

Geodätische Beiträge zum Massenhaushalt und zur Dynamik des grönländischen Inlandeises

Zusammenfassung

Möller, Dietrich

Veröffentlicht in:
Jahrbuch 1990 der Braunschweigischen
Wissenschaftlichen Gesellschaft, S.17-22



Verlag Erich Goltze KG, Göttingen

Geodätische Beiträge zum Massenhaushalt und zur Dynamik des grönländischen Inlandeises

Zusammenfassung

Von **Dietrich Möller**

Vorbemerkungen

Das Eis der Erde spielt nicht nur im Verbund mit zahlreichen anderen Einflußfaktoren eine wichtige Rolle für die Klimaentwicklung, sondern es reagiert auch auf Klimaschwankungen und -veränderungen. Diese Reaktionen können wir z. B. am drastischen Rückgang der Alpengletscher erkennen. Da alle kontinentalen Gletscher zusammen nur rd. 1% des gesamten Eisvolumens der Erde liefern, ist es wichtig, die grönländische Eiskalotte mit 9% und die antarktischen Eismassen mit 90% dieses gewaltigen Süßwasservorrats zu studieren bzw. zu erfassen. Während Alpengletscher bereits seit über 100 Jahren beobachtet und auch vermessungstechnisch überwacht werden, kann der Beginn der umfassenden interdisziplinären Erforschung des antarktischen Eisschildes erst auf 1957/58, der Zeit des „Internationalen Geophysikalischen Jahres“, datiert werden. Seit der Wiederaufnahme der deutschen Antarktisforschung durch die Bundesrepublik Deutschland und dem Beitritt zum Antarktisvertrag 1979 liefert auch das Institut für Vermessungskunde der TU Braunschweig hierzu geodätische Beiträge, z. Z. aber vor allem zur genauen Erfassung des status quo und nur in Einzelfällen zur exakten Bestimmung der zeitlichen Variationen.

Dagegen bietet sich in Grönland die Chance, aufbauend auf ältere Arbeiten, die **Veränderungen** des Massenhaushalts und der Dynamik der Eiskalotte durch weitere Messungen zu ermitteln.

Die Insel Grönland ist zu rd. 80% ihrer Fläche mit Eis bedeckt. Das Eisvolumen beträgt 2,6 Millionen km³, es entspricht dem 50fachen Wasservolumen der Nordsee und bei totaler Abschmelzung einer durchschnittlichen Hebung des Weltmeerespiegels um 7 m.

Frühere Expeditionen

Mit der „Deutschen Grönlandexpedition Alfred Wegener 1930/31“ wurde die systematische wissenschaftliche Erforschung des Inlandeises begonnen und dabei u. a. erstmalig für die Erfassung der Oberflächenformen ein trigonometrisches Nivellement durchgeführt [1] und die Eisdicke seismisch bestimmt [2].

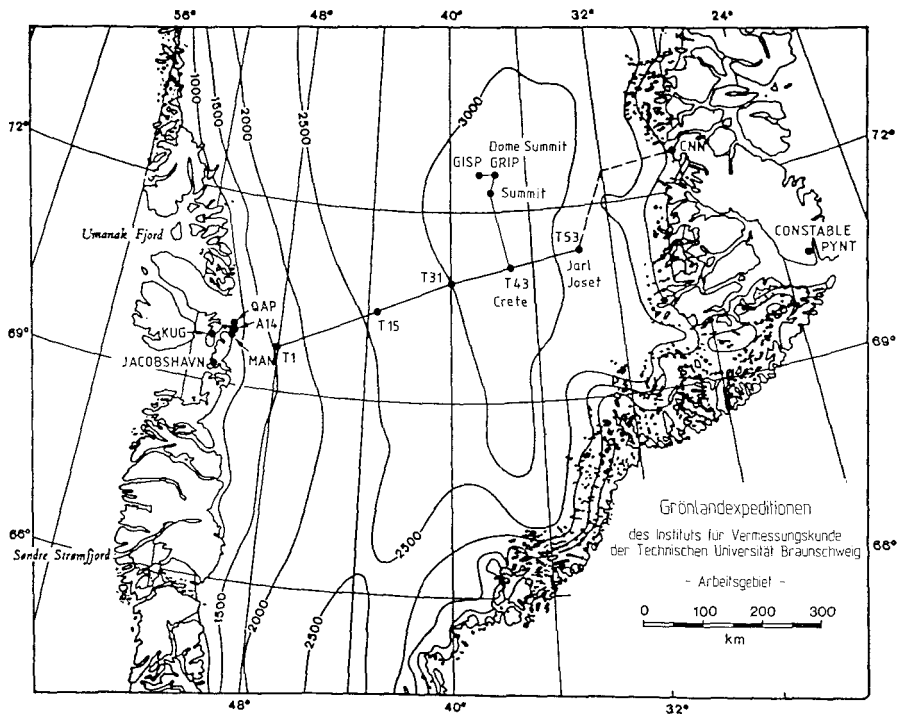
Nach dem 2. Weltkrieg haben französische Expeditionen unter Einsatz von Flugzeugen und Kettenfahrzeugen von 1948 bis 1953 die Erforschung des Inlandeises im Sinne Alfred Wegeners intensiviert und fortgesetzt [3].

