

Wasserquellen als Überreste des früheren aktiven Vulkanismus vorkommen. Sowohl in Grönland wie in der Antarktis sind solche Untergrundverhältnisse zu erwarten. Es sei hier auf die sogen. „Koch'sche Linie“ hingewiesen, d. i. die markante Störungslinie, welche von den aktiven Vulkanen Islands quer durch Grönland — also unter dem Inlandeis — an die Westküste und weiter nach Kanada zu verfolgen ist. Es sind also bei den geplanten Inlandeis-Tiefbohrungen Vorsicht, Vorstudien und Sicherheitsmaßnahmen wegen der Eruptionsgefahr notwendig. Es ist wahrscheinlich, daß sich die Gas- und Wasserlager in geologisch abgeschlossenen inneren Gebirgssenken von Grönland mit seismischen Reflexions- und Laufzeitkurven feststellen lassen. Vermutlich sind sie in der 100 bis 200 m mächtigen sogen. „Zwischenschicht“ zwischen Felsgrund und Eispanzer enthalten. Direkte Gas-Entweichungen an Fels-Eis-Kontaktgrenzen bei Nunatakern wären als Ventilöffnungen im Eispanzer denkbar und sollten überprüft werden. Ebenso sollten in den Randzonen des Inlandeises entsprechende systematische Beobachtungen gemacht werden.

**Prof. Bauer:** Ich schließe mich ganz den Ausführungen von Dr. B. Fristrup an, um die Wichtigkeit der Arbeiten von Commander Nutt und Kollegen zu betonen. Diese Untersuchungen sind

sicher die originellsten u. wissenschaftlich bahnbrechendsten der glaziologischen Arbeiten während des Internationalen Geophysikalischen Jahres.

Prof. Brockamp hat in der Begrüßungsansprache gesagt, daß das grönländische Inlandeis ein Relikt der Eiszeit sei. Das ist insofern richtig, als das Inlandeis sich heute wahrscheinlich nicht mehr bilden würde, wenn man das Eis wegnehmen könnte. Andererseits ist aber das Eis des Inlandeises nicht ein Relikt der Eiszeit, da es, wie die Arbeiten von Nutt und Kollegen ergeben, maximal 3000 Jahre alt ist. Dieses hat schon Hess 1902 formuliert, und man kann seine Überschlagsrechnung mit den heutigen Zahlen wiederholen:

Volumen des Inlandeises	~ 2,6 : 10 <sup>6</sup> km <sup>3</sup>
Jährlich Akkumulation	~ 500 km <sup>3</sup>
Mittleres Alter des Eises	
	$\frac{2,6 : 10^6 \text{ p}}{500} \sim 5000 \text{ Jahre}$

Dies will natürlich nicht sagen, daß an einigen Stellen noch älteres Eis existiert. Nur kann man sagen, daß im Mittel das Eis von Grönland nicht etwa 100 000 Jahre oder mehr alt sein kann.

## Seismische Eisdickenmessungen auf Nowaja Semlja 1932/33

Von K. Wölcken, Buenos Aires \*)

**Zusammenfassung:** Das sogenannte „Inlandeis“ von Nowaja Semlja hat keine „mathematische“ Form der Oberfläche; Gletscherspalten kommen auch im Zentralgebiet vor. Die Eisoberfläche ist überall „bewegt“ und läßt auf einen gebirgigen Untergrund schließen mit nicht weniger Relief als die sichtbaren Küstengebirge. Das ist zum Teil seismisch bestätigt worden.

Die Längs-Achse des „Inlandeises“ ist klar ausgeprägt, obwohl auch mehrere Quertäler deutlich sichtbar sind. Es ist durchaus wahrscheinlich, daß, wenn man sich das Eis fortdenkt, die Quertäler das Karische Meer mit der Barents-See verbinden würden, so wie es die Meeresstraße von Matotschkin Schar bereits tut. Die Eisdickenmessungen ergaben, daß in 15 km Küstenabstand der Untergrund tatsächlich unter dem Meeressniveau liegt.

In altem Gletschereis (Tschajew-Gletscher), dessen Temperatur auf  $-11^{\circ} \text{C}$  geschätzt wurde, beträgt die Geschwindigkeit der Longitudinalwellen recht genau 3800 m/s und die der Transversalwellen, weniger genau, zwischen 1760 und 1770 m/s.

