

Geodätische Arbeiten im Rahmen des Canadian Arctic Channel Project 1972

Von W. Zick und P. Thiele*

Zusammenfassung: Zur Zeit der beginnenden Schmelzperiode wurde auf einem Profil Baffin Island — Bylot Island nahe Pond Inlet, N.W.T., Horizontal- und Vertikalbewegung des Meereises untersucht. Die Horizontalbewegung wird von der Eistemperatur und der Topographie des Meeresarms bestimmt. An der Küste ist die Eisplatte gebrochen; die Schollen liegen hier bei Ebbe auf dem Boden auf. In einiger Entfernung von der Küste sind die tidenbedingten Hebungsbeiträge einheitlich.

Summary: At the time of the beginning melting season (May — June) the horizontal and vertical movement of the ice along a traverse between Baffin Island and Bylot Island near Pond Inlet, N.W.T., was studied. The horizontal movement is influenced by the temperature of the ice and the topography of the sound. Close to the coast the ice plate is broken and the floes lie on the sea bottom at low tide; in some distance from the shore the tide height difference is the same for the whole ice plate.

Mit dem Ziel, die Kenntnisse über das Verhalten des Meereises in der Zeit des Aufbrechens zu erweitern, studierte eine deutsch-kanadische Gruppe von Wissenschaftlern verschiedener Disziplinen von Anfang Mai bis Ende Juni 1972 das Meereis bei Pond Inlet (73° n. Br., 78° w. Gr.) auf Baffin Island, Kanada. Hauptaufgabe der geodätischen Gruppe (B. Ferguson, P. Thiele, W. Zick) war das Erfassen der auftretenden Bewegungen.

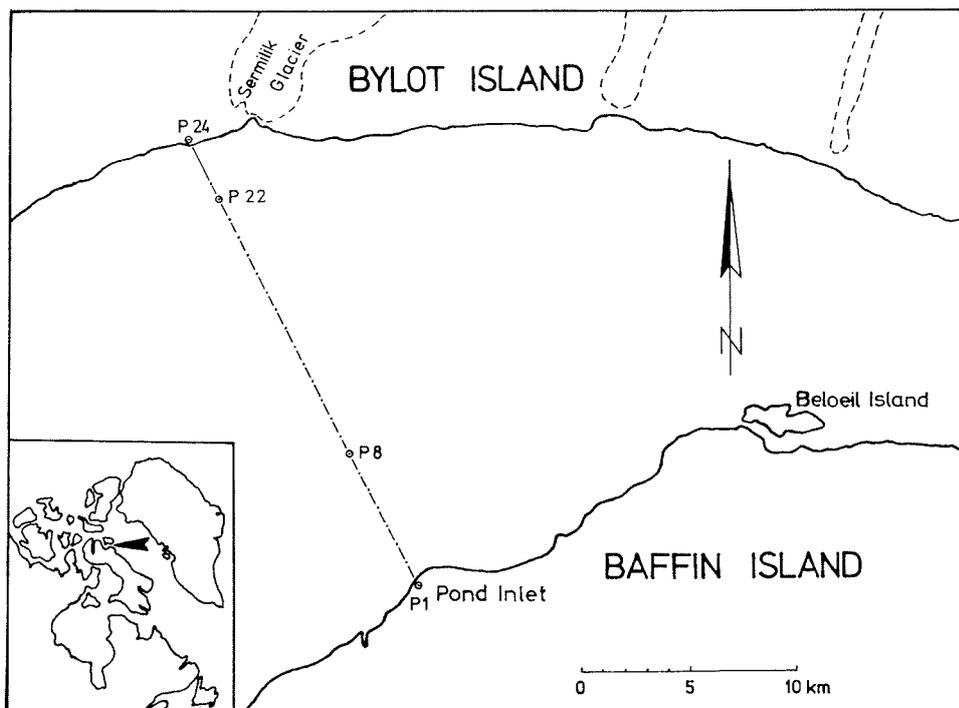


Abb. 1: Arbeitsgebiet mit der Lage des Polygonzuges.

Fig. 1: Area of investigation and location of the traverse.