In Würdigung dieser Arbeiten wurde 1954 in Rom anlässlich des Kongresses der Internationalen Union für Geodäsie und Geophysik empfohlen, diese Forschungen in internationaler Zusammenarbeit zu fördern und weiterzuführen. 1956 erfolgte in Grindelwald die Gründung der Expedition Glaciologique Internationale au Groenland (EGIG) unter dem Patronat der Kommission für Schnee und Eis der Internationalen Assoziation für wissenschaftliche Hydrologie unter Beteiligung der Länder Dänemark, Frankreich, Österreich, Schweiz und der Bundesrepublik Deutschland. Die Finanzierung der deutschen Arbeitsgruppen erfolgte durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft.

Die Hauptziele der EGIG waren – Zitat – [4]:

- „Glaziologische Untersuchungen eines West-Ost-Streifens des Inlandeises zwischen dem 69. und 73. Breitengrad als Fortsetzung und Ergänzung früherer Expeditionen.
- Schaffung und Vermessung eines dauernden Pegelprofils zwecks Kontrolle der Bewegung, Schwankung und Bilanz des Inlandeises auf lange Sicht.
- Seismische Untersuchungen nördlich des 73. Breitengrades“.

Damit war erstmals in der Geschichte der Polarforschung die Forderung nach Langzeitbeobachtungen einer Eiskappe formuliert worden. Ausgewählt wurde dazu ein rd. 900 km langes West-Ost-Profil (siehe Abb.), das im Abstand von rd. 10 km mit eingemramten 10 m langen Alu-Rohren (Balisen) vermarkert werden sollte. Mit den von der



Geodätische Beiträge zum Massenhaushalt und zur Dynamik des grönländischen Inlandeises 19

Seite der Glaziologie gestellten Genauigkeitsforderungen 5–10 m für die Lage und ≤ 1 m für die Höhe, bezogen auf ortsfeste Randpunkte an der Westküste, wurden neue Maßstäbe gesetzt.

Die erste Expedition (EGIG I) wurde 1959 realisiert. Die Höhenmessungen erfolgten nach dem kühnen Plan von Lichte [5] erstmalig in Polargebieten durch doppeltes gleichzeitiges gegenseitiges teilmotorisiertes Nivellement über 603 km im Akkumulationsgebiet des Inlandeises bis zur Überwinterungsstation Jarl Joset (T 53), der Anschluß an den festen Fels im Westen über 64 km als vierfaches Fußnivellement durch die Spaltengebiete [6] (siehe Abb.). Aufgrund der Oberflächentopographie betrug die kürzesten Zielweiten nur 5 m, die maximalen Punktabstände 120 m, so daß – als Nebenprodukt – die schon von der Wegener-Expedition erkannte Wellenform der Eisoberfläche detailliert nachgewiesen werden konnte [7]. Die Lagemessungen wurden über das gesamte Profil unter – ebenfalls erstmaligem – Einsatz von Mikrowellenentfernungsmessgeräten in den Randgebieten durch Polygonzugmessungen und auf der Eiskappe durch die überbestimmte Ausmessung einer Diagonalenviereckskette realisiert. Der Anschluß erfolgte – wie beim Nivellement – einseitig an Festpunkten an der Westküste [8].

