

Kurt Wegener und Max Robitzsch. Mitgeteilt von M. Robitzsch. — 7 S.

Heft 7/1917:

Stoll, O.: Zur Entstehung des Strukturbodens in polaren Gebieten. — 14 S., 1 Taf.
Rempp, G. und Wagner, A.: Die Hydrodynamik des Föhns und die „lokalen Winde“ in Spitzbergen. — 12 S.

In Spitzbergen entstanden in der Hand von M. Robitzsch zwei noch heute wichtige Meßgeräte für die meteorologische Strahlung: der Vorläufer des weltbekannten Bimetall-

Aktinographen Robitzsch-Fuess (Gerlands Beitr. 2. Geophysik, Bd 35, 4, 3/4, 1932, S. 388) und der Sonnenscheinschreiber für Polarstationen (Meteorolog. Zeitschrift 1913, H. 12).

Herrn Oberregierungsrat Dr. Joh. Georgi danke ich für die Anregung zu diesem Aufsatz und für die Überlassung der wertvollen, vollständigen Reihe der „Veröffentlichungen des Deutschen Observatoriums Ebeltoft-hafen - Spitzbergen“. Herrn Studienrat Ruthe danke ich für tatkräftige Hilfe bei der Zusammenstellung der Literatur.

Der Spurenstoffgehalt des Gletschereises

Von Hans-Walter Georgii, Frankfurt/M *)

Zusammenfassung: Die Abhandlung beschäftigt sich mit den Ergebnissen der chemischen Analysen von geschmolzenen Eisproben, die auf einem österreichischen Gletscher und einer arktischen Insel gewonnen wurden. Die Konzentration der verschiedenen Bestandteile in den Eisproben aus Oesterreich ist sehr gering im Vergleich zu der Konzentration derselben Ionen in frisch gefallenem Niederschlag. Dieser Unterschied kann mit größter Gewißheit aus dem Mechanismus der Bildung der Gletscherkörner erklärt werden. Die Reihe der Eisproben, die auf der arktischen Insel zwischen 1920 und 1961 gesammelt wurden, zeigt keinerlei Zunahme der Konzentration von SO_4 im Laufe der Zeit. Die hier niedergelegten Ergebnisse werden abschließend mit den Angaben anderer Verfasser verglichen.

Abstract: The paper deals with the results of chemical analyses of melted ice-samples from an Austrian glacier and from an Arctic island. The concentration of the different components in the ice-samples from Austria is very low compared with the concentration of the same ions in freshly fallen precipitation. This discrepancy can most certainly be explained by the mechanism of the formation of glacier-grains. The series of ice-samples collected at the Arctic island covering the period 1920 to 1960 does not show any increase of the SO_4 -concentration with time. The own results are finally compared with data gained by other authors.

Die Konzentration der im Gletschereis angetroffenen Salze wird durch den Spurenstoffgehalt der Niederschläge und der über den Gletscher streichenden Luftmassen bestimmt. Chemische Analysen des Gletschereises wurden bisher nur vereinzelt durchgeführt. E. Gorham (1,2) berichtete über die Zusammensetzung von Eisproben, die er in Spitzbergen sowie in Nordnorwegen gesammelt hatte. A. Renaud (3) führte einige

Messungen der elektrolytischen Leitfähigkeit von Proben aus Schweizer Gletschern sowie chemische Analysen der die Gletscherkörner umgebenden Salzlauge in Zusammenhang mit seinen Untersuchungen über die Transformation des Schnees in Gletschereis aus.

