

## Werk

**Titel:** Die Schmelzformen des Firns im tropischen und subtropischen Hochgebirge

**Autor:** Hauthal, R.

**Ort:** Berlin

**Jahr:** 1908

**PURL:** [https://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?391365657\\_1908](https://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?391365657_1908) | LOG\_0058

## Kontakt/Contact

[Digizeitschriften e.V.](#)  
SUB Göttingen  
Platz der Göttinger Sieben 1  
37073 Göttingen

✉ [info@digizeitschriften.de](mailto:info@digizeitschriften.de)

## Die Schmelzformen des Firns im tropischen und subtropischen Hochgebirge.\*

### 1. Beobachtungen in den Anden Argentinens.

Von Prof. Dr. R. Hauthal in Hildesheim.

Der Gegenstand der heutigen Besprechung betrifft die eigenartigen Schmelzformen, in welche bei günstigen, aber ganz bestimmten Umständen Firnfelder unter der Einwirkung schmelzender Agentien sich zertheilen. Schon in unseren Breiten können wir solche eigenartigen Formen, Näpfchen, Kämme u. s. w., aber nur in kleinem Mafsstabe beobachten. In grofsartiger und meist herausgearbeiteter Weise treten diese Formen in tropischen und subtropischen Hochgebirgen auf, und da die argentinischen Anden von diesen Hochgebirgen wohl das am leichtesten zugängliche sind, so ist es erklärlich, dafs diese Erscheinung von hier aus zuerst bekannt geworden und später, in den neunziger Jahren des verflorbenen Jahrhunderts, durch die Arbeiten der Argentinisch-chilenischen Grenzkommissionen als eine verhältnismäfsig häufige Erscheinung nachgewiesen ist. Brackebusch und später Güssfeldt haben das grofse Verdienst, diese bei den Eingeborenen unter dem Namen „*nieve de los penitentes*“ „*nieve penitente*“ auch wohl einfach „*los penitentes*“, zu Deutsch wohl am einfachsten „Büfser Schnee“, bekannte Erscheinung in die Literatur eingeführt und damit weiteren wissenschaftlichen Kreisen bekannt gemacht zu haben. Der Name ist genommen von der Ähnlichkeit, welche die einzelnen Firnfiguren mit büfsenden, knieenden, in lange weifse Gewänder gehüllten Frauen haben, wie dies z. B. die Abbildungen 28 und 29 zeigen.

Wir Referenten haben uns geeinigt, Ihnen zunächst, jeder aus seinem Gebiet, die von ihm beobachteten Formen vorzuführen, um dann später, wenn Sie das gesamte Material kennen gelernt haben, in eine gemeinsame Diskussion einzutreten.

---

\* Diskutier-Abend in der Fach-Sitzung vom 20. Januar 1908 (s. diese Zeitschrift S. 4).

Ehe ich nun meine Beobachtungen vorführe, möchte ich die Schilderung des Büferschnees vorlesen, welche Güssfeldt<sup>1)</sup> gibt; er sagt:

„Ein Höllenbreugel hätte sich hier Motive holen können. Man glaubt alle denkbaren Formen gesehen zu haben, und dann erscheinen plötzlich ganz neue, welche unsere Verwunderung nie zur Ruhe kommen lassen. Figur reiht sich an Figur, jede hoch und starr aufgerichtet, übermenschlich groß; eine jede von ihren Nachbarn verschieden, und alle scheinen, versteinerten Sündern gleich, auf ein erlösendes Zauberwort zu harren. Den phantastischen Unregelmäßigkeiten dieser tausendfältigen Formen dient die regelmäßige Anordnung zu geradlinigen parallelen Reihen als Folie, als der Ausdruck, daß ein gemeinsames Gesetz sie alle bindet. Man muß diese Kerzenfelder nachts im bleichen Mondschein gesehen haben, wenn die Seele zum Außerirdischen neigt, besonders solche Felder, bei welchen der Schnee in allen Furchen und zwischen den Figuren ganz weggeschmolzen ist, so daß letztere nun isoliert und weiß aus dem schwarzen, vulkanischen Boden aufragen!“

In dieser poetischen und kraftvollen Schilderung haben Sie ein anschauliches Bild des typischen Büferschnees, dessen charakteristische Eigenschaft darin besteht, daß einzelne Figuren in parallelen Reihen angeordnet sind, und zwar so regelmäßig, daß der Vergleich mit einem Regiment Soldaten naheliegt.

Die Form der einzelnen Figuren ist verschieden. Ich habe in den meisten Fällen pyramidale Formen beobachtet, mit oft stark in der Richtung der parallelen Reihen in die Länge gezogenem Grundriß.

Die Flächen der Pyramiden, deren Zahl wechselt, stoßen meist in scharfen Kanten zusammen, nur die nach Norden gekehrte Seite erscheint etwas abgerundet (Abbild. 28). Die Kanten sind oft so scharf, daß da, wo diese Figuren eng beieinander stehen, ein Passieren derselben gefährlich ist. Die Höhe der Pyramiden hängt ab von der Mächtigkeit des in Büferschnee sich auflösenden Firnfeldes; sie ist gewöhnlich 1,5—2,0 m, am Cajon ancho sind Formen von 6 m Höhe beobachtet.

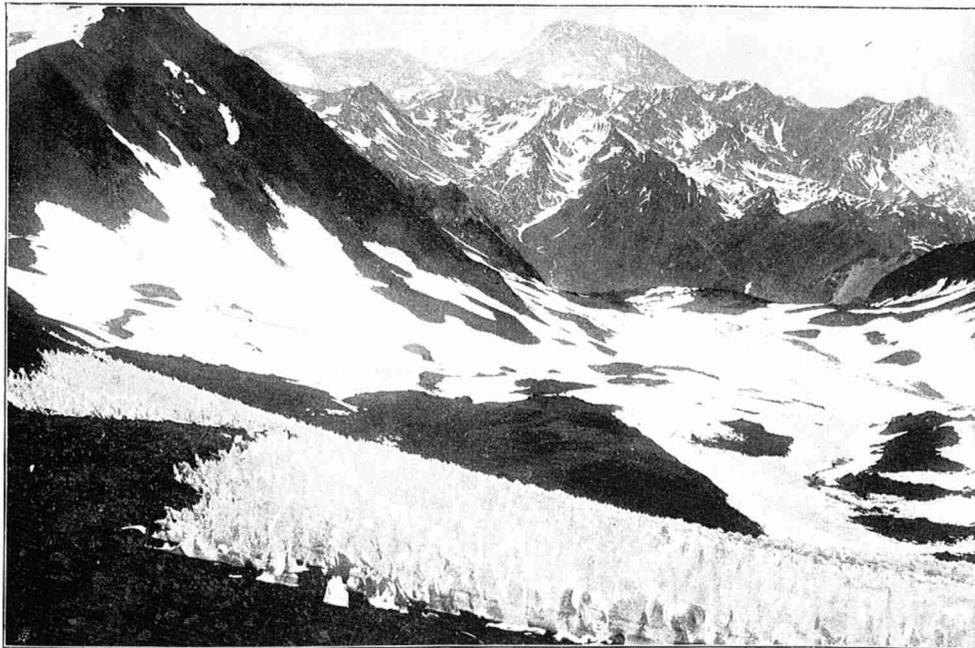
Eine andere, seltener beobachtete Ausbildungsform sind Nadeln, wie sie z. B. Habel<sup>2)</sup> angibt. Es ist mir aufgefallen, daß die verschiedene Ausbildungsform stets gesellig auftritt; so spricht Habel nur von „Nadeln“, Brackebusch nur von „Pyramiden“. Wodurch die verschiedenen Formen bedingt sind, ist noch ein Rätsel. Die einzelnen

<sup>1)</sup> Reise in den Anden von Chile und Argentinien. Berlin 1888. S. 155.

<sup>2)</sup> Zeitschrift des Deutsch. u. Österr. Alpen-Vereins, Bd. 27, 1896, S. 43.



Abbild. 26. Im Entstehen begriffenes Büferschneefeld  
auf dem Cumbre-Pafs bei Mendoza.



Abbild. 27. Büferschneefeld im Tal Quebrada Honda,  
in der Kordillere nördlich vom Aconcagua, der in südlicher Richtung sichtbar ist.  
Horizontale Schichtung erkennbar.





Abbild. 28. Büferschneefeld am Südfufse des Borete (Prov. La Rioja).  
Der Beschauer blickt nach Norden. Horizontale Schichtung deutlich sichtbar.



Abbild. 29. Einzelne Büferschneefiguren aus dem oberen Valle de los Patos  
(Prov. de San Juan).  
Die hell von der Sonne beschienene Seite der Penitentes ist nach NW gerichtet.



Formen sind in Reihen geordnet. Das ist ein wichtiger Punkt, der für die Erklärung von wesentlicher Bedeutung ist.

Meine Beobachtungen ergaben, dafs diese Reihen in NW—SO-Richtung verlaufen (vgl. Abbild. 27. und 28); diese Richtungsangabe ist nicht mathematisch genau zu fassen — manchmal ist dieselbe mehr O—W, manchmal mehr N—S, aber absolut O—W oder N—S habe ich nicht beobachtet. Sehr interessant ist Abbild. 29. Hier ist, wo eine Reihe sein sollte, nur je eine grofse Figur, die aber genau in ihrer Längsrichtung nach NW—SO orientiert ist.

Wo aber ich Büferschnee beobachtet habe, immer war die Richtung der Reihen im ganzen Felde die gleiche, unbekümmert um die Neigung oder Beschaffenheit des Untergrundes —; sie muß also von Faktoren bedingt werden, die unabhängig von dem Terrain wirksam sind.

Das Material der von mir beobachteten Büferschneefelder war Firnschnee und zwar vereister Firnschnee, der deutlich eine in horizontaler Richtung verlaufende Schichtung erkennen liefs (vgl. Abbild. 28), und zwar wechselten regelmäfsig ab Schichten blasenfreien Eises mit Schichten von Luftblasen erfüllten Eises.