**Abstract:** The-called „inland-ice“ of Novaja Semlja has no „mathematical“ form of the surface and crevasses also occur in the central part. The surface of the ice is everywhere „agitated“ and allows to infer a mountainous underground with as much relief as the visible coast-mountains. That has partly been affirmed seismographically.

The longitudinal axis of the „inland ice“ is clearly marked, although some cross-valleys are distinctly visible, too. It is, by no means, improbable that, under the presumption of the ice not being existent, the cross-valleys would join the Kar-Sea with the Barents-Sea just as

it is already the case with the Straits of Matotschkin Schar. The measurement of the thickness of the ice resulted in the statement that, at a distance of 15 km off the coast, the underground lies in fact under the level of the sea. In the old glacier-ice (Tschajew glacier), the temperature of which was estimated at  $-11^{\circ} \text{C}$ , the velocity of the longitudinal waves is quite exactly 3800 m/s and that of the transversal waves, less exactly, from 1760 to 1770 m/s.

Ogleich die Meßverfahren in den letzten 30 Jahren sehr verbessert sind, möchte Verf. die damals erhaltenen Ergebnisse kurz mitteilen, weil eine Veröffentlichung in englischen oder deutschen Fachzeitschriften bisher nicht erfolgt ist, und weil das seinerzeit in Rußland abgegebene Material während des Krieges verlorenging. Es handelt sich um eine Fortführung der auf der Deutschen Grönland-Expedition Alfred Wegener 1930/1931 ausgeführten seismischen Arbeiten, diesmal im Rahmen des 2. Internationalen Polarjahres und ebenfalls unterstützt von der Deutschen Forschungsgemeinschaft. Die Instrumente und Methoden sind die auf der Wegener-Expedition verwendeten. Die Ergebnisse sind nicht voll ausgeschöpft worden,

\*) Dr. K. Wölcken, Florida, Prov. Buenos Aires, Arenales 2518, Argentinien

weil der Verfasser kurz nach Abschluß der Expedition auf anderen Arbeitsgebieten eingesetzt wurde.

An seismischen Instrumenten wurden benutzt:

- 2 Wiechert Vertikalseismographen mit Aenderungen von B. Brockamp, 30 000-fache Vergrößerung.
- 1 Horizontalapparat nach G. Angenheister mit etwa 10 000-facher Vergrößerung.

Es wurde an 3 Stellen seismisch gearbeitet:

- 1) Bei der Basis-Station Russischer Hafen (Russkaja Gawan),  $76^{\circ} 14' N$  und  $62^{\circ} 39' E$  auf schnee- und eisfreiem, dauernd gefrorenem Boden im Meeresniveau.
- 2) Station „Barriere“, in 15 km Küstenabstand, 350 m Seehöhe, auf dem „Inlandeis“ gelegen. Die Eisoberfläche macht dort eine Stufe.
- 3) Ein Profil von 5,4 km Länge quer über einen Abflußgletscher, den Tschajew-Gletscher, 20 km östlich von der Basis-Station, in 200 m Seehöhe und 8 km von der Küste gelegen.

Die Basis-Station lag an der Nordwestküste der nördlichen Insel.

Nur die Nordinsel von Nowaja Semlja trägt eine Eiskappe; diese ist etwa 400 km lang, 60 bis 80 km breit und erreicht knapp 1000 m Höhe. Sie endet im Norden wie im Süden in ungefähr 30 km Küstenabstand auf festem Boden, und auch an der W- und E-Seite erreichen nur einige Abflußgletscher das Meer. An den höchsten Stellen im Zentralgebiet existiert kein Firngebiet, d. h. mit dauernder Schneebedeckung. Hingegen ist es wahrscheinlich, daß dort ein beträchtlicher Teil des Schmelzwassers einsickert und im Eis gefriert (superimposed ice). Selbst im Frühjahr, wenn die Schneehöhe am größten ist, findet man unter 1 bis 2 m Schnee das feste blanke Gletschereis.

