



Neue Zürcher Zeitung

archiv.nzz.ch

Das Zeitungsarchiv der NZZ seit 1780

Herzlich willkommen im NZZ Archiv

Die von Ihnen bestellte Seite aus dem NZZ Archiv im PDF-Format:

Neue Zürcher Zeitung vom 26.03.1969 Seite c9

NZZ_19690326_C9.pdf

Nutzungsbedingungen und Datenschutzerklärung:
archiv.nzz.ch/agb

Antworten auf häufig gestellte Fragen:
archiv.nzz.ch/faq

Kontakt:
leserservice@nzz.ch

Glaziologische Messungen auf der grönländischen Eiskalotte

Von Bruno Federer, Davos

DK 551.32:53.08(9)

In Grönland ist ungefähr der zehnte Teil des auf der Erde vorhandenen Sübwassers aufbewahrt. Beim Studium der Sübwasserquellen der Erde muß deshalb zwangsläufig auch die Massenbilanz dieses sich über 17 Millionen Quadratkilometer erstreckenden Eisschildes berücksichtigt werden. Diese Eismasse, welche im Zentrum über 3000 Meter dick ist, ist das Ergebnis einer über Jahrtausende anhaltenden Antagonie zwischen Akkumulation und thermischer und mechanischer Ablation. Ob es sich um einen stationären Zustand handelt, um den Abbau eines Reliktes, um einen stetigen Aufbau oder einen über die Jahrhunderte oszillierenden Vorgang, ist nicht bekannt. Seit der Erschließung des Inlandeises anfangs des Jahrhunderts beschäftigt das komplexe Zusammenspiel klimatischer und rheologischer Elemente die Glaziologie, wobei je nach der Interessenlage die Erforschung früherer Klimageschichten oder die Entwicklung der Eismassen im Vordergrund steht. Der Umstand, daß Grönland von einem unwesentlichen Gebiet am Rande der bewohnten Erde zu einem militärisch und verkehrstechnisch überaus wichtigen geworden ist, bringt es auch mit sich, daß in Grönland einige Stationen errichtet worden sind, welche im wesentlichen der technischen Erprobung von Material und Apparaturen dienen. Eine davon (Camp Century 77° N 61° W), die in das Eis hineingebaut worden ist, erhält ihre Energie durch einen Kernreaktor. Alle solchen Stationen sind aber auch weitgehend der wissenschaftlichen Forschung nutzbar gemacht worden, so daß unsere Kenntnisse über das grönländische Inlandeis, neben der Antarktis die größte kohärente Eismasse der Erde, in den letzten 20 Jahren außerordentlich bereichert wurden.

Die internationale glaziologische Grönlandexpedition

Die «Expédition Glaciologique Internationale au Groenland» (EGIG) wurde 1956 durch eine Anzahl an arktischer Glaziologie interessierter europäischer Forscher gegründet. Sie hat zum Ziel, durch gemeinsame Anstrengungen auf wissenschaftlichem und organisatorischem Gebiet Probleme in Angriff zu nehmen und zu lösen, welche die Mittel eines einzelnen Forschers und auch eines einzelnen Landes übersteigen.

Für die Durchführung der Feldoperationen konnte die seit 1946 bestehende Organisation der «Expéditions Polaires Françaises» — unter der erfahrenden Leitung von Paul-Emile Victor — gewonnen werden, welche gleichzeitig in der Lage war, erhebliche finanzielle Mittel von Frankreich zu mobilisieren. Dänemark als Souverän über Grönland erteilte die Erlaubnis für die Arbeiten auf seinem Territorium und war bereit, Vermessungsunterlagen zu liefern sowie zwei wissenschaftliche Gruppen zu finanzieren. Den deutschen Interessenten gelang es, die deutsche Forschungsgemeinschaft zu gewinnen. Österreich konnte sich zwar finanziell nur in untergeordnetem Maß beteiligen, stellte aber wissenschaftlich eine gute Vertretung. Die USA leisteten durch Ueberlassung von Material und Gönnerung der Benutzung ihrer Luftstützpunkte in Grönland der EGIG unschätzbare Dienste. Die Schweizer Gruppe genoss die Unterstützung zunächst der

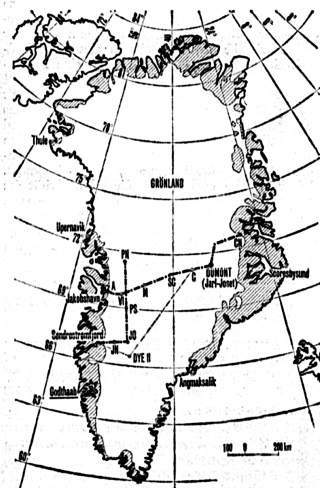


Abb. 1. Routen und Hauptstationen der EGIG. PN: Point Nord; PS: Point Sud; JO: Junction; IN: Inter; A: Camp I; VI: Camp VI; M: Milcent; SC: Station Centrale; C: Crête; CN: Cecilia Nunatak; Dye II: US-Radarstation der DEW-Line (Distant early warning).

Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft (Schweizerische Gletscherkommission), der Schweizerischen Stiftung für alpine Forschung, verschiedenen Forschungsinstituten (Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung, Geodätisches Institut ETH, Abteilung für Hydrologie und Glaziologie ETH) und in entscheidender Weise sodann des Schweizerischen Nationalfonds für wissenschaftliche Forschung.

Allgemeine Problemstellung

Das grönländische Inlandeis spielt für zahlreiche Wissenschaftszweige, wie Hydrologie, Glaziologie, Meteorologie, Geophysik, Geographie usw., eine bedeutende Rolle. Im Kreislauf des Wassers bilden die Gletscher, die sich mit Klimaschwankungen ständig ändern, die stillen Reservieren. Würde alles Gletschereis der Erde schmelzen, stiege der Meeresspiegel um schätzungsweise 60 m; das grönländische Inlandeis allein würde ein Steigen der Meeresoberfläche von 6,5 m bewirken. So ist es verständlich, daß im Rahmen des Internationalen Hydrologischen Dezenniums (1965 bis 1975),

während dessen allgemein die Wasserreserven der Erde untersucht werden, auch die Eisbilanz berücksichtigt werden soll. Die Aufgabe der EGIG besteht also darin, in dem schon durch einige Expeditionen begangenen Gebietstreifen zwischen dem 69. und dem 72. Breitengrad von der West- zur Ostküste Grönlands die Massen- und Energiebilanz zu untersuchen. Das Problem verlangt, alle topographischen, meteorologischen, mechanischen und thermodynamischen Parameter zu messen, welche das über Jahrtausende anhaltende Zusammenspiel von Akkumulation und Ablation bestimmen.

Die Kenntnis der Fließeigenschaften des grönländischen Eisschildes ist auch noch aus einem andern Grund wichtig: B. Philberth [1] hat vor 13 Jahren vorgeschlagen, die radioaktiven Abfälle der Erde, für deren Beseitigung noch keine befriedigende Lösung gefunden wurde, auf dem Inlandeis zu deponieren. Diese Abfälle würden dann in einer von der Glaziologie zu ermittelnden Zeit mit dem Inlandeis an die Küste fließen und schließlich mit den Eisbergen ins Weltmeer gelangen. Wenn man also genau wüßte, wie lange ein Schneepaket, das in der Mitte von Grönland abgelagert wird, braucht, um an die Küste zu fließen, könnte man sofort entscheiden, welche radioaktiven Kerne man im Eis lagern könnte.

Die Gefährlichkeit der verschiedenen Radioisotope hängt vor allem von deren jeweiligen Halbwertszeit ab, außerdem von der aufzunehmenden Menge zusammen, mit der Isotopen-Zerfallsenergie und der Strahlentart, ferner auch in sehr starkem Maß von den chemischen und biologischen Eigenschaften der von ihnen gebildeten Moleküle.

Gefahr droht nur von Isotopen mit mittleren Halbwertszeiten. Bei Isotopen mit sehr kurzer Halbwertszeit konzentriert sich der Zerfall stark auf die Anfangszeit, bei Isotopen mit sehr langen Halbwertszeiten ist die Aktivität so gering, daß sie praktisch keine Gefährdung mehr darstellen. Am gefährlichsten sind ⁹⁰Sr, ¹³⁷Cs und ¹³⁵Cs mit etwa 30 Jahren Halbwertszeit und großem menschenmäßigem Anfall, energiereicher Strahlung und hoher biologischer Wirksamkeit. Diese müßte man also über 30 bis 40 Halbwertszeiten einschleichen, um einen Aktivitätsabfall auf 10⁻¹² zu erreichen. Das ergibt eine erforderliche Einschleibzeit im Inlandeis von rund 1000 Jahren!