Was nun die Örtlichkeiten betrifft, an denen ich persönlich Büferschnee beobachtet habe, so sind das immer windgeschützte Stellen am Ostabhange der argentinischen Cordillere von  $27^{\circ}$  bis etwa  $36^{\circ}$  s. Br. gewesen — an Pafsübergängen (besonders schön in der Gegend des Aconcagua) in tief eingeschnittenen Couloirs weiter im Süden, am Planchon, Descabezado grande, u. s. w.)

Die Höhenlage der von mir beobachteten Büferschneefelder schwankt zwischen 3500—5000 m.

Eigentümlicherweise habe ich weder in dem südlichen, argentinischen Teile des bolivianischen Hochplateaus, in der sogenannten Puna de Atacama Büferschnee beobachtet, wo Dr. F. Reichert in tiefen Couloirs diese Schmelzformen angetroffen hat, noch in Bolivien oder Peru. Das wird wohl darin begründet sein, dafs ich zur ungünstigen Jahreszeit dort weilte.

Da mir, als ich meine letzte Publikation<sup>1)</sup> über den Büferschnee machte, in anderen tropischen oder subtropischen Gebirgen gemachte Beobachtungen von Büferschnee nicht bekannt waren, so glaubte ich mich der Meinung derjenigen Autoren anschliefsen zu müssen, die den Büferschnee für eine den argentinisch-chilenischen Anden eigentümliche Erscheinung hielten. Wie Sie an den Vorführungen von Prof. Dr. Hans

---

<sup>1)</sup> Büferschnee. Zeitschrift des Deutch. u. Österr. Alpen-Vereins. Bd. 34 1903, S. 114ff. Dieser Abhandlung sind auch die Abbildungen 26—29 entnommen.

Meyer und Dr. Jäger sogleich selber sehen werden, ist das Vorkommen von echtem Büferschnee und verwandten Erscheinungen auch in Afrika am Kilimandjaro, in Ecuador am Chimborazo nachgewiesen — und Workman hat im Himalaya ähnliche Formen auch angetroffen<sup>1)</sup>.

Im Vorstehenden habe ich Ihnen das Hauptsächlichste meiner Beobachtungen über Büferschnee mitgeteilt, — über die Entstehung werde ich mich in der hoffentlich recht lebhaften Diskussion äußern.

## 2. Beobachtungen in den Anden von Ecuador.

Von Prof. Dr. Hans Meyer in Leipzig.

Dem Büferschnee oder Zackenfirn habe ich in meinem im vorigen Jahr erschienenen Werk „In den Hochanden von Ecuador“, Berlin 1907, eine eingehende Untersuchung und Darstellung gewidmet (s. besonders Seite 431—441), unter Heranziehung der bisherigen Literatur über dieses Phänomen. Ich kann daraus heute nur die Hauptpunkte vortragen und einige Ergänzungen hinzufügen.

Büferschnee oder Zackenfirn ist eine Erscheinung des Firns, die mit der Struktur des Firnes auf das engste zusammenhängt. Im losen Schnee sowie im kompakten Gletschereis gibt es ähnliche, aber nicht dieselben Erscheinungen. Zunächst einige Worte über den Namen *nieve penitente*. Ursprünglich hieß es *nieve de los penitentes* (Gütsfeldt), woraus die Abkürzung *nieve penitente* entstand. Ein sprachliches Unding ist *nieve penitentes*, wie S. Günther wiederholt sagt. Ich schlage vor, anstatt der spanischen Bezeichnung eine treffende deutsche zu setzen. Die einfache Übersetzung „Büferschnee“ besagt nichts; Gütsfeldts Benennung „Kerzenfelder“ drückt die Materie nicht aus. Dagegen trifft die Bezeichnung „Zackenfirn“ (v. Thielmann und R. Schäfer) die Form und die Materie.

Ich selbst habe Zackenfirn zuerst 1889 am Gipfelfirn des Kilimandjaro gesehen und in meinen „Ostafrikanischen Gletscherfahrten“ ausdrücklich als *Nieve penitente* beschrieben. Auch 1898 fand ich ihn auf dem Firn im Kraterkessel des Kibo. Aber ich habe damals den Unterschied von den Karrenformen des Gletschereises, wie ich sie anderwärts am Kibo gesehen, noch nicht genügend betont.

Als ich dann 1903 in die Anden von Ecuador ging, war ich sehr gespannt, ob Zackenfirn nicht auch dort vorhanden sei. Conway und andere hatten behauptet, daß er im äquatorialen Süd-Amerika nicht vorkomme, woraus allerlei Schlüsse auf die Entstehung gezogen wurden.

<sup>1)</sup> A. Study of Nieves Penitentes in the Himalaya. Zeitschrift für Gletscherkunde 1907, Bd. 2, Heft 1, S. 22.

Diese Schlüsse sind aber falsch, denn ich fand im ecuadorischen Hochgebirge Zackenfirn in enormer Ausdehnung und Ausbildung.

Gleich bei der ersten Umwanderung des Chimborazo, Mitte Juni 1903, als die niederschlagsarme sonnige Jahreszeit (*verano*) etwa drei Wochen gedauert hatte, sah ich auf vier Gipfeldomen des Berges im Fernglas riesige Flächen voll zacken- und nadelförmiger Firngebilde. Als dann die Besteigung des Westgipfels von NNW erfolgte, fand ich auf dieser Seite nichts dergleichen. Dagegen oberhalb 5500 m auf den Schneefeldern lauter flachkonkave handbreite Stufen und Schalen, die in fast horizontalen Reihen quer am Berghang entlang Ost-West verliefen. Auch weiter oben, wo noch dicke Firnpolster auf den Gletschern lagen, gab es überall solche reihenförmig angeordnete Schalen. Das war, wie wir sieben Wochen später an derselben Stelle sahen, der Anfang eines Schmelzprozesses, der allmählich die Firndecken zu den wunderlichen wilden Formen des Zackenfirns ausgestaltet; denn sieben Wochen später, gegen Mitte August, fanden wir hier die Firnhänge bis zum Gipfel hinauf (6270 m) in einen furchtbaren eisigen Stachelpanzer verwandelt, der unserem Vordringen die größten Schwierigkeiten entgegensetzte. [Siehe die ausführliche Schilderung in meinem Werk „In den Hochanden von Ecuador“, Berlin 1907, S. 380/81, und die nebenstehende Abbildung 30.]

Das eine ward mir dort freilich sofort klar, dafs in diesen oberen Regionen des Gebirges die Sonne allein nicht für das Entstehen des Zackenfirns verantwortlich gemacht werden kann; denn während weiter unten die Sonne ungehindert auf die Firnflächen hatte einwirken können und sie gröstenteils bis auf Reste von Penitentes-Feldern weggeschmolzen hatte, war die Gipfelregion selbst seit Wochen mit kurzen Unterbrechungen in Wolken gehüllt. Wie eine kolossale Wasserflut stürmt von Vormittag bis Nachmittag eine vom feuchten Ostpassat immer erneute dichte Nebelmasse westwärts über die Firnfelder und umgibt die Gipfel am dichtesten und stürmischsten gerade in den Mittagstunden, wo die Sonne am intensivsten hätte wirken können.

Da also die Sonne in diesen Wolkenmassen nur wenig durchdringen konnte, und trotzdem die sieben Wochen vorher nur wellig angeschmolzenen Firnflächen in Zackenfirnfelder von genau derselben Gestalt wie weiter unten in der Region der Sonnenwirkung verwandelt waren, so kann die Veränderung dort oben wohl nur der Schmelzwirkung des feuchten Windes zugeschrieben werden. Über das „Wie“ nachher mehr.

Weitere Zackenfirnfelder beobachtete ich Ende Juli desselben Jahres auf dem 5760 m hohen Antisana der Ost-Cordillere von

Ecuador. Bei der Besteigung der Westseite dieses ungemein stark verfirnten und vergletscherten Berges bemerkte ich bis zu 5400 m hinauf keine aufsergewöhnlichen Schmelzformen des Firnes. Darüber aber, auf den dem Wind und der Sonne sehr exponierten Firnkuppen und -hängen beobachtete ich ausgedehnte Penitentes-Felder. Hier waren sie wie am Chimborazo auf die oberste Höhenregion beschränkt, wo die Insolation in der dünnen Luft unter dem hohen Sonnenstand am kräftigsten, der Wind am heftigsten, die Lufttrockenheit und Verdunstung am stärksten sind.