#### *Station Russischer Hafen*

Von den Messungen auf dauernd gefrorenem Boden mag heute noch folgendes interessieren: Der Boden bestand aus jungen Meeres-

ablagerungen und Geröll und taute höchstens bis zu einer Tiefe von 1,30 m auf, wie Temperaturmessungen mit Widerstandsthermometern zeigten. Bodenproben aus 1 m Tiefe wurden von Jermolajew untersucht und die Dichte zu  $2,551 \pm 0,003 \text{ g/cm}^3$  gefunden. <sup>1)</sup> Der Wassergehalt in Gewichtsprozent war  $5,448 \pm 0,005 \%$ ; das Material war sehr reich an  $\text{CaCO}_3$ . Auch im Winter, wenn der Boden bei  $-20^{\circ} \text{C}$  „steinhart“ gefroren war, zeigte er ein völlig plastisches Verhalten; er war weder mit Sprengungen noch mit der Spitzhacke mechanisch zu bearbeiten. Die Hacke „klebte“ und drang nicht ein. Die seismischen Messungen bestätigten das in vorzüglicher Weise. Die Geschwindigkeit der longitudinalen Wellen beträgt nur 700 m/s und transversale Wellen fehlten völlig.

Aus den Laufzeitkurven des Hauptprofils ergab sich folgende Struktur des Untergrundes:

Unter der gefrorenen Bodenschicht lag eine Schicht paläozoischen Gesteins, das bei dem Sprengpunkt 120 m N zutage trat. Der große Unterschied der Longitudinalgeschwindigkeiten von 700 gegen 5500 m/s erlaubte eine genaue Bestimmung der Schichtdicke. Unter dem Seismo-Zelt war der gefrorene Boden  $5,6 \pm 0,1$  m dick, und darunter lag der in seinem oberen Teil auch dauernd gefrorene Fels, dessen Schichtdicke nicht bestimmt werden konnte. Es waren keine Reflexionen erkennbar, offensichtlich, weil die Wellenlänge der seismisch erregten Schwingungen von derselben Größenordnung war wie die Dicke der Schicht 1. Die Laufzeitgerade 2660 m/s gehörte wahrscheinlich zu einer Wechselwelle, die die erste Schicht als Longitudinalwelle durchsetzte, an der Oberfläche der zweiten Schicht als Transversalwelle verlief und als Longitudinalwelle wieder auftauchte. Für jeden Einsatz in den Seismogrammen war auch die Richtung der Bodenbewegung bestimmt worden.

#### *Barriere Stationen*

Bei unseren Fahrten längs und quer über das „Inlandeis“ von Nowaja Semlja hatten

<sup>1)</sup> Ich bringe diesen Wert so, wie ich ihn in meinem Tagebuch nach Jermolajews mündlicher Mitteilung notiert habe. Ein Irrtum ist durchaus möglich, z. B. in dem Sinne, daß die Dichte 1,55 sein sollte.

wir festgestellt, daß überall ein starkes, ausgeprägtes Oberflächenrelief bestand. Es fehlte völlig die „mathematische“ Form des grönländischen oder antarktischen Inland-eises. 15 km ESE von der Basis-Station wurden an einer besonders ausgeprägten Stufe von 60 m Höhenunterschied auf 1,5 km Horizontalentfernung von zwei Zeltpunkten aus, „Barriere oben“ und „Barriere unten“, seismische Profile quer zur Flußrichtung des Eises vermessen. Die obere Station liegt in 380 m Höhe, und es findet sich dort fast alle 10 m eine Spalte von 0,5 bis 1 m Breite. Die untere Station liegt 320 m hoch; es gibt dort etwas weniger Spalten, die aber gegen Ende der Schmelzperiode fast alle mit Wasser gefüllt sind; es war deshalb unmöglich, ein Profil in Richtung des Gefälles anzulegen. Die Unzahl der Spalten machten die Seismogramme unklar und damit auch die Laufzeitkurven. Es stürmte so anhaltend, daß wir in 7 Wochen nur an 7 Tagen arbeiten konnten, und auch an diesen brachte der mittelstarke Wind die Eisrippen gar zu leicht in störenden Schwingungen.