Zur Lösung all dieser Probleme hat die EGIG zwischen 1959 und 1968 insgesamt fünf Sommerexpeditionen und eine Ueberwinterung durchgeführt. Geodäten, Glaziologen, Physiker, Chemiker und Ingenieure aus fünf europäischen Ländern haben in enger Zusammenarbeit im genannten Gebietstreifen von Camp I (Punkt A) bis Cecilia Nunatak (vgl. Abb. 1) die nachstehend beschriebenen Messungen durchgeführt.

Im Winter 1959/60 wurde die erste große Kampagne abgehalten mit einer Ueberwinterung an der Hauptstation Jart-Joet. Dabei wurde vor allem Wert auf die genaue Lagemessung der gesetzten Pegel gelegt sowie auf meteorologische, rheologische und kristallographische Messungen während der 18 Monate dauernden Ueberwinterung. Die sehr wichtigen Wiederholungsmessungen wurden während der Kampagnen 1967 und 1968 durchgeführt und dienen der genauen Differenzbildung über einen Zeitraum von acht bis neun Jahren. An beiden Kampagnen startete man am Westrand des Inlandeises, wo sich die Nord-Süd-Route mit der West-Ost-Route kreuzt. An diesem Punkt wurde von der französischen Luftwaffe Material und Verpflegung abgeworfen (vgl. Abb. 2).

Das wissenschaftliche Personal wurde mit Helikoptern an diesen Punkt geflogen. Die Reisen ins westliche Ablationsgebiet und an die Ostküste wurden von hier aus mit Raupenfahrzeugen des Typs Wessel unternommen. Gegen Ende August wurden die Expeditionen entweder beim Camp I (Punkt A) per Schiff oder bei der amerikanischen Radarstation Dye II per Flugzeug evakuiert. Das gute Gelingen der bis anhin größten Anstrengung in der Grönlandforschung ist der minutiösen Planung der Programme durch die einzelnen Landeskomitees zu verdanken.

Bewegung des Eisschildes

Um Anschluß über die zur Lösung der oben genannten Probleme wichtigen Parameter zu gewinnen, stellte sich die Schweizer Gruppe die



Abb. 2. Abwurf von Material und Verpflegung durch eine Nor-Atlas 2501 der französischen Luftwaffe (Photo B. Federer).

Aufgabe, die Horizontalgeschwindigkeit des Eises in Richtung Meeresküste (x-Richtung) anhand eines Modells (vgl. Abb. 3) theoretisch zu berechnen.

Dabei wurde die noch durch die EGIG zu bestätigende Annahme gemacht, daß sich an jedem Punkt der Oberfläche die mittlere Eishöhe H mit dem mittleren Niederschlag N (in cm H₂O/Jahr) und der mittleren horizontalen Abfließgeschwindigkeit v_{zm} auf ein stationäres Gleichgewicht eingestellt habe. Dann gilt:

$$N \text{ Niederschlag} = \text{Eisabfluß}$$

$$Nyx = Hyv_{zm}$$

$$v_{zm} = \frac{Nx}{H} = \text{mittlere Abfließgeschwindigkeit durch eine Fläche im Abstand } x.$$

Die Eismasse bewegt sich aber nicht gleichförmig über die ganze Höhe, sondern der hori-

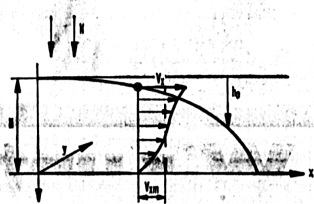


Abb. 3. Modell des vom Kulkulationspunkt zur Küste fließenden grönländischen Eisschildes.

zontale Druckgradient $\frac{dh}{dx} \rho g$ verschiebt jeweils die Eisschicht der Tiefe z gegen die tiefer liegenden Schichten. Bei der angenommenen Konstanz

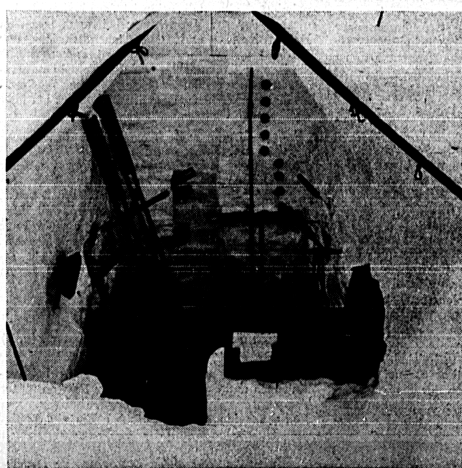


Abb. 4. Aufnahme eines Schichtprofils bis zu 4 m Tiefe (Photo E. Beck).

der Geschwindigkeiten muß die Summe aller angreifenden Kräfte Null sein:

$$\text{Reibungskräfte} + \text{Druckkräfte an Stirnflächen} = 0$$

$$\eta y \frac{dv_x}{dx} + y \frac{dh}{dx} \rho g dx = 0$$

wobei $\eta(\rho, T)$ = Viskosität des Eises, ρ = Dichte, T = Temperatur ist.