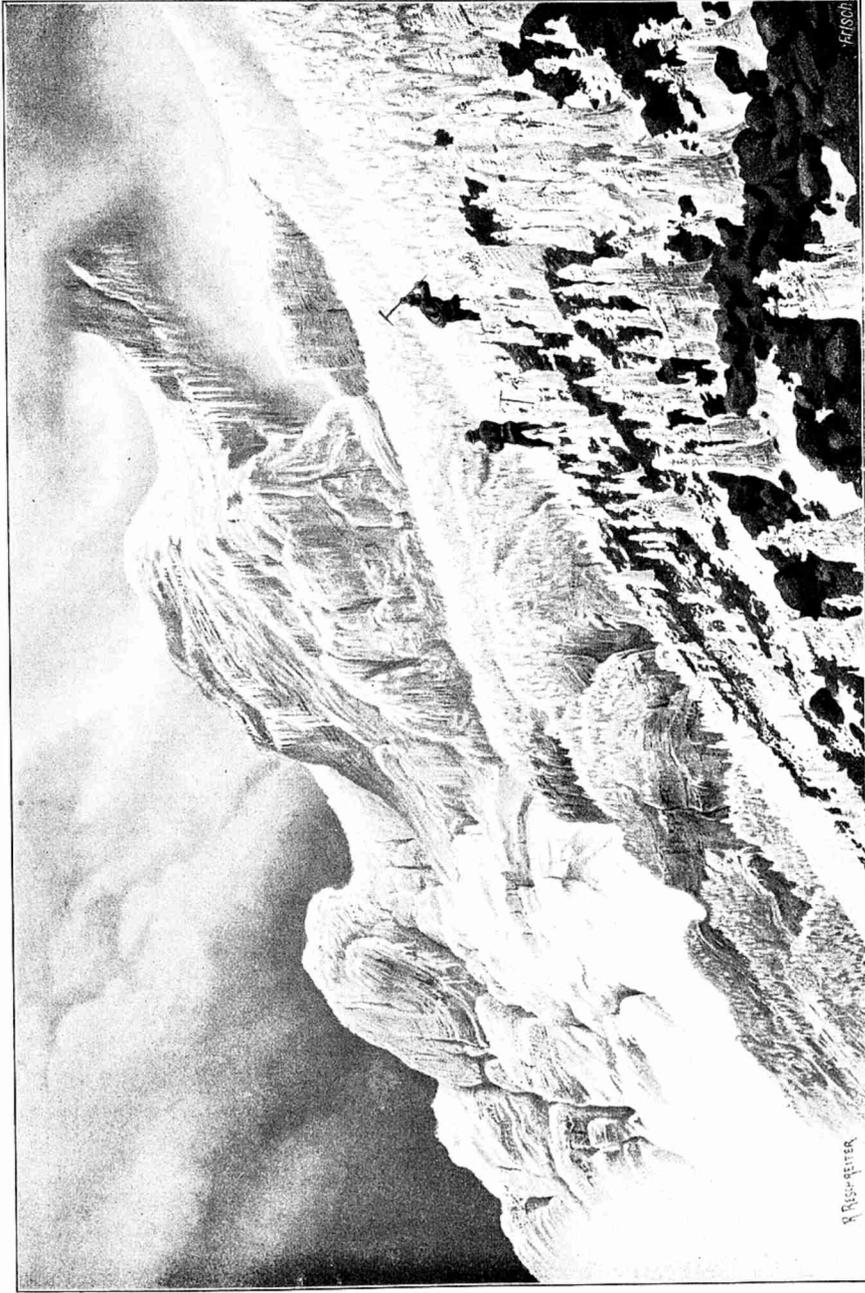
Die Reihen der Firnzacken zogen aber am Antisana nicht blofs in der ost-westlichen Richtung, sondern auf benachbarten Hängen auch von Südosten nach Nordwesten und auf anderen von Südwesten nach Nordosten, was ich nur auf verschiedene vorherrschende Windrichtungen zurückführen kann, die je nach der Konfiguration und Orientierung der Abhänge differieren müssen.

Auf dem Cotopaxi (6005 m) habe ich im Juli 1903 nirgends Zackenfirn gesehen, wohl weil kurz vor unserer Besteigung viel Neuschnee gefallen war. Wilh. Reifs hingegen hat 1883 am Südwest-Gipfel Schmelzformen des Firnes beobachtet, die er in seinem spanischen Bericht als *puntas* und *picachuelos* beschreibt, also als Spitzen und Zacken, was gewifs auf *nieve penitente* zu deuten ist.

Dies, meine Herren, sind die Vorkommnisse von Zackenfirn, die ich in den Anden von Ecuador beobachtet habe. Auf den anderen von mir bestiegenen oder aus der Nähe untersuchten Schneebergen, wie dem Cerro Altar, Carihuairazo, Quilindaña, lauter 5000<sup>er</sup>, habe ich das Phänomen nicht gesehen, was aber nicht beweist, dafs es nicht auch dort vorkommt. Die von mir beobachteten Vorkommnisse sind also beschränkt auf die Regionen oberhalb 5000 m, wo die Dünne der Luft, die strahlende Wärme der Sonne, die Lufttrockenheit und Verdunstung und in einigen Lagen auch die Heftigkeit und Dauer der Winde das Maximum für Ecuador erreichen. Und zwar sind es Gebiete, die ausgezeichnet sind durch hohen Sonnenstand, durch den Wechsel einer monatelangen sehr niederschlagsarmen Jahreszeit (*verano*) und einer ebenfalls monatelangen sehr niederschlagsreichen (*invierno*) und durch die Regelmäßigkeit kalter Nächte unter 0° und niedriger, wenig über 0° stehender Lufttemperatur bei Tage.

In diesen meteorischen und klimatischen Verhältnissen und Kräften sind die Agentien für die Ausbildung des Zackenfirns zu sehen. Den Zackenfirn sehe ich also in erster Linie als eine klimatische Erscheinung an.

Über die Mechanik des Bildungsvorganges möchte ich nachher



Abbild. 30. Zackenfirn oder Nieve penitente am Nordnordwesthang des westlichen Chimborazo-  
Gipfels bei 6000 m Höhe.

(Nach Hans Meyer, „In den Hochanden von Ecuador“, Berlin 1907.)



in der Diskussion einiges Weitere sagen. In der Hauptsache scheint er mir darin zu bestehen, daß nicht nur die Schmelzwirkung der Sonne solche Firnformen erzeugen kann, sondern auch die Schmelzwirkung des Windes, daß also mindestens zwei Formengruppen zu unterscheiden sind, die zwar äußerlich sehr ähnlich, aber genetisch voneinander verschieden sind, und daß oft die eine in die andere übergehen kann (Mischform). Die primäre Anlage aber ist meines Erachtens nur in der inneren Struktur des Firnes zu suchen, wie ich ebenfalls nachher in der Diskussion ausführen will.

### 3. Beobachtungen am Kilimandjaro.

Von Dr. Fritz Jaeger in Charlottenburg.

Im August 1906 weilte ich gelegentlich einer im Auftrag des Kolonial-Amtes unternommenen Forschungsreise mit meinem Vetter Eduard Oehler am Kilimandjaro, um auf der Westseite des Kibo, der wichtigen vergletscherten Gipfelkuppe des Berges, Vulkan- und Gletscherstudien zu treiben. Die große Regenzeit war 1906 besonders ausgiebig gewesen, und als wir bald nach Beendigung derselben an den Kibo kamen, fanden wir dort noch ziemlich viel Schnee und alle Ab-



Abbild. 31. Querschnitt durch die Firnkämme am West-Kibo.  
Ungefähr  $\frac{1}{10}$  nat. Gr.

schmelzformen noch wenig ausgebildet. Daher hatten wir Gelegenheit, den Zackenfirn in den Anfangsstadien zu beobachten. Wir fanden keine Zacken, sondern schmale scharfe Firnkämme oder -blätter, die untereinander parallel in etwa ostwestlicher Richtung über die Firnflächen hingen. Genauer war die Richtung (astronomisch)  $O. 8^{\circ} S.$   $W 8^{\circ} N$ , und diese Richtung behielten die Firnkämme bei, unbekümmert um die Neigung der Firnoberfläche. Über Buckel und Mulden strichen sie in stets gleicher Richtung weiter, so daß sie hier mit der Linie der größten Neigung, dort mit der Isohypse, meist aber mit irgend einer Zwischenrichtung zusammenfielen. Auf verschiedenen noch nicht ausgeaperten Gletschern, an Stellen, die mehrere Kilometer voneinander entfernt waren, maßen wir stets die gleiche Richtung der Firnkämme. Die Kämme sind sehr scharf und steil gestellt, etwas nach Norden überhängend. Die nördliche Begrenzungsfläche fiel etwa  $80^{\circ}$

nach Süden ein, bisweilen stand sie auch senkrecht, die südliche hatte eine Neigung von etwa  $60^\circ$ . Die Kämme waren 5 bis 15 cm hoch und standen 2 bis 8 cm auseinander. Sie bestehen aus firnigem Schnee. Ein Querschnitt durch aufeinanderfolgende Kämme, senkrecht zur Streichrichtung, sieht daher aus wie eine sehr spitzzahnige Säge (Abbild. 31).

Ein Jahr später, im Juli 1907, konnte ich dieselbe Erscheinung im Berner Oberland beobachten, nämlich auf dem Tschingelfirn zwischen Tschingelhorn und Gspaltenhorn. Die letzten acht Tage war stets schönes klares Wetter gewesen. Hier waren die Kämme nur so schwach ausgebildet, daß ich sie wohl übersehen hätte, wenn sie mir nicht vom Kibo her bekannt gewesen wären. Nur bei Ansicht in einer gewissen Richtung, in welcher die Beleuchtung günstig war, ließen sie sich gut erkennen. Aber sie hatten alle Charakteristika der Kämme am Kilimandjaro. Sie waren untereinander parallel, ihre Richtung kann ich leider nicht genau angeben. Doch wichen sie stärker von der Ostwest-Richtung ab als am Kilimandjaro. Auch hier blieb die Richtung stets dieselbe, unabhängig vom Gefälle. Aber sie waren viel stärker geneigt, sie lagen viel schräger, so ungefähr  $45^\circ$  und nach Süden überhängend. In beiden Fällen standen also die Kämme in der Richtung der mittäglichen Sonnenstrahlen, sodaß diese in die Rinnen zwischen den Kämmen bis auf den Grund hineinscheinen konnten. Die Höhe der Kämme betrug hier höchstens 3 cm, ihre gegenseitige Entfernung 1 bis 2 cm, sodaß die Firnoberfläche bei günstiger Beleuchtung durch sie wie gerecht erschien.

Am West-Kibo beobachteten Eduard Oehler und ich auch die weitere Ausbildung der Zacken aus diesen Kämmen. Am Drygalski-Gletscher fanden wir den die Gletscherzunge bedeckenden Firnschnee schon stark zu Zacken zerschnitten. Eine Schar von Furchen querte die Firnkämme. Aber die Richtung der Furchen war nicht konstant, sondern sie folgten jeweils der Gefällsrichtung und dürften daher vom abfließenden Schmelzwasser herrühren. Die Furchen zerschnitten die Firnkämme zu Zacken von parallelogrammatischem Querschnitt. An den Zacken war die Firnschichtung schon erkennbar.

