeit entstand auch beim «*gröbsten*» Gitter (7,5 mm Maschenweite) ein Behang, so daß kein Schnee mehr durchgeweht wurde. Die Wirkung dieser Wände entsprach dann jener von Massivbauten, mit starken Gegenwirbeln auf der Luvseite. Nur bei niedern Temperaturen ( $-9^{\circ}$ ) kam es vor, daß der Schnee durch das «*gröbste*» Gitter hindurchgeweht wurde. Die stärkste Schneeablagerung erfolgte im Winter 1931/32 vorerst auf der Luvseite. Mit dem Anwachsen der Schneehöhe verringerte sich die Wirkung des Gitters, und die Schneeablagerung erfolgte allmählich stärker auf der Leeseite. War das Gitter luvseits vollständig zugeweht, bildete sich leeseits nach und nach eine kleine Gwächte. Diese erreichte keine große Höhe, weil das Gitter erst nach den Schneefällen im Dezember 1931 erstellt wurde und sich der Winter nicht besonders durch Verwehungen auszeichnete. Zudem wurde der Schnee an den Ecken und bei wechselnden Windrichtungen auch von der Luvseite fortgetragen.

Die Gitterwand konnte also im Winter 1931/32 infolge günstiger Verhältnisse die Gwächtenbildung teilweise verhindern. Wie die Maschenweite, so hatte auch

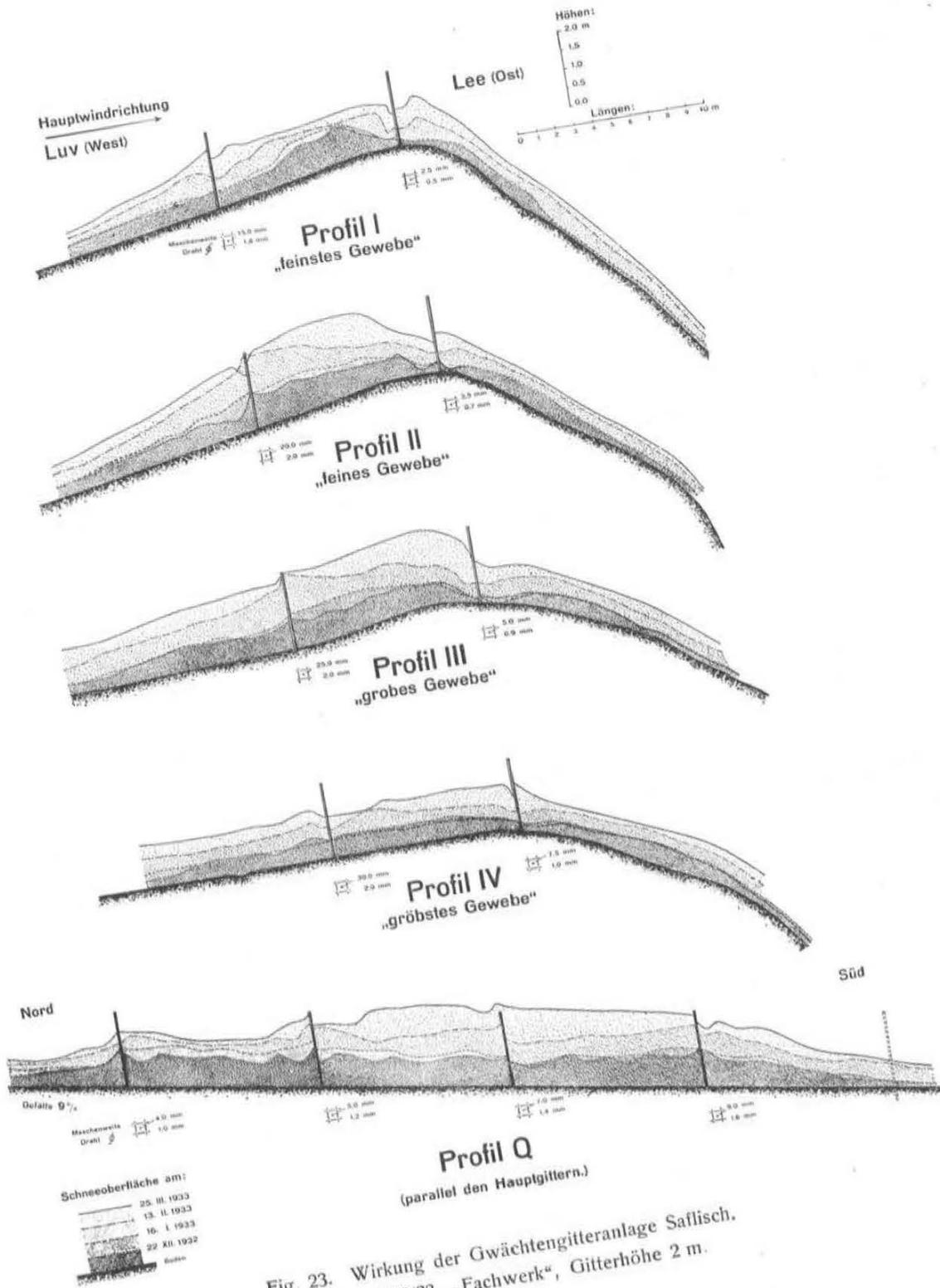


Fig. 23. Wirkung der Gwächtingitteranlage Saffisch.  
Winter 1932/33. „Fachwerk“, Gitterhöhe 2 m.

die Schwarzfärbung geringen Einfluß. Merklich wirksam zeigte sich diese nur auf das Abschmelzen des Schneebehangs bei Besonnung.

#### b) Die Versuchsanlage im Winter 1932/1933.

Da die einfache Gitterwand (linearer Verbau) die Gwächtenbildung nicht wesentlich verhinderte, wurde entsprechend dem 40 m langen und 2 m hohen Drahtgewebegitter ein Drahtgeflechtgitter mit denselben Dimensionen, 10 m im Vorland (westwärts), parallel aufgestellt und in Abständen von 10 m mit Quergitter verbunden («Fachwerkbau», vgl. Fig. 21 und Fig. 23). Die Gitter hatten folgende Maschenweiten und Drahtstärken:

Feld	Maschenweite mm	Drahtdicke mm	Profil Nr.
CC2 «feinstes Geflecht»	15	1,8	I
C2C4 «feines Geflecht»	20	2,0	II
C4C6 «grobes Geflecht»	25	2,0	III
C6C8 «größtes Geflecht»	30	2,0	IV
Querwände			
AC «feinstes Geflecht»	4	1	Q
A2C2 «feines Geflecht»	5	1,2	Q
A4C4 «grobes Geflecht»	7	1,4	Q
A6C6 «größtes Geflecht»	9	1,6	Q

Der Monat Dezember 1932 zeichnete sich durch Verwehungen von SO und NO aus. Die stärksten Ablagerungen fanden innerhalb der Anlage, besonders in den Ecken, statt, wo die Schneehöhe 1,20 m erreichte, während außerhalb der Gitter nur 30 cm Schnee lag. Der kalte Schnee haftete bei der geringen Windstärke nicht an den Gittern, sondern wurde zum Teil durch diese hindurchgeweht und direkt vor und hinter diesen abgelagert, so daß auch keine Gegenböschungen entstanden.

Am 5. und 6., 9. und 10., sowie am 15. und 16. *Januar* 1933 fanden erneut während ungefähr 13 Stunden schwache Verwehungen bei SO-Wind von unter 10 m/sec Geschwindigkeit statt. Der im Mittel 17 cm hohe Neuschnee wurde wiederum in die Anlage und zum Teil auf die W-Seite geweht, so daß die Schneehöhe am 16. Januar 1933 östlich der Gitteranlage geringer war als westlich. Bei diesen Verwehungen vom Dezember und Januar bewirkte das engmaschige Geflecht eine stärkere Ablagerung als das grobmaschige. Im nördlichsten Fach (AA2C2C, vgl. Prof. I in Fig. 23) mit dem «feinsten Gewebe» lag über 100 cm, im Minimum 90 cm Schnee. Im Fach mit dem «feinen Gewebe» (A2A4C4C2) betrug die Schneehöhe im Mittel 85 cm, beim «groben Gewebe» (A4A6C6C4) 65 cm und nur an drei Stellen über 100 cm. Beim «größten Gewebe» (A6A8C8C6) war die Schneehöhe überall unter 100 cm, stellenweise sogar nur 20 cm. Beim schwachen Wind von 10 m/sec entstanden weder am feinen noch am groben Gewebe starke Gegenwirbel, so daß der feine Schnee hindurchtransportiert wurde. Das engmaschige Gewebe bremste den Wind immerhin stärker, und es lagerte sich hier auch mehr Schnee ab.

Anfang *Februar* 1933 fielen bei Temperaturen von 0° bis -3° bei heftigem (17—20 m/sec) W- und NW-Wind, der ungefähr 16 Stunden dauerte, 46 cm Schnee. Es setzte eine kurze Tauperiode mit Regen ein, wonach der Schnee nicht mehr verweht werden konnte. An den Versuchsgittern hatte sich der Schnee folgendermaßen abgelagert: In der Anlage erreichte die Schneehöhe direkt hinter dem luvseitigen Gitter bis 190 cm, während sie im Vorland im Mittel 60—70 cm und auf der Lee-

Schneeoberflächen  
am:  
7. IV. 1934  
31. I. 1934  
3. XII. 1933

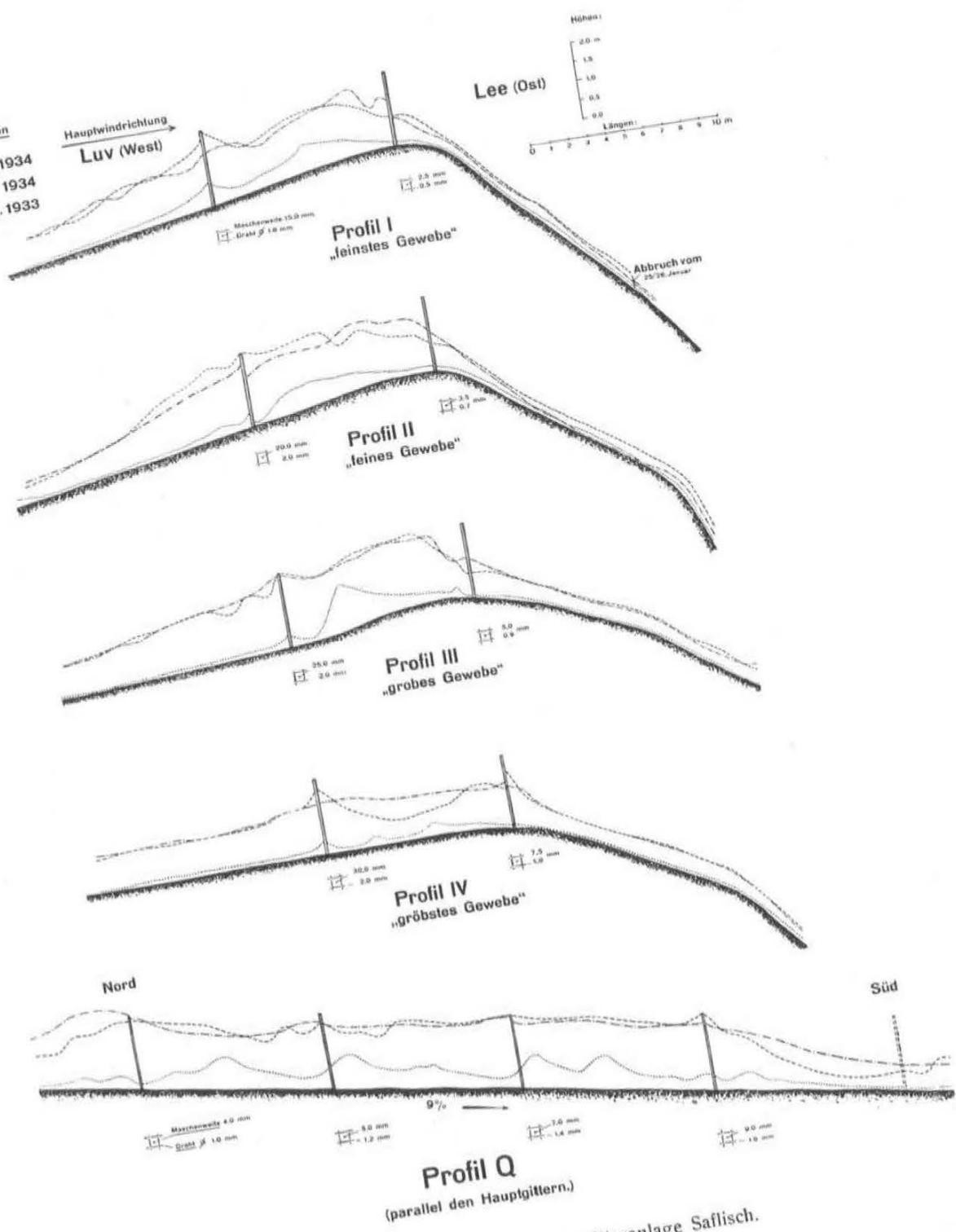


Fig. 24 Wirkung der Gwächtingitteranlage Saftisch.  
Winter 1933/34. „Fachwerk“, Gitterhöhe 2 m.

seite 50—70 cm betrug. Die Zwischenwände (CA, C2A2 und C6A6) hatten die starke Ablagerung in der Mitte der Anlage zur Folge und verhinderten, daß der Schnee zwischen der «C»- und «A»-Wand weggeweht wurde, wie das im südlichsten Feld geschah, das gegen Süden offen war. Nördlich und südlich vom Verbau hatte sich leeseits eine Gwächte gebildet, unter welcher ein Riß festzustellen war. Zweifellos hätte sich ohne die Gitteranlage längs des ganzen Gefällsabbruchs eine Gwächte ausgebildet, unter der sich der Riß fortgesetzt hätte.

Auf die Schneeablagerung hatte diesmal die Maschenweite keinen sichtbaren Einfluß. Der relativ «feuchte» Schnee gefror bei  $0^{\circ}$  bis  $-3^{\circ}$  auch am Gitter von 3 cm Maschenweite zu einem dichten Behang, so daß dieser wie eine Wand wirkte. Die nahezu meterhohen Schneewälle vor der «A»-Wand bestätigten dies.

Nach einer Schönwetterperiode Anfang *März* setzte am 18. wieder Schneefall mit Verwehungen ein. Bis am 21. fiel bei heftigem W- und NW-Wind mit über 20 m/sec 36 cm Schnee, der während ungefähr 21 Stunden bei  $-1^{\circ}$  bis  $-10^{\circ}$  verweht wurde. Die Gitter vermochten die Ablagerung der Hauptschneemenge im Vorland und zwischen den Gittern zu beeinflussen, während sich neben der Anlage die Gwächte vergrößerte. Mit fortschreitender Ueberdeckung von NW verloren die Gitter ihre Wirkung immer mehr und die spätern Schneeablagerungen fanden leeseits der Gitter gegen den Absturz statt. Erst mit beginnender Schneeschmelze traten die Gitter wieder hervor und vermochten bei den allerdings geringen Verwehungen wieder Schnee aufzunehmen.

#### c) Die Versuchsgitteranlage im Winter 1933/1934.

Die Anlage von 1932/33 wurde unverändert beibehalten (vgl. Fig. 24).

Die ersten Verwehungen fanden Ende *November* bei SO-Wind (Bortelföhn) statt, wobei aller Schnee von der Gwächtenseite in die Gitteranlage hinein oder auf das flache Plateau hinübergetragen wurde. Zwischen der «A»- und «C»-Wand betrug die Schneehöhe bis 1 m.

Im *Dezember* herrschten wiederum die SO-Winde vor; die vom 27. bis 29. Dezember gefallenen 32 cm Schnee wurden während ungefähr 8 Stunden verweht.

Mitte *Januar* schneite es, in diesem Winter das erstmal, von NW (36 cm); am 28. Januar von SO (31 cm) mit heftigen Windstößen von über 30 m/sec Geschwindigkeit. Die Hauptablagerung erfolgte sowohl bei Verwehungen von NW wie SO beidseitig der westlichen Gitterwand in der Richtung gegen die Mitte zwischen «A»- und «C»-Wand. Die nördliche Partie und besonders die Innenseite der Winkel, wo zwei Gitter zusammenstoßen, waren zuerst vollständig eingeweht. Auf der W-Seite betrug die Schneehöhe in 10 m Entfernung noch das Doppelte der O-Seite. Neben der Gitteranlage entstand bei den Verwehungen aus NW von Mitte Januar trotz der geringen Neuschneemenge von 36 cm eine Gwächte, deren Fuß wie letztes Jahr abbrach. Der Anbruch setzte sich in Form eines Risses leeseits hinter der Gitteranlage fort (vgl. Fig. 24 Prof. I).

Der *Februar* wies keine nennenswerten Schneefälle auf, und die Verwehungen dauerten nur ungefähr 19 Stunden. Vom 28. Februar bis 1. März fielen 85 cm Neuschnee bei schwachem NO-Wind, der die ganze Anlage vorübergehend eindeckte.

Der *März* brachte in elf Perioden 65 cm Schnee, der während 50 Stunden fast ausschließlich von SO-Wind verweht wurde. Die Gesamtschneedecke setzte sich



Photo 2. Versuchsfeld auf Saflisch mit Gitteranlagen gegen Gwächtenbildung.  
4. November 1935.

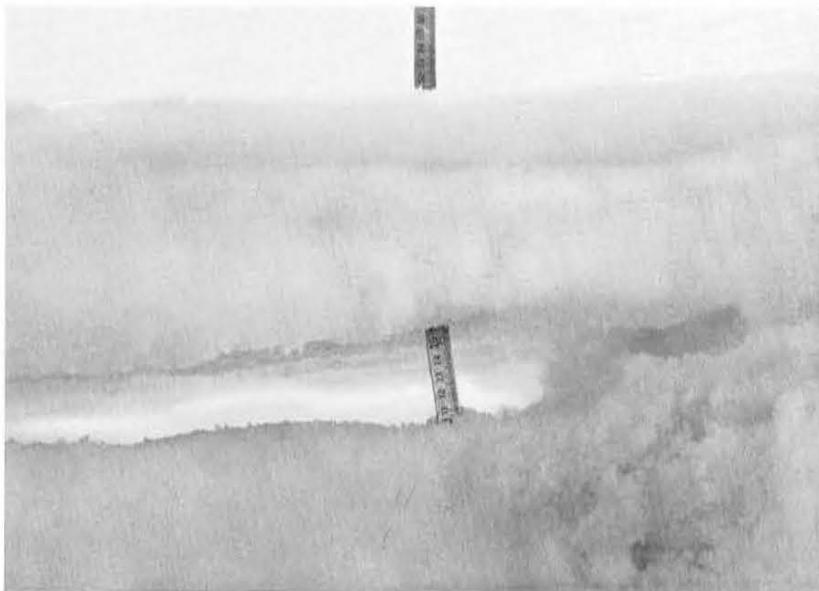


Photo 3. Schneebrett mit Hohlraum. Münster, 5. März 1932.

Tafel III.



Photo 4. Versuchsanlage Saflisch.  
Fachwerk-Gitteranlage mit Jutegeflecht kombiniert.  
Rechts (Luv) 4 m hoch, links (Lee) 2 m hoch.  
8. Dezember 1935.



Photo 5. Versuchsanlage Saflisch.  
Leeseits hinter der Anlage Gwächtenbildung verhindert,  
daneben, wo keine Anlage, Gwächte entstanden.  
7. Februar 1936.

