

Deformationsmessungen auf dem Grönländischen Inlandeis während der Intern. Glaziologischen Grönlandexpedition 1974

Von A. Karsten und M. Stober*

Zusammenfassung: Anlässlich einer Zwischenexpedition der Internationalen Glaziologischen Grönlandexpedition (EGIG) zur Sicherung der Pegel auf dem Profil über das Inlandeis wurden 1974 die Deformationsvierecke Milcent und Station Centrale sowie das Pentagon Crête geodätisch vermessen. Erstmals wurde für die Streckenmessung ein Laser-Geodimeter Modell 6 BL verwendet. Die ausgeglichenen Messungsergebnisse und die daraus abgeleiteten Hauptverzerrungen werden mitgeteilt.

Summary: During the International Glaciological Greenland Expedition (EGIG) 1974 with the main object of saving the markers of the profile, the deformation-squares Milcent and Station Centrale as well as polygon Crête were geodetically measured again. For the first time, a laser Geodimeter Model 6 BL was used for measuring distances. The adjusted results and the calculated strain rates are given.

1. Einleitung

Die Internationale Glaziologische Grönlandexpedition (EGIG) hat es sich zur Aufgabe gemacht, das Grönländische Inlandeis entlang eines repräsentativen West-Ost-Profiles von ca. 800 km Länge zu erforschen. Nach Haupt-Expeditionen 1959 und 1967/68 lagen erste exakte Ergebnisse über die Bewegungsvektoren der im Abstand von ca. 10 km vermarkten Vergleichspunkte vor, die jedoch nur unter der Hypothese linearer und gleichförmiger Eisbewegungen zutreffen. Für das weitere notwendige Studium dieser und anderer Fragen ist es unerlässlich, das Profil zu erhalten. Deshalb fand im Sommer 1974 eine Zwischenexpedition statt mit dem Ziel, die allmählich im jährlichen Schneeauftrag (bis zu ca. 1 m) versinkenden Pegel zu verlängern und für eine zukünftige Hauptexpedition zu erhalten. Diese dritte Meßexpedition muß nach Abschätzung des mittleren Schneeauftrages spätestens 1979/80 durchgeführt werden, um für das angestrebte Ziel des weiteren Studiums noch Vergleichspunkte in ausreichender Anzahl wiederzufinden. Soweit möglich, wurden daneben einige geodätische, geophysikalische und glaziologische Arbeiten ausgeführt.

Die technische Organisation der Gruppe lag wie in früheren Jahren in den Händen der Expéditions Polaires Françaises (EPF), den Lufttransport auf das Inlandeis und zurück besorgte die amerikanische Navy in guter internationaler Zusammenarbeit zwischen GISP-74 (Greenland-Ice-Sheet-Project) und EGIG; die wissenschaftlichen Teilnehmer stammten aus Deutschland (A. Karsten, M. Stober: Geodäsie, Navigation, F. Thyssen: Geophysik) und Frankreich (M. Pourchet: Glaziologie).

Im Folgenden soll speziell auf die Deformationsmessungen eingegangen werden. Die Refraktionsuntersuchungen werden gesondert in [3] besprochen. Alle Messungsergebnisse der geodätischen Arbeiten sind derzeit deponiert bei:

Geodätisches Institut der Universität Karlsruhe, 75 Karlsruhe, Englerstraße 7.

2. Vermessung der Deformationsfiguren EGIG 1974

Im Hinblick auf zukünftige Streckenmessungen im Profil wurde erstmals im Polargebiet probeweise ein Laser-Geodimeter Modell 6 BL eingesetzt, das dankenswerterweise von der Firma AGA, Lidingö/Schweden, zur Verfügung gestellt worden war. Es bot sich des-

* Dozent Dipl.-Ing. Achim Karsten, Fachbereich Vermessungswesen der Fachhochschule, 2 Hamburg 60, Hebebrandstraße 1.

Dipl.-Ing. Manfred Stober, Geodätisches Institut der Universität, 75 Karlsruhe, Englerstraße 7.

halb an, verschiedene Netzfiguren lagemäßig erneut zu vermessen, die früher zur Bestimmung der Oberflächenverformung angelegt und teilweise schon mehrmals ausgemessen worden sind.

2.1 Meßmethode 1974

Die Streckenmessung erfolgte mit dem Geodimeter 6 BL nach der Vier-Phasen-Standard-Methode, meist zweimal im Abstand weniger Minuten. Über die Erfahrungen mit diesem Gerät wird in [4] berichtet. Das Meßverfahren läßt einen mittleren Fehler m_D der Strecke D von

$$m_D = \pm (5 + 1 \cdot 10^{-6} \cdot D) \text{ mm}$$

erwarten.