Noch einer anderen Beobachtung muß ich gedenken. In einem Tälchen, über dessen steilen Talschluf oben eine kleine Gletscherzunge herabhing, sahen wir Firnzacken von  $\frac{1}{2}$  bis 1 m Höhe, die voneinander völlig getrennt waren, sodaß der nackte Schuttboden dazwischen herausah. Diese Zacken hatten alle dicke weiße Köpfe. Aus einiger Entfernung hatte ich geglaubt, sie seien eine Art Gletscherische, entstanden dadurch, daß von der Gletscherzunge herabgefallene

Eisblöcke den unterliegenden Firnschnee vor der Abschmelzung schützten. Bei näherer Besichtigung stellte sich heraus, dafs dies nur bei dem kleineren Teil der Zacken der Fall war; die meisten waren richtiger Zackenfirn, jedoch von besonderer Art. Auf alten schmutzigen Firn war eine Schicht von weifsem Schnee gefallen. In diesem hatte die Zackenbildung begonnen und dann auf den unterliegenden schmutzigen Firn durchgegriffen. Der dunkle Schnee absorbiert die Sonnenstrahlung stärker und wird somit stärker erwärmt als der weifse. Daher schmolzen die unteren Teile der Zacken schneller ab, als die oberen weifsen, welche als Köpfe überstanden. Besonders merkwürdig war, dafs auf den weifsen Köpfen dieser Firnzacken von neuem die Bildung der O—W streichenden Kämme begann, was auch auf einer der von Eduard Oehler aufgenommenen Photographien deutlich zu erkennen ist (Abbild. 32).

#### Diskussion.

Herr Geheimrat **Hellmann**: „Ohne auf Einzelheiten einzugehen, wird man sich vielleicht folgende Vorstellung von der Entstehung des Büfnerschnees machen können: Wäre der Firn eine absolut homogene Masse, so wäre der Büfnerschnee wohl gar nicht oder nicht so ausgeprägt vorhanden. Doch ist er nicht homogen, da sein Material aus Schneeflocken besteht, und diese wieder aus Schneekristallen von vielfältigster Gestalt und Konsistenz, sodafs die Grundbestandteile schon verschieden sind, die eine inhomogene Masse bilden müssen, deren Gefüge wieder abhängig ist von Temperatur, Bestrahlung, atmosphärischer Feuchtigkeit, Verdunstung und wohl noch manchen anderen Faktoren, die wir noch nicht genügend kennen.

Bei der Entstehung des Zackenfirns wirken nun verschiedene Kräfte mit. Die Strahlung oder die Radiation ist die erste von ihnen. Dies beweist meines Erachtens deutlich die geographische Verbreitung und die jedesmalige ost-westliche Anordnung des Phänomens. In grofsen Höhen niedriger Breiten mufs es am deutlichsten ausgeprägt sein. Jedoch wirkt ebenso die Ausstrahlung mit. Diese aber nimmt mit der Höhe mehr zu als die Einstrahlung, sodafs die grofse Ausstrahlung in klaren Nächten der Hochregionen eine fast ebenso grofse Rolle spielen wird, als die Einstrahlung bei Tage. Das Schmelzwasser, das vom Firn aufgesogen wird und nachts gefrieren mufs, gibt dem Ganzen eine gewisse Konsistenz. Scharfe Formen sind deshalb da häufiger, wo keine grofse atmosphärische Feuchtigkeit existiert, wie aus den Beobachtungen von Herrn Prof. Hauthal im trockenen Gebiet hervorgeht. Ich möchte daher Herrn Prof. Meyer fragen: Haben Sie rundere Formen beobachtet? Wenn im Chimborazo-Krater Rauhreifbildungen entstehen, so müssen sich diese auch am dortigen Zackenfirn zeigen, sodafs dessen Formen dann unschärfer ausfallen müssen. Scharf wird der Zackenfirn besonders in trockener Luft sein, wo die Ein- und Ausstrahlung vorzüglich vor sich gehen kann.

Wind und andere lokale Einflüsse bedingen wohl nur Variationen der Formen. Ein- und Ausstrahlung und die durch erstere bedingte Abschmelzung sowie Verdunstung sind die Hauptfaktoren. Teile des Firns, die weniger widerstandsfähig sind, werden herausgearbeitet, wie Partien einer Gesteinsmasse um so eher herausgeleckt und herausgeweht werden, je weniger konsistent sie sind.

Zunächst erscheint die Regelmäßigkeit der Gestaltung und Anordnung merkwürdig. Sie ist aber in Wirklichkeit nicht so rätselhaft, da sie auf einer gewissen zugrunde liegenden Struktur des Schnees beruht, die auch auf äußere mechanische Einflüsse schließend läßt. Vielleicht bieten ferner Staub- und Erdteilchen Ansatzpunkte für besonders starke Abschmelzung an gewissen Stellen.“

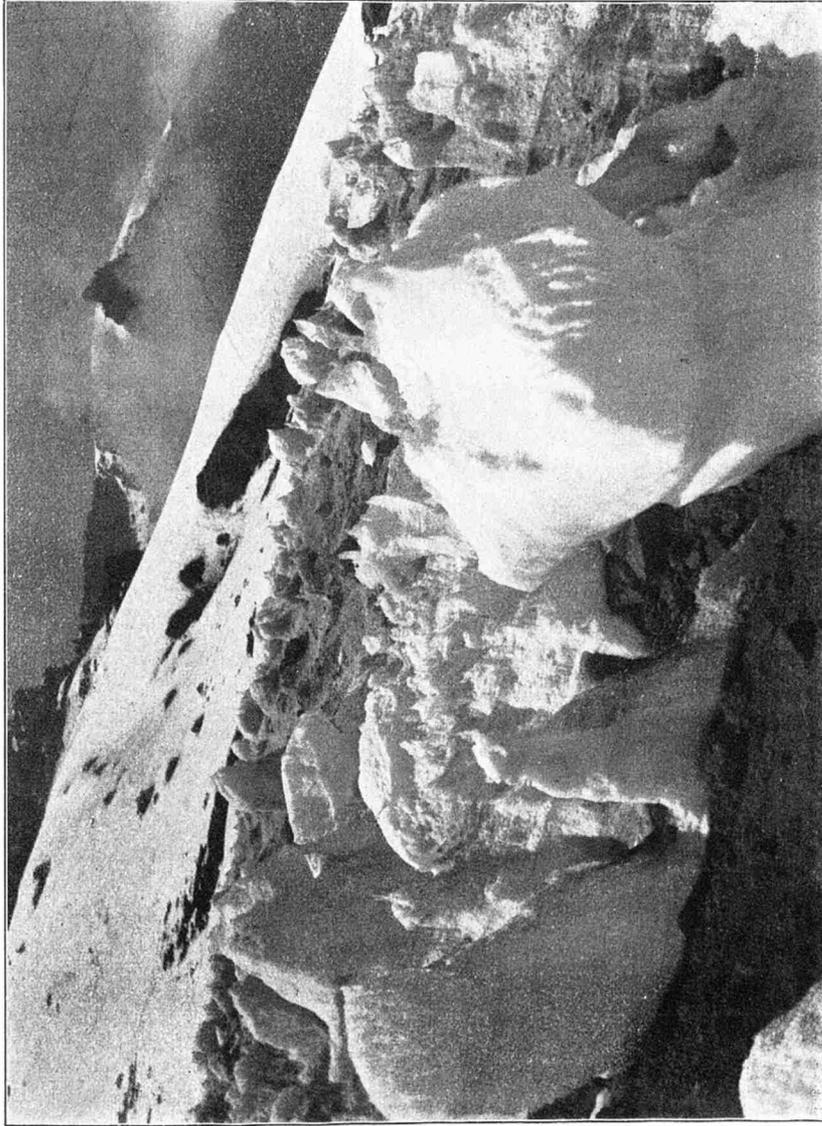
Herr Professor **Hans Meyer**: „Die geographische Verbreitung des Zackenfirns wirft Licht auf seine Entstehung. Er ist beobachtet im äquatorialafrikanischen Hochgebirge, in den Anden von Mittel-Chile an bis in die kalifornische Sierra Nevada (Mount Shasta  $41^{\circ}$  n. Br.), im Himalaya unter etwa  $35^{\circ}$  n. Br. (Suru, Nunkun). Er ist nicht beobachtet worden in Europa, im nördlichen Amerika und Asien, nicht in hohen Breiten der Süd- und Nord-Hemisphäre. Er ist, wie die Klimakarte zeigt, nur beobachtet in Gebieten, die periodische Winter- oder Sommerregen mit einer darauffolgenden sehr niederschlagsarmen Jahreszeit haben, in der sich also Schmelzformen lange entwickeln können, ohne wieder verschüttet zu werden. Im großen ganzen kann man nach den bisherigen Beobachtungen die Verbreitungsgrenzen zwischen  $40^{\circ}$  n. Br. und  $40^{\circ}$  s. Br. ziehen.

Prof. Hauthal sieht nur die Sonne als Bildner der Penitentes an, ich auch den Wind; aber auch ich halte die „Sonnen-Penitentes“ für die Regel, die „Wind-Penitentes“ für lokale Ausnahmen. Auch wird an den „Wind-Penitentes“ in vielen Fällen die Sonne vorher oder nachher mitgearbeitet haben, wie umgekehrt der Wind oft an den „Sonnen-Penitentes“.

Nehmen wir die „Wind-Penitentes“ als die seltenere Form voraus, so stelle ich mir den Bildungsvorgang folgendermaßen vor: Wenn der aus den heißen, feuchten Amazonas-Niederungen herkommende Ost-Passat auf die kalten, firnigen Berggipfel trifft, so wird der Wasserdampf kondensiert und bei der Kondensation wird Wärme frei, die auf Firn und Eis schmelzend wirkt. Da der Wind aber sehr stürmisch ist, so wird das Schmelzwasser in feinen Schmitzen zu den benachbarten Firnteilen getrieben, wobei es weiter schmelzend wirkt. So wird allmählich das Firnfeld, soweit es vom Wind bestrichen wird, in lauter Riefen und Furchen zerschnitten, die sich immer mehr vertiefen und schließlich auch von den seitlich abrieselnden Schmelzwässern quer durchschnitten und in einzelne Pyramiden zerteilt werden. Hört der Wind auf und verziehen sich die dichten Nebel, so vollendet die nun scheinende Sonne die Zerstörungsarbeit. Die der Windrichtung folgende reihenförmige Anordnung der Firnzacken ergibt sich in diesem Fall aus dem geschilderten Vorgang selbst.