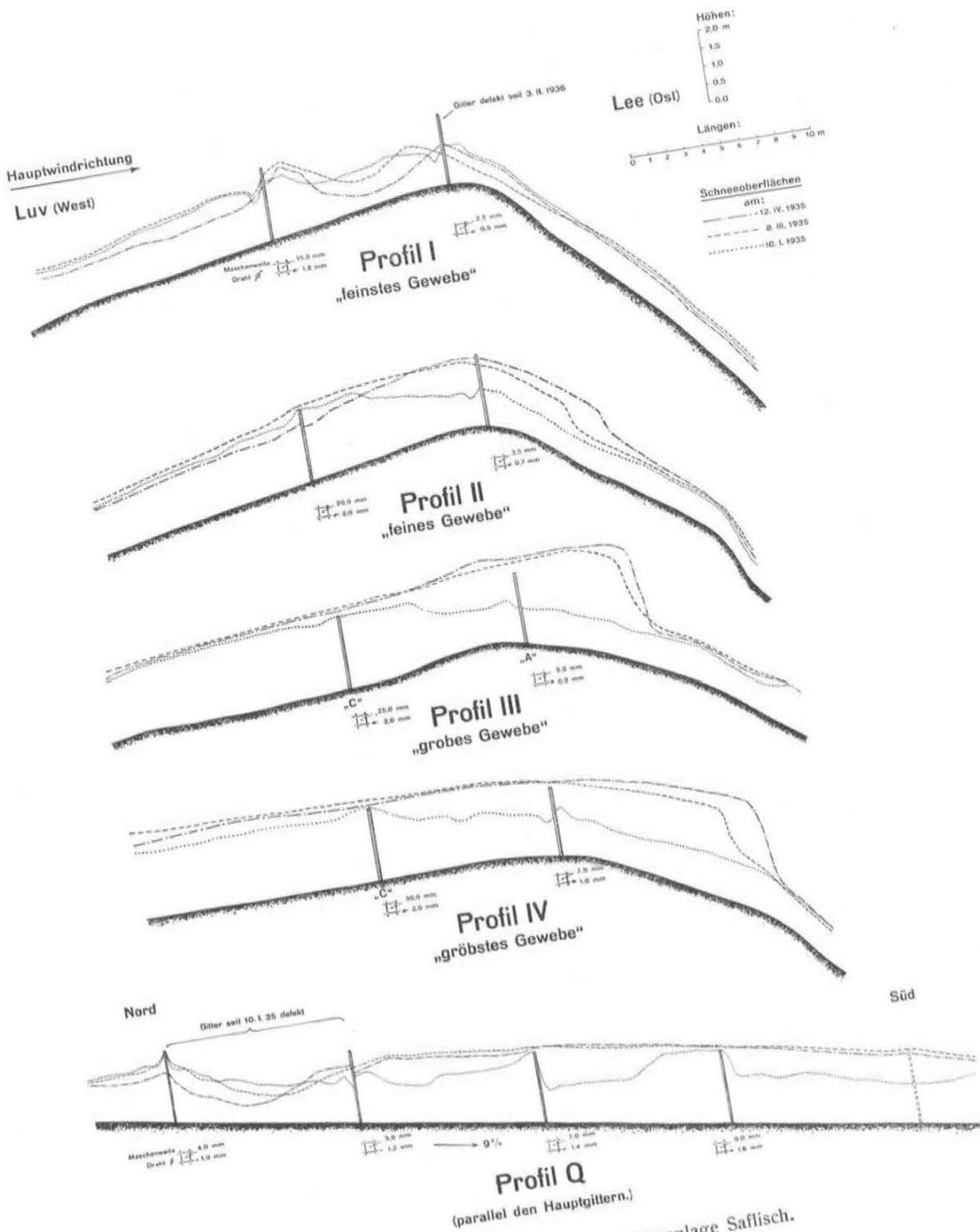


Fig. 25. Wirkung der Gwächengitteranlage Saflisch.  
Winter 1934/35 „Fachwerk“, Gitterhöhe 2 m.

infolge starker Besonnung und hoher Lufttemperatur an windgeschützten Orten von 1,35 m (am 1. März) auf 87 cm (am 7. April). Anfang April war deshalb auch die Schneehöhe innerhalb und außerhalb der Gitteranlage im allgemeinen geringer als am 31. Januar.

Zusammenfassend ergibt sich aus den Beobachtungen vom Winter 1933/34, daß trotz vorherrschenden SO-Winden der Schnee sich ähnlich wie 1932/33 am stärksten auf dem westlichen Teil der Anlage ablagerte. Die kurzen, aber heftigen Verwehungen durch NW-Wind von Mitte Januar machten sich für den ganzen Winter stärker geltend als die Verwehungen von SO. Hier, auf dem steilen, der Sonne exponierten O-Hang, eignete sich der Schnee weniger zur Verwehung als auf dem gegen NW flachgeneigten Plateau. Wiederum erwies sich das Fachwerksystem als zweckmäßig. In den auf allen Seiten geschlossenen Feldern lagerte sich bei jeder Windrichtung am meisten Schnee ab. Das gegen S offene südlichste Feld wurde auch dieses Jahr stark ausgeweht, indem die auf drei Seiten vorhandenen Gitter nicht voll zur Wirkung kamen.

#### **d) Die Versuchsanlage im Winter 1934/35.**

Da der Winter 1933/34 mit Verwehungen, vorherrschend von SO, für Beobachtungen über die Gwächtenverhütung ungeeignet war, wurde die Anlage unverändert beibehalten (vgl. Fig. 25).

Die ersten starken Verwehungen fanden Mitte November bei Windstößen von über 20 und 30 m/sec von W und SW statt. Am Pegel bei der Saflischhütte lagen am 18. November 38 cm Schnee. In unmittelbarer Nähe betrug die Schneehöhe über 130 cm. Am 4. Dezember fiel Regen, der weitere Verwehungen verhinderte. Die Dezemberschneefälle waren gering und es fanden nur während ungefähr 18 Stunden Verwehungen statt. Diese setzten dann aber Anfang Januar bei starkem NW-Wind ein. Bis zum 10. Januar fielen 65 cm Neuschnee, der während ungefähr 42 Stunden bei mittlern Windstärken von 15–20 m/sec und mehr verweht wurde.

Bei der Gitteranlage war am 10. *Januar* 1935 die Schneeablagerung folgendermaßen (vgl. Fig. 25): Die « C »-Wand war zum Großteil eingeweht. Nur noch die Pfosten, an denen die Gitter aufgehängt waren, ragten aus dem Schnee. Die Hauptschneemengen hatten sich vor der Anlage und im westlichen Teil derselben bis auf die Höhe der Gitter (2 m) abgelagert. Längs der « A »-Wand lagen im Mittel 100 bis 110 cm Schnee. Auf der Leeseite betrug die Schneehöhe am Gitter 100–110 cm und nahm gegen den Steilhang etwas ab. In den Feldern hatte sich die größte Schneemenge auf die Nordseite der Querwände abgelagert, entsprechend der Hauptwindrichtung aus NW (vgl. Prof. Q Fig. 25). Ein Einfluß der verschiedenen Maschenweiten auf die Schneeablagerung war nicht festzustellen. Bis zum 10. Januar 1935 vermochte die Anlage den Schnee auf der Luvseite zurückzuhalten und damit auch die Bildung von Gwächten leeseits zu verhindern. Wie früher hatte sich auch in diesem Winter neben den Gittern leeseits eine Gwächte gebildet, an deren Fuß Schneerutschungen losbrachen.

In den ersten Februartagen war das Wetter sehr stürmisch. Am 3. *Februar* traten Windstöße von W und NW mit über 30 m/sec während 15–20 Sekunden auf, die das « feinste » Gitter der « A »-Wand wegrissen. Die Verwehungen dauerten 74 Stunden. Weitere starke Umlagerungen fanden am 14. und 23. Februar statt.

## Schneeoberflächen

am:

- 1. IV. 1936
- - - 7. II. 1936
- ⋯ 21. XII. 1935

Hauptwindrichtung

Luv (West)

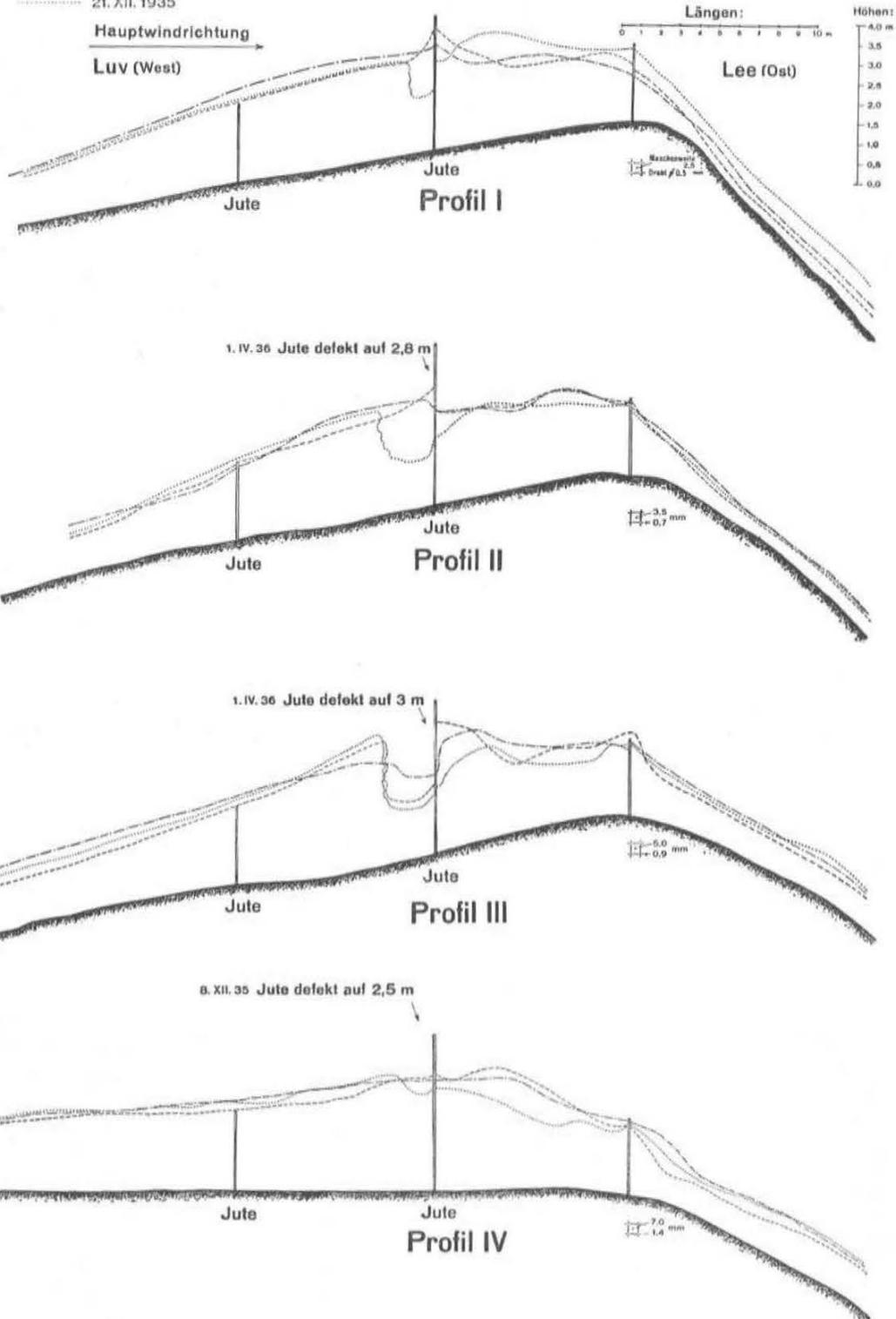


Fig. 26. Wirkung der Gwächtingitter- und Jutegeflechtanlage Saflisch.  
Winter 1935/36. „Fachwerk.“

Während 36 Stunden wurde ununterbrochen Neuschnee verfrachtet. Auf diese Verwehungen von W und NW setzten Anfang März SO-Winde ein, die den Neuschnee umlagerten, jedoch nicht die vom W-Wind gepreßten frühern Ablagerungen.

Am 8. März ragten die Gitter nur noch stellenweise aus der Schneedecke. Im nördlichsten Feld (AA2C2C) wurde infolge des Gitterdefektes durch die Oeffnung ein Großteil des Schnees weggeweht (vgl. Fig. 25 Prof. I). Das Loch wirkte wie ein Abzugskanal. Die übrigen Felder waren vollständig eingeweht und konnten die Schneeablagerungen vom 14. und 23. Februar nicht mehr beeinflussen. So bildete sich am Gefällsbruch hinter den Gittern eine Gwächte (vgl. Fig. 25 Prof. II bis IV). Obschon das Gelände hinter dem « groben » und « gröbsten » Gewebe (Fig. 25 Prof. II und III) beim Absturz annähernd gleich verläuft und dieselben Windverhältnisse herrschten, haben sich die Gwächten verschieden ausgebildet. Luvseits des groben » Gewebes (Prof. III) stieg entsprechend dem ansteigenden Vorland auch das Gwächtendach leicht an. Hinter dem nahezu ebenen Vorland des « gröbsten » Gewebes fiel das Gwächtendach leicht ab (Prof. IV Fig. 25). An beiden Stellen wies das Schneeprofil von der « A »-Wand bis zum Gwächtenfuß annähernd gleiche Schneemengen auf. Bei Profil III (Fig. 25) betrug die Fläche  $10,8 \text{ m}^2$ , bei Prof. IV (Fig. 25)  $11,25 \text{ m}^2$ . Die « Mächtigkeit » der Gwächte  $\frac{h}{a} = \frac{\text{Höhe}}{\text{Basis}}$  ergab bei Profil III  $\frac{1,5 \text{ m}}{7,5 \text{ m}} = 0,20$ , bei Profil IV  $\frac{1,2 \text{ m}}{10,5 \text{ m}} = 0,11$ .

Vom 9. bis 13. März fanden bei östlichen Winden und Geschwindigkeiten von 10–15 m/sec starke Schneeverwehungen statt, so daß sich die Schneehöhe am Stationspegel auf Saflisch durch Abtrag des fünf Tage alten Neuschnees von 260 cm auf 220 cm verminderte.

Ende März und Anfang April herrschten wieder starke Verwehungen von W und NW vor. An den Versuchsgittern hatten sich die Schneeablagerungen nicht mehr wesentlich geändert. Da die Anlage seit März nicht mehr ausaperte, konnte sie die Verwehungen nicht beeinflussen und damit auch die Gwächtenbildung nicht verhindern. Beim « groben » Gitter war die Gwächte ungefähr 1 m leewärts und 40 cm höher gewachsen, und es ergab sich die Verhältniszahl für die « Mächtigkeit » 0,24 gegenüber 0,20 im März. Hinter dem « gröbsten » Gitter war das Gwächtendach in einem Monat um 2 m länger geworden, und die Höhe hatte um 80 cm zugenommen. Dadurch erreichte die « Mächtigkeit » 0,16 gegenüber 0,11 im März.

#### 4. Jutegeflecht.

Für den Winter 1935/36 vergrößerten wir die Anlage auf Saflisch mit Jutegeflecht (vgl. Fig. 21, 26 und Photo 4). Das 2 m hohe « C »-Gitter und das Verbindungsgitter « AC » wurden mit 2 m breitem Jutegeflecht auf 4 m erhöht, und der Wand « C » eine parallele Wand « E » in 10 m Abstand vorgestellt und durch 2 m hohe Querwände CE, C2E2, C4E4, C6E6 und A8E8 verbunden. Ferner wurde das 2 m hohe « A »-Gitter mit Jutegeflecht gegen Norden um 50 m verlängert. Das Jutegeflecht wies eine mittlere Maschenweite von 17 mm und eine Seildicke von 4 mm auf.

Bei allen Verwehungen im Laufe des Winters zeigte sich, daß das Jutegeflecht wie eine feste Wand wirkte. Auf der Luvseite haftete der angewehrte und ange-

frone Schnee bis über 30 cm stark und verhinderte so ein Durchwehen des Schnees. Im November wurden auf Saflisch während 58 Stunden starke Schneeverwehungen von SO aufgezeichnet.

Vom 1. bis 4. *Dezember* fanden während 89 Stunden (Maximum 96 Stunden) sehr starke Verwehungen von W statt. Am 8. *Dezember* war die 2 m hohe Gitteranlage sozusagen vollständig eingeweht (vgl. Photo 4 und Fig. 26). Die 4 m hohe C—D-Wand überragte jedoch fast durchgehend die Schneedecke um 2 m. Luvseits hatte sich vor der 4 m hohen Jutewand, wo diese dem Sturm standgehalten hatte und intakt war, in 2—3 m Abstand ein Schneewall gebildet (Fig. 26 Prof. I bis III). Am Gitter selbst lag hier der Schnee nur bis 1,5 m hoch. Leeseits hatten sich ungefähr 2 m abgelagert und überdeckten so den übrigen Teil der Anlage. Wo das Geflecht defekt war (Fig. 26 Prof. IV), wehte der Wind ungehindert durch und überdeckte die Wand mit 3 m Schnee; immerhin vermochte sich leeseits noch keine Gwächte zu bilden.

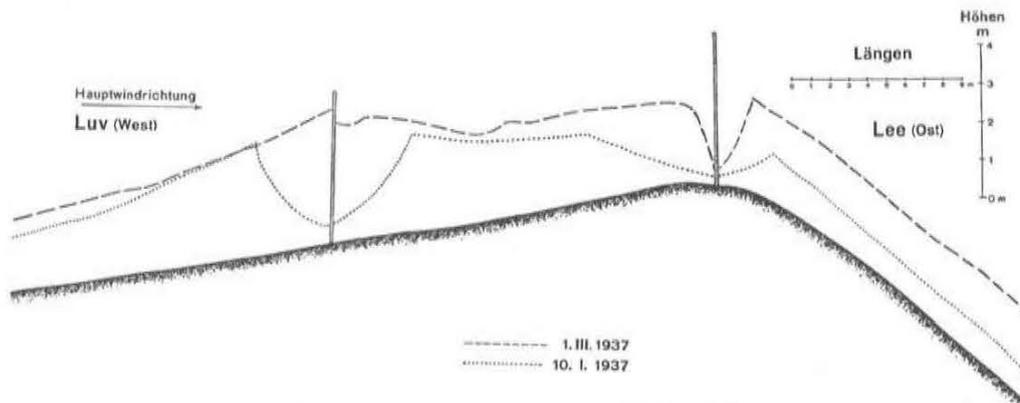


Fig. 27. Saflisch: Juteanlage „Fachwerk“. Winter 1936/37.

In der ersten Hälfte *Januar* fanden nur geringe Verwehungen statt. Am 23. und 24. *Januar* setzte heftiger Wind mit Geschwindigkeiten von 15—20 m/sec ein. Obschon die 2 m hohen Gitter nur noch wenig aus dem Schnee herausragten, vermochte aber doch die 4 m hohe Jutewand die Gwächtenbildung am Steilhang zu verhindern.

Hinter der einfachen, 2 m hohen und vollständig eingewehten Jutewand, die in der Verlängerung des « A »-Gitters aufgestellt worden war, entstand hingegen schon im *Februar* eine Gwächte (vgl. Photo 5). Deren Bildung konnte also wie schon im Winter 1931/32 durch eine einfache Wand von 2 m Höhe nicht verhindert werden.