Die Annahme, daß das Grönlandeis nur kurzen und seltenen Schmelzperioden ausgesetzt ist und dadurch die im Niederschlag gelösten Spurenstoffe über lange Zeit konserviert werden, veranlaßten C. E. Junge (4) zu einer gründlichen chemischen Analyse von Eisproben, die an der sogenannten Site II in Grönland (etwa 200 Meilen östlich Thule, in 2500 m Höhe gelegen) gesammelt waren. Die untersuchten Proben überdeckten den Zeitraum von 1915 bis 1957. Junge war von der Vorstellung ausgegangen, daß die älteren Eisproben möglicherweise eine geringere SO_4 -Konzentration besäßen als die jüngeren. Eine Zunahme des SO_4 -Gehaltes des Gletschereises ist angesichts des starken Anstiegs der industriellen und anthropogenen Schwefeldioxydemission in die Atmosphäre naheliegend. Das Ergebnis der Untersuchungen Junges zeigte zwar, daß der durchschnittliche SO_4 -Gehalt der Eisproben aus Grönland um eine Größenordnung höher liegt als die Konzentration der anderen analysierten Komponenten, daß jedoch keine Anzeichen eines kontinuierlichen

*) Doz. Dr. H.-W. Georgii, 6 Frankfurt/M, Universitäts-Institut für Meteorologie und Geophysik, Feldbergstraße 47

Anstiegs der SO₄-Konzentration seit 1915 zu erkennen waren.

Untersuchungen am Hintereisferner (Oesterreichische Alpen)

Die Untersuchungen *Junges* lassen die Möglichkeit offen, daß anthropogen erzeugtes Schwefeldioxyd nur eine relativ kurze Lebensdauer in der Atmosphäre besitzt und durch Niederschläge bereits ausgewaschen wird, bevor die als Träger dienenden Luftmassen die Arktis erreichen. Um diese Möglichkeit zu überprüfen, hat der Verfasser Eisproben eines mitteleuropäischen Gletschers analysiert. Für diese Studien war die Zusammenarbeit mit Herrn Professor Dr. *H. Hoinkes*, Innsbruck, besonders wertvoll, der bereits seit mehreren Jahren geophysikalische Forschungen am Hintereisferner in Tirol betreibt und aufgrund seiner langjährigen Erfahrung mit der Struktur dieses Gletschers sehr gut vertraut ist. Die zentrale Lage des Hintereisfernens in Mitteleuropa garantiert, daß Luftmassen aus industriereichen Gegenden in wenigen Tagen bis zu den Zentralalpen gelangen. Eine genaue Datierung, der auf dem Hintereisferner gesammelten Eisproben war nicht möglich; es wurde jedoch versucht für diese erste Übersichtsanalyse Proben sehr unterschiedlichen Alters zu sammeln. Aufgrund seiner genauen Kenntnis des Hintereisfernens konnte Professor *Hoinkes* ungefähre Angaben über den Zeitraum der Bildung der untersuchten Eisproben machen.

Aus vier verschiedenen Zeiträumen standen jeweils sechs Proben zur Verfügung. Mittelwerte der Konzentration der verschiedenen analysierten Komponenten sind in untenstehender Tabelle angegeben.

Diskussion der Ergebnisse

Das überraschendste Ergebnis der Analysen ist der hohe Grad der Reinheit der Proben, der bei einer elektrolytischen Leitfähigkeit zwischen 2 und 5 µS/cm mit dem von gutem

destilliertem Wasser vergleichbar ist. Obwohl keine Analysen von frisch gefallenem Schnee vom Hintereisferner vorliegen, so bieten die Untersuchungen der Niederschläge, die wir während eines längeren Zeitraumes auf der Zugspitze (2960 m Höhe) und in St. Moritz (1800 m Höhe) gesammelt und analysiert haben, einen Anhaltspunkt über den Spurenstoffgehalt von frisch gefallenem Schnee. Es zeigt sich, daß die Spurenstoffkonzentration in den Niederschlägen an diesen beiden Meßstellen etwa fünf- bis zehnmal höher ist als die im Eis des Hintereisfernens angetroffene. Die Analysen der Niederschlagsproben, die vom Verfasser gemeinsam mit *E. Weber* (5) an beiden Stationen durchgeführt wurden, ergaben folgende Werte:

Meßstelle	SO ₄ mg/ltr.	NO ₃ mg/ltr.	NH ₄ mg/ltr.	Cl mg/ltr.	Leitfähigk. µS/cm
Zugspitze	1.0	0.8	2.8	1.6	—
St. Moritz	0.4	0.8	1.2	—	36