Nicht so bei den lediglich durch die Schmelzwirkung der Sonne gebildeten „Sonnen-Penitentes“.

Betrachten wir zunächst den Bildungsprozefs, wie er sich sichtbar voll-



phot. Ed. Oehler.

Abbild. 32. Zackenfirn am West-Kibo.

Die Zackenbildung begann in neuem Schnee und griff auf den älteren gut geschichteten Schnee durch. Auf den Köpfen der Firnzacken beginnt von neuem die Bildung der Kämme.



zieht. Die Anfänge sind rinnen-, napf- und schalenförmige Hohlformen an der Firnoberfläche, die bei Einwirkung der warmen Sonnenstrahlen durch Sackung infolge differenzialer, vom Durchsickern des Schmelzwassers herrührender Volumenverminderung entstehen. Solche schalenförmigen Schmelzformen des Firms sind auch in unseren Alpen und anderwärts eine ganz bekannte Erscheinung. (Beschrieben unter anderen von H. Crammer und F. Ratzel: „Schneegangeln“.) Ich habe sie oft in den Ost-Alpen gesehen. Während sie aber in unseren Breiten durch bald wieder eintretende Schneefälle verwischt und zugefüllt werden, dauert in den Klimagebieten, wo Zackenfirn beobachtet worden ist, der Schmelzprozess in der Trockenzeit zuweilen monatelang ohne wesentliche Unterbrechung an und erzeugt dementsprechend mächtigere Schmelzformen.

Warum aber werden die Schalen mitsamt den sie trennenden Kämmen und Kulissen nicht gleichmäÙig niedergeschmolzen? Warum werden die Bodenstücke der Schalen immer tiefer, während die Kämmen zwischen ihnen viel länger stehen bleiben und nur relativ langsam in einzelne Pyramiden zerfallen, die sich noch lange allein aufrecht erhalten?

Eine Antwort auf diese Frage gibt mir die Beobachtung, die ich an den meisten von mir gesehenen Penitentes gemacht habe. Die Spitze oder der Kamm der Firnzacken besteht nämlich aus viel dichterem Eis als die übrige Firmasse der Zacken. Das schmale Kopfstück der Pyramiden oder Kulissen wird viel leichter vom Schmelzwasser durchtränkt als die übrige gröÙere Masse und gefriert nach Aufhören der Sonnenstrahlung in der Kälte der Nacht zu kompaktem Eis, ein Vorgang, der sich täglich wiederholt, so daÙ der Eiskopf in steter Erneuerung auf der Kulisse oder der Einzelpyramide erhalten bleibt, bis diese selbst dem Erdboden gleichgemacht ist. Die Eiskrönung der Firnpyramiden wirkt also auf den darunter liegenden weniger kompakten Firn schützend, wie der Deckstein auf einem Gletschertisch oder einer Erdpyramide.

Nun werden die unter dem hohen Sonnenstand jener Breiten steil einfallenden Sonnenstrahlen das Bodenstück der Schalen immer stärker treffen als die unter dem schmalen Eiskamm liegenden steilen Seitenwände, und sie immer tiefer legen, während jene mehr geschützt sind. Fielen die Sonnenstrahlen unter einem schiefen Winkel ein, so würden auch die Seitenwände der Pyramiden stärker angeschmolzen; die Schmelzlöcher würden in der Richtung des niedrigeren Sonnenstandes schief werden und die Pyramiden würden umstürzen, ehe sie sich recht entwickeln konnten. Schon aus diesem Grunde kann es in höheren Breiten keinen echten Zackenfirn geben.

Dabei ist es für den ganzen Bildungsvorgang von großer Bedeutung, daÙ das Schmelzwasser in der enorm trockenen Höhenluft schnell verdunstet oder auch im lockeren Schuttboden sofort verrieselt. Erosionswirkung durch abfließendes Schmelzwasser ist deshalb bei der Bildung des „Sonnen-Penitentes“ ausgeschlossen.

So weit wäre wohl die Entstehung von Zackenfirn ganz verständlich, aber ein Problem bleibt noch bestehen: die Anordnung der „Sonnen-Penitentes“ in Reihen. Diese Anordnung zeigt sich schon in der ersten Anlage der einschmelzenden Firnschalen, aus denen sich der Zackenfirn weiter entwickelt.

Diese Erscheinung ist also eine primäre, deren Ursache nur in der inneren Struktur der Firnfelder liegen kann.

Conway, der irrtümlich allen Zackenfirn für alten Lawinenschnee erklärt — wie käme er dann auf die Berggipfel selbst und auf weite flache Ebenen! —, erklärt die Reihenbildung aus vertikaler Druckschichtung, die im Lawinenschnee durch seitlichen Druck zustande kommt. Das ist gewifs für viele Vorkommnisse von Zackenfirn zutreffend, aber nicht für die, wo von Lawinenschnee keine Rede sein kann.

Prof. Uhlig und Prof. Deecke sehen die Ursache der Reihenanordnung in ursprünglicher Wellenfurchung des lockeren Schnees durch den Wind, die senkrecht zur Windrichtung entstanden ist und, nachdem sie durch Anschmelzung festgeworden, entweder an der Oberfläche der Schneefelder bleibt oder, durch nachfolgende Schneefälle zugedeckt, zu einer inneren Struktur der Firndecken wird.

Auch diese Erklärungen werden sicherlich in der Natur ihre Bestätigung finden. Eine noch andere Art solcher primärer Gestaltungsursachen sehe ich darin, dafs in jeder einem Berghang aufliegenden Schneemasse infolge der Schwere eine, wenn auch nur geringe Massenbewegung bergabwärts stattfinden mufs, die durch den hierbei ausgeübten Druck zu zonalen Verdichtungen innerhalb der Masse führen mufs, welche mehr oder minder aufrecht stehen. Wenn nun die Masse an der Oberfläche durch die Sonne angeschmolzen wird, so werden diese dichteren Zonen als Leisten und Wülste aus der Firnmasse etwas über die benachbarten lockeren Zonen hinausragen und so zu Rändern und Kämmen der aus den lockeren Zonen ausschmelzenden Reihen von Firnschalen werden.

In sehr vielen Fällen aber wird die reihenförmige Anlage durch leichte, vom heftigen Wind parallel der Windrichtung erzeugte Furchung der noch lockeren Schneeoberfläche verursacht werden, die dann durch Anschmelzung verhärtet. Solche Furchung ist als Sastrugi in der windigen sibirischen Tundra bekannt und auch in der Antarktis in starker Ausbildung beobachtet worden. In kleinerem Mafsstab kann man der Windrichtung parallele „Windgräben“ auf jeder windgepeitschten Schnee- oder Sandfläche sehen.<sup>1)</sup>

Diese hypothetischen Erklärungsversuche der primären Ursachen der Zackenfirnbildung lassen sich wohl noch vermehren. Jedenfalls ist anzunehmen, dafs je

) Kurz nach der Fach-Sitzung erschien das Januar-Heft des „Geographical Journal“ in welchem William Hunter Workman im Bericht über seine Erforschung des Nun-Kun-Gebirges auch den dort ( $34^{\circ}6' \text{ n. B.}$ ) beobachteten „nieves penitentes“ eine eingehendere Erörterung widmet, als er sie bereits in der „Zeitschrift für Gletscherkunde“, 1907, S. 22—28, gegeben hatte. Auch er kommt zu dem Schlufs, dafs die Bildung des Zackenfirns von zwei Bedingungen abhängt: 1) Vorhandensein eines starken, von einer Richtung wehenden Windes, der den Schnee in meist parallele Wellen und Käme anordnet und ihn darin zu festeren Massen um bestimmte Verdichtungszentren (*foci of condensation*) sammendrückt; 2) eine auf die Schneefälle folgende lange Periode schönen Wetters, in welcher die lockeren Teile durch die Sonnenhitze weggeschmolzen werden, während die dichteren Teile in der bekannten Gestalt der Penitentes stehen bleiben. (Geogr. Journal, 1908, S. 17—35.)

nach den verschiedenen lokalen Verhältnissen auch die zur reihenförmigen Schalenbildung der Firnoberfläche führenden Ursachen mehrfach verschieden sein können. Die Natur wird auch in diesem bildnerischen Schaffen wie in manchem anderen (z. B. in der Formenbildung durch Verwitterung, Erosion, Deflation) nicht so schematisch verfahren, dafs sie nur eine einzige Ursache ins Spiel bringt. Nur das erscheint mir sicher, dafs die eigentümliche Anordnung der „Sonnen-Penitentes“ ihren Grund in der inneren Struktur (hauptsächlich den verschiedenen Dichtigkeitszonen) angehäufter Schnee- und Firnmassen hat, und dafs wir diese Strukturverhältnisse auch in unseren Breiten noch viel genauer studieren müssen, ehe wir über den Zackenfirn ein abschließendes Urteil gewinnen können.“

Herr Professor Ad. Schmidt: „Als Nichtfachmann würde ich Bedenken tragen, in die Diskussion einzugreifen, wenn nicht die Darlegungen der beiden Herren Vorredner durchaus die Schlüsse bestätigten, die sich mir aus den Vorträgen und den weiteren Erörterungen ergeben hatten.

Eigentümlich an der Erscheinung ist einerseits, dafs sie, wenschon nicht selten, so doch nicht der gewöhnliche Vorgang zu sein scheint, während doch die Agentien (Wind, Strahlung), die bei der Erklärung in Betracht kommen, fast stets wirksam sind. Das scheint mir darauf zu deuten, dafs die Entstehung des Zackenfirns (vor allem die erste Zerlegung des Firnfeldes in parallele Rücken) ein zufälliges Zusammentreffen mehrerer an sich nicht ungewöhnlicher, aber unabhängiger Ursachen voraussetzt.