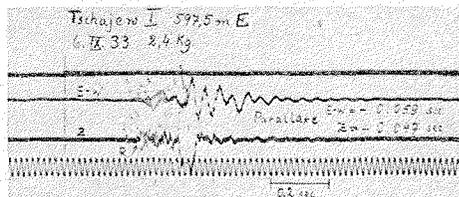
Aus den Laufzeitkurven und der daraus abgeleiteten Schichtung des Untergrundes erhielt man folgende Resultate: Für die Longitudinalgeschwindigkeiten ergaben sich: Oben Ostprofil 3500 m/s, oben W 3530 m/s, unten E 3620 und unten W 3740 m/s. Diese starken Unterschiede auf so kleinem Raum sind auch eine Wirkung der zahllosen Gletscherspalten. Eisproben aus einer allerdings höher und mehr zentral gelegenen, spaltenfreien Zone ergaben für die Dichte 0,904 bei  $-11^{\circ}$  C. Wenn man auch den Eisdickenbestimmungen an diesen beiden Zeltpunkten eine Unsicherheit von 10 bis 20 % zuschreiben muß (es wurde mit  $v_1 = 3600$  m/s gerechnet), so konnte man doch mit hinreichender Sicherheit feststellen, daß der 60-m-Stufe in der Eisoberfläche eine 300 bis 350-m-Stufe im Felsuntergrund entsprach, wobei die Eisdicke oben nur von der Größenordnung 100 m, unten jedoch fast 400 m war. Bei der unteren Station lag der Untergrund größtenteils unter dem Meeresspiegel. Auch quer zur Bewegungsrichtung des Eises zeigte der Felsuntergrund ein unruhiges Relief; es gelang aber in dieser Richtung nicht,

eine eindeutige Zuordnung von Oberflächen- und Untergrundrelief aufzustellen.

Es soll noch erwähnt werden, daß an dieser Stelle auch eine starke magnetische Störung entdeckt wurde. Die Kompaßnadel zeigte nach rechtsweisend  $3^{\circ}$  E anstatt  $26^{\circ}$  E, wie bei ungestörtem Feld zu erwarten war.

#### Tschajew-Gletscher

In der Zeit vom 25. 8. bis 18. 9. 1933 — das ist am Ende der Schmelzperiode — wurde von 2 Zeltpunkten aus mit 15 Sprengpunkten ein 5,4 km langes Profil quer über den Tschajew-Gletscher vermessen. Dieses Profil lag in rund 200 m Seehöhe quer zur Bewegungsrichtung des Eises, fast West-Ost ausgerichtet, wenige km unterhalb der Stelle, wo 5 Zuflußgletscher sich zum wenig produktiven (in bezug auf Eisberge) Tschajew-Gletscher vereinigt haben; der Abstand von der Gletscherfront betrug 8 km. Die Teilprofile Tschajew I W, I E und II W waren praktisch spaltenfrei, während II E einige wenige Spalten aufwies. Die Seismogramme waren durchweg gut, enthielten deutliche Reflexionen und waren in ihrem Aufbau erfreulich einfach.



Ein typisches Beispiel zeigt obenstehendes Bild. Der Einsatz No. 3 gehörte zur am Felsuntergrund reflektierten Welle; er war in der Vertikalkomponente besonders deutlich durch kurze periodische Bewegungen gekennzeichnet, und man erkennt deutlich, daß bei dieser Sprengung die Bodenbewegung der direkten und der reflektierten Wellen gleichsinnig folgte.

Aus den an den beiden Zeltpunkten erhaltenen Laufzeitkurven war zu entnehmen, daß in der Vertikalkomponente die Bodenbewegung für die direkte und die reflektierte Welle in den Teilprofilen I W und I E ausnahmslos gleichsinnig gerichtet war, im Teilprofil II W und bei den räumlich anschlie-

ßenden Sprengungen II 300 E und II 600 E entgegengesetzt gerichtet und schließlich bei II 900 E und II 1500 E wieder gleichsinnig erfolgte. Ein derart systematisches Verhalten kann schwerlich dem Zufall zugeschrieben werden, und es lag nahe, diese Tatsache so zu deuten, daß bei gleichsinniger Bodenbewegung die Eis-Unterfläche im Reflexionspunkt direkt auf festem Fels, während im anderen Fall der Gletscher auf weicher Moräne, Schlamm oder Wasser auflag. \*)

Bei den modernen Verfahren, wo eine Sprengung von zahlreichen Seismographen oder Geophonen aufgenommen wird, sollte eine Auswertung in diesem Sinne noch klarer erfolgen können. Dazu wäre allerdings erforderlich, daß die benutzten elektrischen Filter und die Vergrößerungs-Charakteristik der Aufnahme-Geräte das Bild nicht soweit verfälschen, daß die Richtung der wahren Bodenbewegung nicht mehr leicht abgelesen werden kann.