Die Eisproben jüngeren Datums besitzen zwar eine höhere SO₄-Konzentration verglichen mit den Proben, deren Entstehung viele Jahre zurückliegt. Es erscheint jedoch sehr zweifelhaft, ob die Ursache in einer langjährigen Zunahme des atmosphärischen SO₂-Gehaltes auf der Nordhalbkugel und damit verknüpft des SO₄-Gehaltes der Niederschläge begründet ist. Abgesehen von der SO₄-Konzentration steigt auch die elektrolytische Leitfähigkeit von den älteren zu den jüngeren Proben an. Chlorid- und Natriumkonzentration der Eisproben liegt wesentlich höher als die der anderen analysierten Komponenten. Das Verhältnis Na/Cl schwankt zwischen 1/1.6 und 1/1.3 und weicht damit etwas von dem Na/Cl-Verhältnis im Ozeanwasser (1/1.8) ab, stimmt aber gut mit den Analyseergebnissen *Junges* überein, der ein mittleres Na/Cl-Verhältnis von 1/1.3 in den von ihm untersuchten Eisproben fand.

Ungefähres Alter der Probe	SO ₄ (mg/ltr.)	NO ₃ (mg/ltr.)	NH ₄ (mg/ltr.)	Cl (mg/ltr.)	Na (mg/ltr.)	Leitfähigk. µS/cm	pH
mehrere hundert Jahre	0.050	0.020	0.080	0.40	0.25	2.3	5.2
etwa hundert Jahre	0.048	0.020	0.082	0.44	0.27	2.5	5.2
jünger als hundert Jahre	0.050	0.022	0.044	0.46	0.33	2.8	5.0
einige Jahre	0.077	0.022	0.046	0.55	0.41	5.2	5.0

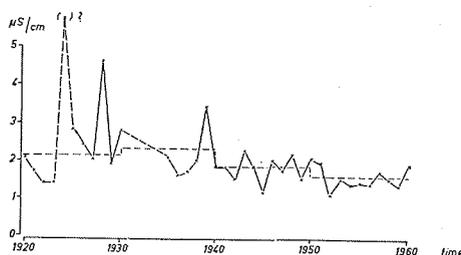
Die Erklärung für die große Reinheit des Gletschereises des Hintereisferners und die offensichtliche Diskrepanz zwischen Spurenstoffgehalt der Niederschläge im Alpengebiet und der Konzentration der entsprechenden Komponenten im Gletscher dürfte in dem Mechanismus der Bildung der Gletscherkörner zu suchen sein. Wie von G. Tamann (6) und A. Renaud (7) beschrieben, findet bei der Umbildung des Firns in das Gletscherkorn eine Trennung der Salzlösung vom reinen Wasser statt. Die Gletscherkörner wachsen bis zu einer Größe zwischen 1 und 15 cm Durchmesser an, wogegen der Durchmesser der salzhaltigen Außenschicht nur etwa $\frac{1}{10}$ der Korndicke beträgt. Sie umgibt als flüssiger Film die Gletscherkörner und erleichtert oder ermöglicht erst deren Gleiten. Die Salzkonzentration dürfte daher von der Oberfläche der Gletscherkörner nach deren Inneren stark abnehmen. Bei einem Gletscher in den gemäßigten Breiten, wo während der Sommermonate längere Schmelzperioden auftreten, ist es durchaus möglich, daß die salzhaltige Schicht zwischen den Gletscherkörnern weggeschwemmt wird und mit dem Gletscherbach abfließt. Unsere Untersuchungen am Hintereisferner ermöglichen somit unter Umständen wertvolle Rückschlüsse auf die Bildung des Gletscherkorns.