* Dipl.-Ing. Wolfgang Zick und Dipl.-Ing. Peter Thiele, Geodätisches Institut der Universität (TH), 75 Karlsruhe, Englerstraße 7

1. Arbeitsgebiet

Der Meeresarm zwischen Baffin Island und der nördlich gelegenen Insel Bylot Island verengt sich von Pond Inlet nach Osten und erreicht etwa 20 km östlich bei Beloeil Island mit ungefähr 10 km Breite seine engste Stelle (Abb. 1). Die Meeresströmung ist West-Ost gerichtet. Die Seekarte dieses Gebietes zeigt die Morphologie des Meeresbodens mit Tiefen um 800 m recht gut. Der ursprüngliche Plan, die Eisbewegungen außer in einem Profil bei Pond Inlet gleichzeitig an der engsten Stelle zu bestimmen, konnte leider nicht verwirklicht werden. So wurden alle Arbeiten auf dem ca. 24 km langen Profil Pond Inlet — Bylot Island (westlicher Rand des Sermilik-Gletschers) ausgeführt.

Als Fahrzeuge standen kleine achträdige Dieselfahrzeuge mit Niederdruckreifen zur Verfügung, die aber besonders im lockeren Schnee zu langsam waren und wegen zu geringer Bodenfreiheit häufig stecken blieben. Hervorragend bewährten sich die Skidoos (motorisierte Einmann-Schneefahrzeuge) der Eskimos und die zweckmäßigen Holzschlitten, die auch bei allen größeren Messungen bevorzugt zum Einsatz kamen.

2. Horizontalbewegung

Die Endpunkte des Profils (Abb. 1) wurden bei Pond Inlet (P 1, H ~ 49 m ü. NN) und auf Bylot Island (P 24, H ~ 38 m ü. NN) in ungefähr 200 m Küstenabstand dauerhaft vermarktet und als mögliche Fernziele mit leeren Benzintonnen signalisiert. Dazwischen wurden auf dem ca. 2 m dicken Eis 22 etwa 2,4 m hohe Tetraeder aus 19 mm starken Aluminiumrohren aufgestellt, die auch ohne besondere Verankerung im Eis eine sehr große Standfestigkeit besitzen. Ein 50 cm langes Aluminiumrohr wurde zentrisch bodengleich ins Eis geschlagen. Beide Vermarktungsarten bewährten sich auch im Zeitraum beginnender Schmelze gut. Die Tetraeder, die zur besseren Sichtbarkeit noch einen etwa 40 cm breiten, farbigen, oben offenen Stoffhut erhielten, wurden im Abstand von 1 km aufgestellt; nur die Seite P 23 — P 24 war auf Grund schwieriger Eisbedingungen vor der Küste über 2 km lang.

Das Profil wurde als Polygonzug mit dem Infrarot-Distanzmesser Wild DI 10 und Theodolit Wild T 2 über Zwangszentrierung am 20. 5., 1. 6., 13. 6. und 23. 6. 1972 gemessen; dank der Beweglichkeit mit vier Skidoo-Schlitten-Kombinationen und der Einsatzfreude der einheimischen Eskimo-Fahrer konnte ein Zug jeweils in 12 h — 14 h reiner Meßzeit gemessen werden, wobei die Mitternachtssonne das Arbeiten auch in „Nachtzeiten“ erleichterte. Um die Winkelmessung der Genauigkeit der Streckenmessung ($m_s = \pm 1$ cm) anzupassen, wurden die Brechungswinkel in 2—3 Sätzen auf $m\beta \leq \pm 3''$ genau gemessen. Die extremen Refraktionserscheinungen in den Abendstunden erschwerten durch starkes Flimmern und Zieldeformierung die Winkelmessung, ohne jedoch die Genauigkeit zu beeinträchtigen. Schwierigkeiten bei der Streckenmessung gab es auch bei Temperaturen um -15° C nicht. Um ein einseitiges Einschmelzen der Stative zu verhindern, das auch bei leicht bedecktem Himmel auftreten konnte, wurde der untere Teil der Stativbeine sorgfältig mit Schnee abgedeckt. Für eine zügige Messung sorgten die vorhandenen 9 Stative; eine größere Anzahl wäre noch zweckmäßiger gewesen. Zwar konnte in der extrem reinen arktischen Luft die Sicht P 1 — P 24 im allgemeinen beobachtet werden, jedoch traten dabei offensichtlich Verfälschungen bis $> 5''$ durch die Refraktions-einflüsse auf; die Züge wurden deshalb frei im örtlichen System gerechnet, wobei P 1 die Koordinaten $E' = 0,00$ m, $N' = 0,00$ m, P 24 als Mittel aus 4 Zugsberechnungen $E' = 0,00$ m, $N' = 24\,381,26 \pm 0,05$ m erhielten. Eine Kontrolle der Strecke P 1 — P 24 mit dem elektronischen Entfernungsmessgerät Tellurometer MRA 4 ergab 24 381,34 m. Aus Sonnenbeobachtungen wurde das Azimut P 1 — P 24 mit $332^\circ 41' \pm 1'$ errechnet.