Bis im *April* 1936 änderte sich dieser Zustand wenig, obschon das Jutegeflecht durch den Wind an verschiedenen Stellen bis auf 3 m herabgerissen wurde.

Im *Herbst* 1936 stellten wir die Fachwerkanlage aus Jute auf Saflisch am gleichen Orte wie früher auf. In 20 m Abstand wurden zwei parallele, 40 m lange, 4 m hohe Gitter errichtet und an den Enden und in der Mitte mit einer 2 m hohen Querwand verbunden (vgl. Fig. 27). Die ersten starken Verwehungen fanden bei NW-Stürmen während 55 Stunden vom 1. bis 3. *Dezember* 1936 statt. Vom 6. bis

8. Januar 1937 fiel auf Saflisch 120 cm Schnee, der ohne Unterbruch während 50 Stunden wiederum bei NW-Wind verweht wurde. Den Großteil des Schnees hielt die luvseitige Jutewand zurück (vgl. Fig. 27). Die gegen die Leeseite gelegene Wand, die nicht ganz auf den Boden reichte, konnte nicht verhindern, daß ein Teil des Schnees durch die Oeffnung geweht wurde. Eine Gwächte bildete sich jedoch nicht aus. Nach den starken Verwehungen von NW Mitte Februar war die luvseitige Wand beinahe vollständig eingedeckt. An der Wand gegen die Leeseite lag der Schnee jedoch nur wenig über 2 m hoch, und es entstand bis im Frühling keine Gwächte. Neben der Versuchsanlage hatte sich wie in frühern Jahren eine mehr als 3 m hohe Gwächte gebildet.

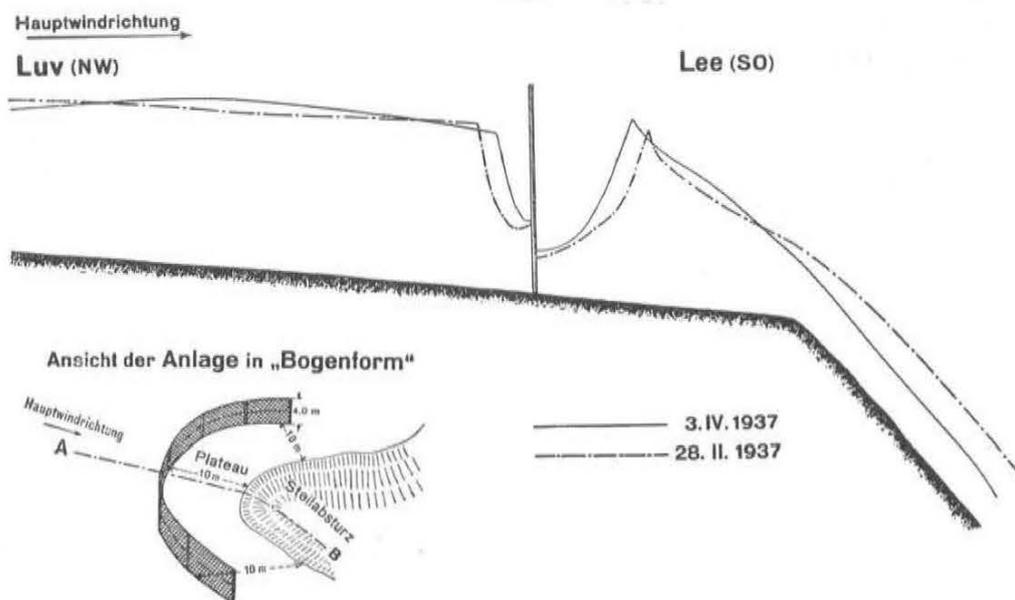


Fig. 28. Saflisch: Juteanlage „Bogenform“ (Profil A-B).  
Winter 1936/37.

Außer der eben erwähnten Versuchsanlage stellten wir im Winter 1936/37 auf Saflisch eine Jutewand in *Bogenform* auf (Fig. 28). Hier hatte sich am Rande eines schwachgeneigten Plateaus gegen den muldenförmigen Steilabsturz jeden Winter eine mächtige Gwächte gebildet. Um die W-Winde möglichst *abzulenken* und so eine Schneeablagerung vorwiegend seitlich der Steilmulde zu bewirken, stellten wir die 4 m hohe Jutewand in Bogenform und in 10 m Abstand vom Steilabsturz. Während des Winters 1936/37 bewährte sie sich sehr gut. Der Schnee wurde hauptsächlich der Wand entlang nach den Seiten verweht. An der Wand selbst lag höchstens 1,4 m Schnee, vor und hinter derselben bis 3,2 m, seitlich über 5 m, am Steilabsturz jedoch nicht mehr als 1,8 m. Eine Gwächte hatte sich nicht mehr gebildet. Eine gerade Jutewand von derselben Höhe wäre zweifellos im Laufe des Winters wie in frühern Jahren eingeweht worden und hätte die Gwächtenbildung nicht verhindert.

## VI. Kapitel: Gwächtenverbauungen in der Praxis.

Die im folgenden besprochenen Verbauungen betreffen nur solche gegen Gwächtenbildung im Abbruchgebiet von Lawinen.

Entsprechend dem Gelände handelt es sich um Verbauungen gegen *Gratgwächten* (an Gräten mit steilem Vorland) oder *Plateaugwächten* (am Rande von Plateaux mit flachem Vorland). Nach der Anordnung der Einzelwerke im Vorland unterscheiden wir folgende Systeme:

1. Der lineare Gwächtenverbau, bei dem die Bauten mehr oder weniger in einer Reihe auf gleicher Höhe liegen.
2. Der gestaffelte Gwächtenverbau, wo die Bauten hintereinander in die Tiefe gestaffelt sind.
3. Der fachwerkartige Gwächtenverbau, bei dem die Bauten in die Tiefe hintereinander gestaffelt und quer untereinander verbunden sind.

### 1. Gratgwächtenverbau.

An Verbauungen zur Verhinderung der Gratgwächten mittels

#### a) Gwächtenmauern

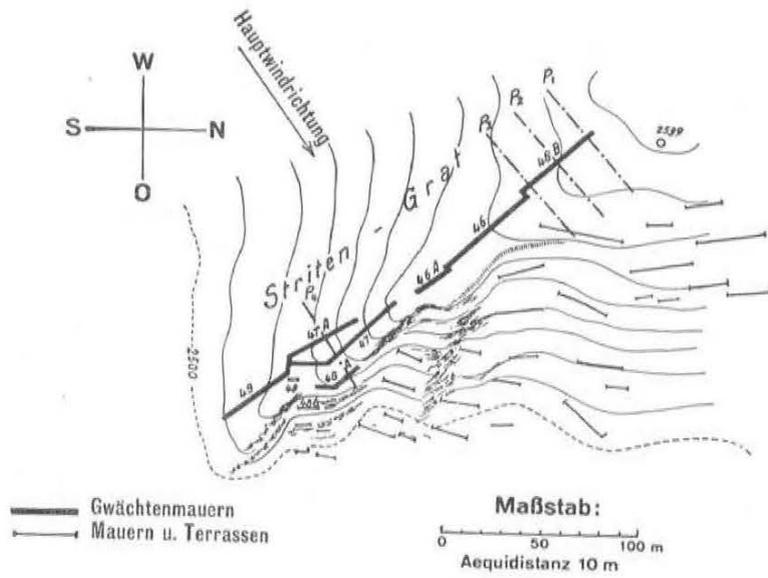
machten wir hauptsächlich auf *Faldum* (Lötschbergbahn) Schneebeobachtungen<sup>29)</sup>. Bis im Sommer 1930 bestand der Gwächtenverbau auf dem Stritengrat zur Hauptsache aus 2 m hohen Windmauern, die mehr oder weniger in einer Geraden von NW gegen SO lagen (Fig. 29, Mauer Nr. 46, 46A, 47, 48A, 49). Im Winter 1929/30 konnten wir folgende Schneeablagerungen feststellen:

Am 23. *Dezember* 1929 betrug die Schneehöhe auf Luv- und Leeseite an den Mauern Nr. 46 und 47 über 2 m. Auf der Leeseite am Gefällsbruch lagen stellenweise 2,5 m, und es waren bereits kleine Gwächtenansätze vorhanden. Die Mauer Nr. 46A war zum Teil vollständig zugedeckt und konnte somit die spätern Schneeablagerungen nicht mehr beeinflussen.

Ende *April* 1930 waren die Verhältnisse folgende: In der nördlichsten Partie war am obersten Felskopf infolge SW-Wind eine kleine Gwächte entstanden. Bei Mauer 46A wuchs auf dem Grat die Schneeanhäufung in Form eines Schneegrates um 55 cm in die Höhe und um 70 cm leewärts über die Mauerkrone hinaus. Der Leehang wies hier 70 %, der Luvhang nahezu 50 % Neigung in der größten Gefällsrichtung auf. In der südlichen Partie entstand am Gefällsbruch in 6—8 m Entfernung leewärts der vollständig eingewehten Windmauer Nr. 47 eine 2 m hohe Gwächte. Das kleine vorgelagerte und einzelstehende Mäuerchen 48A liegt teilweise im Windschatten von Windmauer 47, wurde vollständig überdeckt und konnte die Gwächtenbildung nicht verhindern.

Anfang *Mai* fiel beträchtlich Schnee, der bei SW-Wind verweht wurde. Am 13./14. Mai regnete es über 2000 m; die Neuschneegwächten wurden vermutlich

<sup>29)</sup> Vgl. auch *F. Schädelin*: Die Lawinenverbauung Faldumalp; Nr. 2 der Veröffentlichungen über Lawinenverbauungen der Eidg. Inspektion für Forstwesen, Jagd und Fischerei, Bern.



Profile durch Gwächtenmauern.

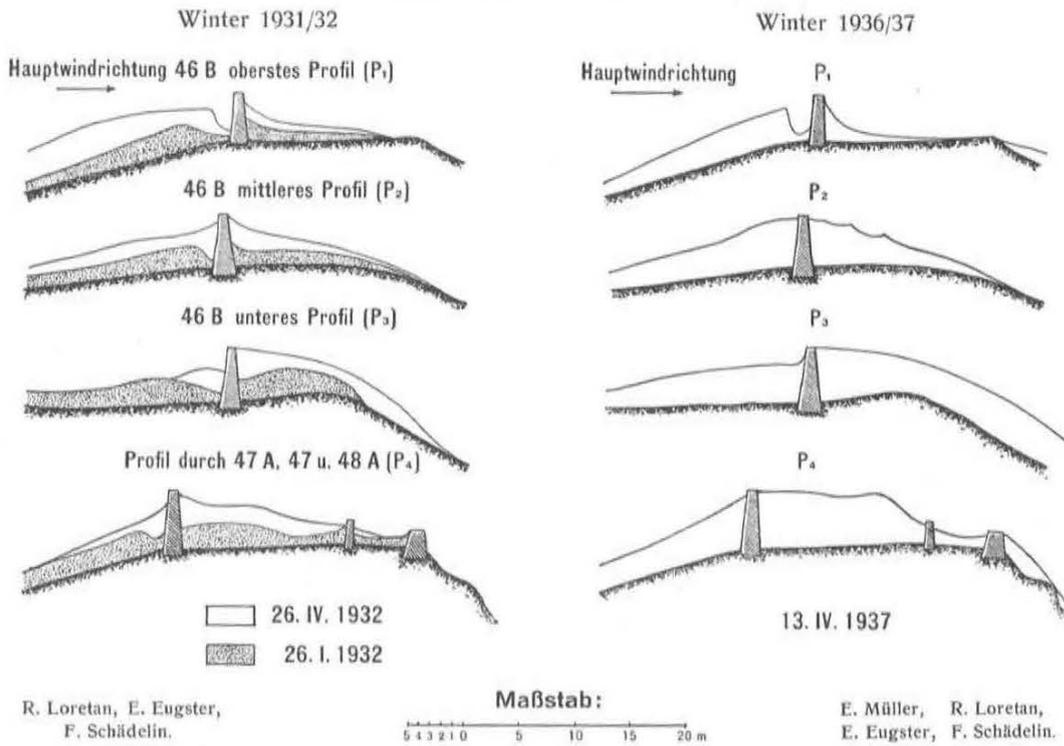


Fig. 29. Gwächtenverbau am Stritengrat.  
Lawinenverbau Faldumalp (B.L.S.).



Photo 6. Gwächtenmauern auf dem Stritengrat.  
Nr. 48a am Rand des Abbruchs, Nr. 47 (Mitte) und Nr. 47A (rechts) Neubau 1930.  
Phot. Schädelin. Sommer 1930.



Photo 7. Gleiches Bild wie oben, im Winter, mit Schneeablagerungen.  
23. Dezember 1930.

Tafel V.



Photo 8. Verbauung Faldumalp.  
Mauern zum Stützen der Gwächte, noch keine Gwächtenbildung.  
23. Dezember 1930.



Photo 9. Gleiches Bild wie oben. Gefährliche Gwächte.  
Gwächtenstützmauern vollständig eingeschneit und wirken nicht mehr.  
18. März 1931.

mit Wasser gesättigt, überlastet und brachen zum Teil ab. Am 31. Mai 1930 konnten wir am Stritengrat folgendes feststellen: In der nördlichen Partie war hinter der vollständig eingewehten Mauer Nr. 46 eine 2,5 m hohe Gwächte abgebrochen. Für die großen Schneefälle im Mai war die Fläche zwischen Windmauer 46 und Steilabsturz zu gering und die 2 m hohe Mauer in der kleinen Gratvertiefung zu niedrig, um den Großteil des Schnees hier und im Vorland zu fassen. Hinter Mauer Nr. 47 genügte die Tiefe von 6—8 m, die Gwächtenbildung zu verhindern. Durch die 2 m hohe Windmauer wurden hier auf dem flachgeneigten Plateau auf den Laufmeter 20 m<sup>3</sup> Schnee zurückgehalten. Die untere Partie der Mauer Nr. 47, die in einer flachen Einsenkung liegt, war zu niedrig und das Plateau zu klein, um die Bildung und den Abbruch einer Gwächte zu verhindern. Hier zeigte sich wiederum, wie hinter Grateinsenkungen der stärkere Windzug eine größere Schneeablagerung bewirkt; die Mauer war schon Ende Dezember vollständig eingeweht und konnte somit die Gwächtenbildung nicht verhindern.

Aus den Beobachtungen im Winter 1929/30 konnten folgende Schlüsse gezogen werden:

1. Die Gwächtenbildung wird wesentlich von der Neigung und Ausdehnung des Vorlandes beeinflusst.
2. Bei flachem oder schwach geneigtem Vorland wird der Trieb Schnee leichter und stärker verweht und die Gwächtenbildung ist größer als bei steilem Vorland.
3. Entsprechend der Tiefenausdehnung des flachen Vorlandes sind auch Triebschneemenge und Gwächtenbildung größer.

Für den Gwächtenverbau mit Windmauern ergab sich am Stritengrat:

4. Die Windmauern von 2 m Höhe sind besonders in den Grateinsenkungen zu niedrig.
5. Der Abstand von 6—8 m zwischen Windmauer und Absturz kann bei niedrigen Bauten nur in Wintern mit wenig Schneeverwehungen für die Schneeablagerung genügen.
6. Windmauern am Rande eines Plateaus, also am Steilabsturz, wirken ungünstig, da sie, wie ein Messer wirkend, Gwächtenabbrüche begünstigen können.
7. Um größere Ablagerungsflächen besonders auch im Vorland zu erhalten, müssen die Mauern über 5 m hoch sein, so daß sie wenn immer möglich nicht eingeweht werden und sich ihr Einfluß auf die Schneeablagerung auch am Gefällsabbruch noch geltend macht.
8. Da der Einfluß einer einzelnen Mauer mit zunehmender Schneehöhe allmählich geringer wird, sollen verschiedene Mauern hintereinander gestaffelt sein.

Die Ergebnisse der Beobachtungen während des Winter 1929/30 führten dazu, daß im Sommer 1930 die 42 m lange, im Mittel 5,7 m hohe Windmauer Nr. 47A (vgl. Photo 6), sowie die 45 m lange und im Mittel 4,8 m hohe Mauer Nr. 46B erstellt wurden.

Der *Vorwinter 1930/31* brachte wenig Schnee. Trotzdem waren am 23. Dezember 1930 die 2 m hohen Bauten besonders in den Mulden fast vollständig eingeweht. Der Wind hatte die Ecken der neuen Mauer Nr. 46B nahezu schneefrei geweht und leeseits die Geländeunebenheiten ausgefüllt. In der Mitte der nicht überhöhten Mauer

Nr. 46, die sich in einer flachen Geländevertiefung befindet, überdeckte die Schneeoberfläche die Mauerkrone. Eine Gwächte hatte sich aber noch nicht gebildet (vgl. Photo 8), hingegen konnte eine solche bei den nächsten Verwehungen leicht entstehen, da das Vorgelände in der NW-Richtung flach ist und die Unebenheiten ausgefüllt waren. Die unveränderte Mauer 46A war sehr ähnlich eingeschneit wie im Dezember 1929, ohne daß sich eine Gratgwächte gebildet hätte. Wegen der Verwehungen mehr schief zur Mauer waren die leeseitigen Ablagerungen an der Mauer geringer als im selben Zeitpunkt des Vorjahres. Die neue Mauer Nr. 47A zeigte die erwarteten starken leeseitigen Ablagerungen vor der alten Mauer Nr. 47 (vgl. Fig. 29 und Photo 7). Die starke Verwehung von W bewirkte die Hauptablagerung in W—O-Richtung. Neben der Mauer Nr. 47A wurde der Schnee in gleicher Richtung weggeweht, und es entstand eine « Schneemulde » von der NW-Ecke nach der Ecke der Mauer Nr. 47, die nahezu schneefrei war. Die südliche Partie der 2 m hohen Mauer Nr. 47 verschwand vollständig unter der Schneedecke. Die erwähnte Schneemulde entstand deshalb, weil die NW-Ecke der Mauer Nr. 47A keine Verbindung mit der Mauer Nr. 47 hatte. Zwischen Hang und freistehender Mauerecke wurde der Wind wie in einem Engpaß zusammengedrängt; deshalb lagerte sich der Schnee seitlich und weiter weg ab. Dadurch blieben die Mauern Nr. 47 und 48A zum Teil schneefrei, Nr. 48B hingegen wurde zugeweht.

Die größte Schneemenge des Winters fiel am 20./21. Februar. In Brig betrug die Schneehöhe 1,4 m. Am Stritengrat waren am 18. März die folgenden Verhältnisse anzutreffen: Die im Mittel 4,8 m hohe Mauer Nr. 46B war leeseits vollständig mit Schnee hinterfüllt und hatte ebenfalls leewärts eine gleichmäßige Ablagerung auf eine Länge von über 20 m bewirkt. Mauer Nr. 46, schon im Dezember in der Mitte leeseits mit Schnee hinterfüllt, konnte die Ausbildung einer über 3 m hohen Gwächte nicht verhindern (vgl. Photo 9). Wie zu erwarten war, hatte sich die Gwächte am mächtigsten hinter der Grateinsenkung ausgebildet. Hinter der Mauer Nr. 46A bildete sich ebenfalls ein Gwächtenansatz. Durch Anlagerung von Schnee auf der Luvseite der Mauer verminderte sich die Böschung von  $50^\circ$  auf  $30^\circ$ , wodurch die Neigungsverhältnisse für die Gwächtenbildung günstiger wurden. Bei Mauer Nr. 47A hatte sich die Schneeablagerung seit Dezember nicht wesentlich geändert. Die 25 m lange, ausgewehrte Schneemulde blieb bestehen. Auf der Leeseite überdeckte der Schnee die Mauer Nr. 47 an derselben Stelle wie im Dezember, jedoch in vermehrtem Maße, und hinter der Mauer Nr. 48A hatte sich die Gwächte vergrößert. Mauer Nr. 48A, die im Frühling 1930 ganz zugedeckt war, blieb in der ausgeblasenen Schneemulde nahezu schneefrei.