Für jedes der 4 Teilprofile wurden die Gleichungen der Laufzeitgeraden nach dem Verfahren der kleinsten Fehler-Quadrate aufgestellt. Es ergab sich:

**Tschajew-Gletscher**

t = Laufzeit in Sekunden  
s = Entfernung des Sprengpunktes in Metern

Teilprofil	Wellenart	Gleichung der Laufzeitgeraden
I W	P	$t = 0,006 + \frac{s}{3801}$
	S	$t = 0,012 + \frac{s}{1798}$
I E	P	$t = 0,008 + \frac{s}{3798}$
	S	$t = 0,012 + \frac{s}{1753}$
II W	P	$t = 0,013 + \frac{s}{3799}$
	S	$t = 0,003 + \frac{s}{1758}$
II E (einige Spalten)	P	$t = 0,017 + \frac{s}{3760}$
	S	$t = 0,008 + \frac{s}{1700}$

\*) Der Verfasser hat diesen Absatz absichtlich in der Form belassen, wie er im Manuskript bereits im Jahre 1934 vorlag, um dadurch den engen Zusammenhang mit den seismischen Arbeiten der Wegener-Expedition zu dokumentieren, wo uns diese Probleme intensiv beschäftigten.

Die Differenz beobachtete minus berechnete Laufzeit überschritt für die P-Wellen in keinem Falle die Ablesegenauigkeit von 0,002 Sekunden, und für die S-Wellen fand man unter 15 Differenzen einmal + 0,006, einmal - 0,005 und einmal - 0,004, die restlichen 12 Werte überschritten ebenfalls nicht den Wert 0,002.

Man kann somit feststellen, daß die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der longitudinalen Wellen auf dem Tschajew-Gletscher dicht unter der Oberfläche wohl in 10 bis 20 m Tiefe, vermutlich dort, wo das Eis am kältesten war, mit beträchtlicher Genauigkeit 3800 m/s betrug. Die entsprechende Transversalgeschwindigkeit ist weniger genau bestimmt und kann zwischen 1760 und 1770 m/s angesetzt werden.

Leider konnte am Tschajew-Gletscher keine Bestimmung der Eistemperaturen noch der Dichte ausgeführt werden. Es ist nur die bereits erwähnte Dichte der Eisproben aus dem Zentralgebiet mit 0,904 vorhanden. Die Temperatur der zum Wert 3800 m/s gehörigen Schicht wird vom Verfasser nach klimatologischen Daten unter Berücksichtigung der Eisbewegung aus kälteren Gebieten, Reibungswärme, Schmelzwasser und schwacher winterlicher Schneedecke zu  $-11^{\circ}$  geschätzt.

Die Bestimmung der Eisdicken und des Untergrundprofils erfolgte durch das Ellipsenverfahren, wobei mit  $v_1 = 3800$  m/s gerechnet wurde. Das ergibt sicherlich zu große Eisdicken, aber  $v_1 = 3600$  m/s ergäbe ebenso sicher zu kleine Werte. Legt man die Geschwindigkeit  $v = 3800$  m/s zugrunde, so fand man bei Zeltplatz I Gletschermächtigkeiten um 260 m, zwischen den beiden Zeltplätzen, d. h. über dem Felsbuckel rund 200 m und östlich von Zelt II Dicken bis zu 450 m. Zum Vergleich seien die Höhen der Eisoberfläche angeführt: Bei der Seitenmoräne 190 m, bei I 300 W, der tiefsten Stelle, 163 m Zelt I 167 m, I 1500 E bzw. II 1500 W, das ist über dem Felsbuckel, liegt in 205 m und schließlich II 900 E in 242 m.