Im Rahmen der EGIG II wurden die Lagemessungen 1967 als Polygonzugmessungen über das gesamte Profil gleichzeitig von je einer Gruppe von West nach Ost und Ost nach West wiederholt. Die Endauswertungen der beiden Kampagnen ergaben Fließgeschwindigkeiten im Minimum von 3,5 m/Jahr auf dem Scheitelpunkt des Profils (Crête) und maximal 110 m/Jahr im Westen [9, 10]. 1968 erfolgten die erneuten Höhenmessungen nach bewährten Verfahren ebenfalls durch 2 Arbeitsgruppen über das gesamte Profil, so daß für zwei Drittel der Traverse Höhenänderungen zwischen 1959 und 1968 und das geschlossene Höhenprofil über 900 km Länge für 1968 berechnet werden konnten [11, 12].

Im Hinblick auf die geplante langfristige Überwachung des Profils wurden bereits 1967 die Balisen verlängert und zusätzlich 20 m lange Großbalisen im durchschnittlichen Abstand von 50 km gesetzt. 1974 konnten die EGIG-Balisen von T 1 bis T 46 noch einmal verlängert werden [13] mit der Zielvorstellung, spätestens 1980 eine 3. Expedition durchführen zu können.

Eine Weiterführung auf internationaler Ebene scheiterte jedoch aus verschiedenen Gründen, so daß der Verlust der EGIG-Vermarkungen leider vorprogrammiert war.

Die Arbeiten des Instituts für Vermessungskunde

Da das EGIG-Profil die einmalige Chance bietet, durch weitere Messungen erstmalig über einen längeren Zeitraum eventuelle Veränderungen des Massenhaushalts und der Dynamik in diesem Bereich zu erfassen, habe ich – in Absprache mit Prof. Dr. Thyssen, Münster, dem Leiter der geophysikalischen Arbeitsgruppe während der EGIG II, und mit dem Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, Bremerhaven –, 1986 beim Bundesminister für Forschung und Technologie (BMFT) die Förderung eines Forschungsvorhabens beantragt. Hauptziel des bewilligten Projektes

ist, im EGIG-West-Ost-Profil zwischen T1 und T53 (siehe Abb.) möglichst viele Balisen, die inzwischen unter der Schneeoberfläche verschwunden waren, in Zusammenarbeit mit einer geophysikalischen Arbeitsgruppe zu rekonstruieren und erneut zu beobachten, um Fließgeschwindigkeits- und Höhenänderungen nach weiteren 20 Jahren bestimmen zu können.

Das bewährte – aber sehr zeitaufwendige – geometrische Nivellement wollte ich dabei durch ein in meinem Institut für unsere Antarktisarbeiten entwickeltes und erfolgreich erprobtes vollmotorisiertes Verfahren der gleichzeitigen gegenseitigen trigonometrischen Höhenmessung mit Registrierung der Meßdaten ersetzen [14, 15]. Die klassischen Verfahren der terrestrischen Lagemessung sollten durch die Verwendung – ebenfalls in der Antarktis erprobter – moderner Satellitenempfänger des Global Positioning Systems (GPS) zur absoluten Positionierung der Balisenstandpunkte ohne Sichtbedingung zu benachbarten Balisen abgelöst werden [16].

Die Meßverfahren und die durch die unterschiedlichen Bezugssysteme für die EGIG- und die Satelliten-Daten bedingten Probleme wurden erläutert.

Die erste Expedition wurde 1987 durchgeführt. Die Neubestimmung der Küstenschlußpunkte im Westen (QAP und A14) und im Osten (CNN) sowie je eines Referenzpunktes in Jakobshavn und Constable Pynt (siehe Abb.) erfolgte mit Hubschrauberunterstützung durch GPS-Messungen. Nach einer vorläufigen Transformation der EGIG-Balisenkoordinaten in das Bezugssystem (WGS 84) der GPS-Messungen und Extrapolation der Fließbewegungen für den aktuellen Zeitpunkt 1987 konnte eine gezielte Überfliegung des Inlandeisprofils mit einem Polarflugzeug Do 228/100 des Alfred-Wegener-Instituts realisiert werden, die zum Auffinden einiger – noch aus der Schneedecke herausragenden – Großbalisen führte. Witterungsbedingt waren nur wenige Landungen auf dem Inlandeis möglich. Dabei gelang es den Mitarbeitern von Prof. Thyssen, ihr Mikrowellenmeßverfahren zum Aufsuchen „unterirdischer“ Störkörper im Eis erfolgreich zu testen, und unser Versuch, eine nicht entdeckte Großbalise durch Positionsmessung, Berechnung und Absetzen der extrapolierten Absteckmaße zu lokalisieren, war ebenfalls von Erfolg gekrönt, obwohl die Balisenspitze nur noch 40 cm aus dem Eis herausragte.