Aus den Beobachtungen im Winter 1930/31 waren folgende Schlüsse zu ziehen:

1. Die 4,8 m hohe, neue Mauer Nr. 46B bewirkte leeseits eine starke Schneeablagerung auf 20—35 m Entfernung, also auf das 4- bis 6fache ihrer Höhe, ohne Gwächtenbildung.
2. Da die Mauern Nr. 47A und 47 untereinander nicht quer verbunden waren, entstand ein Engpaß, in welchem sich die Windgeschwindigkeit erhöhte. Dadurch lagerte sich der Schnee am Steilabsturz als Gwächte ab. Sind die Mauern untereinander quer verbunden, wird weniger Schnee auf die Leeseite verweht, die Mauerecken werden weniger freigeblasen und somit die Wirkung der Mauern beträchtlich erhöht.

In den folgenden Wintern wurden die Schneebeobachtungen an den Gwächtenmauern fortgesetzt. Mit geringen Unterschieden waren die Ablagerungen dieselben wie im Winter 1930/31. Besonders die hohen Mauern 46, 46B und 47A (Fig. 29) konnten die Gwächtenbildung ganz oder teilweise verhindern; nennenswerte Lawinenabbrüche erfolgten am Stritengrat nicht mehr.

#### b) Gwächtengitter.

Die folgenden Beobachtungen wurden im Verbau Leimbach, oberhalb Frutigen, gemacht (Fig. 30). Der Verbau bestand 1929 aus zwei nebeneinandergestellten, 2 m hohen Gitterwänden. Während das eine Gitter in 1,5 m Entfernung vom Gefällsabbruch auf der Leeseite eine 40 cm stärkere Schneeablagerung als auf der Luvseite

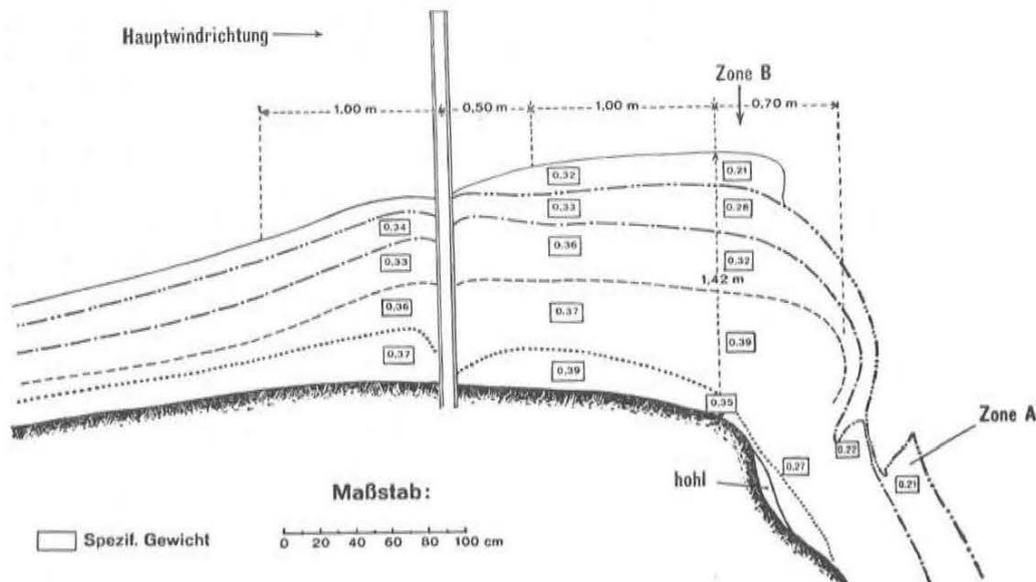


Fig. 30. Gwächtengitter, Leimbach. 13. Februar 1930.

bewirkte, waren die Schneehöhen beim 6–8 m vom Steilabsturz entfernten, zweiten Gitter luv- und leeseits annähernd gleich. Keines der Gitter vermochte die Gwächtenbildung zu verhindern. Nur der erste Schnee wurde durch das Gitter I ruhig abgelagert, so daß keine Gwächte entstand (Fig. 30, unterste Schicht). Bei den spätern Verwehungen wurde der Trieb Schnee durch die Gitter hindurchgeweht. Die Schichten verliefen ohne wesentliche Unterbrechung geradlinig durch das Gitter und bogen beim Gefällsbruch in eine Gwächte um. Ohne Gitter hätte sich jedoch, wie seitlich davon festzustellen war, eine stärkere Gwächte ausgebildet. Das Gitter bewirkte also immerhin eine ruhigere Schneeablagerung am Gitter und zwischen Gitter und Steilabsturz.

Die spezifischen Gewichte der Schneeschichten (Fig. 30) zeigen, wie der Schnee an der Gegenböschung bei Gwächten (Zone A) bedeutend lockerer ist (0,21–0,27), als auf dem windgepreßten Gwächtendach (Zone B), wo dieser 0,21–0,39 erreichte. Daraus ist erklärlich, daß Gwächtenabbrüche meist an der Gegenböschung (Zone A) erfolgen und nachher ein Teil der Gwächte nachstürzt.

Die Beobachtungen im obigen Verbau zeigen, daß

1. ein einfaches Gitter die Gwächtenbildung nicht verhindern konnte;
2. das 2 m hohe Gitter in 1,5 m Entfernung vom Steilabsturz vorübergehend die Gwächtenbildung verringerte, während das Gitter in 6—8 m vom Gefällsbruch die Schneeablagerung kaum merklich beeinflusste.

## **2. Plateaugwächtenverbau.**

### **a) Gwächtenmauern und Holzwände.**

Ein typischer Plateaugwächtenverbau ist der Verbau auf Prato del Vento auf der Alp Grün (Bernina-Bahn).

Hier zeigte sich, daß die Art der Bauten, wie Mauern, Palisaden oder Holzwände, auf die Schneeablagerung nicht wesentlich ist, sondern vielmehr die Bauhöhe und die Anordnung der Bauten. Hohe Bauten erwiesen sich naturgemäß länger wirksam als niedere. Die Länge spielte eine geringe Rolle, hingegen wirkten die Querverbindungen sehr gut, besonders jene an den Enden der Bauten. Ursprünglich bestand der Verbau aus einer einzelnen Gwächtenmauer (linearer Verbau), dem später einzelne Bauten vorgestaffelt und die nachher zum Teil fachwerkartig untereinander verbunden wurden. Den Mauern vorgelagert befindet sich eine Bretterwand von 3,7 m Höhe. Luvseits hatte sich am 18. Januar 1930 der Schnee 1,5 m hoch gelagert, leeseits 3,5 m. Die Ecken waren bis auf den apert Boden schneefrei geweht und eine stärkere Schneeablagerung erfolgte leeseits wegen der Wand nur auf 6—8 m. Die einzelne, lange Mauer am Plateaurand (Photo 10) vermochte ebenfalls nur wenig Schnee festzuhalten. An den besonders windexponierten Stellen auf Geländeerhebungen lag die Mauer beinahe schneefrei, während sie in Mulden im Schnee verschwand und keinen Schnee mehr zurückhalten konnte. Da wo sich zwei niedere Mauern in Mulden überdeckten (gestaffelt), waren beide eingeweht, auf Erhebungen jedoch schneefrei. Der Wind strich zwischen den Mauern hindurch, da sie keine Querverbindungen aufwiesen, und ließ keinen Schnee liegen. Die größte Wirkung zeigten die Querbauten (Photo 10). Im Mauerdreispitz erreichte die Schneehöhe 3,5—4 m, während die isolierte Mauerecke, die keine Verbindung mit der Holzwand hatte, schneefrei war. Auf der Leeseite hinter der eingewehten Mulde entstand eine Gwächte. An einer Bretterwand weiter westlich zeigte sich in diesem Verbau erneut, daß der obere Rand der Bauten in Mulden durchgehend mindestens so hoch sein soll, wie jener auf den seitlichen Geländeerhebungen. Ist dies nicht der Fall, so besteht frühzeitig die Gefahr der Gwächtenbildung.

### **b) Gwächtengitter.**

Die Beobachtungen am Gwächtenverbau mit Drahtgeflechtgitter am Rinderberggrat im Berner Oberland im Winter 1929/30 bestätigten die schon erwähnten Feststellungen von Saflisch und Prato del Vento. Die einzelnen, seitlich gestaffelten Gitter (ohne Querverbindung) vermochten den Schnee nur stellenweise zurückzuhalten. Der hinter einem Gitter abgelagerte Schnee wurde durch Winde aus einer andern Richtung wieder fortgeweht. Um dies zu verhindern, müssen sich die Gitter stärker überdecken und untereinander fachwerkartig mit Querverbindungen versehen sein.

## Abschnitt B: Schutzbauten gegen Lawinenabbruch.

### VII. Kapitel: Schutzbauten in der Waldregion.

Bei den langjährigen Schnee- und Lawinenbeobachtungen zeigte sich jedes Jahr mit Deutlichkeit, daß in der Waldregion wesentlich andere Schneeverhältnisse sind als über der Waldregion. Dementsprechend sind auch verschiedene Verbaumethoden anzuwenden.

#### 1. Schneeablagerung in der Waldregion.

Im Bergwald fällt gewöhnlich je nach der *Bestockungsdichte* und den *Holzarten*, wenn diese im Winter die Nadeln verlieren (Lärchen) oder behalten (Fichten), mehr oder weniger Schnee auf den Boden oder wird auf den Aesten zurückbehalten. Nach METZLER<sup>30)</sup> soll die Schneehöhe im Wald allgemein nur 15—20 % des im Freien gefallenen Schnees betragen (vgl. HARLÉ<sup>31)</sup>). Nach RATZEL<sup>32)</sup> kommt im Nadelwald gegenüber dem Laubwald kaum die Hälfte des fallenden Schnees auf den Boden. Hingegen liegt in größeren Blößen während des Winters im allgemeinen mehr Schnee als im Freien oder gar im Walde, da die Beschattung durch die umstehenden Bäume den Einfluß der Sonne verringert und das Wegwehen von Schnee verhütet. Das von den Aesten tropfende Schmelzwasser, wie auch der abfallende schwere Schnee bewirken ein rasches Setzen der Schneedecke. Diese verändert sich rasch in Harsch und Eis, die gegen ein Abschmelzen sehr widerstandsfähig sind. Im Walde ist deshalb die Schneedecke zwar geringer, aber dauerhafter als im Freien.

Im Oberwallis sind in den Lawinenabbruchgebieten bei 2000 m ü. M. die Waldbestände meist licht. Der Einfluß der einzelnen Holzarten macht sich hier auf die Schneeablagerung besonders stark geltend. Fichten und Lärchen, die Hauptholzarten im Goms, verhalten sich verschieden. Die einzelnstehenden *Fichten*, die meist bis auf den Boden mit Aesten besetzt sind, nehmen vorübergehend große Schneemengen auf; bei Ueberlastung entstehen häufig Gipfelbrüche. Der Boden unter den Aesten ist sozusagen schneefrei. Bei Schneeverwehungen halten die Fichten große Schneemengen auf. Am Sonnenhang ist besonders auffallend, wie die Schneedecke sonnenwärts abschmilzt und beinahe verschwinden kann, während im Schatten der Fichte noch sehr lange meterhoch Schnee bleibt. Da sich die Schneedecke am Steilhang abwärts bewegt, staut sie sich oberseits der einzelnstehenden Bäume. Da aber der Druck mehr auf die Aeste als auf den Stamm erfolgt, um welchen ringsherum kein Schnee liegt, dürfte dies ein Grund sein, weshalb der Säbelwuchs bei Fichten nicht sehr häufig ist.

Anders verhalten sich die Lärchen, die im Herbst die Nadeln verlieren. Der Schnee fällt zwischen den Aesten hindurch und häuft sich auf dem Boden. Gipfel-

<sup>30)</sup> Metzler: Schneelagerung und Schneeschichtung in den Alpen. Göttingen 1933.

<sup>31)</sup> Harlé: Forêts et neiges; Revue des Eaux et forêts, 71, 1933.

<sup>32)</sup> Ratzel, Fr.: Die Schneedecke, besonders in den deutschen Gebirgen. Stuttgart 1889.

brüche sind seltener, sofern das Einschneien nach dem Nadelabfall erfolgt. Am Steilhang drückt die Schneedecke hauptsächlich direkt auf den Stamm. Dieser kann in der Jugend gebrochen oder wenigstens jeden Winter mehr oder weniger umgebogen werden, was bei den Lärchen die häufige Säbelwuchsform mitverursacht. Bei Verwehungen vermag die nadellose Lärche weniger Schnee zurückzuhalten als die Fichte; immerhin bewirkt sie eine ruhigere Ablagerung als im Freien, wo der Schnee ohne Hindernisse verweht wird. Da unterhalb des Stammes wenig Schnee liegt, entsteht frühzeitig eine apere Stelle, die sich als Schmelzhof rasch vergrößert. Auch am weniger geneigten Hang dringt die Sonne leicht durch das nadellose Astwerk auf die Schneedecke und schmilzt den Schnee um den Stamm weg. Das Aperwerden wird im Lärchenwald noch beschleunigt durch die Nadeln, mit denen der Schnee übersät ist, und die sich durch ihre dunkle Färbung bei Besonnung rasch erwärmen.

## 2. Das Einwintern.

Da das Einschneien der Bauten in der Waldregion bei weniger Wind erfolgt als über der Waldgrenze, sind hier die ersten Schneeablagerungen auf den Bauwerken gleichmäßiger und die Schneeschichtung günstiger als dort.

Auf den *Terrassen* sind die Schneehöhen vorne und hinten an der Böschung wenig verschieden. Die Schneeoberfläche verläuft annähernd parallel zur Terrasse. Bei Schneehöhen von 120 cm ist an der Oberfläche noch beinahe die ganze horizontale Breite der Terrasse zu erkennen. Da wo keine Verwehungen erfolgen und der Schnee ruhig von oben fällt, werden die *Terrassen, die im Hang liegen*, gleich eingeschneit wie jene, die aus dem Hang herausgebaut sind. Der Einfluß der beiden Bautypen auf die erste Schneeablagerung ist im Walde also unbedeutend. Ausschlaggebend für das lange Erhaltenbleiben des Terrassenprofils an der Schneeoberfläche ist die Terrassenbreite, gleichgültig ob im Hang oder außerhalb desselben gelegen. Je steiler der Hang und die hintere Terrassenböschung sind, um so eher rieselt der frischgefallene, lockere Schnee auf die Terrassen. Sind die Böschungen senkrecht oder sehr flach, so werden die Terrassen hinten entsprechend weniger eingefüllt und die Terrassenböden sind ohne Verringerung an der Schneeoberfläche vorhanden (vgl. Fig. 31).

Die *freistehenden Mauern* werden im Wald durch das ruhige Einschneien gleichmäßig überhöht und ihre Wirkung dadurch noch vergrößert. Hinter den Mauern lagert sich der Schnee in zum Hang parallel verlaufenden Schichten ab, die dicht an die Mauer anschließen, ohne Hohlraum zwischen Mauer und Schnee.

Bei den *Schneebrücken* in der Waldregion bildet sich rascher eine zusammenhängende Schneedecke, da der Schnee weniger als über der Waldgrenze von den Querhölzern weggeweht wird.

*Schneerechen* und *Schneezäune* beeinflussen die Schneeablagerung am geringsten, und der Schnee lagert sich auf und um diese Bauten gleichmäßig ab.

## 3. Das Verhalten im Laufe des Winters.

Wenn sich bei großen Schneemengen auf den Terrassen eine ununterbrochene Schneedecke bildet, bleibt in der Regel trotzdem eine mehr oder weniger große Stützfläche vorhanden. Auf diesen kommen weder eine ganze Schneedecke, noch einzelne Schichten in Bewegung, da alle Schneeablagerungen einer mehr oder

weniger horizontalen Fläche aufliegen. Dagegen gleitet die Schneedecke oft vorn an der Terrasse ab (Fig. 31, Graswuchs und ungefrorener Boden). Damit wird die Schneedecke an verschiedenen Stellen unterbrochen, was für die Terrassierung des Hanges von Vorteil ist.

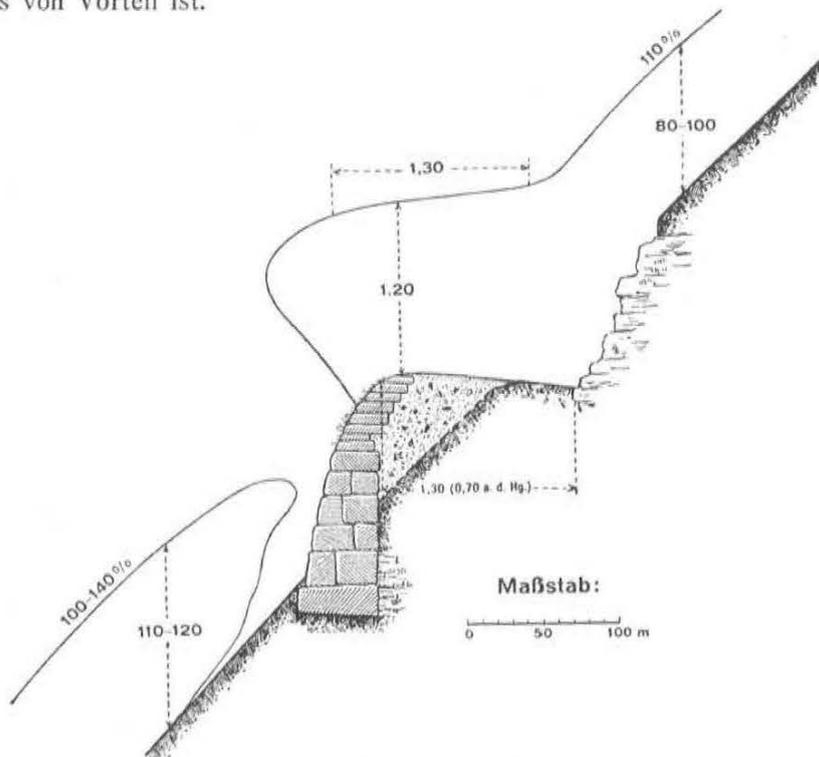


Fig. 31. Eingeschnittene Terrasse in der Waldregion. Bannwald-Oberwald, 1560 m ü. M.  
7. Januar 1929.

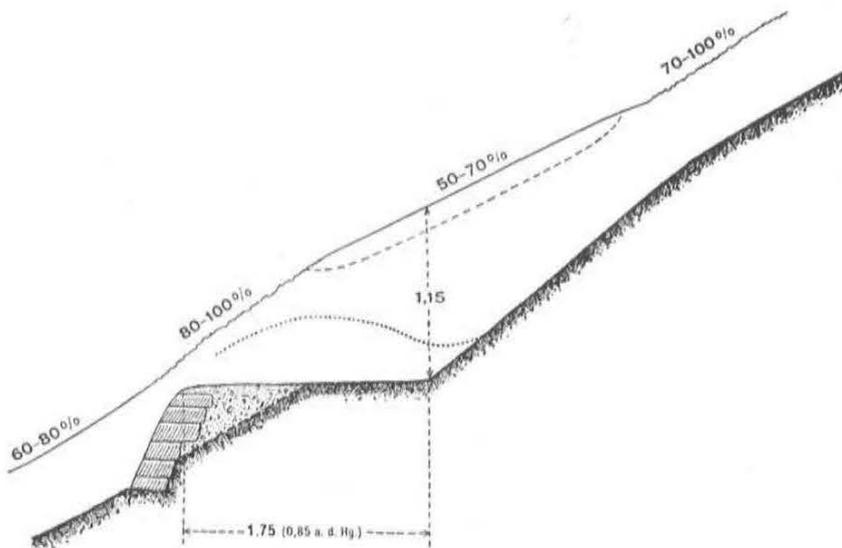


Fig. 32. Eingewehrte Terrasse über der Waldregion. Ulricher Galen, 2100 m ü. M.  
7. März 1929.