Integriert mit der Randbedingung, daß bei $z = H$ $v_x = 0$, ergibt dies:

$$v_x = \frac{dh}{dx} \frac{\rho g}{2\eta} (H^2 - z^2)$$

Aus den Gleichungen für v_x und v_{zm} ist schon ersichtlich, welche Parameter gemessen werden müssen, um ein relativ einfaches Problem zu

lösen. Die Meßmethoden, die während der EGIG-Expeditionen 1959/60 und 1967/68 angewandt wurden, sind die folgenden:

- N Stratigraphische Schichtanalysen auf Grund kristallographischer Merkmale; Isotopenanalyse (¹⁴C, D, T).
- II Seismik, Radar.
- Topographie $\frac{dh}{dx}$: trigonometrische Höhenmessung.
- ρ Dichteprofile aus Kernbohrungen und Schichten; Neutronensonde.
- T Temperatursonde von Philberth [2].
- v_z Lagebestimmungen von Pegeln mittels Tellurimeters; Verformung von Deformationspolygonen.
- η(ρ, T) Messungen der rheologischen Eigenschaften des Eises (Verformungsversuche in situ); Messung von natürlichen Verformungen (Setzungen, Deformation von Hohlräumen, Neigungsänderungen von Schichten und Pegeln).

Alter des Eises: Bestimmung der ¹⁴C-Konzentration des im Eis eingeschlossenen CO₂.

Ablation: Messung der Vorrückgeschwindigkeit und des Eisschmelzes von Gletschern; Bestimmung des Schmelzwassertransportes von Flüssen.

Energiebilanz: Messung der Strahlungsverhältnisse sowie anderer klimatologischer Elemente auf dem Inlandeis.

Akkumulationsbestimmung

Man würde denken, daß man die Akkumulation am einfachsten dadurch mißt, daß man einen Pegel in den Schnee setzt und die Pegelhöhe von Zeit zu Zeit abliest. Das gibt aber sehr ungenaue Werte, weil der Pegel die Setzung nicht mitmacht und sich deshalb die einzelnen Schichten an ihm emporwölben. Genauere Akkumulationswerte erhält man, wenn man sich sagt, daß ja der Schnee selbst eine unendliche Anzahl von Niederschlagsfotalisatoren darstellt. Man muß dann nur instand sein, diese Totalisatoren abzulesen, das heißt man muß auf Grund verschiedener Kriterien sagen können, daß eine Schneeschicht in einem ganz bestimmten Zeitpunkt gefallen ist. Solche Kriterien sind: Korngröße, Kornformen, Dichtespüngen, Aenderungen des Raumwiderstandes usw. Diese Methode gibt gute Resultate bis zu einer Tiefe von 4 m (vgl. Abb. 4), das heißt es ist möglich, je nach Küstendistanz des Meeres, 4 bis 9 Jahres-schichten zu datieren.

Bei größeren Tiefen muß man zu feineren Methoden der Identifikation der Sommer-, Herbst- und Winterfasien übergehen. Dazu wurde am Eidgenössischen Institut für Schnee- und Lawinenforschung eine automatisch arbeitende Apparatur entwickelt, die es erlaubt, an Dünnschnitten von Firnproben für jeden einzelnen Kristallit die Intensität des polarisierten Lichtes in vier symmetrischen Punkten des konoskopischen Bildes zu messen. Diese Werte, aus denen dann die Orientierung der optischen Achse des betreffenden Kornes bestimmt werden kann, werden auf Magnetband aufgezeichnet und gebraucht, um die einzelnen Kristallite zu unterscheiden. Durch Verarbeitung der Daten auf einem Computer wird sodann die Textur (Korngröße, Porosität usw.) statistisch analysiert. Da man weiß, daß sich Schneestürme, die im Sommer gefallen sind, auch beim völligen Fehlen eines Schmelzprozesses anders umwandeln als solche, die im Winter ge-