Abb. 2 zeigt die Eisbewegung für alle Profilverpunkte, ermittelt über ihre Verschiebungsvektoren, die zwischen den einzelnen Messungen auftreten. Das auffallende Bewegungs-

minimum in Profilmitte ist möglicherweise von einer 2 km östlich liegenden Untiefe (~ 150 m Meerestiefe) beeinflusst. Leider konnten die Richtungen der Meeresströmungen nur stichprobenhaft an einigen Punkten ohne Dauerregistrierung gemessen werden (Grot-hues Spork [1]), so daß hiermit ein Vergleich fehlt. Die Bewegungen scheinen für kurze Zeiträume nicht gleichförmig zu sein, sondern stehen wahrscheinlich in engem Zusammen-hang mit den Tiden (Abb. 3); mit dem Lösen scheint sich die Eisplatte ruckartig weiter-zubewegen. Dadurch ist natürlich auch die Polygonzugmessung beeinflusst; die Beobach-

Verschiebungsvektoren der auf dem Meereis gelegenen Polygonpunkte 2 bis 23

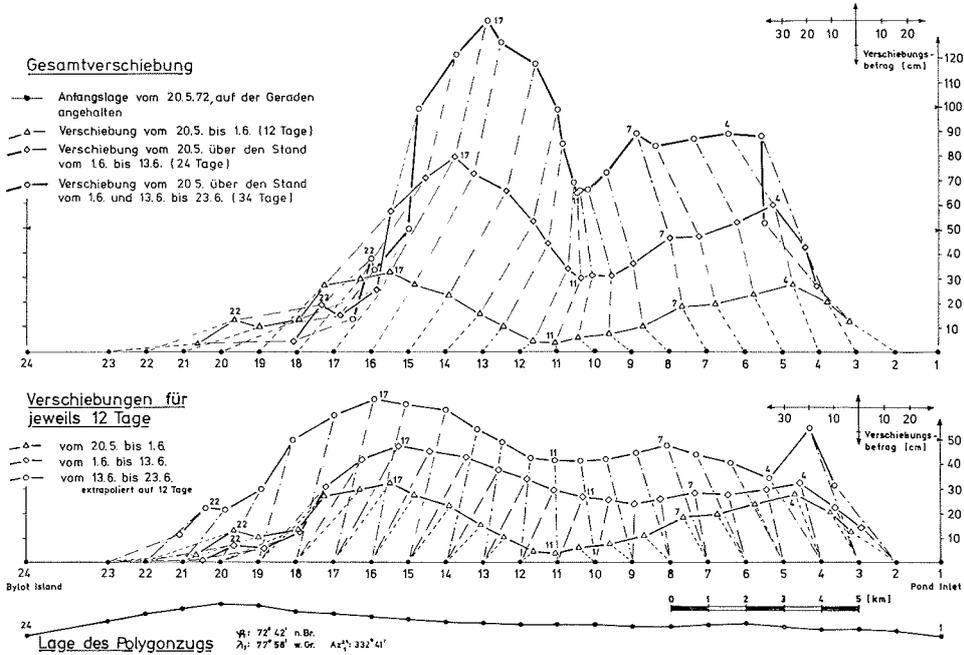


Abb. 2: Horizontalbewegungen der Polygonpunkte.
 Fig. 2: Horizontal movements of the markers on the sea ice.