Figur 31 zeigt das Profil durch eine eingeschneite *Terrasse*. Trotzdem die Terrasse nur 1,3 m breit ist, wovon 0,6 m im Hang liegen, war bei der Schneehöhe von 1,2 m an der Schneeoberfläche noch eine annähernd horizontale Fläche von ungefähr 1,3 m vorhanden. Betrachten wir zum Vergleich Figur 32, die eine gleich große Terrasse zeigt, welche oberhalb der Waldregion bei starkem Wind eingeweht wurde. Hier ist keine horizontale Stützfläche auf dem Schnee zu sehen, und die Neigung des Schneehanges ist annähernd gleich der des unverbauten Hanges, trotz der geringen Schneehöhe von 60—115 cm. Auffallend waren die Unterschiede jeweils auch zwischen den ruhig eingeschneiten Terrassen im Bannwald Münster (1900 m ü. M.) und den eingewehten Terrassen über der Waldgrenze an den Räuften (Reckingen) auf 2200 m ü. M. Bei den Terrassen im Bannwald Münster waren bei mittlern Schneehöhen von 100 cm auf den 2 m breiten Terrassen an der Schneeoberfläche ebenso breite, vollständig horizontale «Böden» vorhanden. Auf den Räuften hingegen konnte schon bei 30—40 cm Schnee die Terrassenbreite an der Schneeoberfläche nicht mehr festgestellt werden. Bei beiden Terrassen lag ungefähr die Hälfte der Breite außerhalb des Hanges.

Sowohl bei den ruhig eingeschneiten Terrassen als auch bei den ruhig eingeschneiten, *freistehenden Mauern* verlaufen die einzelnen Schneeschichten annähernd parallel zur Unterlage. Der Hang und die freistehende Mauer zeichnen sich an der Schneeoberfläche deutlich ab. Je mehr wir uns der obern Waldgrenze nähern (im Goms um 2000 m ü. M.), womit auch die Bestockung der Hänge abnimmt, desto mehr nehmen die Schneeverwehungen zu. Damit verschwinden im Laufe des Winters, ja oft schon zu Beginn desselben, bei den schmalen, wenig aus dem Hang hervorstehenden Terrassen die horizontalen Stützflächen an der Schneeoberfläche. Die Bauten vermögen nur die untersten Schneeschichten zu stützen, die obern können als Oberlawinen abrutschen.

Figur 33 zeigt zwei Profilaufnahmen von einer Terrasse mit Anbruch einer nassen Oberlawine. Die beiden Profile wurden 6 m nebeneinander aufgenommen. In Profil I ist die Schicht noch vorhanden, die in Profil II abrutschte. Die Schneeoberfläche auf der Terrasse, über welche die Lawine niederging, wies im obern Teile eine Neigung von 80 % und in der Mitte eine solche von 55 % auf. Daneben, wo die Terrasse den Abbruch verhindern konnte, war die Neigung der Schneeoberfläche nur wenig geringer, nämlich oben 65 % und in der Mitte 30 %. Wie der Riß in der obersten Schneeschicht in Profil I zeigt, hätte der Abbruch beinahe an diese Stelle übergreifen. Die beiden Profile zeigen, wie da, wo an der Schneeoberfläche das Terrassenprofil nur noch schwach erkenntlich ist, das Abbrechen von Oberlawinen stattfinden kann (Naßschnee).

#### 4. Das Ausapern.

In der Waldregion der Oberwalliser Verbauungen ist die Exposition, ob es sich um ausgesprochene Schattenhänge oder Sonnenhänge handelt, von größter Bedeutung. Den Winter über übt die *Sonne* einen starken Einfluß aus. Von den schneefreien Sonnenhangpartien aus geht das Weiterschmelzen besonders rasch. Die obersten Teile von hohen Mauern, Schneebrücken, Schneerechen und Pfahlreihen apern, da sie wenig oder gar nicht mit Schnee bedeckt sind, zuerst aus. Auch unter einer



Photo 10. Plateaugwächtenverbau Alp Grüm.  
18. Januar 1930.



Photo 11. Versuchsterrassen Geschiner Galen.  
Terrasse ganz im Hang (rechts), Terrasse ganz aus dem Hang (links).  
21. März 1930.

Tafel VII.

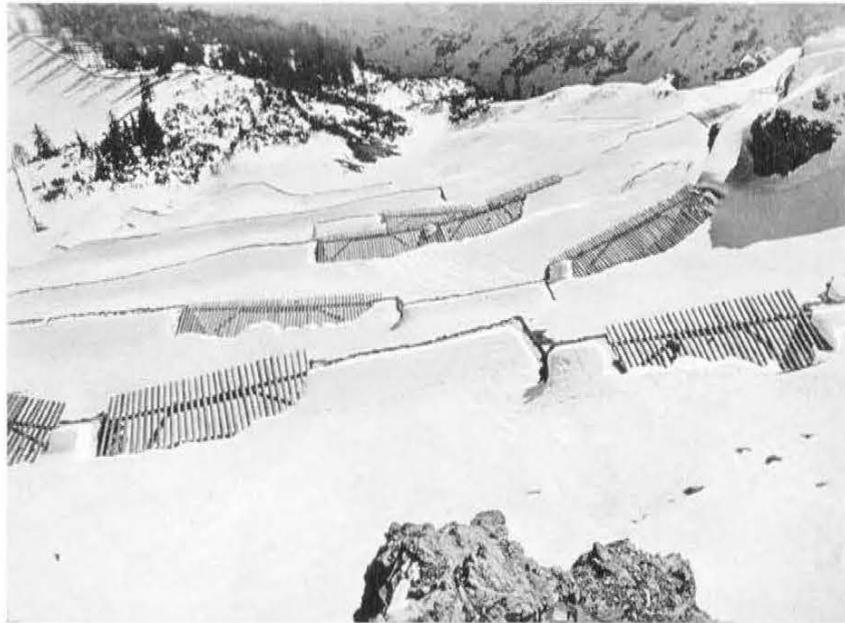


Photo 12. Schneebrücken am Schiahorn.  
Frühzeitig ausgeaperte Schneebrücken können Spätschneeablagerungen festhalten.  
5. Februar 1930.



Photo 13. Schneerechen den Mauern aufgesetzt, werden spät eingeweht  
und können Spätschneeablagerungen stützen.  
Verbauung Muot 4. Februar 1930.

geringen Schneedecke erwärmen sich Stein-, Holz- und Eisenbauten durch die Sonne; damit schmilzt an diesen Stellen — wir nennen sie Schmelzhöfe — der Schnee frühzeitig. Von hier aus nimmt das Schmelzen seinen raschen Fortgang.

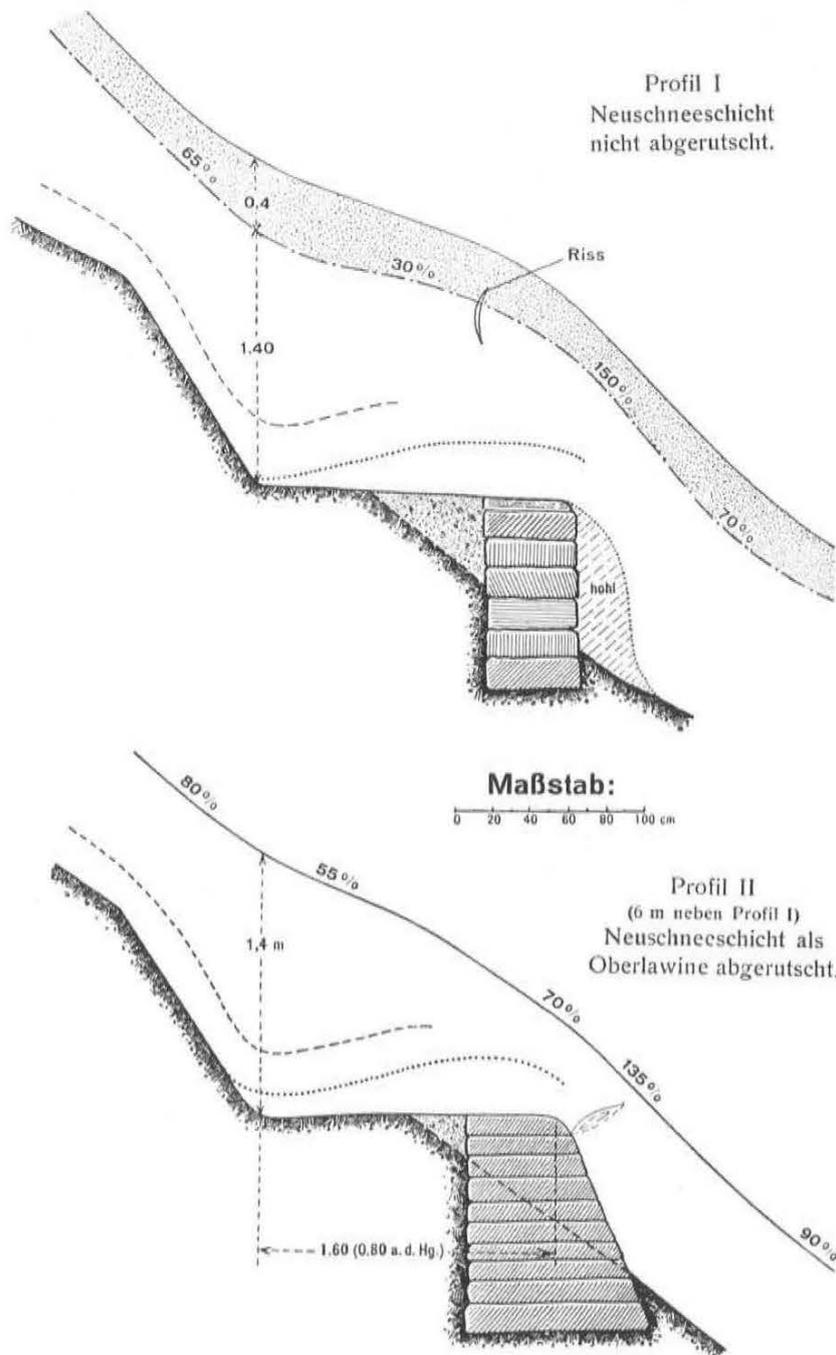


Fig. 33. Eingeschnittene Terrasse an der obern Waldgrenze. „Läubje“, 2000 m ü. M.  
1. April 1930.

Die wichtigsten Faktoren beim Ausapern im Frühling sind jedoch *Föhn und Regen*. Vorerst verursachen diese ein starkes Zusammensintern des Schnees. Bei anhaltendem Regen im Frühling durchdringt dieser die gesamte Schneedecke und löst dadurch die größten Schneemengen samt den verfirnten Schneekörnern auf.

Am raschesten apern die Verbauungen aus, die an der *Sonnenseite* bis in Höhen von 2000 m ü. M. außerhalb des Waldes gelegen sind. Je steiler der Hang ist, um so früher sind auch die Bauten den Winter über nach jedem Schneefall sichtbar. Von den Verbauungen auf gleicher Talseite werden jene im Wald ungefähr 15 Tage (Mitte April) später schneefrei als jene außerhalb des Waldes. Auch den Winter über apern die Bauten im Wald in der Regel nicht so stark aus wie jene außerhalb. Im Winter 1928/29 (vgl. Tab. 2) war auf dem Sonnseitengang (Goms) die Schneedecke schon vor dem 20. Mai bis über 1900 m ü. M. verschwunden, während sie am *Schattengang* eine Woche später noch bis 1800 m hinab eine zusammenhängende Decke bildete. Während am 20. Mai auf dem Sonnenhang bei 1900 m eine prächtige Frühlingsflora von Krokus und Soldanellen blühte, war diese am Schattengang erst auf 1450 m anzutreffen. Nach den Beobachtungen von 1927 bis 1936 verschwindet die Schneedecke an den Schattenhängen im Goms 15 bis 30 Tage später als an den Sonnenhängen. Bei gleicher Hangexposition steigt die Schneegrenze im Frühling im Goms in der Waldregion in 5 bis 10 Tagen um 100 Höhenmeter. An der obern Waldgrenze macht sie 25 bis 40 Tage halt, wo sie während eines Monats eine deutliche, unveränderte Grenze bildet. Von hier aufwärts macht die Schneeschmelze nur langsame Fortschritte. Oberhalb der Waldgrenze werden die Bauten am Schattengang (Nordhang) meist erst Ende Juni, also 1 bis 1½ Monate später, schneefrei, als auf gleicher Höhe am Sonnenhang. Gegenüber dem Aperwerden der Bauten auf den Sonnenhängen treten so Unterschiede von 2 bis 3 Monaten auf.

## VIII. Kapitel: Schutzbauten über der Waldregion.

Weitaus die meisten Lawinenabbrüche liegen über der Waldregion. Zur Hauptsache ist dies auf die Schneeablagerung durch den Wind zurückzuführen. Er spielt bei der Lawinenbildung die wichtigste Rolle; somit ist ihm auch bei den Verbauungen in erster Linie Rechnung zu tragen.

### 1. Die Schneeablagerung über der Waldregion.

Vom Herbst bis zum Frühling sind *über der Waldregion die Schneeverwehungen die Regel*. Die Geländeunebenheiten werden ausgeglichen, wobei der Schnee von den Erhebungen abgetragen und in die Vertiefungen eingewirbelt wird. Wie die Hauptwinde für die Schneehöhen in ganzen Gegenden bestimmend sein können, sind es die Lokalwinde für kleine Gebiete. Von der Luvseite (Stoßseite) wird der Schnee auf die Leeseite (Windschattenseite) transportiert. Mulden, Gräben und Vertiefungen im Hang haben Leeseite-Charakter; dementsprechend ist dort die Schneehöhe stets größer als auf Kreten, die Luvseite-Charakter aufweisen. An mehr gleichmäßigen Hangpartien wechselt der Charakter von Luv und Lee nach der Windrichtung und

so auch die Schneehöhe und -lagerung. Ueber der Waldregion schwanken somit auf kleinen Entfernungen die Schneehöhen gewaltig und werden durch Geländeform und Wind stärker beeinflusst als durch die Höhe über Meer.

Fig. 34. Versuchsbauten.  
Geschiner Galen, 2000 m ü. M.  
Terrassenbreite 2 m.

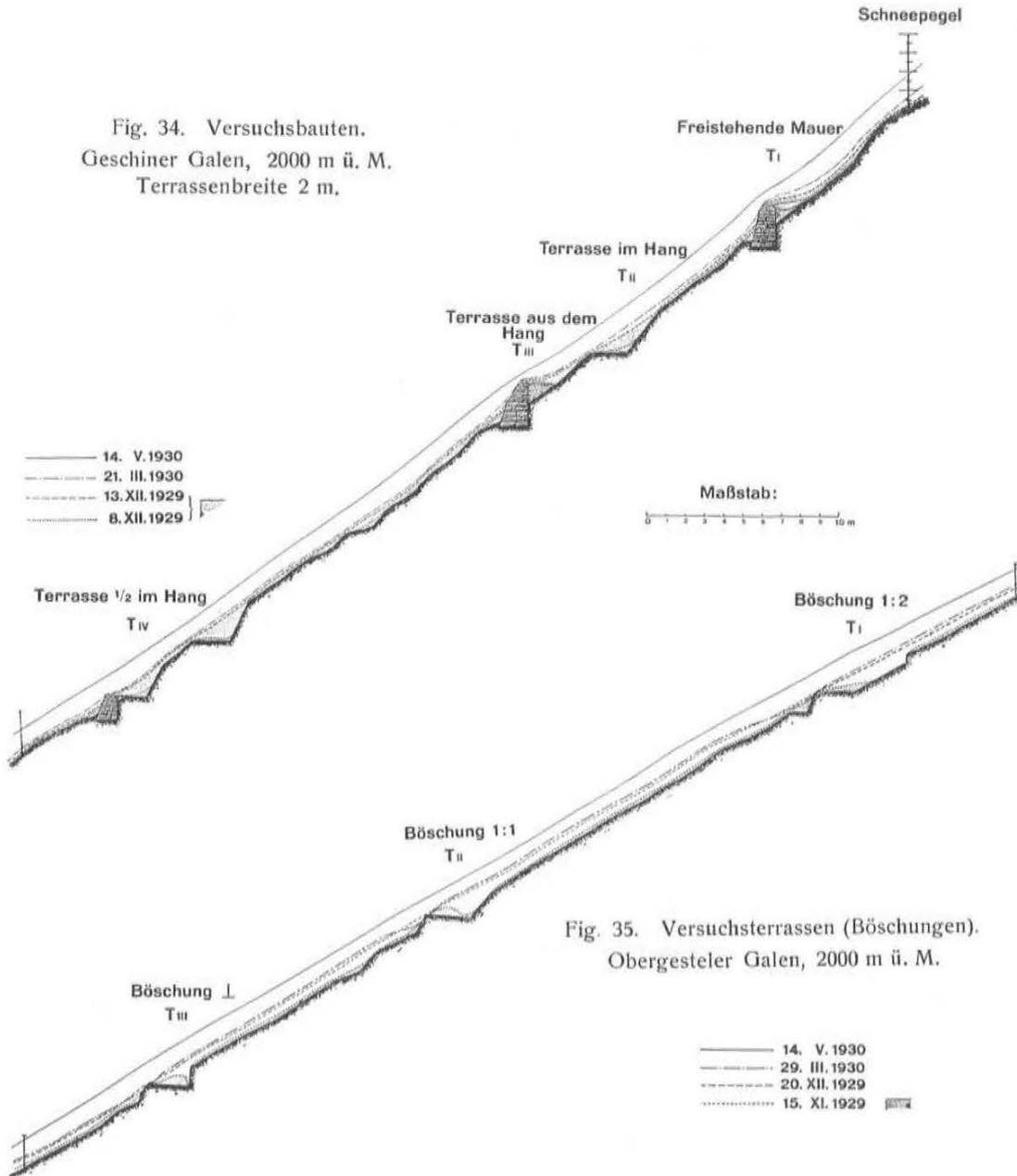


Fig. 35. Versuchsterrassen (Böschungen).  
Obergesteler Galen, 2000 m ü. M.

14. V. 1930  
29. III. 1930  
20. XII. 1929  
15. XI. 1929

## 2. Versuchsbauten.

Um die Schneeablagerung auf verschiedenen Typen von Verbauungsterrassen zu untersuchen, erstellten wir im Herbst 1929 am Geschiner Galen an der Waldgrenze auf 2000 m ü. M. verschiedene Versuchsbauten (siehe Fig. 34 und Photo 11).