Mit dieser Vorexpedition waren die wissenschaftlichen Voraussetzungen für die geplanten systematischen Arbeiten auf dem Inlandeis erfüllt. Bedingt durch logistische Probleme konnte jedoch die 1. Hauptexpedition erst 1989 durchgeführt werden, nachdem – durch Zusammenarbeit mit dem Greenland Ice Core Project (GRIP) der European Science Foundation – der Transport des gesamten Expeditionsmaterials einschließlich der schweren Kettenfahrzeuge und der Mitarbeiter mit Hercules C130 der US-Luftwaffe nach Dome Summit (siehe Abb.), dem höchsten Gebiet der Eiskalotte, sichergestellt war.

Da sowohl für die geplante europäische (GRIP) als auch für die entsprechende amerikanische (GISP) Durchbohrung des über 3000 m dicken Inlandeises das regionale Verzerrungs-(Strain-)Verhalten des Eises von besonderem Interesse ist, haben wir 1989 zwischen diesen Bohrstellen eine Diagonalenviereckskette mit Balisen vermarktet und mit hoher Präzision ausgemessen, um nach einer Wiederholungsmessung in den näch-

sten Jahren die gewünschten Strainparameter ableiten zu können. Außerdem konnte der Bereich Dome Summit durch eine 160 km lange Nord-Süd-Traverse lage- und höhenmäßig an das EGIG-Profil angeschlossen werden. Zwischen T43 und T53 wurden in erfolgreicher interdisziplinärer Zusammenarbeit alle bis zu 4 m unter der Schneeoberfläche verborgenen Balisen abgesteckt, bis auf eine lokalisiert und aufgedrungen. Die „Such“-Genauigkeit war dabei stets ≤ 1 m.

1990 soll das westliche Teilstück der EGIG-Traverse bis T1 bearbeitet und neu gemessen werden. Für 1991 sind die Wiederholungsmessungen geplant.

Abschließend wurden die ersten vorläufigen Ergebnisse vorgestellt und diskutiert.

Schlußbemerkungen

Das Forschungsvorhaben wird vom Bundesminister für Forschung und Technologie finanziert. Das Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung (AWI) unterstützt unsere Expeditionen durch Bereitstellung der Polarkleidung für alle Expeditionsteilnehmer und die leihweise Überlassung wissenschaftlicher Geräte. Personelle und instrumentelle Unterstützungen haben das Institut für Geodäsie und Photogrammetrie der TU Berlin und das Geodätische Institut der Uni Karlsruhe geleistet. Die geophysikalische Teilarbeitsgruppe stellte Prof. Dr. Thyssen, Forschungsstelle für physikalische Glaziologie der Uni Münster. Die Fluglogistik wurde 1987 vom AWI, ab 1989 von den dänischen GRIP-Kollegen koordiniert.

Allen beteiligten Institutionen, Wissenschaftlern, Piloten und Technikern gilt mein herzlichster Dank für die ausgezeichnete Zusammenarbeit und Unterstützung, ganz besonders auch meinen Mitarbeitern, die sich trotz der harten äußeren Bedingungen unserem Projekt verschrieben haben.