Untersuchungen von Eisproben aus Axel Heibergland (Arktis)

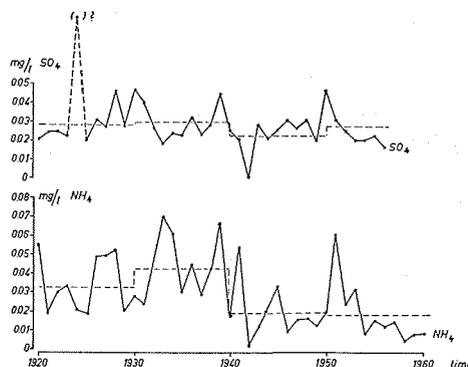
Im Anschluß an die Untersuchung der Eisproben vom Hintereisferner gelang es uns durch die freundliche Vermittlung des Geophysics Research Directorate, USAF, Bedford (Mass.) in den Besitz einer größeren Zahl Eisproben von der arktischen Insel Axel Heibergland zu kommen. Die Proben wurden von der Jacobsen-Mc Gill Arctic Research Expedition im Sommer 1961 gesammelt und von Dr. F. Müller und seinen Mitarbeitern genau datiert. Es stand uns somit eine geschlossene Reihe von Eisproben aus den Jahren 1920 bis 1960 zur Verfügung. Innerhalb dieser Zeitspanne sollte sich nach den Abschätzungen von R. Revelle und H. Suess (8) der Weltkohlekonsum von etwa 12.8×10^8 Tonnen auf 25×10^8 Tonnen erhöht haben. Die Eisproben stammen aus einem Stollen, der

mit einer Neigung von 41° und einer Gesamtlänge von 27.2 m in etwa 2200 m Höhe über dem Meer angelegt war. Die geographischen Koordinaten dieses Ortes sind $79^\circ 47' N$ und $92^\circ 20' W$.

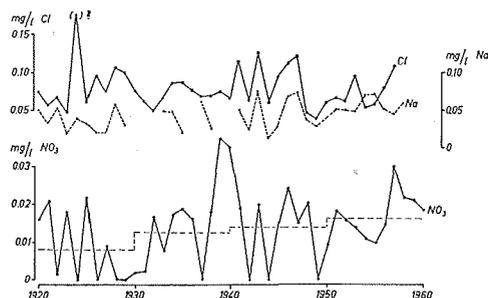
Die Analysenergebnisse der verschiedenen Komponenten sind in den Figuren 1, 2 und 3 in Abhängigkeit vom Alter der Eisproben aufgetragen. Für die Natrium-Analysen reichte die vorhandene Schmelzwassermenge



Figur 1: Elektrolytische Leitfähigkeit der Eisproben vom Axel Heibergland
Electrolytical conductivity of ice-samples from Axel Heibergland ($79^\circ 47' N$, $92^\circ 20' W$)



Figur 2: Zusammensetzung der Eisproben vom Axel Heibergland: SO_4 , NH_4
Composition of ice-samples from Axel Heibergland: SO_4 , NH_4 ($79^\circ 47' N$, $92^\circ 20' W$)



Figur 3: Zusammensetzung der Eisproben vom Axel Heibergland: Cl, Na, NO_3
Composition of ice-samples from Axel Heibergland: Cl, Na, NO_3 ($79^\circ 47' N$, $92^\circ 20' W$)

teilweise nicht aus, so daß sie unvollständig sind. Die Proben aus dem Jahre 1924 waren offenbar verunreinigt, der hohe SO_4 - und Cl -Gehalt sowie die hohe elektrolytische Leitfähigkeit deuten darauf hin. Die Fluktuation der Konzentration der verschiedenen Komponenten wird zweifellos teilweise auf Unterschiede der jährlichen Niederschlagsmenge zurückzuführen sein, über die keine Angaben vorliegen. Ebenso liegen auch von Axel Heibergland keine Analysen von frisch gefallenem Schnee vor, die einen Vergleich mit der im Eis gefundenen Spurenstoffmenge gestatten. Die Bildung von Mittelwerten über zehn Jahre zeigt bei keiner der analysierten Komponenten einen einsinnigen Verlauf. Während die NO_3 -Konzentration eine geringe Zunahme zeigt, nehmen elektrolytische Leitfähigkeit und damit der Gesamtsalzgehalt der Proben sowie die NH_4 -Konzentration seit 1940 in geringem Maße ab. Die SO_4 -Konzentration bleibt während der gesamten Periode von 1920 bis 1960 annähernd konstant. Die Natriumkonzentration liegt mit Ausnahme von zwei Jahren stets unter der Chloridkonzentration. Während längerer Zeiträume ist ein paralleler Verlauf zwischen Na - und Cl -Konzentration festzustellen.

