

Bewegungsstudien an einem arktischen Gletscher

(Aus den Ergebnissen der Spitzbergen-Expedition 1962 des Nationalkomitees für Geodäsie und Geophysik (NKG) der DDR bei der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin)

Von Wolfgang Pillewizer, Dresden *

Zusammenfassung: Prof. Dr. W. Pillewizer, Dresden, berichtet von den Ergebnissen der Spitzbergen-Expedition 1962 des Nationalkomitees für Geodäsie und Geophysik der DDR, die speziell bei den Bewegungsstudien an dem kalbenden Gletscher Kongsvegen umfangreiches Material zur Mechanik blockbewegter Gletscher erbrachte.

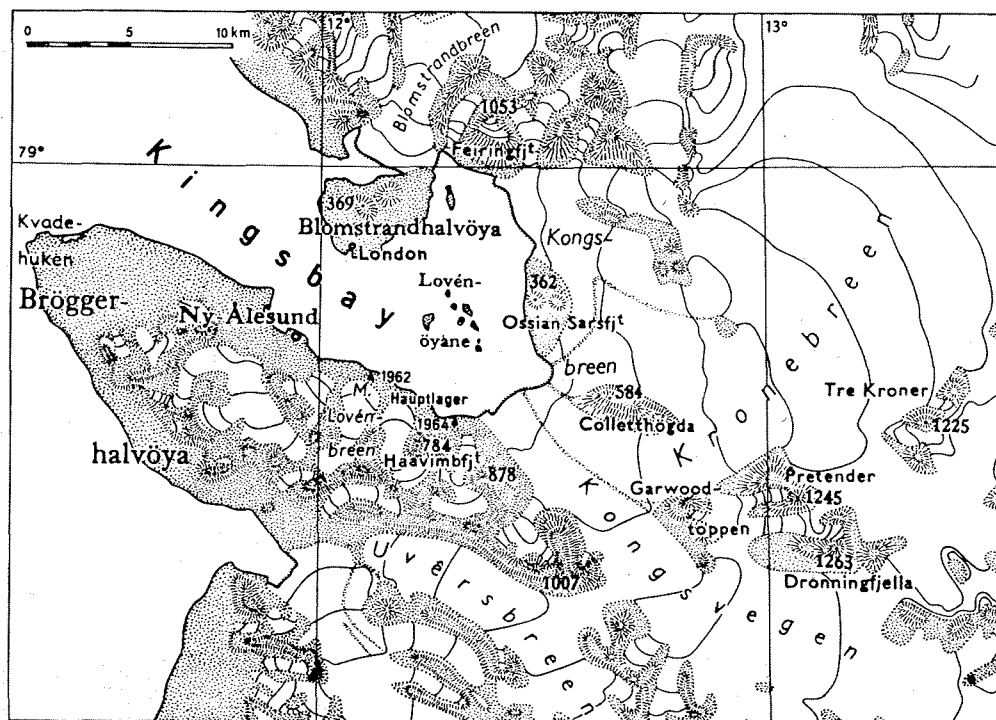
Abstract: Prof. Dr. Pillewizer, Dresden, reports the results of the Spitzberg expedition of 1962, started by the National Committee for Geodesy and Geophysics of the DDR (GDR) which, by studying the progress of the calving glacier of Kongsvegen, especially furnished substantial material as to the mechanism of blockmoved glaciers.

Einleitung

Die deutsche Spitzbergenexpedition des Sommers 1962 führte in der Kingsbay, NW-Spitzbergen, glaziologische Untersuchungen durch, über die in (1) zusammenfassend berichtet wurde. Die Untersuchungen lassen sich in vier Gruppen einteilen, nämlich in geodätisch-topographische Arbeiten zur Kartenaufnahme (2) (3), in Messungen der Bewegungsvorgänge an den großen, ins Meer kalbenden Gletschern (4), in hydrologisch-meteorologische Arbeiten am Mittleren Lovéngletscher (5) und in periglazialmorphologische Arbeiten (6).

Die Bewegungsstudien an den kalbenden Gletschern erbrachten umfangreiches Material zur Mechanik blockbewegter Gletscher, wobei die Untersuchungen am Kongsvegen besonders interessant sind. Sie stellten nicht nur eine Weiterführung der Messungen des Verfassers von 1938 am selben Gletscher dar (7), sondern sie gaben auch Veranlassung zur Fortsetzung der Untersuchungen während der deutschen Spitzbergenexpedition 1964/65 des NKG der DDR.