Wesentlich ist andererseits der soeben auch von Herrn Prof. Meyer hervorgehobene Umstand, dafs das Schmelzen oder Verdunsten gerade dort, wo es einmal eingesetzt hat, am stärksten fortschreitet. Nur Einflüsse, die in diesem Sinne wirken, können als wesentliche Ursachen angesprochen werden. Das gilt nun offenbar von der Sonnenstrahlung, wofern diese so gerichtet ist, dafs sie während möglichst langer Zeit, besonders bei hohem Sonnenstande, in die Rillen hineinscheint und somit den Boden stärker als die Seitenwände trifft. Damit stimmen nun die beiden ungemein interessanten Angaben von Herrn Dr. Jaeger über die Stellung der von ihm am Kilimandjaro und am Tschingel-Gletscher beobachteten Vertiefungen überein: dort im Sommer der Nord-Halbkugel mäfsig nach Norden, hier stark nach Süden, in beiden Fällen also dem Mittagsorte der Sonne zugewendet. Und auch manche der allgemeinen Beobachtungsergebnisse werden dadurch verständlich. Die Austiefung durch die Sonnenwirkung (nur von dieser will ich sprechen) mufs um so stärker erfolgen, je längere Zeit die Sonne jeden Tag nahe der Halbierungsebene des von den beiden Abhängen der Rinne gebildeten Winkels bleibt und je höher sie dabei steht. Das ist offenbar in niedrigen Breiten der Fall, besonders im Sommer der betreffenden Halbkugel, weil dann die Sonne hoch kulminiert und in der Nähe der Kulmination ihr Azimut besonders langsam ändert; es gilt ferner um so mehr, je näher die Vertiefung ostwestlich verläuft. So würde unter dem Äquator zur Zeit der Tag- und Nachtgleiche die Sonne in einer genau von Osten nach Westen streichenden Rinne mit vertikalen Wänden den ganzen Tag hindurch nur den Boden bestrahlen.

Hiernach würde zur Bildung von Zackenfirn eine gewisse ursprüngliche Anlage des Firnfeldes gehören, der zufolge auf seiner Oberfläche Streifen abwechseln, die sich der Sonnenstrahlung gegenüber etwas verschieden verhalten. Worauf diese Verschiedenheit beruht, ob auf einer durch Pressung entstandenen Schichtung der ganzen Masse (wenn eine solche möglich ist), ob auf einem bloßen Wechsel in der physikalischen oder geometrischen Beschaffenheit der Oberfläche, ist eine Frage für sich; die prädisponierende Ursache braucht ja nicht in allen Fällen dieselbe zu sein. Ferner aber sind die Bedingungen im allgemeinen um so günstiger, je größer der Winkel der Streifen mit dem Meridian ist. Auf weitere naheliegende Bedingungen, besonders meteorologischer Natur, will ich nicht eingehen; denn es liegt mir fern, eine Erklärung des verwickelten Phänomens versuchen zu wollen. Meine Bemerkungen sollten nur ein Hinweis auf einige vom mathematisch-physikalischen Standpunkte aus leicht zu überschauende Punkte sein.“

Herr Professor **Hauthal**: „Ich freue mich, daß Prof. Dr. Hans Meyer mit mir darin übereinstimmt, daß Büferschnee oder Zackenfirn sich niemals im Gletschereise bildet und somit die Bezeichnung dieser Bildung als ein besonderer Gletschertypus (andiner Gletschertypus), unter dem man wohl diese Bildungen zusammengefaßt hat, nicht zutrifft. Auch das gereicht mir zu einer gewissen Genugtuung, daß hier die Wirkung der Sonne betont wurde. Viele Örtlichkeiten, an denen ich Büferschnee beobachtet habe (tief eingeschnittene Couloirs am Osthange des Planchon, Descabezado Grande), schliesen eine Windwirkung direkt aus, da hier nur die Sonne und zwar die hochstehende Mittagssonne als Agens wirken kann. Aber nicht nur das örtliche Vorkommen hat mich veranlaßt, die Sonne allein als wirkende Ursache anzunehmen, sondern auch die Richtung der Reihen. Und zwar habe ich niemals weder genau O-W noch N-S beobachtet, sondern stets Nordwest-Südost, allerdings mit geringen Abweichungen. Und diese Richtung bringe ich in ursächlichen Zusammenhang mit der Sonne, die in den Gegenden, wo ich Büferschnee beobachtet habe, eben dann ihre stärkste Wirkung ausübt, wenn sie am nordwestlichen Himmel steht. Als ein weiteres Moment und vielleicht als ein sehr wichtiges, welches geeignet ist, meine Anschauung noch mehr zu unterstützen, kommt die Neigung der einzelnen Figuren und der Kämme hinzu, auf die Dr. Jaeger und Prof. Schmidt vorhin besonders aufmerksam gemacht haben. Hier müßten genaue Beobachtungen unmittelbar einen direkten Zusammenhang mit der Sonnenstrahlung ergeben, da diese Neigung ja mit der geographischen Breite sich ändern muß.“

Für die Erklärung der Reihenbildung, die ja von allen Beobachtern als außerordentlich charakteristisch angegeben wird, ist von verschiedenen Seiten, auch heute Abend hier, eine besondere Struktur der Firnfelder, bestehend aus abwechselnden härteren und weicheren, parallel verlaufenden Schichten angenommen worden. Diese Schichten müßten gemäß der Stellung der Büferschneefiguren senkrecht zur Oberfläche verlaufen, und da stößt die Erklärung (ich bemerke, daß es sich hier nicht um eine beobachtete Tatsache, sondern um eine hypothetische Annahme handelt) auf bedeutende Schwierigkeiten. Wind und

Druck (Lawinendruck, durch Herabgleiten an den Gehängen der Firnfelder entstehender Zusammenschub) sind als Ursachen angeführt worden. Herr Geheimrat Hellmann hat recht, wenn er darauf hinweist, daß ein Firnfeld durchaus nicht eine homogene Masse bildet und daß in einem Firnfeld sich, durch die natürlichen Druckverhältnisse bedingt, härtere und weichere Schichten bilden müssen. Das wird auch durch meine Beobachtungen bestätigt, welche mir eine horizontal verlaufende Schichtung ergeben. Diese Beobachtungen widersprechen aber der Annahme einer durch irgend welchen Druck hervorgerufenen, senkrecht stehenden Schichtung. Die schönsten und größten Büferschneefiguren sah ich herausgebildet in auf ebenem Boden lagernden, horizontal geschichteten Firnfeldern; und wo ich Büferschnee an steileren Abhängen sah, verliefen die Reihen nicht in der Richtung, wie sie durch eine Schichtung bedingt sein müßte, die durch Abgleiten und Zusammenschub der Firnfelder hervorgerufen wird. Daß an einzelnen Stellen durch Herabgleiten eine der Reihenrichtung der Büferschneefiguren entsprechende Schichtung entstehen kann, will ich gern zugeben; aber ein zufälliges Zusammentreffen günstiger Umstände können wir doch nicht als allgemein gültig hinstellen. Wir müssen allgemeine Ursachen herausbringen, so daß wir imstande sind zu sagen: „Hier muß sich unter gegebenen Umständen Büferschnee bilden“, und diese Grundbedingungen festzustellen, das ist das Ideal der Forschung, das aber nur durch fortgesetzte Beobachtungen erreicht werden kann.

Herr Dr. Jaeger hat erwähnt, daß er auf den Köpfen der einzelnen Büferschneefiguren wiederum kleine Gräte beobachtet habe, die, wenn ich ihn recht verstanden habe, wieder in der Richtung der Hauptreihen verlaufen. Ich möchte Herrn Dr. Jaeger fragen, wie er sich diese Gräte entstanden denkt.“

Herr Dr. Jaeger: „Das ist mir auch unklar. Ich vermute Sonnenwirkung und schließse Windwirkung für meine Gräte aus.“

Herr Prof. Hauthal: „Da Sie (Herr Dr. Jaeger) für diese sekundäre Gratbildung den Wind ausschließen, so müssen wir doch wohl auch für die primären Gräte, die nach Ihren Beobachtungen der Bildung der einzelnen Büferschneefiguren vorausgehen, dieselbe Ursache, die Sonne annehmen, eine Annahme, der Sie ja auch beistimmen.. Aber die einwandfreien Beobachtungen durch Prof. Dr. Hans Meyer am Chimborazo-Gipfel zeigen uns, wie wir vorhin gesehen haben, daß wir neben dem durch Sonnenwirkung entstandenen Büferschnee eine andere ähnliche Zerlegung der Firnfelder haben, die, ihrem ganzen Vorkommen nach, nur durch den Wind hervorgerufen sein kann. Für diese Formen hat Prof. Hans Meyer den Namen „Zackenfirn“ vorgeschlagen, der auch mir sehr passend zu sein scheint; aber ich muß betonen, daß der Zackenfirn des Chimborazo weder mit dem Büferschnee der argentinischen Anden, noch mit dem von Prof. Uhlig und Dr. Jaeger am Kilimandjaro beobachteten identisch ist. Die Formen sind ähnlich, aber nicht gleich; gern bekenne ich jedoch, daß ich früher etwas einseitig die Sache beurteilt habe. Die Beobachtungen von Hans Meyer haben mich überzeugt, daß außer der Sonne auch noch ein anderer Faktor, der Wind, ähnliche Figuren hervorrufen kann. Gütsfeldt hatte ja schon früher den Wind mit für die Bildung der Büferschneeformen angeführt; aber Gütsfeldt nimmt eine durch den Wind bedingte primäre

Furchung der Firnfelder an, die entweder parallel oder senkrecht zur Windrichtung verlaufen kann. Aus den so entstehenden Kämmen läßt dann Güßfeldt die einzelnen Figuren durch Sonnenwirkung entstehen. Hans Meyer aber nimmt, wenn ich ihn recht verstehe, gerade für die Herausarbeitung der einzelnen Figuren den Wind als Ursache an, und das ist das Neue, wodurch er sich wesentlich von Güßfeldt unterscheidet.