Die meteorologischen Daten — Druck und Temperatur — wurden bei den kurzen Strecken der Deformationsvierecke ($D \leq 1 \text{ km}$) nur am Geodimeter-Standpunkt, bei den langen Pentagonstrecken ($D \sim 8 \text{ km}$) jedoch an beiden Endpunkten gemessen. Zur Kontrolle und Überbestimmung wurden in jeder Figur Richtungssätze im allgemeinen in 3 Sätzen beobachtet. Für die Reduktion auf die Horizontale wurden in den Deformationsvierecken Zenitwinkel gemessen. Für die Pentagone wurden die Höhen von 1968 angehalten, die sich relativ nur unwesentlich ändern. Als Bezugspunkt für alle Messungen und Rechnungen gilt der Balisenfußpunkt, der sich aus der Extrapolation des über die Schneeoberfläche frei herausragenden Balisenendes ergab. Dieses Zentrum wurde unmittelbar im Feld mit Schnurlot hergestellt und, soweit möglich, direkt für die Messung verwendet.

2.2 Ausgleichung

Die Netze wurden nach den üblichen Reduktionen als freie Netze ausgeglichen. Hierzu stand ein Rechenprogramm am Geodätischen Institut Karlsruhe zur Verfügung. Die Gewichte wurden für jede Strecke und jeden Richtungssatz individuell angesetzt und außerdem versuchsweise variiert, was jedoch weder auf die Ausgleichungsergebnisse noch auf die Felderrechnung einen wesentlichen Einfluß hatte.

2.3 Ergebnisse

Die ausgeglichenen Strecken und Richtungen sind in den Netzskizzen (Abb. 1 bis 3) dargestellt, wobei nur diejenigen Richtungen zahlenmäßig (in Gon) angegeben sind, die

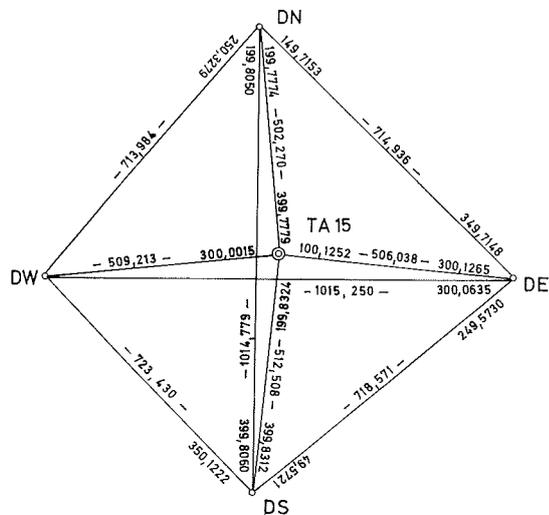


Abb. 1: Ausgeglichenes Deformationsviereck Milcent 13. Juli 1974
Fig. 1: Adjusted deformation square Milcent, July 13, 1974.

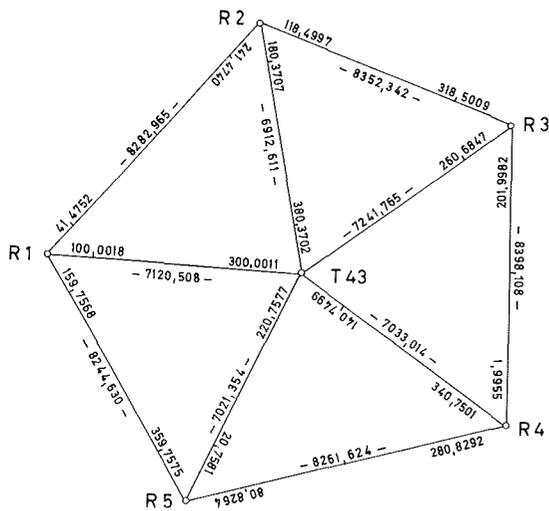


Abb. 3: Ausgeglichenes Pentagon Crête 27.—30. Juli 1974.

Fig. 3: Adjusted deformation polygon Crête, July 27—30, 1974.

3. Deformationen

Die Vierecke wurden in den Jahren 1959, 1960, 1968 und 1974 gemessen; das Pentagon 1967, 1968 und 1974. Die Deformationen bis 1968 sind [5] entnommen und in den folgenden Tabellen 2 bis 4 mit den neuen Ergebnissen von 1974 zusammengestellt.