Bei diesen Bauten wurde die horizontale Stützfläche überall 2 m breit gemacht. Bei der obersten Baute, freistehende Mauer (T. I), betrug die Entfernung von der vordern Mauerkante bis zum Hang horizontal gemessen 2 m. Die ganze Stützfläche lag also außerhalb der Hanglinie. Terrasse II wurde derart gebaut, daß die ganze Breite von 2 m *im Hang* lag. Bei Terrasse III ragte die ganze Breite von 2 m *aus dem Hang* heraus. Die Stützfläche von Terrasse IV wurde *zur Hälfte im Hang, zur Hälfte außer dem Hang* angelegt.

Bei diesen Versuchsterrassen konnte im Winter 1929/30 und in den folgenden festgestellt werden, daß Terrasse II, die *ganz im Hang* liegt, schon am 13. Dezember vollständig eingeweht war; dabei betrug die Schneehöhe 30—40 cm. An der hintern Böschung war der Schnee 120 cm hoch, am vordern Rand der Terrasse 15 cm. Die Oberfläche des Schnees auf der Terrasse wies die gleiche Neigung auf (68 %) wie der Hang. Gegen weitere Schneeablagerungen auf dieser Fläche hatte die Terrasse also ihr stützende Wirkung verloren. Schon bei der Besichtigung vom 8. Dezember 1929 hatte sich der Schnee auf dieser Terrasse stärker abgelagert als auf den andern, und zwar so, daß hinten auf der Terrasse, die am meisten im Hang lag, auch die stärkste Schneeablagerung stattfand. Die Schneeanhäufung erfolgte ähnlich wie in einer Mulde, in die der Schnee von allen Seiten eingeweht wird.

Bei den Bauten, deren Stützflächen *zum Teil aus dem Hang* (Fig. 34, T. IV) herausgebaut waren, erfolgte die Schneeablagerung etwas günstiger. Auch hier fand sich die größte Schneeablagerung hinten auf der Terrasse, die am tiefsten im Hang lag. Schon nach den ersten Schneefällen war dieser Teil der Terrasse vollständig eingeweht, der aus dem Hang hinausgebaute Terrassenteil hingegen wenig bedeckt. Ebenso war über dem Fundament die Terrassenmauer eingeweht, die Mauerkrone schneefrei. Bei den spätern Schneefällen wurde auch diese Terrasse vollständig eingeweht und als solche nicht mehr erkennbar.

Terrasse III, *ganz aus dem Hang* herausstehend, verhielt sich wesentlich besser. Schon die erste Schneeablagerung war geringer als auf den andern. Da die Terrasse aus dem Hang herausragte, wurde der Schnee eher von der Terrasse fortgeweht. Hinten gegen die Böschung lag anfangs gleichviel oder teilweise weniger Schnee als in der Terrassenmitte. Hier hatte sich der Schnee infolge der Gegenwirbel an der Böschung angehäuft. Vorn wurde der Schnee wie auf einer windexponierten Kante stets fortgeblasen. Im Dezember 1929, als die ganz im Hang liegende Terrasse (T. II) vollständig zugeweht war, wies T. III auf der halben Terrassenbreite noch eine annähernd horizontale Stützfläche auf. Der später abgelagerte Schnee kam auf einen ebenen Boden zu liegen und konnte nicht abrutschen.

Während des Winters aperten die Versuchsterrassen vorübergehend aus (Photo 11); am 21. März 1930 war die Terrasse II (ganz im Hang) vorne nur auf einer Breite von 60 cm ausgeapert, und die Altschneeoberfläche auf der Terrasse wies nahezu die gleiche Neigung auf wie der Hang. Der Neuschnee lagerte also auf einer stark abfallenden Unterlage und wurde vorn nur durch eine schmale Terrasse (60 cm) gestützt. Dementsprechend verlief auch die Neuschneeoberfläche parallel zum Hang und Spätschneefälle konnten kaum mehr gehalten werden. Wesentlich günstiger verhielt sich Terrasse III (ganz aus dem Hang, vgl. Photo 11). Der Neuschnee kam auf eine kleinere und zudem weniger geneigte Altschneeoberfläche zu liegen und wurde von der auf 1,5 m tief, von vorn und von oben ausgeaperten

Terrasse aufgenommen. Die Neuschneeoberfläche wies eine flache Neigung auf, so daß der Spätschnee hier nicht abrutschen konnte.

Um die *Wirkung der hintern Terrassenböschung* auf die Schneeablagerung zu verfolgen, wurden auf dem Obergesteler Galen im Herbst 1929 drei Versuchsterrassen von 2 m Breite erstellt (Fig. 35). Bei Terrasse I betrug die Böschung 1:2, bei Terrasse II 1:1 und bei Terrasse III war sie senkrecht.

Die erste Schneeablagerung von 15–20 cm erfolgte je nach der Terrassenböschung verschieden. Alle Terrassen wurden vorne schneefrei geweht, da annähernd die Hälfte der Terrassenbreite außerhalb des Hanges lag. Bei Terrasse I (Fig. 35), Böschung 1:2, lag am 15. November 1929 am meisten Schnee (40 cm) hinten am Fuße der Böschung. Die Schneeoberfläche verlief geradlinig von der Terrassenkante mit ungefähr 20 % Steigung an die Böschung. Der Wind strich quer zur Terrasse der flachen Böschung entlang aufwärts und ließ den Schnee an der tiefsten Stelle wie in einer Mulde liegen. Der einspringende Winkel war zu stumpf, als daß sich starke Gegenwirbel gebildet hätten, um den Schnee wie auf Terrasse II und III abzulagern. Auf Terrasse II, 1:1, hatte sich ungefähr in der Terrassenmitte am meisten Schnee abgelagert (50 cm). Direkt am Fuße der Böschung lagen höchstens 10 cm Schnee. Bei Terrasse III mit senkrechter Böschung erfolgte die Schneeablagerung ähnlich wie auf Terrasse II, jedoch mit dem Unterschied, daß die größte Schneeablagerung von 60 cm näher an der Böschung erfolgte; eine Anwehung an diese fand nicht statt, sondern es entstand ein Hohlraum, der den ganzen Winter über erhalten blieb.

Bei der Besichtigung am 20. Dezember 1929 waren alle drei Terrassen vollständig eingeweht. Die Schneeoberfläche verlief geradlinig über alle Terrassen und blieb so während des ganzen Winters. Unterschiede in der Wirkung der verschiedenen Böschungen konnten nicht mehr festgestellt werden.

### 3. Das Einwintern.

Wenn die Versuchsterrassen, die ganz im Hang liegen, frühzeitig vom Schnee eingedeckt werden, verschwinden naturgemäß auch die *Gräben* zuerst unter der Schneedecke. Gräben von 50/50 cm sind oft schon bei mittlern Schneehöhen von nur 20 cm eingeweht und damit nicht mehr sichtbar. Später sich bildende Schneeschichten kommen auf eine glatte, zum Hang parallele Schneeoberfläche zu liegen und werden somit nicht mehr gestützt. Gleichzeitig mit den Gräben verschwinden auch die in den Hang eingebauten *Bermen* unter der Schneedecke. Hier lagern sich wiederum die spätern Schneeschichten parallel zum Hang, ohne von der Berme gehalten zu werden. Später als die aus dem Hang heraustretenden Terrassen werden jedoch die *steil hinterfüllten* und *freistehenden Mauern* eingeschneit. Erst die spätern Schneeablagerungen verringern die Stützfläche. Da die Mauern aus dem Hang heraustreten, wirken sie auf die Ablagerung wie Kreten, von denen der Schnee weggeweht wird. Je nach der Hauptwindrichtung, z. B. beim Streichen des Windes parallel zur Baute, wird diese hinten schneefrei geweht. In der Fortsetzung der Mauer kann sich jedoch eine Gwächte bilden. In Mulden, und da wo die Seitenflügel die Höhe der eigentlichen Mauer erreichen, wird der Schnee weniger fortgeweht, und die Baute ist rascher eingedeckt. Die Versuchsmauer auf dem Geschiner Galen (T. I, Fig. 34) wurde frühzeitig durch Verwehungen in der Gefällsrichtung

des Hanges mit Schnee hinterfüllt. Es bildete sich auf der Bergseite der Mauer durch Gegenwirbel auf ungefähr einem Drittel der Mauerlänge ein Hohlraum. Dieser blieb den ganzen Winter über bestehen und verschwand dann allmählich infolge der langsamen Bewegung der Schneedecke. Schon im Dezember überspannte ihn eine Schneeschicht, und so war der Verlauf der Schneeoberfläche gleich wie bei der aus dem Hang herausstehenden Terrasse III (Fig. 34).

Die *Schneebrücken* werden bei Schneeverwehungen viel weniger eingedeckt als die massiven Bauten aus Stein oder Erde, da sie für die Schneeablagerung keine zusammenhängende Fläche aufweisen und der Schnee zwischen den Hölzern durchgeweht wird. Der Abstand der Querhölzer soll größer sein als ihre doppelte Dicke.

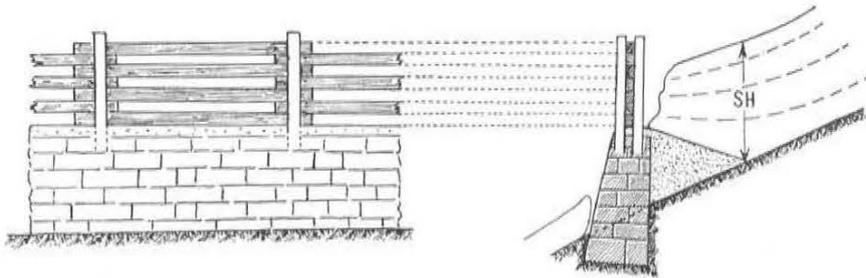


Fig. 36. Schneezaun. Niesen, 13. Februar 1930.

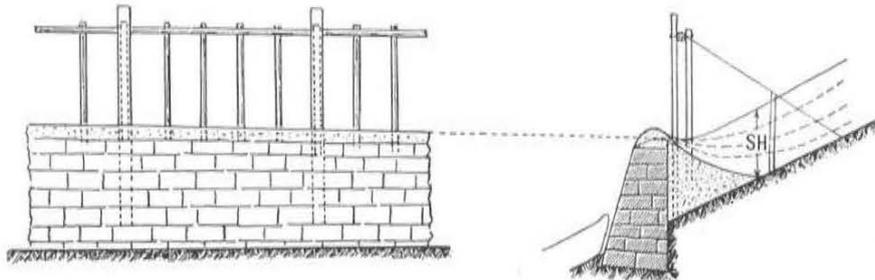


Fig. 37. Schneerechen. Muot, 4. Februar 1930.

Trockenschnee haftet weniger leicht als Naßschnee, zudem weniger an trockenen als an nassen Querhölzern. Erst bei großem Schneefall ohne Wind bildet sich über den Querhölzern allmählich eine zusammenhängende Schneedecke. Fällt wenig Schnee auf einmal, so schmilzt er bei sonniger Exposition meist zwischen zwei Schneefallperioden wieder weg. Die Holz- oder Eisenpartien erwärmen sich besonders rasch, wenn sie dunkel angestrichen sind, und es beginnt ein Abschmelzen von unten. Die Schneeanhäufung auf den Schneebrücken ist viel geringer als auf den Terrassen (vgl. Photo 12). Da die erstern den Neuschnee meist auf einer horizontalen, apert Stützfläche aufnehmen können, ist ihre Wirkung besser und im Winter von längerer Dauer als bei massiven Stein- und Erdbauten.

Am wenigsten von den üblichen Bautypen werden die *Schneerechen* eingeweht. Ein Einwehen wie bei Terrassen und Mauern tritt nicht ein, da der Wind, wenn die

Abstände zwischen den einzelnen Stäben und Pfählen groß sind, unbehindert vorbeistreichen kann, und die Schneeablagerung wenig beeinflusst wird (Fig. 37 und Photo 13). Die Schneerechen, die aus der Hanglinie herausragen, werden wie unbeastete Baumstämme eher vom Schnee freigeweht. Er lagert sich bei aufrechten Pfählen hinter und vor diesen meist in schmalen Streifen ab, dazwischen wird er weggewirbelt. Die Pfähle verschwinden erst dann unter der Schneeoberfläche, wenn die Schneehöhe überall in der Umgebung gleich der Pfahlhöhe, d. h. gleich der Mauer- und Pfahlhöhe, wird. Die der Mauer aufgesetzten Schneerechen haben somit als Bauten ihre besondere Bedeutung für das Stützen der obersten Neuschneeschichten, wenn die Terrassen schon vollständig eingeschneit sind.

Rascher als die Schneerechen werden die *Schneezäune* eingeweht (vgl. hierüber auch das Kapitel «Versuchsbauten» im Abschnitt A «Schutzbauten gegen Schnee-Verwehungen»). Vor und hinter den horizontal gelegten, breiten Hölzern staut sich der Schnee, wodurch sie mit der Zeit vollständig hinterfüllt werden und die Wirkung gegen Oberlawinen verloren geht (vgl. Fig. 36).

Das Einwehen der Bauten ist naturgemäß nicht nur nach den einzelnen Bautypen verschieden, sondern hängt wesentlich von der *Hauptwindrichtung*, dem *Standort*, der *Bauhöhe* und auch von der *Länge* der Bauten ab. Auf hohen, kurzen Terrassen lagert sich vorerst weniger Schnee ab als auf hohen, langen, da die an den Mauerecken entstehenden Wirbel den Schnee mehr zwischen den Bauten ablagern.

Da wo die erste Schneeablagerung durch *Verwehungen parallel zu den Terrassen* erfolgt, wird der im Hang liegende Teil der Terrasse von der dem Wind zugekehrten Ecke aus nach und nach eingeweht. Die aus dem Hang liegenden, dem Wind zugekehrten Mauerecken der Terrassen und Mauern werden zum Teil vom Schnee freigeweht. Die Anhäufung erfolgt um so weiter von den Ecken weg, je größer die Windstärke ist, und je höher die Bauten sind. An den dem Wind abgekehrten hervorstehenden Mauer- oder Terrassenecken (bei hohen Bauten) können sich kleinere Gwächten bilden.

Erfolgt das Einwehen durch *Schnee-Verwehungen in der Fallrichtung des Hanges*, so werden wieder jene Stellen der Terrassen, die im Hang liegen, zuerst eingeweht. Auch wird die Terrasse oben, unter dieser Windwirkung, rascher von einer zusammenhängenden Schneeschicht überdeckt, als wenn die Verwehung von der Seite oder von vorne erfolgt. Selten bildet sich vorne an der Mauerkrone eine kleine Gwächte. Dies ist ausnahmsweise der Fall, wo die Mauer oben an einem Steilabsturz steht und der Schnee von einem flachen Hang her verweht wird.

Bei allen Beobachtungen über das Einwintern der Schutzbauten zeigte sich übereinstimmend, daß immer jene Stellen der Bauten, die im Hang oder in der Nähe der Gefällslinie des Hanges liegen, zuerst eingeweht werden und so die stützende Wirkung für höhere Schichten zuerst einbüßen. Je höher also die Bauten sind, desto länger wirken sie.

#### 4. Das Verhalten im Laufe des Winters.

Selbst in schneearmen Wintern kann es vorkommen, daß infolge starker Verwehungen größere Bauwerke und verbaute Hangpartien vollständig unter der Schneedecke verschwinden.

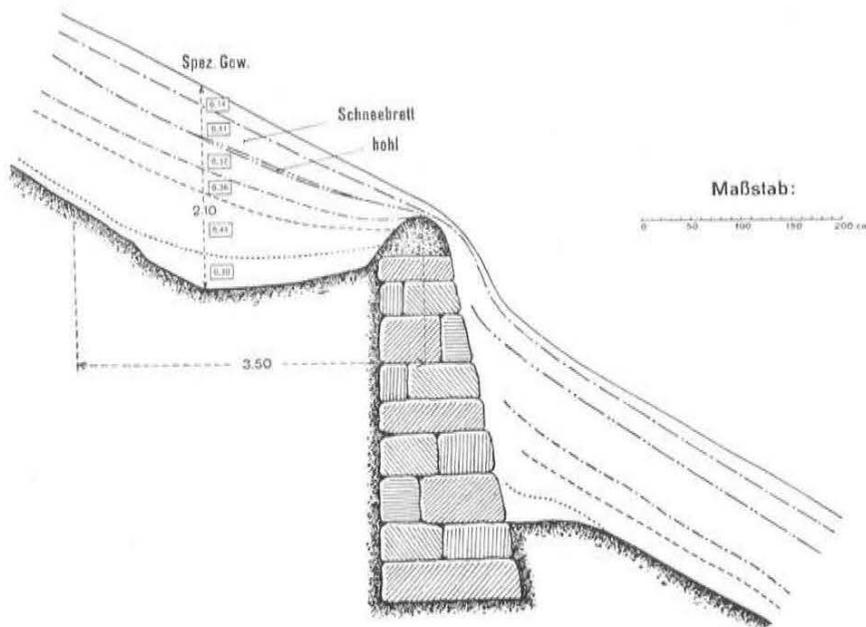


Fig. 38. Eingewehrte Mauerterrasse. Alpetta, 2230 m ü. M.  
30. Januar 1930.

Ein Profil durch eine *vollständig eingeschneite und eingewehrte Terrasse* zeigt uns Figur 38. Die einzelnen Schneeschichten sind deutlich feststellbar. Der Verlauf der untersten Schicht ist annähernd parallel zur Terrasse. Die nächste Schicht wird vorn von der Terrasse nur noch schwach gestützt. Die noch folgenden Schichten liegen auf einer schiefgeneigten Schneefläche, die annähernd gleich verläuft wie jene des unverbauten Hanges. Die zweitoberste Schicht besteht aus einem Schneebrett, das hohl aufliegt. Durch einen Schlag mit der Schneeschaufel brachen die beiden obersten Schichten miteinander ab.

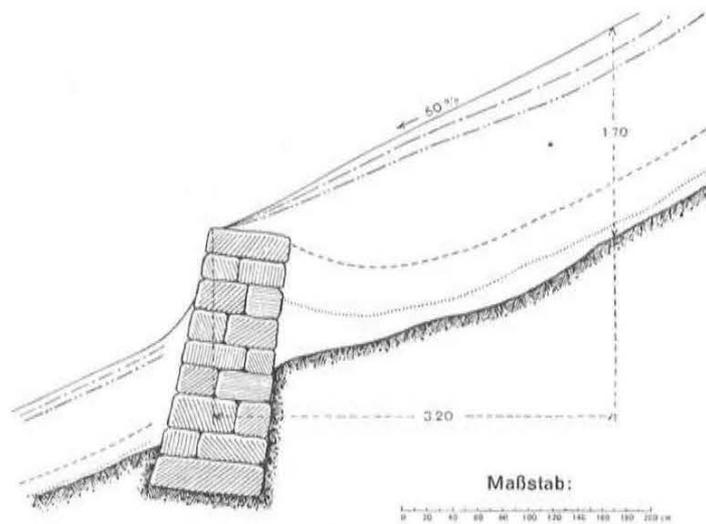


Fig. 39. Freistehende Mauer. Alp Grüm-Cavaglia, 2100 m ü. M. 21. Januar 1930.

In Figur 39 ist ein Profil durch eine mit *Verwehung eingeschnellte, freistehende Mauer* dargestellt. Bei den ersten Schneeablagerungen wurde der Raum hinter der Mauer aufgefüllt. Die Oberfläche war ungefähr horizontal. Jene der drittobersten, mächtigsten Schicht verläuft schon annähernd parallel zum Hang. Infolge starker Besonnung schmolzen die beiden obersten Schichten auf der Mauerkrone etwas zurück und werden nun durch diese gestützt. Die Schneeablagerung erfolgte bei starkem Wind, was an den Schneegängen der Schneeoberfläche gut feststellbar war. Der dichtgepreßte Schnee hinter der Mauer konnte sich nicht setzen, und somit war ein Nachbilden des Mauerprofils an der Oberfläche nicht möglich. Auch andere Profile zeigten, daß überall da, wo die obersten Schichten aus Schneebrettern bestehen, ein Nachbilden der Terrassen an der Schneeoberfläche auf längere Zeit nicht stattfindet.