Von I 300 W bis I 1500 E stieg der Felsuntergrund um 120 m, die Eisoberfläche nur um 40 m; im Ostteil des Gesamtprofils fiel der Untergrund um 220 m, während die Eisoberfläche um 40 m stieg. Man kann also nicht sagen, daß die Eisoberfläche das Untergrundprofil einfach abgeschwächt widerspiegelt, was bei einem Profil quer zur Bewegungsrichtung auch nicht zu erwarten war. Es war aber klar ersichtlich, daß die Höhenunterschiede des Untergrunds erheblich größer sind als die der Eisoberfläche und daß, selbst bei um 10 % kleineren Eisdicken, der größte Teil des Gletscher-Untergrunds unter dem Meeresspiegel lag. Das Vorhandensein von einigen Spalten im Teilprofil II E hing vermutlich auch mit dem stärkeren Abfall des Untergrundes unter Zelt II zusammen.

\*

**Literatur:**

B. Brockamp und K. Wölcken: 1933 — Wissenschaftliche Ergebnisse der Deutschen Grönland-Expedition Alfred Wegener 1930/31 Bd. II, S. 1—124.

B. Brockamp: ebenda, Bd. III, S. 41—61.

K. Wölcken: Zeitschrift für Geophysik, 1934, S. 222—234.

\*

**Zusätzliche Bemerkung**

Von unserer Arbeitsgruppe wurde Anfang August 1933 in 25 km Abstand von Russischer Hafen (Nowaja Semlja), in 400 m Höhe auf dem „Inlandeis“ nahe bei einer Innen-Moräne, jedoch ringsum von Eis umgeben, eine Gruppe von mehr als 10 großen Treibholzstämmen entdeckt. Die Stücke waren bis zu 5 m lang, etwa 1 m im Durchmesser und mehrere Tonnen schwer. Fachleute in Leningrad untersuchten einige Proben und fanden, daß es sich um Nadelholz sibirischer Bäume handelt, von gleicher Art, wie sie heute von den großen sibirischen Strömen ins Eismeer verfrachtet werden und dann an der Küste von Nowaja Semlja antreiben. Die Fundstücke lagen entlang einer Höhenlinie angeordnet, wie es bei Treibholz üblich ist.

Es sind in Nowaja Semlja zahlreiche alte Strandterrassen bekannt in 40, 60 und bis 70 m Höhe über dem heutigen Meeresspiegel. Der Berichterstatter war über das Aussehen der Stämme erstaunt. Natürlich fehlte die Rinde, und sie waren durch Wind- und Schneefegen abgeschliffen, aber das Holz zeigte nicht einmal den Beginn von Versteinierung und war noch genau so gut brennbar wie frisches Treibholz.

Setzt man 1 m Hebung pro Jahrhundert an, wie an einigen Stellen in Skandinavien gemessen wurde, so müßte das Holz mehr als 40 000 Jahre alt sein. Der Berichterstatter ist kein Fachmann auf diesem Gebiet, und die Fachleute finden möglicherweise gar nichts Erstaunliches daran. Immerhin, eine große Hebung hat stattgefunden; denn Transport durch Wind oder Menschen ist ausgeschlossen. K. Wölcken

## Differential Behaviour of the ice Cap Margin in the Julianehåb district, West Greenland

By Anker Weidick, Copenhagen \*

A review of earlier investigations in the district (K. J. V. Steenstrup, A. Jessen and R. Bøgvad) showed that the highest marine level in the district must be situated at about 40—60 metres. Lack of organic material in contact with the marine deposits makes the datings of the levels very difficult. However, in two more northern districts in West Greenland, Christianshåb near Disko Bay and Godthåb, a holocene sequence of marine levels has been established by means of the marine fauna (D. Laursen, Disko Bay) or by pollen (J. Iversen, Godthåb Fjord). The following results have been obtained for these two areas:

- 1) Both localities are situated only a few kms from the present ice margin.
- 2) Both localities have deposits dating back to boreal time.

- 3) 50 % of the upheaval of the land took place in or before boreal time.

- 4) From Disko Bay to the south the uppermost marine level decreases in Disko Bay it is around 200 metres, in Godthåb fjord around 100 (a little higher than 100 m.) and measurements made by K. J. V. Steenstrup, A. Jessen, R. Bøgvad and the author indicate, that in Julianehåb district this level is situated at about 50 m.

It is therefore supposed, that the uppermost marine level in Julianehåb as in the districts farther north, is older than boreal time and that 50 % of the upheaval of land (i. e. the upheaval to the 25—30 metre level) took place in or before boreal time. On the basis of these considerations, I have tried

\*) Cand. Mag. Anker Weidick, Copenhagen, Østervoldgade 7