Halb-diagonale	Länge [m]	Total	Deformationen [cm]		
			1974—1968	1968—1960	1960—1959
			pro Jahr (pro km)	pro Jahr (pro km)	pro Jahr (pro km)
E	506	+ 145	+ 24	+ 16	+ 21
W	509	+ 216	+ 35	+ 24	+ 21
Total	1015	+ 362	(+ 58)	(+ 40)	(+ 42)
N	502	+ 7	+ 1	- 10	- 3
S	513	+ 99	+ 16	+ 1	- 5
Total	1015	+ 106	(+ 17)	(- 9)	(- 8)
Fläche [m ²]		1974:		1968:	1960:
		515 122		512 754	511 349
Flächenänderg. pro Jahr [m ² /a]		+ 388		+ 180	+ 171
relative Flächenänderung pro Jahr [‰]		+ 0,76		+ 0,35	+ 0,33

Tab. 2: Deformationen Viereck Milcent.

Tab. 2: Deformations of the square Milcent.

Halb-diagonale	Länge [m]	Total	Deformationen [cm]		
			1974—1968	1968—1960	1960—1959
			pro Jahr (pro km)	pro Jahr (pro km)	pro Jahr (pro km)
E	—	—	—	—	+ 12
W	510	+ 87	+ 14	+ 11	+ 14
Total *)	—	—	(+ 27)	(+ 21)	(+ 26)
N	508	+ 1	0	+ 1	+ 1
S	511	- 29	- 5	- 5	+ 23
Total	1019	—	(- 5)	(- 5)	(+ 24)
Fläche [m ²]		1974:		1968:	1960:
		259 528		259 159	258 808
Flächenänderg./Jahr		+ 61		+ 44	+ 127
relative Flächenänderung pro Jahr [‰]		+ 0,24		+ 0,17	+ 0,49

Tab. 3: Deformationen Viereck Station Centrale.
*) Extrapoliert aus Halbdiaagonale W.

Tab. 3: Deformations of the square Station Centrale.

Endpunkte		29. 7. 1974		25./27. 7. 1968		Deformation		mittl. Fehler d. Def. *)
Von	Nach	Strecke [m]	mittl. Fehler [m]	Strecke [m]	mittl. Fehler [m]	[m]	1974—1968 [‰] pro Jahr	
R 1	R 2	8282,965	± 0,057	8278,514	± 0,110	+ 4,451	+ 0,090	± 0,124
T 43	R 2	6912,611	± 0,046	6912,272	± 0,114	+ 0,339	+ 0,008	± 0,123
R 2	R 3	8352,342	± 0,059	8348,673	± 0,113	+ 3,669	+ 0,073	± 0,127
T 43	R 3	7241,765	± 0,049	7236,604	± 0,120	+ 5,161	+ 0,119	± 0,130
R 3	R 4	8398,108	± 0,059	8396,622	± 0,114	+ 1,486	+ 0,030	± 0,128
T 43	R 4	7033,014	± 0,043	7031,368	± 0,122	+ 1,646	+ 0,039	± 0,129
R 4	R 5	8261,624	± 0,056	8256,142	± 0,113	+ 5,482	+ 0,111	± 0,126
T 43	R 5	7021,354	± 0,044	7019,034	± 0,101	+ 2,320	+ 0,055	± 0,110
R 1	R 5	8244,630	± 0,054	8244,076	± 0,108	+ 0,554	+ 0,011	± 0,121
T 43	R 1	7120,508	± 0,042	7116,808	± 0,087	+ 3,700	+ 0,087	± 0,097
Fläche R 1 — 2 — 3 — 4 — 5 — 1				ΔF		ΔF/Jahr		ΔF/Jahr
1974		1968		1974—1968				
[m ²]				[m ²]		[m ²]		[‰]
118 683 809		118 596 452		+ 87 357		+ 14 560		+ 0,12

Tab. 4: Deformationen Pentagon Crête 1974—1968. Tab. 4: Deformations of the polygon Crête, 1974—1968.

Für die Glaziologie ist es wichtig, aus den Verschiebungsmessungen die Richtungen der Hauptachsen der Verformung (Hauptspannungsrichtungen) und die Beträge der Hauptspannungen zu ermitteln. In [1] wurde ein kinematisches Verfahren erläutert, das sich auf die Verformung eines rechtwinkligen Dreiecks gründet. Nach diesem Verfahren wurden die Hauptspannungen für die beiden Deformationsvierecke berechnet und in Tabelle 5 zusammengestellt.