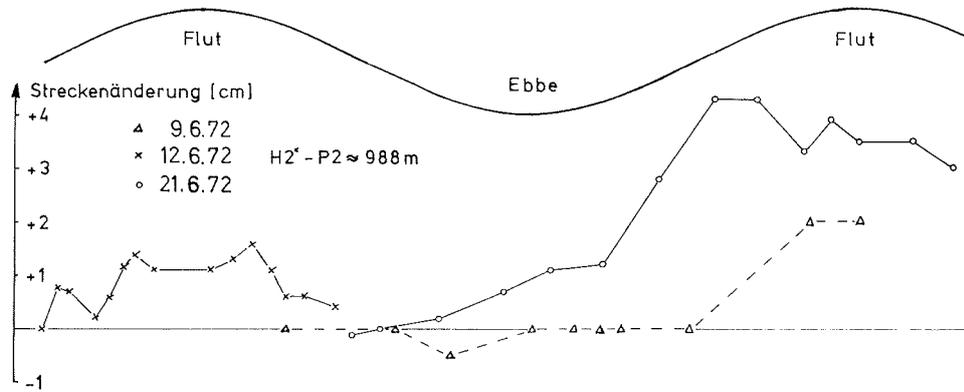


Abb. 3: Streckenänderung Küstenpunkt H2* — P2 in Abhängigkeit von Ebbe und Flut (nur qualitativ dargestellt).
 Fig. 3: Variation of the distance H2* (coast) — P2 (sea ice) depending on the tides.

tungen können nicht auf einen Zeitpunkt reduziert werden. Allerdings wurden die einzelnen Punkte an den vier Tagen jeweils unter etwa gleichen Tidenbedingungen beobachtet, so daß die Ergebnisse untereinander vergleichbar sind.

Die Punkte auf dem Eis bewegen sich von den auf dem Festland liegenden Anschlußpunkten weg; die Strecken P 1 — P 2 und P 23 — P 24 werden während der Beobachtungsperiode immer länger, wogegen sich alle übrigen Strecken fortlaufend verkürzen.

Tabelle 1 zeigt dies mit weiteren Ergebnissen.

Bezugszeit	20. 5. — 1. 6.	1. 6. — 13. 6.	13. 6. — 23. 6.
alle Werte sind auf 10 Tage bezogen			
(1) mittl. Eistemperatur P 8 in 60 cm Tiefe	26. 5. — 5,9° C	7. 6. — 4,4° C	18. 6. — 3,7° C
(2) Erhöhung der Eis- temperatur in 10 Tagen	+ 2,4° C	+ 0,5° C	+ 0,8° C
(3) mittl. Verkürzung aller Einzelseiten ohne Endseiten	— 1,9 · 10 ⁻⁵ ≅ — 0,8 · 10 ⁻⁵ /°C	— 1,9 · 10 ⁻⁵ ≅ — 3,8 · 10 ⁻⁵ /°C	— 2,1 · 10 ⁻⁵ ≅ — 2,6 · 10 ⁻⁵ /°C
(4) mittl. Ostbewegung	+ 14 cm	+ 23 cm	+ 36 cm
(5) durch (4) hervor- gerufene topographisch bedingte Verkürzung	— 0,3 · 10 ⁻⁵	— 0,6 · 10 ⁻⁵	— 0,9 · 10 ⁻⁵
(6) Kontraktion durch Eiserwärmung (3) — (5)	— 1,6 · 10 ⁻⁵ ≅ — 0,7 · 10 ⁻⁵ /°C	— 1,3 · 10 ⁻⁵ ≅ — 2,6 · 10 ⁻⁵ /°C	— 1,2 · 10 ⁻⁵ ≅ — 1,5 · 10 ⁻⁵ /°C
(7) Verteilung der Ver- kürzungen (3) der Polygonseiten mit Angabe der Seiten- nummern 2 — 22			

Tab. 1

Um die Horizontalbewegungen flächenmäßig zu erfassen, wurden in Absprache mit der Gruppe Geological Mapping zwei Deformationsfiguren als regelmäßige Sechsecke mit 500 m Seitenlängen mit P 8 und P 22 als Zentrum je dreimal durch Polaraufnahme ausgemessen (Abb. 4a und 4b). Die Koordinaten der Eckpunkte wurden in das Profilsystem eingerechnet. Abb. 5 und Abb. 6 zeigen die Abweichungen von einer für die Deformationsfigur gerechneten mittleren Lageänderung, die im Zentrum angetragen ist. Außer gewöhnliche Bewegungen wie bei D 2 und D 5 lassen sich nur mit Hilfe von Luftbildern erklären, die es erlauben, die Lage der Punkte auf den verschiedenen Schollen bzw. Eis-zonen festzustellen.