Ich möchte noch auf eine andere Erklärung hinweisen, die den Büferschnee in Parallele stellt zu den Erdpyramiden; letztere werden bedingt durch Regen und rinnendes Wasser. Der Regen kann für den Büferschnee nicht angenommen werden, da es in dem Gebiete, wo ich Büferschnee beobachtet habe, nicht regnet; und wenn rinnendes Wasser die Ursache wäre, so müßte die Richtung der Reihen sich nach der Richtung des Gefälles richten, das ist aber nach den übereinstimmenden Beobachtungen nicht der Fall. Herr Dr. Jaeger hat ja wiederholt betont, daß die von ihm am Kilimandscharo beobachteten Gräte, aus denen später die Büferschneefiguren entstehen, unbekümmert um die Terrainbeschaffenheit in gerader Richtung sich forterstrecken über Tiefen und Höhen; das weist doch auch entschieden auf Sonnenwirkung hin, die ja auch Dr. Jaeger annimmt. Wenn ich Dr. Jaeger recht verstanden habe, so glaubt er aber, daß die Zerlegung der Gräte in einzelne Zacken durch die Wirkung des rinnenden Wassers (Schmelzwasser) bewirkt werde. Ich glaube, daß hier die Sonnenwirkung einsetzt, worauf ja auch die von Dr. Jaeger erwähnte Neigung sowohl der Gräte (Kämme) als auch der einzelnen Figuren hinweist. Das rinnende Schmelzwasser wird doch in den Furchen bergab zu gelangen suchen, um dann an den tiefsten Stellen die Kämme zu durchbrechen; so werden wohl einzelne Wasserdurchlässe entstehen, aber die Kämme würden nicht in so viele einzelne Zacken zerlegt werden, da muß doch wohl eine andere Kraft wirksam sein. Es ist auffallend, daß weder meine Kollegen in den Grenzkommissionen noch ich selber in den argentinischen Anden diese Gratbildung auf den Firnfeldern als erstes Stadium der Büferschneebildung beobachtet haben. Vielleicht liegt das an der Beobachtungszeit, vielleicht kann aber auch die Bildung des Büferschnees auf zwei verschiedene Weisen eingeleitet werden. Wo ich Büferschnee gesehen habe, da erhielt ich den Eindruck, daß sich nicht erst parallele Kämme bilden, sondern daß von Anfang an einzelne isolierte in parallelen Reihen stehende Spitzen sich herausbilden (vgl. Abbild. 26). An einem Lawinen-Schneekegel hat Forel beobachtet, wie ein herabstürzender Bach sich durch die Schneemasse ein tunnelartiges Loch gegraben hatte; das von oben herabspritzende Wasser hatte nun um dieses Loch herum auf der Schneeoberfläche viele kleine isolierte spitze Pyramiden und Nadeln herausgearbeitet, die aber in ihrer Anordnung und Form durchaus nicht eine bestimmte Regel erkennen lassen und die für die Erklärung des Büferschnees oder des Zackenfirns nicht gut herangezogen werden können.“

Herr Dr. Fr. Jaeger: „Nachdem Herr Prof. Hans Meyer uns klar gezeigt hat, daß es mehrere genetisch verschiedene Arten von Zackenfirn gibt, will ich mich mit Erklärungsversuchen auf die von mir am Kilimandjaro beobachteten

Formen beschränken. Zwei Fragen sind zu beantworten: 1) Wie entstehen die parallelen Firnkämme? 2) Wie entstehen aus diesen die Zacken? Suchen wir zuerst die leichtere zu beantworten. Dafs die Zacken durch abfließendes Schmelzwasser aus den Kämmen ausgeschnitten werden, wird dadurch höchst wahrscheinlich, dafs die Zacken auch eine Anordnung nach der Richtung des größeren Gefälles zeigen. Ich gebe aber zu, dafs es nicht recht klar ist, wie das Wasser beim Vorhandensein der Rinnen zwischen den Kämmen in der Gefällsrichtung der Firnfläche abfließen kann, schräg zu diesen Rinnen. Vielleicht fließt es gelegentlich einmal auf einer gefrorenen Firn- oder Eisschicht etwas unter der Oberfläche und schmilzt dabei die Firnkämme von unten an. Wo sie durch Anschmelzung ein wenig dünner geworden sind, werden sie dann am schnellsten durchschmolzen<sup>1)</sup>.

Wie entstehen nun die anfänglichen Firnkämme? Sie können nicht durch fließendes Wasser ausgeschmolzen sein, weil sie von der Gefällsrichtung unabhängig sind. Auf eine innere Struktur des Schnees können sie auch nicht zurückgeführt werden. Wir beobachteten sie unter anderem auch auf dem Schnee einer abgestürzten Lawine. Dieser hat eine unregelmäßig knollige Struktur, wie ein Haufen riesig dicker Kartoffeln. Da setzten die Firnkämme stets in ihrer O—W-Richtung gleichmäßig über die Knollen hinweg, ganz ohne Rücksicht auf die Struktur. Doch dafs Lawinenschnee nichts zur Sache tut, ist ja längst erkannt. Der Firnschnee hat allerdings eine Struktur, die Schichtung. Diese aber wird beim Ausschmelzen der Firnkämme und -Zacken rücksichtslos durchschnitten, sie ist ohne Einfluß auf die Bildung der Kämmen. Im übrigen ist der Firn homogen. Gewiß ist die Dichte von einem Korn zum nächsten verschieden, aber sonst hat er keine Struktur. Man könnte ihn mit einem feinkörnig krystallinen Gestein vergleichen. Prof. Hans Meyer meint, dafs durch innere Bewegungen des Firns infolge der Schwere eine Struktur, eine Ungleichheit der Dichte hervorgebracht werden könne. Wir kennen Firn, der sich infolge der Schwere bewegt, überall in den Firnkaren der Hochgebirge. Aber die Bewegung erzeugt darin nur durch Zug Spalten oder durch Druck Aufwölbungen, niemals ist eine regelmäßige Struktur beobachtet worden. Und wenn auch eine solche entstehen könnte, so müßte sie doch zu der Richtung, in der die Schwerkraft Bewegungen verursachen kann, zur Gefällsrichtung in irgend einer Beziehung stehen, kommt also für die Entstehung der Firnkämme nicht in Betracht.

Sehr einleuchtend ist dagegen die Erklärung, die mein Freund Uhlig, wenn nicht ersonnen, so doch wieder zu Ehren gebracht hat, dafs zuerst der noch lockere Schnee vom Wind zu kleinen Windwellen angehäuft wird, die nachher von der Sonne tiefer ausgeschmolzen werden. Ich würde das ohne weiteres glauben, wenn ich nicht diese Firnkämme gesehen hätte. Von denen kann ich mir aber nicht vorstellen, wie sie aus Windwellen entstanden sein sollten. Dann könnte wohl die Richtung nicht so konstant sein. Der Wind würde sich doch in einem Tälchen etwas verfangen und anders gerichtete Wellen erzeugen. Auch

<sup>1)</sup> Diesen letzten Gedanken habe ich in der Diskussion nicht vorgebracht, er wurde erst durch Prof. Pencks spätere Bemerkung über Schneegangeln angeregt.

am Tschingelhorn, wo die Kämme noch so winzig waren, sahen sie schon ganz anders aus als Windwellen. Überdies fanden wir ja die Kämme auch auf Lawinenschnee und auf altem Zackenfirn, wo der Schnee schon ganz fest ist, also nicht mehr zu Wellen aufgeblasen werden kann.

Ich habe den Verdacht, daß die Sonne schon von Anfang an die Firnkämme ausschmilzt. Dafür spricht die Neigung nach dem Sonnenstand, die ich ja am Tschingelhorn schon in einem ganz frühen Stadium der Entwicklung beobachtet habe. Aber es ist noch durchaus unklar, wie die Sonnenstrahlen, die unendlich dicht nebeneinander in gleicher Richtung auf ein Firnfeld auffallen, und von denen doch einer so gut ist wie der andere, diese Ungleichheit der Abschmelzung zustande bringen können.“

Herr O. Baschin: „Nach dem bisher Gesagten scheint es sich bei dem Zackenfirn um ein kompliziertes Phänomen zu handeln, bei dem jedenfalls der Wirkung der strahlenden Sonnenwärme die Hauptrolle zufällt. Das Vorherrschen der Ost-West-Richtung scheint mir durch die interessanten Ausführungen des Herrn Professor Adolf Schmidt eine plausible Erklärung gefunden zu haben, so daß nur noch die Frage nach der ersten Ursache der reihenförmigen Anordnung des Zackenfirns zu erörtern bleibt, die durch eine reihenförmige Anordnung gewisser Unregelmäßigkeiten, weniger der inneren Struktur, als der Oberfläche der Firnschicht veranlaßt sein dürfte. Solche Ungleichmäßigkeiten bilden sich in der Form von Schnee-Rippelmarken namentlich auf den weiten Schneeflächen der Polargebiete, wo der Schnee bei tiefer Temperatur nicht zusammenbackt und daher dem Einfluß des Windes unterworfen bleibt. Wenn nun hier mehrfach betont worden ist, daß die Schneeoberfläche in den Gebieten, in denen der Zackenfirn vorkommt, durch Zusammenfröhen verhärtet sei und daher einer Umlagerung durch den Wind nicht unterworfen sein könne, so scheint mir ein anderer Faktor eine maßgebende Rolle zu spielen, auf dessen gestaltenden Einfluß ich in dieser Zeitschrift bereits hingewiesen habe<sup>1)</sup>, nämlich der Staub. Dieser ordnet sich auf der Schneeoberfläche — besonders deutlich auf einer erhärteten — unter dem Einfluß des Windes in langen parallelen Reihen an, die senkrecht zur Windrichtung verlaufen. Scheint dann die Sonne auf diese Oberfläche, so wird der die strahlende Wärme stärker absorbierende Staub, auch wenn er in so geringer Menge vorhanden ist, daß er dem durch die Helligkeit der sonnenbeschienenen Schneeoberfläche etwas geblendeten Auge nicht auffällt, eine leichtere Schmelzung bzw. Verdunstung des unter ihm liegenden Schnees bewirken und so zur Entwicklung paralleler Schneerücken den Anstoß geben. Liegen nun die Staubreihen zufällig in ost-westlicher Richtung, so wirkt die Sonnenstrahlung in der von Herrn Professor Adolf Schmidt geschilderten Weise in der gleichen Richtung, und beide Momente wirken zusammen, um schließlich ost-westlich gerichtete Firnrücken zu erzeugen, die von den in der Richtung des stärksten Gefälles arbeitenden Schmelzwässern durchkreuzt werden können. Es kann jedoch