Dreieck	Richtung der 1. Hauptachse bezogen auf die Diagonale im Viereck DW-DE	Spezifische Deformationsgeschw. in Richtung der Hauptachsen
Eckpunkte	[gon]	‰ pro Jahr
Viereck Milcent:		
TA 15 —DE—DN	23,20	+ 0,549
	(123,2)	— 0,051
TA 15 —DN—DW	11,23	+ 0,718
		+ 0,003
TA 15 —DW—DS	398,78	+ 0,697
		+ 0,315
TA 15 —DS—DE	22,71	+ 0,498
		+ 0,290
Viereck Station Centrale:		
TA 31 —DN—DW	14,26	+ 0,295
		— 0,011
TA 31 —DW—DS	3,57	+ 0,281
		— 0,096

Tab. 5: Spez. Deformationsgeschwindigkeiten 1974—68.

Tab. 5: Strain rates, 1974—1968.

In der Elastomechanik wird gelehrt, daß die Verzerrungen eines ebenen Elementarteilchens mit einer ebenen Vektorfunktion

$$\begin{aligned} x' - x &= a_{11} \cdot x + a_{12} \cdot y \\ y' - y &= a_{21} \cdot x + a_{22} \cdot y \end{aligned} \quad (1)$$

beschrieben werden können. Zur Überprüfung der Signifikanz der Verzerrungen zwischen 1968 (x, y) und 1974 (x', y') wurden alle hier besprochenen Deformationsfiguren nach (1) transformiert. Hierbei zeigte sich, daß nur bei Pentagon Crête alle Koeffizienten signifikant sind, während in den Vierecken Milcent und Station Centrale anscheinend inhomogene Bewegungsverhältnisse vorliegen. Dieser Befund steht im Einklang mit früheren Untersuchungen in [1].

*) Ohne Berücksichtigung hypothetischer Reduktionsfehler auf den Pegelfußpunkt.

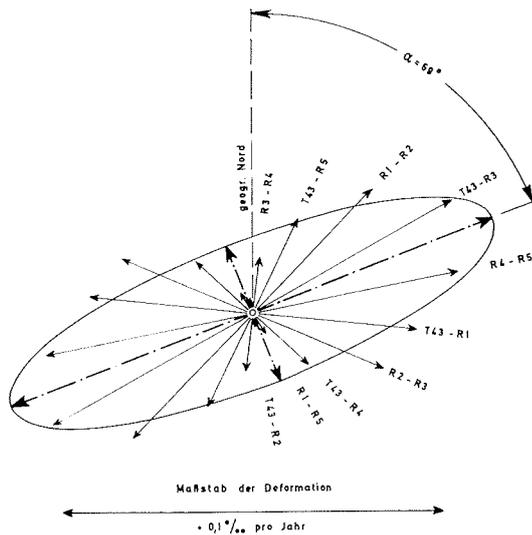


Abb. 4: Pentagon Crête, Deformationen 1974—1968 in Abhängigkeit vom Streckenazimut.

Fig. 4: Principal deformations of polygon Crête, 1974—1968.

Die Verzerrungen nach (1) lassen sich durch eine Ellipse darstellen. Die zu (1) gehörende Tensorellipse hat dieselben Achsenrichtungen wie die Verzerrungsellipse. In Abbildung 4 sind alle Streckenverzerrungen von Pentagon Crête in Abhängigkeit vom Streckenazimut aufgetragen und die nach der Methode der kleinsten Fehlerquadratsumme berechnete Verzerrungsellipse eingezeichnet. Für die Unbekannten (α = Azimut der großen Halbachse sowie die Hauptverzerrungsachsen a und b) ergab sich:

$$\begin{aligned} \alpha &= 69^\circ \\ a &= + 0,136/1000 \text{ pro Jahr} \\ b &= + 0,038/1000 \text{ pro Jahr} \end{aligned}$$

Literatur

- [1] Haefeli, R. und Brandenberger, F.: Rheologisch-Glaziologische Untersuchungen im Firnggebiet des Grönländischen Inlandeises. Medd. om Grønland 177, Nr. 1, 1968.
- [2] Haefeli, R. und Sury, H. v.: Strain and Stress in Snow, Firn and Ice along the EGIG-Profile of Greenland Ice-Sheet. Int. Symposium on Snow Mechanics, Grindelwald 1974.
- [3] Stober, M.: Zur Refraktion in Grønland. Polarforschung 44, Heft 2, 1974.
- [4] Stober, M.: Erfahrungen mit dem Geodimeter Modell 6 BL auf dem grönländischen Inlandeise. Allgem. Vermessungsnachrichten 1975, Heft 2, S. 59—63.
- [5] Sury, H. v.: Internatioanle Glaziologische Grønlandexpedition — Rheologische Messungen 1968, Kapitel „Deformationsvierecke“. Davos 1969.