Wie für die Polygonseiten wurde auch für den Bereich der Deformationsfiguren die Verkürzung der Strecken auf ein 10-Tage-Intervall bezogen und in Tab. 2 nach Strecken parallel ("W" — "O") und senkrecht ("N" — "S" ≅ Profilrichtung) zur Fließrichtung zusammengestellt.

Da sowohl über die Art als auch über die Größenordnung der Bewegungen des Meereises keinerlei Angaben vorhanden waren, konnten die Messungen natürlich nicht optimal angelegt werden. Dennoch lassen sich aus den vorliegenden Ergebnissen folgende Aussagen machen:

- 1) Das Eis bewegt sich großräumig gesehen in der gleichen Richtung wie die Meeresströmung: von West nach Ost; die Bewegung scheint für kurze Zeiträume nicht gleichförmig zu sein und in Zusammenhang mit den Tiden zu stehen (Abb. 3).
- 2) Die Geschwindigkeit wird mit zunehmender Erwärmung des Eises größer; die Durchschnittswerte steigen im Beobachtungszeitraum von 1,4 cm/d auf 3,6 cm/d bei einer Erwärmung um etwa 2,2° C (Tab. 1).

Streckenänderung in [mm] und Winkeländerung in ["]

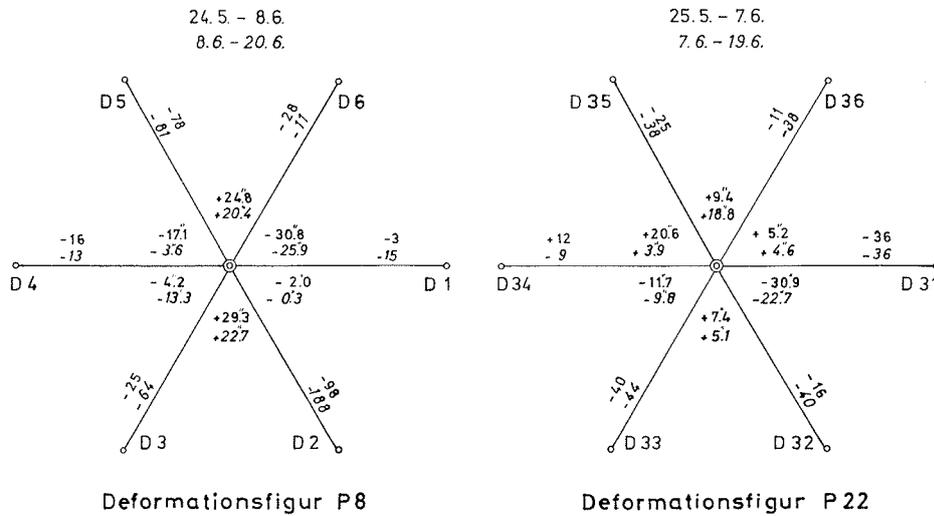


Abb. 4: Verformung der Deformationsfiguren P 8 und P 22.
Fig. 4: Variation of distances and angles of the deformation-figures P 8 and P 22.

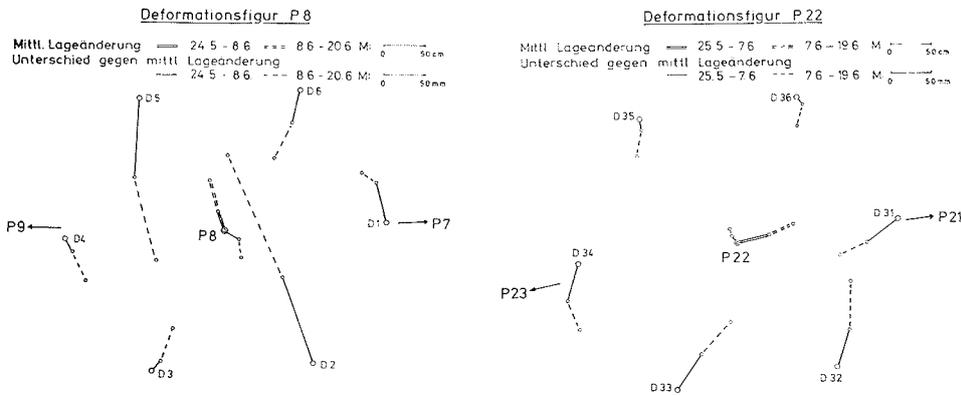


Abb. 5 u. 6: Bewegung der einzelnen Punkte der Deformationsfiguren.
Fig. 5 & 6: Movement of the markers of the deformation-figures.