Vergleich mit den Analyseergebnissen anderer Autoren

Es ist von Interesse, die von uns erzielten Resultate mit den wenigen bisher veröffentlichten Daten anderer Autoren zu vergleichen. Die folgende Zusammenfassung zeigt eine gute Übereinstimmung der Ergebnisse, zumindest, soweit sie die Größenordnung der Konzentration betreffen. Eine wesentlich höhere Konzentration hatten lediglich die von *Gorham* untersuchten Eisproben, wobei jedoch zu berücksichtigen ist, daß es

sich hierbei teilweise um Oberflächenproben oder um Proben, die aus einer Gletscherspalte entnommen wurden, handelte. Eine Beeinflussung der Spurenstoffkonzentration durch äußere Einflüsse ist daher in diesem Fall wahrscheinlich.

Die Ergebnisse der bisher durchgeführten Analysen zeigen, daß sich eine eventuelle Zunahme der atmosphärischen SO_2 -Konzentration auf der Nordhalbkugel seit Beginn des Industriezeitalters nicht als eine Erhöhung des SO_4 -Gehaltes des Gletschereises nachweisen läßt, und ein solcher Nachweis aufgrund der Trennung von Salzlösung und reinen Eiskristallen bei der Bildung des Gletscherkorns wohl auch nicht durchführbar ist. Ganz im Gegenteil ist der SO_4 -Gehalt des Eises vom Hintereisferner mit Werten zwischen 0,05 und 0,075 mg/ltr. SO_4 niedrig im Vergleich zu den SO_4 -Konzentrationen in Niederschlägen im Alpengebiet. Höhere SO_4 -Konzentrationen sind in der die Eiskristalle umgebenden „Salzhaut“ zu erwarten. *A. Renaud* (3) fand in der Zwischenschicht zwischen Gletscherkörnern SO_4 -Werte bis zu 5 mg/ltr.

Die bisher durchgeführten Untersuchungen erlauben noch kein abschließendes Urteil über die Verteilung der Spurenstoffe im Gletschereis. Ergänzende Studien sollen sich auf die Analyse der Firnschicht und der Schmelzwässer der Gletscher erstrecken und ermöglichen vielleicht einen besseren Einblick in den Umbildungsprozeß des Firms zum Gletscherkorn.

Es ist dem Verfasser abschließend ein Bedürfnis, Herrn Professor Dr. H. Hoinkes, Innsbruck und seinen Mitarbeitern sowie dem Geophysics Research Directorate, Bedford (Mass.) für die Unterstützung dieser Arbeit zu danken.

Sammelstelle (Autor)	SO_4 (mg/ltr.)	NO_3 (mg/ltr.)	NH_4 (mg/ltr.)	Cl (mg/ltr.)	Na (mg/ltr.)	K (mg/ltr.)	Ca (mg/ltr.)	Leitfähigk. ($\mu\text{/cm}$)	pH
Spitzbergen (Gorham)	0,8	—	—	3,2	2,0	0,2	0,38	—	6,2
Norwegen (Gorham)	—	0,01	0,013	—	0,05	0,03	—	1,8	5,8
Grönland (Junge)	0,25	—	—	0,087	0,08	0,01	0,035	—	—
Schweiz (Renaud)	—	—	—	—	—	—	—	1—97	—
Österreich (Georgii)	0,057	0,021	0,038	0,43	0,31	—	—	3,3	5,2
Axel Heibergland (Georgii)	0,028	0,013	0,029	0,07	0,05	—	0,07	1,9	5,2

Alle angegebenen Werte sind an Schmelzwasserproben gewonnen.