<sup>1)</sup> Die Entstehung wellenähnlicher Oberflächenformen. Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin, 1899, Seite 423.

eine Zerlegung der reihenförmig angeordneten Staubteilchen auch schon vor dem Beginn der Einschmelzung stattgefunden haben, wenn nämlich ein spätere: Wind aus anderer Richtung ein zweites System von Rippelmarken hervorgerufen hat, das eine Durchkreuzung des primären Wellensystems zur Folge haben muß. Die Staubreihen werden dann in einzelne kleine Häufchen zerlegt, die durch Einschmelzung zur Bildung der bekannten kleinen schalenähnlichen Vertiefungen führen, die man auf angeschmolzenen Schneeoberflächen sehr häufig beobachten kann. Auch diese Anordnung des Staubes muß schließlich zu einer Zerlegung der Schneeschicht in einzelne Pyramiden führen.“

Herr Professor **Hauthal**: „Was die von Herrn Baschin erwähnte Staubbedeckung des Firnfeldes betrifft, die bei der Herausarbeitung der einzelnen Figuren wirksam sein könnte, so muß ich bemerken, daß die von mir beobachteten Büferschneefelder, wie die Photographien zeigen, an der Oberfläche staubfrei waren. Wohl aber hat, wie das eine mir von Herrn Prof. Forel zur Verfügung gestellte Photographie zeigt, dieser Forscher auf einem Schneefelde am Rhone-Gletscher kleine muldenartige Vertiefungen und Erhöhungen beobachtet, die er mit der einschmelzenden Staubbedeckung in ursächlichen Zusammenhang bringt.

Ich muß erwähnen, daß in dem breiten Tale am Ostfuß des von Gütsfeldt bestiegenen Vulkans Maipu ein großes Büferschneefeld beobachtet worden ist, dessen Material nicht eigentlich Schnee, sondern ein grobes, durch Schnee zusammengehaltenes Konglomerat von größeren und kleineren Blöcken war. Hier waren die einzelnen Figuren eben so scharf herausgeschnitten wie in den reinen Firnfeldern; dann und wann war allerdings ein größerer Block auf der Spitze der einzelnen Figuren zu beobachten, die reihenweise Anordnung war eben so scharf kenntlich wie sonst. Das hat sich ja auch herausgestellt, daß die Reihen unabhängig von der Terrainneigung, dem mehr oder weniger reinen Material und der in den Firnfeldern vorhandenen horizontalen Schichtung sind. Auch in horizontal geschichteten Firnfeldern erscheinen die einzelnen Figuren ja wie mit dem Messer herausgeschnitten<sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> In bezug auf eine von Herrn Dr. Jaeger zum Schlufs gemachte Bemerkung möchte ich noch nachträglich folgendes erwähnen, das ich in der Diskussion nicht angeführt habe: Herr Dr. Jaeger meint „es sei nicht klar, wie die Sonnenstrahlen, die doch unendlich dicht nebeneinander in gleicher Richtung auffallen und von denen doch einer so ist gut wie der andere, diese Ungleichheit der Abschmelzung zustande bringen können.“ Um diese Schwierigkeit zu heben, hat man ja eine ursprüngliche durch verschiedene Ursachen bedingt sein könnende, ungleichmäßige Schichtung (Struktur) des Firnfeldes angenommen; eine Annahme, der ich als einer allgemein gültigen nicht zustimmen kann. Mir ist da wohl der Gedanke gekommen, ob wir, da ja doch die Sonne bei den „Sonnen-Penitentes“ als alleinige Ursache anerkannt wird, das primäre Moment nicht in einer ungleichen Beschaffenheit des Firnfeldes zu suchen haben, sondern vielmehr in einer ungleichen Beschaffenheit der Sonnenstrahlen. Dieser Gedanke erschien mir zwar sehr naheliegend, aber doch etwas abenteuerlich; ich finde ihn jedoch auch in einem Aufsatz von Herrn Wilh. Krebs (Sonnentätigkeit im Juli 1907 in Beziehung zur strahligen Wolkenbildung und zu Niederschlagsverhältnissen. Das Weltall, 8. Jahrgang, 8. Heft, S. 126) ausgesprochen, wo er Büferschnee in Parallele stellt mit der regelmässigen, streifigen Reihenstruktur, in der oft Cirruswolken, Cirrusflockchen angeordnet sind, eine Struktur die nach

Es darf vielleicht noch erwähnt werden, daß das Phänomen des Büferschnees oder Zackenfirns durchaus nicht ein seltenes ist. Es ist recht häufig zu beobachten und ist ja auch viel beobachtet worden, als bei Gelegenheit des argentinisch-chilenischen Grenzstreites jene weltentlegenen Örtlichkeiten aufgesucht werden mußten, die sonst kaum der menschliche Fuß betritt. Wir haben gesehen, daß das Problem, das uns hier heute Abend in so anregender Weise beschäftigt hat, noch nicht soweit durch Beobachtung gefördert ist, daß eine ganz einwandfreie Erklärung möglich ist. Es fehlen noch viele einschlägige Beobachtungen, die alle die hier heute Abend angeregten Fragen wohl dann am besten beantworten würden, wenn vielleicht in der verhältnismäßig leicht zu erreichenden Gegend des Aconcagua ein Büferschneefeld vom Beginne der Bildung bis zur vollendeten Ausbildung ununterbrochen beobachtet würde.“

Herr Geheimrat Penck: „Ich habe Büferschnee nie gesehen und kann nur berichten, was ich in unsern Breiten beobachtet habe. An unserm Firnschnee interessiert uns ein Phänomen, das heute nicht berührt worden ist, die Schneegangeln. Auf jedem schneebedeckten Wiesenhang sind sie im Frühjahr wahrzunehmen. Es sind Rinnen, die streng im Sinne des größten Gefälles verlaufen und sich zu Kanälen von 1—2 Fuß Tiefe vereinigen. Crammer beobachtete das Phänomen, nachdem feuchter Neuschnee auf eine alte Schneedecke gefallen war. Die Feuchtigkeit war auf dem alten Schneefeld unter dem Neuschnee hinabgelaufen.

Doch hat der Zackenfirn hiermit offenbar nichts zu tun, der bei uns in typischer Ausbildung nicht existiert und daher nicht verstanden wurde, als Güßfeld und Brackebusch die erste Kunde von ihm brachten. Jedoch kann man, wenn die Schneedecke von der Sonne weggeleckt wird und durch Evaporation schwindet, vielfach Schmelzfiguren wahrnehmen, die lebhaft an die von Dr. Jaeger beobachteten Formen erinnern; es zeigen sich Furchen, die geneigt sind in der Ebene der Sonnenbahn. In unseren Breiten sind es daher flach geneigte Einschnitte, von der Sonne wegfallend. Am Brocken beobachtete ich sie bis 1 m tief.

Doch warum tritt nun an der bestimmten Stelle der Furche Schmelzung durch Evaporation ein? Dafür scheint die Lagerung des Schnees maßgebend zu werden. Er fällt bei Wind ungleichmäßig und wird verweht, wobei nackte Flächen auf einer alten Schneeoberfläche entstehen. Die Schneedecke ist also nur scheinbar ein homogenes Gebilde, dagegen in Wirklichkeit, wie die Entstehung zeigt, sehr kompliziert struiert, was sich nicht immer an der Oberfläche zeigt. Ich möchte mich daher der Ansicht derer anschließen, die heute Abend ausgesprochen haben, daß die Koinzidenz von Sonnenwirkungen mit bestimmten Strukturen der Schneedecke für die Entstehung des Zackenfirns maßgebend wird, und zwar spielt meines Erachtens die Schmelzung der Evaporation dabei eine Hauptrolle.

---

Krebs „das Recht gibt zur Annahme einer Art von bestimmter Struktur der Sonnenstrahlung“, ein Gedanke, der gewiß verdient, ernst betrachtet zu werden; denn wenn die Sonnenstrahlen nicht gleichwertig sind, so hätten wir eine einwandfreie, allgemeingültige Erklärung des Büferschnees.

Ganz ähnliche Erscheinungen wie das Schmelzen der Schneedecke bietet das Karrenphänomen, von welchem wir zwei Arten, Karrenrinnen und Kluftkarren, analog den Gangeln und dem Zackenfirn, zu unterscheiden haben. Beide Arten von Karren treten häufig gleichzeitig miteinander auf. Dieses Nebeneinander-vorkommen erinnert an Jaegers Figuren des Büferschnees, die über einen Hang im Sinne von dessen Streichen hinweglaufen, aber zerschnitten sind im Sinne von dessen Fallen, ebenso wie Kluftkarren häufig von Karrenrinnen durchschnitten werden.“

Herr Professor **Ad. Schmidt**: „Ich möchte noch bemerken, dafs die Frage wohl einer experimentellen Untersuchung zugänglich wäre. Man brauchte nur an geeigneten Orten unter wechselnden sonstigen Bedingungen auf einem Schneefeld verschieden orientierte flache Vertiefungen anzulegen und ihr Verhalten vergleichend zu beobachten.“

Der Vorsitzende Herr Geheimrat **Wahnschaffe**: „Meine Herren, ich bin Ihnen sehr dankbar, dafs zunächst nur eigene Beobachtungen vorgetragen wurden. Ich hoffe, dafs die interessante Diskussion klärend gewirkt hat, und dafs dadurch, dafs alle Möglichkeiten erwogen wurden, das Problem des Büferschnees der Lösung näher gebracht ist.“

---