Verkürzung in 10 Tagen [$\cdot 10^{-5}$]				
Bezugszeit	Figur P 8	24. 5. — 8. 6.	8. 6. — 20. 6.	
Bezugszeit	Figur P 22	25. 5. — 7. 6.	7. 6. — 19. 6.	
Richtung	Strecken			
"N" — "S"	P 8: P 8 — D 1	— 0,4	— 2,5	
	(P 8 — P 7)	(— 0,5)	(— 1,4)	
	P 8 — D 4	— 2,1	— 2,2	
	(P 8 — P 9)	(— 2,4)	(— 3,0)	
	D 2 — D 3	0,0	— 13,0	
	D 5 — D 6	0,0	— 0,5	
	P 22: P 22 — D 31	— 5,5	— 6,0	
	(P 22 — P 21)	(— 4,6)	(— 2,8)	
	P 22 — D 34	+ 1,8	— 1,5	
	(P 22 — P 23)	(— 0,9)	(— 1,6)	
	D 32 — D 33	— 1,7	— 5,3	
	D 35 — D 36	+ 0,5	— 0,2	
	"W" — "O"	P 8: D 2 — D 6	— 11,4	— 19,7
		D 3 — D 5	— 8,8	— 14,1
P 22: D 32 — D 36		— 4,8	— 8,6	
D 33 — D 35		— 4,0	— 7,6	
Weststr.	P 8: P 8 — D 2, P 8 — D 3	— 8,2 (Mittel)	— 21,0 (Mittel)	
Oststr.	P 8 — D 5, P 8 — D 6	— 7,1 (Mittel)	— 7,6 (Mittel)	
Weststr.	P 22: P 22 — D 32, P 22 — D 33	— 4,3 (Mittel)	— 7,0 (Mittel)	
Oststr.	P 22 — D 35, P 22 — D 36	— 2,8 (Mittel)	— 6,3 (Mittel)	

Tab. 2

- 3) Durch die Inhomogenität der Eisplatte ist die Bewegung benachbarter Punkte oft unterschiedlich (Abb. 2, 5, 6).
- 4) Alle auf dem Eis liegenden Strecken des Profils werden im Beobachtungszeitraum immer kürzer. Die Verkürzungen können allein aus der Topographie des Sundes (keilförmige Verengung) nicht erklärt werden. Die Verkürzung pro $^{\circ}\text{C}$ Eis erwärmung wird mit steigender Temperatur größer und liegt bei einer mittleren Eistemperatur von -6°C unter $1 \cdot 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$, ab -5°C mit Sicherheit über $1 \cdot 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$.
- 5) Die senkrecht zum Profil, also in Fließrichtung gemessenen Strecken verkürzen sich wesentlich stärker (Tab. 2). Da es unwahrscheinlich ist, daß die Kontraktion durch die Erwärmung des Eises in Fließrichtung und quer dazu verschieden ist, dürfte die Topographie des Sundes, die eine Stauung des Eises hervorrufen muß, die Hauptursache für die Verlangsamung der Bewegung und somit Verkürzung der Strecken sein; dies wird auch dadurch bestätigt, daß für das vorliegende, nicht sehr umfangreiche Beobachtungsmaterial die Oststrecken der Deformationsfiguren im Mittel eine geringere Verkürzung haben als die westlich des Profils gelegenen Strecken.
- 6) Da das Fließen des Eises im Beobachtungsgebiet wesentlich größer ist als die vermutliche Kontraktion infolge von möglichen Schmelzungs Vorgängen, Umkristallisationen usw. durch Erwärmung, sind die großen Spalten quer zum Sund, die als erste aufbrechen, allein durch sich lösende Spannungen bei den Kontraktionsvorgängen nicht

erklärbar. Hier dürften lokale topographische Besonderheiten — z. B. Landzungen, Vorsprünge, Untiefen — als auslösende Ursachen anzusehen sein. Die Bildung dieser Spalten, die oft jedes Jahr an der gleichen Stelle auftreten, näher zu untersuchen, wäre für eine künftige Expedition eine interessante Aufgabe.