Der Kongsvegen-Gletscher (Kartenskizze 1) Dieser Gletscher setzt sich aus zwei mächtigen Eisströmen zusammen, deren linker



* Prof. Dr. W. Pillewizer, X 8053 Dresden 53, Rheinhold-Becker-Straße 5

(südllicher), der eigentliche Kongsvegen, einem etwa 100 km² großen Gletscherbecken im Hintergrund, der Kingsbay entströmt. Der rechte (nördliche) Arm erhält seine Eismassen aus den riesigen Hochlandeisflächen im Gebiet der Drei Kronen und des Holtedahl Plateaus, sein Einzugsgebiet läßt sich nicht deutlich abgrenzen und ist jedenfalls wesentlich weiträumiger als jenes des Kongsvegen. Beide Arme vereinigen sich am Garwoodtoppen und ziehen, durch eine deutliche Mittelmoräne getrennt, mit geringem Gefälle 8 km weit zur Kingsbay, wo der Gletscher in einer 4 km langen und 40—50 m hohen Front kalbt.

Im Jahre 1962 hatte der nördliche Arm an der Front eine Breite von 1,6 km, der südliche Arm wies eine solche von 2,4 km auf, die Mittelmoräne verlief also nördlich der Gesamtgletschermitte. Als ich im Jahre 1938 zum ersten Mal den Kongsvegen besuchte, war demgegenüber der nördliche Arm mit etwa 3,3 km doppelt so breit. Ein Bündel von vier parallel verlaufenden Mittelmoränen trennte ihn vom südlichen Arm, der an der Front auf etwa 500 m Breite zusammengedrängt war. Auf Diagramm Nr. 1 ist der damalige und der heutige Verlauf der Mittelmoräne angedeutet. Vom 7. bis 10. 7.

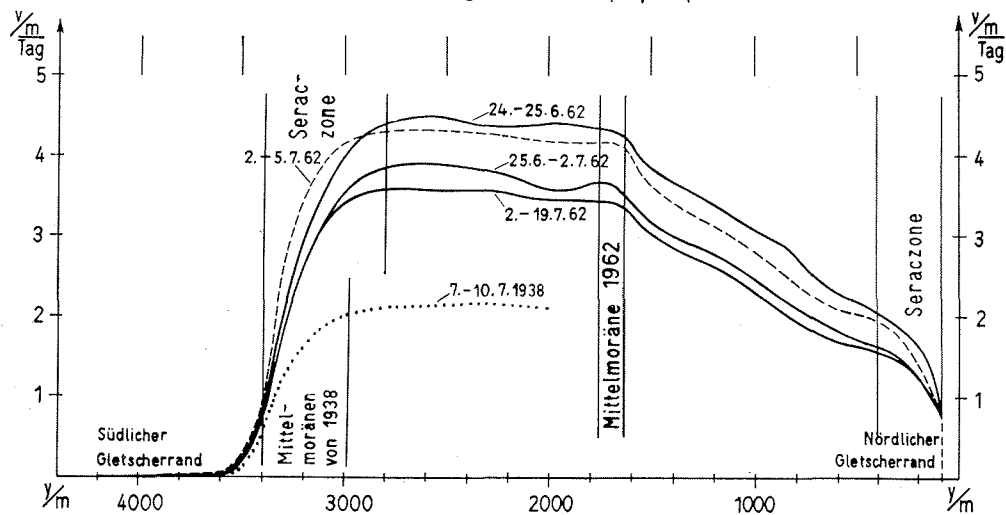
1938 führte ich vom südlichen Gletscherufer aus eine photogrammetrische Bewegungsmessung durch, welche ergab, daß der damalige Hauptstrom nördlich der Mittelmoränen eine Geschwindigkeit von über zwei m am Tag besaß (7); der jähe Geschwindigkeitsanstieg und die völlige Zerreißung des Hauptstromes ließ Blockbewegung dieses Gletschers vermuten.