Um das Setzen des Schnees und das *Nachbilden des Terrassenprofils* an der Schneeoberfläche zu verfolgen, wurden auf derselben Terrasse im Laufe des Winters periodisch Schneeprofile aufgenommen. Die Terrassenbreite betrug beim folgenden Beispiel einer Mauerterrasse auf dem Geschiner Galen (Fig. 40) 3,2 m. Davon lagen 2,5 m außerhalb der Hanglinie. Figur 40 zeigt das Profil am 15. Januar 1929. An den untersten vier Schichten lassen sich die Schneefälle bis Mitte Dezember erkennen. Vor dem vollständigen Einschneien Ende November vermochte die Mauerkrone nach jedem Schneefall wieder auszuapern. Durch den Druck des Dezemberschnees hatte sich jedoch besonders hinten an der Böschung, wo am meisten Schnee lag, dieser am stärksten gesetzt und das Terrassenprofil nachgebildet. Die Neigung der Schneeoberfläche, die hier ursprünglich 90 % betrug, sank auf 50–60 %. Der Dezemberschnee haftete auf dieser stark geneigten, zusammenhängenden Schneeschicht nur noch durch Adhäsion, da die Schneeschichten vorn an der Terrasse nicht mehr gestützt wurden.

Figur 41 stellt das Profil auf derselben Mauer am 22. März 1929 dar. Die verschiedenen Schichten, die im vorigen Profil den einzelnen Schneefällen entsprachen, konnten nicht mehr einzeln auseinandergehalten werden. Da der Schnee vom Regen durchnäßt worden war, hatten sich neue Schichtgrenzen gebildet. Da und dort ließen Eisbänder den frühern Schichtenverlauf vermuten, jedoch sehr unvollkommen. Die Mauerkrone war infolge Besonnung aper; dahinter entstand eine Schneeaböschung von 110–130 %. Ueber der Mitte der Terrasse wies die Schneeoberfläche eine Neigung von 70–80 % auf, war also seit Januar steiler geworden. Weder an der Schneeoberfläche noch in den tiefer liegenden Schichten fand also ein deutliches Nachbilden des Terrassenprofils statt. Die allgemein höhern spezifischen Gewichte im Märzprofil weisen auf das Zusammensintern der Schneedecke hin, was besonders durch starke Wasseraufnahme (Regen) zustande kam. Die größte Schneehöhe ist vom 15. Januar bis 22. März 1929, also in 66 Tagen, von 240 cm auf 135 cm zusammengesintert. Das spezifische Gewicht der obersten Schicht stieg von 0,21 auf 0,5, also um mehr als das Doppelte. In der untersten Schicht hat jedoch der Altschnee nur von 0,35 auf 0,47 zugenommen.

Figur 42 zeigt uns die Mauerterrasse am 29. Mai 1929 stark ausgeapert. Im Profil sind wieder verschiedene Schichtgrenzen erkennbar; sie entsprechen aber nicht jenen vom Januar und März, sondern sind Eishorizonte, aus Schmelzwasser entstanden. Die Schneeoberfläche ist hier 100 % und mehr geneigt, also steiler als

in den obigen Profilen. Dies rührt vom Ausapern durch Sonnenwärme her. Das Abschmelzen der Schneedecke erfolgte nicht von der Oberfläche nach unten, sondern von der durch die Sonne am stärksten erwärmten Mauerkrone her nach hinten. In diesem Zustand bildet der Schnee auf der Terrasse als glatter, mit Harsch bedeckter Steilhang eine gefährliche Unterlage für nassen Neuschnee. Die Terrasse ist vorn auf 1,3 m ausgeapert und konnte also den Neuschnee teilweise stützen.

Im Sommer 1929 wurde obige Mauerterrasse um 1,5 m erhöht. So ragte die ganze Terrassenbreite von 4 m aus dem Hang heraus. Dadurch lagerte sich im Winter 1929/30 der Schnee auf dieser Terrasse weit günstiger ab. Am 2. April 1930 wies die Schneeoberfläche nur 40 % Neigung auf gegenüber 60—125 % im Vorwinter. Die Gefahr, daß Neuschneemengen auf dieser Fläche abrutschen, war also viel geringer. Tatsächlich brach die nasse Oberlawine vom 14. Mai 1930 *unter* dieser Mauer auf dem 60 % geneigten Steilhang über den vollständig eingeschneiten, niedern Terrassen ab. Ein Vorteil dieser neuen, steil hinterfüllten Terrasse ist auch der, daß sie mehr von der Schneeoberfläche nach unten, weniger als die alte, flach hinterfüllte, von der Mauerkrone nach hinten ausaperte. So entsteht vorne keine steile Schneeböschung, und die Gefahr für ein Abgleiten von Neuschnee ist geringer.

### 5. Das Ausapern.

Für die Wirksamkeit der Verbauungen über der Waldgrenze ist es sehr wichtig, daß die Bauten den Winter über nie vollständig eingeweht sind, oder wenigstens bis zu den großen Frühlingsschneefällen (März bis Mai) wieder soweit ausapern, daß sie Neuschneemengen stützen können. In den meisten Lawinenverbauungen im Goms (Oberwallis) zeigte sich in frühern Jahren das Fehlen solcher Bauten als großer Mangel. Die vielen, jedoch niedern, bis spät in den Frühling vollständig eingeschneiten Terrassen konnten nicht verhindern, daß nach großen Spätschneefällen ausgedehnte Oberlawinen abbrachen.

Das Ausapern der Bauten erfolgt, wenn die Schneedecke im Frühling von Schmelz- oder Regenwasser durchsetzt ist; gleichzeitig steigt die Temperatur in allen Schichten auf den Nullpunkt. Der Schmelzprozeß vollzieht sich sowohl an der Oberfläche, im Innern der Schneedecke, wie auch am Boden. An der Oberfläche wirken warme Winde, Verdunstung, Sonne und Regen. Im Innern der Schneedecke, wo vorwiegend das Schmelzwasser von oben her wirkt, findet auch durch Luftzirkulation ein starkes Schmelzen statt. Um hervorstehende Teile von Bauten entstehen sofort Schmelzhöfe, von denen ein Abschmelzen nach allen Richtungen erfolgt. Die Leitfähigkeit und die Farbe des Baumaterials haben bei warmer Luft einen starken Einfluß auf das Ausapern. Wie bereits erwähnt, apern Eisenstangen rascher aus als Holzstangen, Bauten aus Stein erwärmen sich rascher als solche aus Erde oder Rasen. So entstehen frühzeitig die für das Ausapern so wichtigen Schmelzhöfe. Da nichtverfirnte Kristalle und Kristalltrümmer leichter schmelzen als der verfirnte Altschnee und rascher Wasser liefern, das in den Firn hinabsickert und diesen auflöst, hilft Neuschnee Altschnee « verzehren », besonders wenn noch Regen hinzukommt. In den bodennahen Schichten wirkt die Erdwärme beim Schmelzen der Schneedecke mit. Wegen der großen Widerstandskraft des Bodeneises bleibt dieses zwar oft lange bestehen und verhindert das Eindringen der Bodenwärme in die

Fig. 40. Eingewehrte Mauerterrasse.  
 Geschiner Galen, 2280 m ü. M.  
 15. Januar 1929.

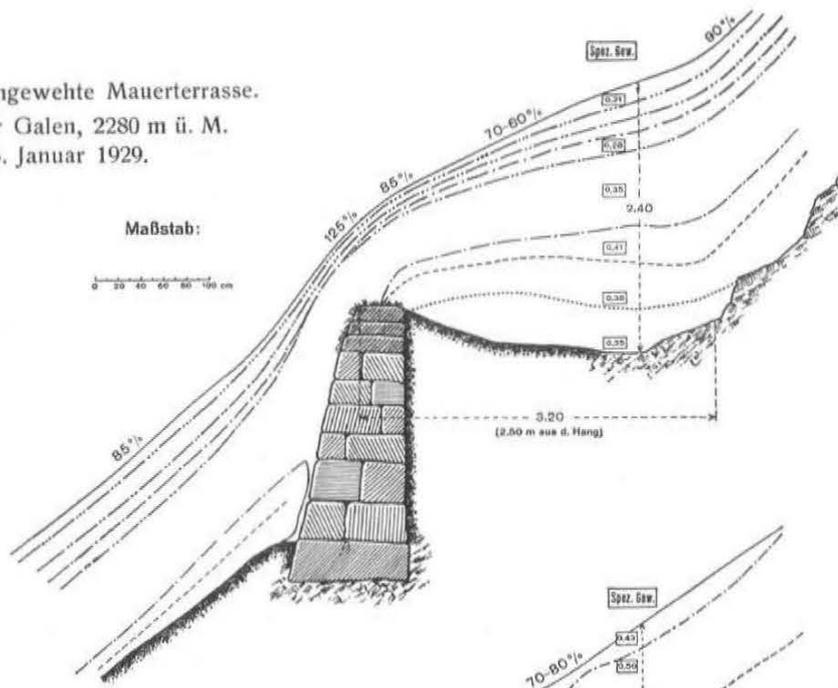


Fig. 41. Obige Mauerterrasse  
 beim Ausapern.  
 22. März 1929.

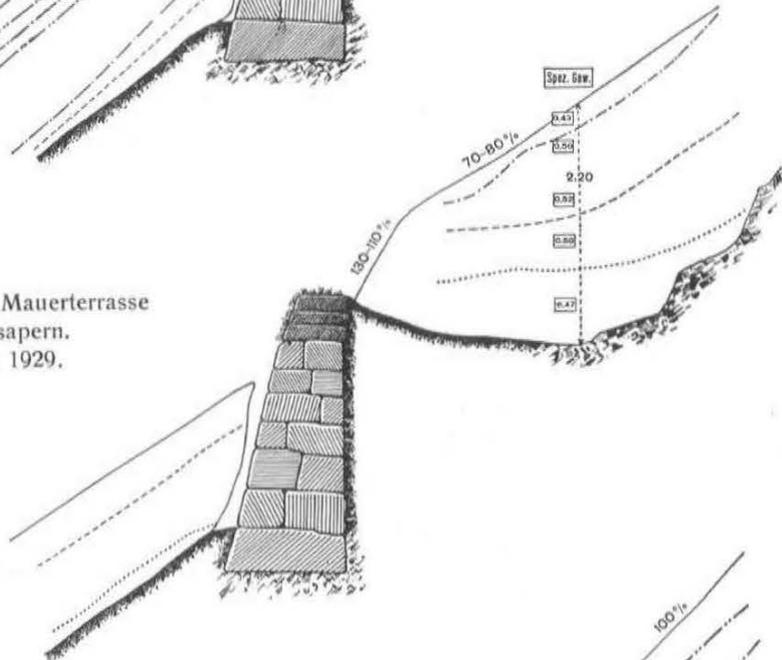
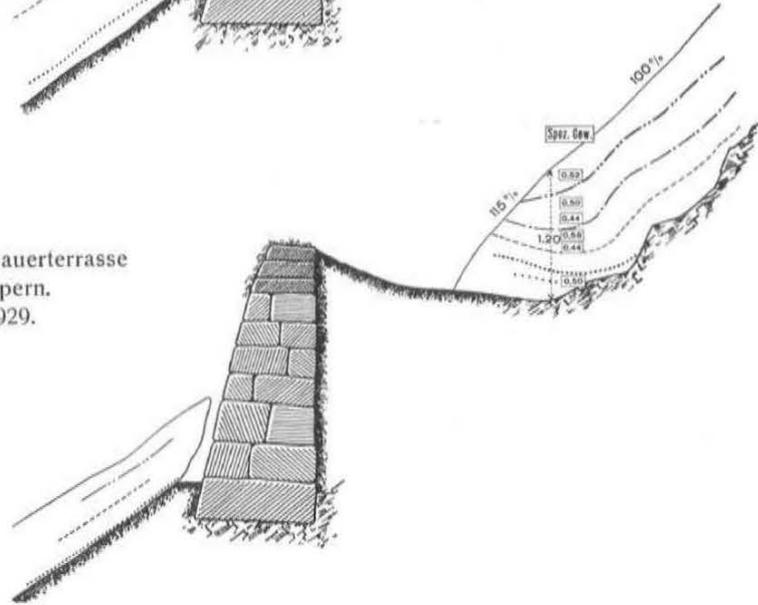


Fig. 42. Obige Mauerterrasse  
 beim Ausapern.  
 29. Mai 1929.



höhern, leichter schmelzbaren Schichten; und ähnlich wie das Bodeneis wirken auch die in der Schneedecke eingelagerten Eislamellen und Eisschichten. Ist hingegen bei ungefrorenem Boden *kein Bodeneis* vorhanden, beginnt auch vom Boden her ein rasches Apern. Die warme Luft steigt in die verzweigten Luftkanäle und schmilzt den Firn auf großer Fläche. Beim geneigten Boden frißt das über dem Boden abfließende Sickerwasser an den untersten Schneeschichten, sofern es nicht durch Temperatursenkungen zu Eis gefriert und dann das Abschmelzen verzögert.

Bei den *Terrassen* beginnt das Ausapern an der vordern Kante und an den Mauerecken. Die aus dem Hang herausgebauten Terrassenteile, auf denen sich wenig Schnee ablagert, apert, wie bereits erwähnt, früher und rascher aus als die im Hang liegenden. So war z. B. Versuchsterrasse III (Fig. 34, Photo 11), die aus dem Hang herausgebaut wurde, vor dem 21. März 1930 so ausgeapert, daß der Neuschnee auf eine zu vier Fünftel apere Terrasse fiel, während Versuchsterrasse II, die ganz im Hang liegt, nur um ein Drittel ausgeapert war.

Bei den *freistehenden Mauern* und steilen Böschungen an sonnigen Steilhängen ist häufig zwischen Schnee und Mauer ein Hohlraum anzutreffen, von wo aus die Schneedecke zurückschmilzt. Da wo die Mauerkrone mit Steinplatten abgedeckt ist, apert diese rascher aus als bei Rasenbedeckung. Das vollständige Abschmelzen der großen Schneedecke im Schatten hinter der Mauer erfolgt erst spät.

*Schneerechen* und *Schneezäune* beginnen selbst am Schattenhang schon im Winter, wenn die Lufttemperatur für kurze Zeit über  $0^{\circ}$  steigt, auszuapern. Die Aufsatzbauten aus Eisen oder Holz beschleunigen das Aperwerden der Bauten wesentlich, besonders wenn sie schwarz gestrichen oder karbolinisiert sind. Dadurch behalten sie ihre Wirkung auf das Zurückhalten des Schnees bis im Frühling fast ununterbrochen und ungeschwächt bei.

Rasch apert ebenfalls *Schneebrücken* aus, ein Hauptvorteil dieses Bautypus. Selbst bei Lufttemperaturen unter  $0^{\circ}$  erwärmt sich das Holz bei der Besonnung, so daß der Schnee, wo er mit dem Holz in Berührung kommt, abschmilzt. Da die Winde unter der Schneebrücke vorbeistreichen können, wird das Abschmelzen auch hier beschleunigt.

---

## Zusammenfassung und Schlußfolgerungen.

Die *Schneehöhenmessungen* zeigten, daß in 24 Stunden ruhigen Schneefalls sich bis 140 cm und mehr Lockerschnee (Wildschnee) aufschichten kann. Die Zunahme der Gesamtschneedecke mit zunehmender Höhe über Meer und die größte Schneehöhe infolge der Spätschneefälle im Frühling muß beim Verbau im Lawinenabbruchgebiet durch höhere Bauten Berücksichtigung finden. Der entsprechend starken Schneeschmelze im Vorfrühling ist durch mehrfache Entwässerung der Bauten in hohen Lagen Rechnung zu tragen. (Entwässerung der Fundamente, der Hinterfüllung seitlich und durch Kanäle in den Mauern.) Da auf die Schneehöhe die orographischen Verhältnisse: Wald, offenes Gelände, Sonnen- und Schattenhang, Exposition nach Haupt- und Lokalwinden, wichtiger sind als die Höhe über Meer, sind besonders über der Waldgrenze bei der Anlage von Schutzbauten am meisten die großen Schneehöhen in Mulden und Leeseiten (Schneeverwehungen) zu berücksichtigen.

Die Untersuchungen der *Zusammenhangskräfte* des Schnees zeigen, daß nicht nur der Zusammenhang in den einzelnen Schneearten und -schichten verschieden ist, sondern daß besonders auch die einzelnen Schichten der Schneedecke sehr ungleich aneinander haften. Dementsprechend können wir Lawinen unterscheiden, die infolge geringen Zusammenhangs *in den einzelnen Schichten* entstehen (Kohäsionslawinen), und solche — der Großteil der Lawinen —, die infolge geringen Zusammenhangs der *Einzelschneeschichten aneinander* oder *am Boden* abbrechen (Adhäsionslawinen). Erstere können bis jetzt im Abbruchgebiete noch nicht vollständig verbaut werden. Sie sind wohl verhältnismäßig selten, aber meist verheerend, da sie ungewohnte Bahnen nehmen. Zur Verhinderung der Schichtabbrüche (Schichtoberlawinen) sind die Bauten so hoch zu erstellen, daß möglichst alle Schneeschichten gestützt werden, was durch Aufsatzbauten auf Mauern und Terrassen erreicht wird. Niedere Bauten können wohl den Abbruch von Grundlawinen verhüten, nicht aber den von Oberlawinen, die nach kurzer Sturzbahn zu Grundlawinen werden können.

Da die Schneedecke in der Regel keine homogene Schicht darstellt und der Druck der obern Schneeschichten mit einer starken Komponente in der Hangrichtung erfolgt, müssen die Mauerkrone solid gebaut (zum Schutze zweckmäßig mit Rasenziegeln abgedeckt) und die Aufsatzbauten stark verankert werden. Um dem Druck der tiefen Schneeschichten und des « kriechenden Schnees », besonders bei ungefrorenem und beim Frühlingsschnee, besser widerstehen zu können, werden die Mauern nebst guter Fundierung zweckmäßig steil hinterfüllt. Die exponierten Mauercken sind rückwärts mit Flügelmauern zu versehen. Der Abbruchgefahr, besonders bei der Frühlingsschneedecke wegen der Sickerwasser- und Luftkanäle, die durch einzelne Schneeschichten und später durch die ganze Schneedecke führen, ist im Lawinenabbruchgebiet nur mit hohen, terrassenartig angelegten Bauten zu begegnen, die noch im Frühling den Schneehang an der Oberfläche unterbrechen und das Abbruchgebiet unterteilen.

In den Lawinenverbauungen verursachen die *Veränderungen der Schneeoberfläche* bei vollständig eingeschneiten Bauten große Lawinengefahr. Die bedeutendsten Veränderungen durch Wind zeigen die Schneebretter und Schneesäcke, in denen Oberflächenspannungen auftreten, die Schichtoberlawinen zur Folge haben können. Diese Bildungen sind wieder durch hohe Aufsatzbauten besonders in Mulden zu vermindern, indem dann nur kleine Schneebretter zwischen den Bauten entstehen. Die wichtigsten Windbildungen sind die Gwächten, zu deren Verhinderung oder wenigstens Verminderung besondere Bauten erstellt werden müssen. Sonnen- und Regenharsch besitzen eine glatte und harte Schneeoberfläche, auf der der Neuschnee als ausgedehnte Oberlawine abrutschen kann, wenn die Hangneigung nicht durch Bauten wesentlich vermindert wird.