3. Vertikalbewegung

Der Einfluß der Tide auf die ca. 2 m dicke Eisplatte wurde im küstennahen Bereich (< 400 m) durch Nivellement, bei 2 km Küstenabstand (P 3) durch gegenseitig gleichzeitige Zenitdistanzmessungen ermittelt. Die Beobachtungen fanden am 9. 6. 1972 (9.00 — 23.00), 12. 6. 1972 (9.00 — 15.00) und 21. 6. 1972 (10.00 — 23.30) Ortszeit (UT — 5 h) statt. Hier wird im einzelnen nur auf die Messung am 9. 6. 1972 eingegangen, da hier gleichzeitig das Öffnen und Schließen sämtlicher sichtbarer im Profil liegender Spalten gemessen wurde. Über umfangreiche Refraktionsuntersuchungen am 9. 6. 1972 und 21. 6. 1972, wobei gegenseitige Zenitwinkel von der Küste — H 2 in Meereshöhe, P 1 (H ~ 49 m) — und vom Meereis (P 3) beobachtet wurden, wird ausführlich an anderer Stelle berichtet (Thiele und Zick [2]).

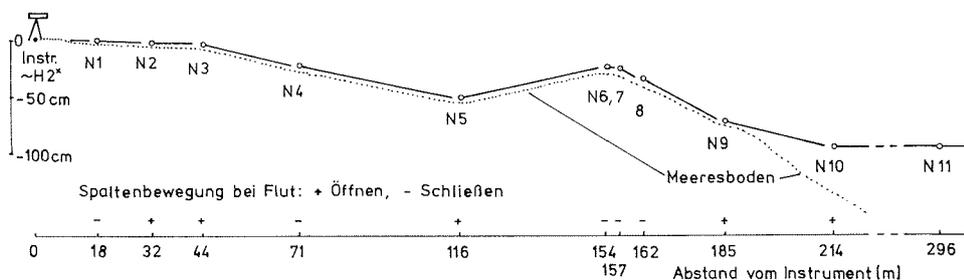


Abb. 7: Lage der Schollen mit Spalten und Nivellement-Punkten bei Ebbe.

Fig. 7: Location of the floes with cracks and levelling poles at low tide.

Der Standpunkt des Nivelliergerätes Zeiss Ni 2 befand sich fast in Meereshöhe etwa 10 m vom Eisrand entfernt im festgefrorenen Sand. Als Ziele wurden im Eis verankerte Aluminiumrohre verwendet, an denen Stoffbandmaße mit verschiedenfarbigen 10-cm-Abschnitten befestigt waren. Bis 300 m Entfernung (N 11) konnten die Zentimeter sicher geschätzt werden. Im küstennahen Bereich ist die Eisplatte je nach Untergrund und Mächtigkeit in verschiedene Schollen zerbrochen, die bei Ebbe auf dem Boden aufliegen (Abb. 7). Die Bewegungen der dadurch in dem Meßgebiet sichtbaren 10 Spalten wurden an einem quer über die Spalten einseitig frei beweglichen Maßstab auf Millimeter genau abgelesen. Die Ergebnisse dieser Messung sind zusammen mit den Vertikalbewegungen der Nivellementpunkte in Abb. 8 dargestellt; die relativ tiefe Lage von N 5 (Abb. 7) erklärt dessen spätes Aufliegen in Abb. 8. Die Punkte der Tidenkurve haben als Mittel der Ablesungen an jeweils allen frei beweglichen Zielen einen mittleren Fehler von $< \pm 1$ cm; eine Refraktionsverbesserung konnte vernachlässigt werden. Die über Zenitwinkelmessung nach P 3 berechnete tidenbedingte Höhenänderung stimmt sowohl zeitlich als auch wertmäßig mit den Nivellementergebnissen gut überein.

Die frei schwimmende Eisplatte hebt und senkt sich also tidenbedingt um die gleichen Beträge unabhängig von der Küstenentfernung.

4. Schlußbemerkung

Die Verfasser danken dem kanadischen Assistenten B. Ferguson für seine Mithilfe bei der Vorbereitung und Ausführung der Messungen; nicht unerwähnt sollen die einheimischen Helfer — Anatiak, Anaviapik und Kyak — bleiben, ohne deren zuverlässige und immer fröhliche Mitarbeit manche Messung kaum möglich gewesen wäre.