Literatur

- [1] Weiken, K.: Schweremessung und trigonometrisches Nivellement, in: Alfred-Wegeners letzte Grönlandfahrt, herausgegeben von Else Wegener, F.U. Brockhaus, Leipzig 1932, S. 228–241.
- [2] Wölcken, K.: Eisdickenmessungen der Westgruppe, in: Alfred-Wegeners letzte Grönlandfahrt, herausgegeben von Else Wegener, F.U. Brockhaus, Leipzig 1932, S. 217–228.
- [3] Victor, P.E.: Expolaires, Campagnes au Groenland, Rapports préliminaires, 25 Bände, Paris, Expolaires 1948–1955.
- [4] Haefeli, R.: Begrüßungsansprache anlässlich der Gründungssitzung der EGIG in Grindelwald 1956.
- [5] Lichte, H.: Geodätische Messungen auf dem grönländischen Inlandeis, Zeitschrift für Vermessungswesen Nr. 2/1957, S. 46–50 und Nr. 3/1957, S. 65–73.
- [6] Mälzer, H. und Möller, D.: Das Nivellement bei der Expedition Glaciologique Internationale au Groenland (EGIG) – Sommer-Kampagne 1959. A.I.H.S. Commission des neiges et glaces no. 54, pp. 474–483.
- [7] Mälzer, H.: Das Nivellement über das grönländische Inlandeis der Internationalen Glaziologischen Grönland-Expedition 1959. Expedition Glaciologique Internationale au Groenland EGIG 1957–1960, Vol. 3, No. 1. Separatabdruck aus Meddelelser om Grønland, Bd. 173, Nr. 7, Kobenhavn 1964.

- [8] Hofmann, W.: Die geodätische Lagemessung über das grönländische Inlandeis der Internationalen Glaziologischen Grönland-Expedition (EGIG) 1959. Expedition Glaciologique Internationale au Groenland EGIG 1957–1960, Vol 2, No. 4. Separatabdruck aus Meddelelser om Grønland, Bd. 173, Nr. 6, Kobenhavn 1964.
- [9] Nottarp, K. u. Karsten, A.: Die Meßkampagne 1967 der Gruppe Geodäsie A, in: Die deutschen geodätischen Arbeiten im Rahmen der Internationalen Glaziologischen Grönland-Expedition (EGIG) 1959–1974. Deutsche Geodätische Kommission bei der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, Reihe B, Heft Nr. 281, S. 7–30, München 1986.
- [10] Hofmann, W.: Bewegungen des Inlandeises im West-Ost-Profil von 1959 bis 1967, in: Die deutschen geodätischen Arbeiten im Rahmen der Internationalen Glaziologischen Grönland-Expedition (EGIG) 1959–1974. Deutsche Geodätische Kommission bei der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, Reihe B, Heft Nr. 281, S. 43–61, München 1986.
- [11] Seckel, H.: Das geometrische Nivellement über das grönländische Inlandeis der Gruppe Nivellement A der Internationalen Glaziologischen Grönland-Expedition 1967–1968, Sommerkampagne 1968. Expedition Glaciologique Internationale au Groenland, E.G.I.G. 1967–1968, Vol. 3, No. 3. Tiré à part de Meddelelser om Grønland, Bd. 187, Nr. 3, Kobenhavn 1977.
- [12] Seckel, H.: Höhenänderungen im grönländischen Inlandeis zwischen 1959 und 1968. Expedition Glaciologique Internationale au Groenland, E.G.I.G. 1967–1969, Vol. 3, No. 5. Tiré à part de Meddelelser om Grønland, Bd. 187, Nr. 4, Kobenhavn 1977.
- [13] Stober, M.: Die Zwischenkampagne 1974, in: Die deutschen geodätischen Arbeiten im Rahmen der Internationalen Glaziologischen Grönland-Expedition (EGIG) 1959–1974. Deutsche Geodätische Kommission, Reihe B, Heft 281, S. 63–84, München 1986.
- [14] Kock, H.: Konzeption eines schnellen motorisierten trigonometrischen Nivellements, in: Beiträge aus Geodäsie, Glaziologie und Meteorologie zur Vollendung des 60. Lebensjahres von o. Prof. Dr.-Ing. Dietrich Möller am 18. Dezember 1987. Geodätische Schriftenreihe der Technischen Universität Braunschweig Nr. 7, S. 39–48, Braunschweig 1987.
- [15] Ritter, B.: Einige Ergebnisse des motorisierten trigonometrischen Nivellements 1987 im Ritscher-Hochland/Antarktis, in: Beiträge aus Geodäsie, Glaziologie und Meteorologie zur Vollendung des 60. Lebensjahres von o. Prof. Dr.-Ing. Dietrich Möller am 18. Dezember 1987. Geodätische Schriftenreihe der Technischen Universität Braunschweig Nr. 7, S. 49–59, Braunschweig 1987.
- [16] Möller, D.; Ritter, B.: Glacial Geodetic Contributions to the Mass Balance and Dynamics of Ice Shelves. *Annals of Glaciology*, 11, 1988, S. 89–94.