Unter den *Veränderungen in der Schneedecke* kommt in den Lawinenverbauungen besonders dem Setzen des Schnees und der Schichtenbildung große Bedeutung zu. Bei kaltem Wetter und starker Schneebrettbildung setzt sich im Laufe des Winters der Schnee durch das Eigengewicht nur wenig. Dies trifft besonders zu bei vereistem Windharsch und Schneebrettern, die in der Schneedecke zu Eisplatten umgebildet worden sind. Bei kleinen Bauten bleibt somit die mit dem Berghang parallele Schneeoberfläche bis zur Schneeschmelze im Frühling bestehen; sie können folglich die spätern Schneeablagerungen auf der schiefen Fläche nicht mehr stützen. Infolge der *Schichtung* liegt die Schneedecke den Bauten nicht als homogene Decke auf, sondern in Einzelschichten, die gestützt werden müssen. Besonders ungünstig sind die Schichtgrenzen, die Wasser führen und ein Abgleiten der obern Schichten begünstigen.

Unter den *Schneeneubildungen* hat der grobkristalline Firnschnee (« Schwimmschnee ») meist gegen den Frühling als Gleitschicht Bedeutung besonders in Bodennähe. Wird die Schneedecke am Steilhang nicht gestützt, kann sie als « Kriechschnee » im Frühling an Pflanzungen großen Schaden anrichten.

Die Beobachtungen über die *Schneeverwehungen* zeigen, daß diese in den Wintermonaten in Verbauungen über der Waldgrenze die Regel bilden. Mehr oder weniger wird jeder Schnee schon beim Fallen oder nachträglich verweht. Daraus ergeben sich besonders in Mulden und auf Leeseiten große Anhäufungen und verschiedene Schichtüberlagerungen; um sie zu sichern, sind den massiven Stein- und Erdbauten Eisen- oder Holzkonstruktionen aufzusetzen. Um die Schneeablagerung an den gewünschten Stellen zu begünstigen, wirken Bretterwände und dichte Schneezäune gut. Will man hingegen die Schneeablagerung bei Verwehungen möglichst wenig beeinflussen, so daß z. B. die Aufsatzbauten auf Mauern und Terrassen nicht oder möglichst schwach eingeweht werden, dann ist den Schneerechen gegenüber den Schneezäunen der Vorzug zu geben.

Die Ergebnisse der Versuche auf Saflisch zur *Verhinderung der Gwächtenbildung mit Gitteranlagen* und zur Schneeablagerung vor dem Steilhang, sind zusammengefaßt folgende:

1. Die Farbe der Gitter, ob hell oder dunkel, übte auch am Sonnenhang auf die Dauer keinen Einfluß auf die Ablagerung aus.
2. Die Maschenweiten von 4—30 mm wirkten sich im Laufe des Winters nicht wesentlich verschieden aus. Bei Verwehungen von sehr feinem Schnee war festzu-

stellen, daß das feinmaschige Gitter eher als eine Wand wirkte. Bei längern Verwehungen fror der Schnee aber auch am grobmaschigen Gitter an, so daß dieses ähnlich wirkte. Immerhin lagerte sich der Schnee am Gitter gleichmäßiger und näher ab, luv- und leeseits jedoch auf weitere Entfernung als bei einer Wand. In der Praxis ist dem grobmaschigen Geflecht mit seinem dickern Draht wegen der Dauerhaftigkeit der Vorzug zu geben.

3. Auf Saflisch vermochte die 2 m hohe Gitterwand in 0—2 m Entfernung vom Steilabsturz die Gwächtenbildung nicht zu verhindern.

4. Die zwei parallel in 10 m Abstand gestellten 2 m hohen Gitterwände konnten in zwei Wintern die Gwächtenbildung verhindern. Die Schneeablagerung erfolgte hauptsächlich vor und zwischen der Anlage. Sehr günstig wirkten die mit 10 m Abstand erstellten Querverbindungen, welche ein Auswehen des Schnees bei seitlichen Winden verringerten.

Im dritten Winter genügte die obige Anlage gegen die heftigen Verwehungen nicht mehr. Sie wurde Ende Februar vollständig mit Schnee eingedeckt. In der Folge bildete sich eine Gwächte, jedoch von bedeutend geringerer Höhe als vor Erstellung der Schutzbauten.

Für den vierten Winter wurden drei parallele, 2 m hohe Gitterwände in 10 m Abstand wiederum mit rechtwinkligen Querwänden erstellt, und die Mittelwand mit Jutegeflecht um 2 m auf 4 m erhöht. Trotz den äußerst heftigen Verwehungen und Stürmen, die das Jutegeflecht zum Teil auf 3 m herunterrissen, entstand keine Gwächte.

5. In bezug auf die Anordnung der Gitter erwies sich die fachwerkartige Anlage am wirksamsten, während der lineare und gestaffelte Verbau ohne Querverbindungen nicht genügten.

6. Obschon der Schnee nach bestimmten Gesetzen an den Schutzbauten abgelagert wird, gelang es nicht, die Gitter so zu stellen, daß die Schneeablagerung nur an den gewünschten Stellen erfolgte, da im Laufe des Winters Schneebeschaffenheit, Windstärke und namentlich Windrichtung wechseln und damit auch die Schneeablagerung stark beeinflußt wird. Nur beim Verbau in *Bogenform* gegen die Gwächte, in der Steilmulde hinter dem Plateau auf Saflisch, konnte im Winter 1936/37 bewirkt werden, daß bei allen Verwehungen von S bis N der Schnee fast ausschließlich an den gewollten Orten, zu beiden Seiten der Anlage, abgelagert wurde.

7. Wie im Goms fanden auch hier die kritischen Verwehungen, die durch die teilweise oder vollständig eingedeckten Bauten nicht mehr zurückgehalten werden konnten, im Februar und März statt.

Bei den in der Praxis beobachteten Gwächtenverhinderungsbauten im Vorland zeigte sich, daß das Baumaterial, ob Steine, Rasenziegel, Holz, Drahtgitter oder Jutegeflecht verwendet wurde, weniger von Bedeutung ist als die Anordnung der Bauten. Das Baumaterial soll nach den örtlichen Verhältnissen gewählt werden. Am dauerhaftesten zeigte sich solides Mauerwerk.

Bei genügend Vorland hat sich beim *Plateaugwächtenverbau* das Fachwerk-system mit Bauhöhen von mindestens 4 m bewährt. Die Bauten müssen stark in die *Tiefe gestaffelt* werden, um die großen Triebsschneemengen aufnehmen zu können. Besitzt das Vorland wie beim *Gratgwächtenverbau* wenig Tiefe, so sind die Bauten

entsprechend höher zu erstellen. Zahlen können nicht angegeben werden, sondern ergeben sich aus Versuchen. Wenn immer möglich, sind die Bauten, wie schon beim Plateaugwächtenverbau erwähnt, in die Tiefe zu staffeln und mit Querverbindungen zu versehen.

Der *Verbau gegen Lawinenabbruch* ist in der *Waldregion*, infolge wesentlich günstigerer Schneeablagerung als oberhalb des Waldes, einfacher und erfolgreicher. Da wenig Schneeverwehungen stattfinden, ist die Schneeschichtung regelmäßiger, das Setzen stärker und gleichmäßiger, so daß sich an der Schneeoberfläche trotz großen Schneehöhen die Bauten deutlich abzeichnen und die Stützflächen lange erhalten bleiben. Die Bauten apern rascher aus. Nicht zu unterschätzen ist in der *Waldregion* neben den günstigeren Verbaubedingungen auch der finanzielle Faktor. In diesem Gebiet kann nämlich der Wald mit der Zeit den Schutz übernehmen, den die Bauten vorübergehend bieten müssen. Ueber der *Waldregion* sind die Bauwerke hingegen dauernd zu erhalten.

Damit *oberhalb der Waldregion* den Winter über große, wirksame Stützflächen vorhanden sind, müssen die Bauten aus dem Hang herausgebaut werden. Wie Kreten und Mulden bei allen Winden schneefrei, beziehungsweise eingeweht werden, so verhalten sich auch die aus dem Hang herausstehenden oder im Hang liegenden Partien der Bauten. Die *Neigung der hintern Hangböschung* hat auf die Schneeablagerung unwesentlichen Einfluß, da diese Partien zuerst vollständig eingeschneit werden und zuletzt ausapern. *Hohe, kurze Bauten* haben den Vorzug, mehr freigeweht zu werden, bieten aber wegen der vielen Ecken mehr Angriffspunkte für « Kriechschnee » und müssen daher stärker gebaut werden. Auch sind diese Bauten enger zu staffeln, um Oberlawinenabbrüche zwischen den Bauten zu verhindern.

*Steilhinterfüllte Mauerterrassen* apern besonders bei starker Besonnung und Regen mehr von der Oberfläche nach unten aus, und es entsteht eine flachere Schneeoberfläche als auf den eingewehten, *flachhinterfüllten* Terrassen, die mehr von der Mauerkrone nach hinten ausapern. Bei den steilhinterfüllten Mauern beschleunigen die Mauerdurchlässe durch Luftzufuhr und rasche Wasserabfuhr das Ausapern. Kann das Schmelzwasser nicht abfließen, stagniert es und gefriert zu später nur langsam schmelzendem Bodeneis. Sehr günstig wirkt auf das frühzeitige und rasche Ausapern das Vorhandensein vieler Schmelzhöfe, verursacht durch *Aufsatzbauten*, hohe Mauerkronen, Bäume, Felsen usw., die aus der Schneedecke herausragen.

---

## Verzeichnis der Figuren.

Fig.

- 1 Schneehöhen am Schatten- und Sonnenhang auf Saflisch, Winter 1934/35.
- 2 Schneehöhen im Winter 1934/35, Münster—Saflisch—Räuften.
- 3 Instrument zur Messung der Zusammenhangskräfte, bis 1929 verwendet.
- 4 Ibidem seit 1930 verwendet.
- 5 Zusammenhangskräfte im Trockenschnee auf Saflisch Stat. I (im Wald, Schattenhang).
- 6 Ibidem Stat. II (im Freien, Sonnenhang).
- 7 Zusammenhangskräfte im Naßschnee auf Saflisch Stat. I (im Wald, Schattenhang).
- 8 Ibidem Stat. II (im Freien, Sonnenhang).
- 9 Zusammenhangskräfte in der Schneedecke auf Saflisch am 21. Dezember 1935, Stat. I (Schattenhang).
- 10 Ibidem Stat. II (im Freien, Sonnenhang).
- 11 Ibidem am 7. Februar 1936 Stat. I (im Wald, Schattenhang).
- 12 Ibidem Stat. II (im Freien, Sonnenhang).
- 13 Ibidem am 1. April 1936 Stat. I (im Wald, Schattenhang).
- 14 Ibidem Stat. II (im Freien, Sonnenhang).
- 15 Zusammenhangskräfte in einer Frühlingsschneedecke auf Saflisch am 11. April 1935.
- 16 Setzen der Schneedecke auf Saflisch im Laufe des Winters 1935/36.
- 17 Schneebrett- und Windharschbildung (schematische Skizze).
- 18 Schneegwächte (schematische Skizze).
- 19 Transport des Tribschnees (schematische Skizze).
- 20 Versuchsanlage auf Saflisch, Schneerechen und Schneezaun, Winter 1932/33.
- 21 Versuchsanlage auf Saflisch, gegen Gwächtenbildung, 1931/32 bis 1935/36.
- 22 Wirkung der Gwächtengitteranlage auf Saflisch «Einfache Wand», Winter 1931/32.
- 23 «Fachwerk», Winter 1932/33.
- 24 Ibidem, Winter 1933/34.
- 25 Ibidem, Winter 1934/35.
- 26 Ibidem und Jutegeflechtanlage, Winter 1935/36.
- 27 Juteanlage auf Saflisch «Fachwerk», Winter 1936/37.
- 28 Ibidem «Bogenform», Winter 1936/37.
- 29 Gwächtenmauern Faldum-Stritengrat.

- 30 Gwächtengitter Leimbach, 13. Februar 1930.
  - 31 Eingeschneite Terrasse in der Waldregion (Bannwald, Oberwald), 7. Januar 1929.
  - 32 Eingewehete Terrasse über der Waldregion (Ulricher Galen), 7. März 1929.
  - 33 Eingeschneite Terrasse an der obern Waldgrenze, « Läubje », 1. April 1930.
  - 34 Versuchsbauten Geschiner Galen, Winter 1929/30.
  - 35 Versuchsterrassen Obergesteler Galen (Böschungen), Winter 1929/30.
  - 36 Schneezaun, Lawinenverbauung Niesen, 13. Februar 1930.
  - 37 Schneerechen, Lawinenverbauung Muot, 4. Februar 1930.
  - 38 Eingewehete Mauerterrasse auf Alpetta, 30. Januar 1930.
  - 39 Freistehende Mauer, Lawinenverbauung Alp Grüm, 21. Januar 1930.
  - 40 Eingewehete Mauerterrasse auf Geschiner Galen, 15. Januar 1929.
  - 41 Ibidem beim Ausapern, 22. März 1929.
  - 42 Ibidem, 29. Mai 1929.
-

## Literaturverzeichnis.

- Abr.* Schneedichten. Meteorolog. Zeitschrift, 1887.
- Albrecht, Friedr.* « Lawinenkunde », ein Querschnitt durch die neuere Lawinenliteratur. Wien 1936.
- Allix, A.* Les avalanches. Revue de Géographie alpine, fasc. XIII, II. Grenoble 1925.
- Burger, H.* Waldklimafragen. Mitteilungen der Schweiz. Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Bd. XVII 1931; Bd. XVIII 1933. Zürich.
- Coaz, J.* Die Lawinen der Schweizeralpen. Bern 1881.
- Coaz, J.* Lawinenschaden im schweizerischen Hochgebirge im Winter und Frühjahr 1887/88. Bern 1889.
- Coaz, J.* Statistik und Verbau der Lawinen in den Schweizer Alpen. Bern 1910.
- Church.* Das Verhältnis des Waldes und Gebirges zur Erhaltung des Schnees. Zeitschrift für Meteorologie, 1913.
- Fankhauser, F.* Der Lawinenverbau mittels Terrassen. Schweiz. Zeitschrift für Forstwesen, 1920.
- Fankhauser, F.* Ueber Lawinen und Lawinenverbau. Beiheft 2 zu Schweiz. Zeitschrift für Forstwesen, 1928.
- Flaig, W.* Lawinen. Leipzig, Brockhaus, 1935.
- Harlé.* Forêts et neiges. Revue des Eaux et forêts, 71, 1933.
- Heim, Alb.* Die Lawinen. Schweiz. Schularchiv 5, Bd. Zürich 1884.
- Heim, Alb.* Handbuch der Gletscherkunde. Stuttgart 1885.
- Heim, Alb.* Lawinen und Lawinenschutz. Die Alpenwelt. St. Gallen 1888.
- Henne, A.* Die Lawinenverbauung Schiahorn—Dorfberg Davos. Bern 1925.
- Heß, E.* Wildschneelawinen. Die Alpen, Heft 9, 1931.
- Heß, E.* Schneeprofile. Jahrbuch des Schweiz. Ski-Verbandes, 1933.
- Heß, E.* Schneebrettlawinen. Die Alpen, Heft 3, 1934.
- Heß, E.* Erfahrungen über Lawinenverbauungen. Bern 1936.
- Hulin, V.* Les avalanches. Annuaire de la Société des touristes du Dauphiné, XXXVII. Grenoble 1911.
- Hulin, V.* Les avalanches. Annuaire de la Société des touristes du Dauphiné, XXXVIII. Grenoble 1912.
- Kurz, M.* Les corniches de neige et leur formation. Echo des Alpes, 1919.
- Loretan, R.* Die Lawinenverbauungen Torrentalp. Bern 1935.
- Lugeon.* Cycle des précipitations atmosphériques. Lausanne 1928.
- Lunn, A.* Der Skilauf im Hochgebirge. In « Die Schule der Berge » von G. W. Young. Leipzig. Brockhaus, 1926.
- Lütschg, O.* Ueber Niederschlag und Abfluß im Hochgebirge. Zürich 1926.
- Mercanton, P.-L.* Schneehöhen am St. Bernhard. Zeitschrift für Meteorologie, Nr. 11/12, 1918.
- Metzler.* Schneelagerung und Schneeschichtung in den Alpen. Göttingen 1933.
- Oechslin, M.* Ein Beitrag zur Kenntnis der Lawinen. Alpina, Nr. 12, 1923.
- Oechslin, M.* Schneefließen. Gotthard-Post, 2. Sept. 1933.
- Oechslin, M.* Mitteilungen und Berichte der Naturforschenden Gesellschaft 1933 bis 1937.

- Oechslin, M.* Schneetemperaturen, Schneekriechen und Schneekohäsion. Schweiz. Zeitschrift für Forstwesen, Nr. 1, 1937.
- Paulcke, W.* Lawinengefahr, ihre Entstehung und Vermeidung. München 1926.
- Paulcke, W.* und *Welzenbach, W.* Schnee, Wächten und Lawinen. Zeitschrift für Gletscherkunde, Heft 1/2, 1928.
- Paulcke, W.* Vom Schnee. Die Alpen, Heft 2, 1933.
- Paulcke, W.* Eisbildungen. Der Schnee und seine Diagenese. Zeitschrift für Gletscherkunde, Heft 4/5, 1934.
- Pollak, V.* Ueber Erfahrungen im Lawinenverbau in Oesterreich. Leipzig und Wien 1906.
- Ratzel, Fr.* Die Schneedecke besonders in den deutschen Gebirgen. Stuttgart 1889.
- Rutgers, Fr.* Die Lawinengefahr für Touristen. In «Ratgeber für Bergsteiger». Zürich 1920.
- Saller.* Der Kampf gegen die Schneeverwehungen auf den russischen Eisenbahnen. Die Bau-technik, Heft 8, 1924.
- Schüdelin, F.* Die Lawinenverbauung Faldumalp. Bern.
- Schubert, E.* Schneewehen und Schneeschutzanlagen. Wiesbaden 1888.
- Schubert, E.* Schutz der Eisenbahnen gegen Schneeverwehungen und Lawinen. Leipzig 1903.
- Seligman, G.* An Examination of Snow Deposits. Section I. The British Ski Year Book 1932.
- Seligman, G.* An Examination of Snow Deposits. Section II. The British Ski Year Book 1933.
- Seligman, G.* An Examination of Snow Deposits. Section III. The British Ski Year Book 1934.
- Seligman, G.* Snow Structure and Ski Fields. Macmillan 1936.
- Sprecher, F. W.* Ueber die künstliche Veranlassung des Abganges von Lawinen. Schweiz. Zeitschrift für Forstwesen, 1910.
- Sprecher, F. W.* Alpiner Skilauf und Lawinengefahr. Jahrbuch des Schweiz. Ski-Verbandes 1912.
- Torrenté, A.* Les forêts et les avalanches de la vallée de Conches. Jahrbuch des Schweiz. Alpenklubs 1887/88.
- Welzenbach, W.* Untersuchungen über die Stratigraphie der Schneeablagerungen und die Mechanik der Schneebewegungen, nebst Schlußfolgerungen auf die Methoden der Verbauung. Innsbruck 1930.
- Zsygmond-Paulcke.* Die Gefahren der Alpen. München 1933.
-