Die Geräte stellte zum größten Teil das Geodätische Institut der Universität Karlsruhe, die Tellurometer-Ausrüstung (MRA 4) wurde vom Geodätischen Institut der Technischen Universität Berlin, eine Distomat DI 10-Ausrüstung von der Firma Wild/Heerbrugg leihweise zur Verfügung gestellt, wofür an dieser Stelle nochmals gedankt sei.

Die Untersuchungen wurden vom Bundesministerium für Bildung und Wissenschaft finanziert und von der Bremer Werft A. G. „Weser“ unterstützt.

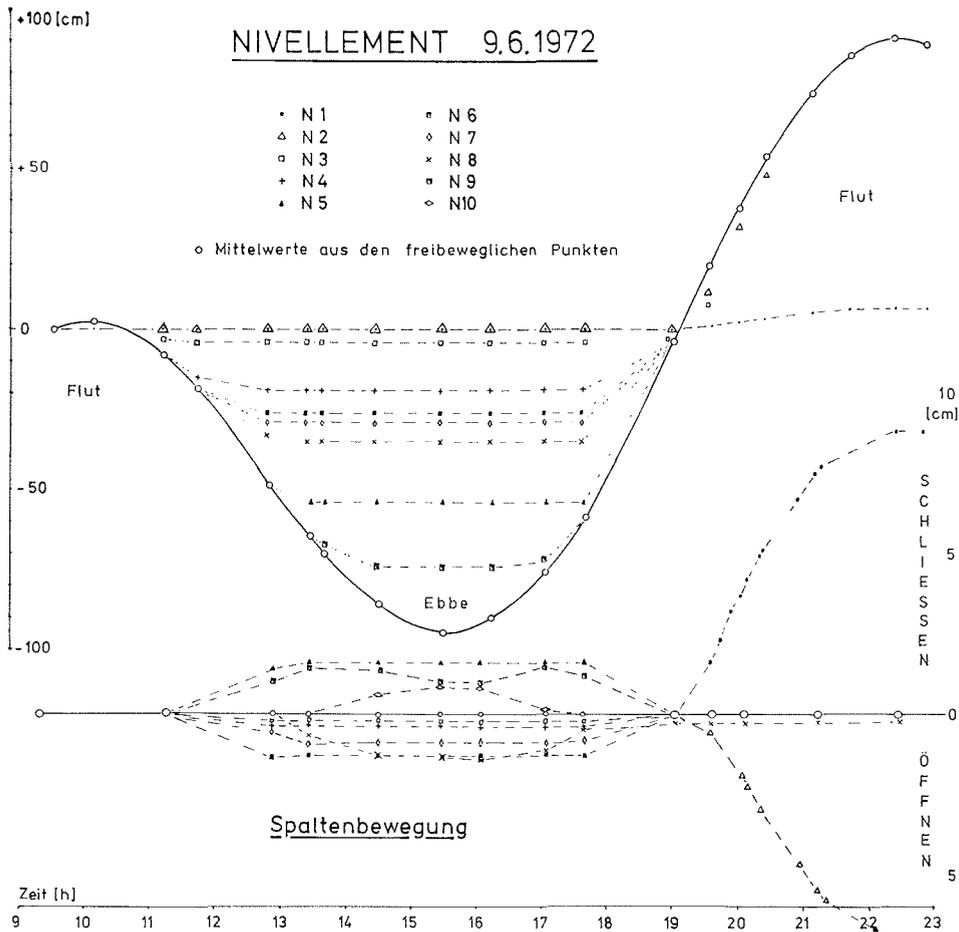


Abb. 8. Ergebnisse des Nivellements vom 9. 6. 1972.

Fig. 8: Results of the levelling and the observation of the crack-movement (9-6-72).

Literatur

- [1] Grothues-Spork, H.: EOS-Routing Study 1972. Vorläufiger Bericht über die durchgeführten Arbeiten und Messungen. Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffsbau, Berlin 1972.
- [2] Thiele, P. u. Zick, W.: Studien zur trigonometrischen Höhenmessung über Meereis. Polarforschung, 42. Jg., Nr. 2, 1972.