Literatur:

- 1) Gorham, E.: The salt content of some ice-samples from Nordaustlandet, Svalbord, *J. of Glaciology*, 3, 1957, 181—186.
- 2) Gorham, E.: Soluble salts in a temperate glacier *Tellus*, 10, 1958, 496—497.
- 3) Renaud, A.: Nouvelle contribution à l'étude du grain de glacier. IUGG-Konferenzbericht, Brüssel 1951, 206—211.
- 4) Junge, C. E.: Sulfur in the atmosphere. *J of Geophys. Res.* 65, 1960, 227—237.
- 5) Georgii, H. W. und Weber, E.: Luft-chemische Untersuchungen in den Alpen. *Zbl. Aerosolforsch.* 10, 1962, 97—105.
- 6) Tamann, G.: Die Bildung des Gletscherkorns, *Naturwiss.* 17, 1929, 851—854.
- 7) Renaud, A.: A contribution to the study of the glacier-grain. *J. of Glaciology*, 1, 1949, 320—324.
- 8) Revelle, R. und Suess, H.: Carbon dioxide exchange between atmosphere and ocean and the question of an increase of atmospheric CO₂ during the past decades *Tellus*, 9, 1957, 18—27.

Meteorite in den Polargebieten

Von Werner Sandner, Grafing-Bahnhof *)

Gegenüber den Vertretern aller anderen naturwissenschaftlichen Disziplinen ist der Astronom insofern benachteiligt, als er die Objekte seines Forschens nicht im Laboratorium einer Untersuchung unterwerfen, nicht mit ihnen „experimentieren“ kann. Er ist vielmehr auf die Kunde angewiesen, die ihm auf dem Wege der elektromagnetischen Strahlung zugesandt wird, also auf die „Experimente“, die ihm die Gestirne freiwillig vorführen. Die einzige Ausnahme hiervon bilden die Meteorite, die als Boten aus dem Kosmos auf die Erde fallen, und die wir daher chemisch und physikalisch analysieren können. Aus diesem Grunde kommt diesen Objekten, so winzig sie auch sein mögen, doch eine erhöhte Bedeutung zu.

I. Meteorite

Meteoritenfunde sind praktisch aus allen Teilen der Erde bekannt; die Wahrscheinlichkeit ihres Auffindens aber ist stark von den örtlichen Gegebenheiten abhängig. Was ist nun an Meteoritenfunden in polaren und subpolaren Gebieten bekannt?

Die nachstehende Übersicht will nur einen allgemeinen Überblick geben, sie kann und will nicht Anspruch auf Vollständigkeit erheben. Bei der Ausarbeitung erwies es sich aus praktischen Gründen als notwendig, die Untersuchung nach Ländern getrennt vorzunehmen. Dabei war es bei einem Teil derselben — Canada, Sibirien — nicht immer möglich, mit Sicherheit zu entscheiden, wieviele der von dort bekannten Meteoritenfälle noch in das arktische und subark-

tische Gebiet zu zählen sind und wieviele Fundorte bereits südlich desselben liegen. Was die benutzten literarischen Unterlagen betrifft, so reicht der Katalog von *Leonard* bis zum Jahre 1955, während das Werk von *Krinow* alle Fälle und Funde bis 1956 enthält.

Alaska

Aus Alaska sind nur drei Meteoritenfunde bekannt, keiner derselben wurde beim Fall beobachtet. Es handelt sich um einen Pallasit und zwei Oktaedrite.

Nach einer brieflichen Mitteilung von Prof. *LaPaz*, Institute of Meteoritics, University of New Mexico, Albuquerque/NM/USA werden dagegen aus Alaska 4 Meteorite verzeichnet, nämlich 3 Eisen- und 1 Eisen-Stein-Meteorit.

Canada

Der Katalog von *Leonard* zählt insgesamt 24 Meteorite auf, 6 davon wurden beim Fall beobachtet, die übrigen sind Funde.

Nach Prof. *LaPaz* (briefl. Mitt.) sind aus Canada bis 1961 nur 23 Meteorite bekannt, von denen 7 beim Fall beobachtet sind. Nach ihrer Klassifikation sind es 12 Eisen- und 10 Stein-Meteorite, während es sich bei einem um einen Eisen-Stein-Meteoriten handelt.

Grönland

Aus Grönland ist zwar nur ein Fund bekannt, doch ist es einer der größten und berühmtesten. Er betrifft einen Schauer von

*) Dr. Werner Sandner, 8018 Grafing-Bahnhof, Brunnstein-Str 9