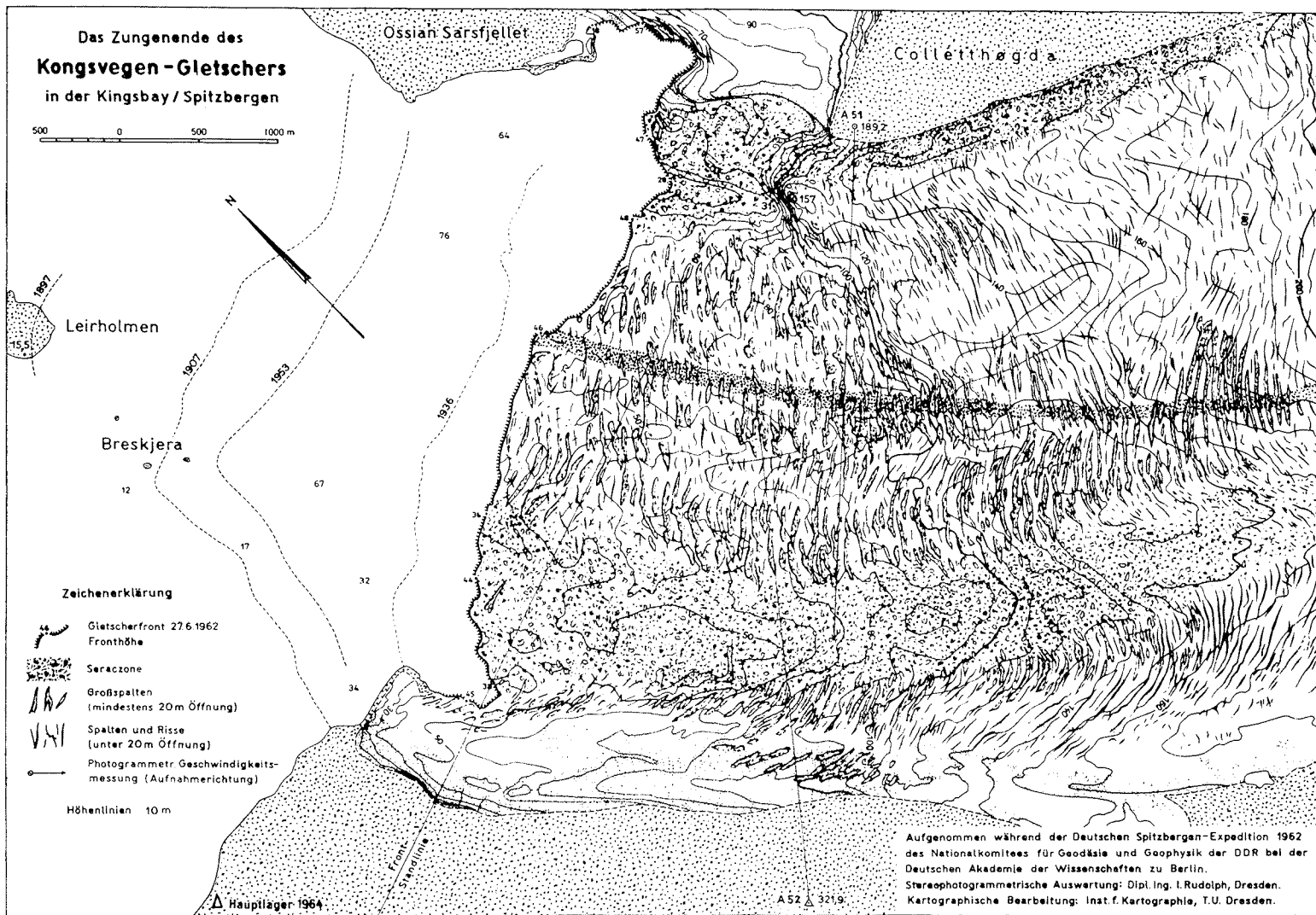
Die Kartenaufnahme (Karte 2)

Zur Weiterführung der Untersuchungen von 1938 wurde im Sommer 1962 eine Karte des Zungenendes dieses Gletschers terrestrisch-photogrammetrisch aufgenommen; eine verkleinerte Schwarz-Weiß-Ausführung ist als Kartenskizze Nr. 2 beigegeben. Die farbige Originalkarte 1:25 000 wurde in (4) veröffentlicht. Erstmals dürfte hier der Versuch gemacht worden sein, die zerrissene Oberfläche eines blockbewegten, arktischen Gletschers in ihrer komplizierten Spaltenstruktur zu kartieren. Besonders auffällig sind die beiden Zerreißungszonen an den Gletscherrändern, „Séraczones“ genannt, in denen der Gletscher in ein nicht mehr im einzelnen darstellbares Gewirr von Eistürmen aufgelöst ist. In diesen Séraczones geht der Geschwindigkeitsanstieg vor sich, wie Diagramm Nr. 1 deutlich zeigt.

Diagramm Nr. 1

Kongsvegen 1938 u. 1962 Geschwindigkeit im Hauptquerprofil





In der Karte konnten nur die Großspalten mit mindestens 20 m Klaffung exakt kartiert werden; die Spaltenbreite kann bis zu 50 m erreichen. Die unzähligen schmäleren Spalten wurden nur schematisch angedeutet. Der Gletscher ist durch 10-m-Höhenlinien dargestellt; in der Schwarz-Weiß-Ausführung wurden die Höhenlinien des unvergletscherten Reliefs weggelassen, um den Eisstrom selbst deutlicher hervorheben zu können. In der vierfarbigen Karte 1:25 000 ist das Höhenlinienrelief vollständig enthalten; sie zeigt außerdem noch als Rotaufdruck die Geschwindigkeitsvektoren in einem Feld längs des Hauptquerprofils, eine Darstellung, die in der hier beigegebenen einfarbigen Karte ebenfalls fortbleiben mußte.

Die Gletscherfront wurde nach dem Stand vom 27. 6. 1962 eingetragen. Ihre Höhe über Wasser betrug im Mittelteil des Gletschers 46 bis 48 m; an den Séraczonen war die Front deutlich erniedrigt, im Norden auf 28 m, im Süden auf 36 m, und diese Einmündungen ziehen sich längs beider Séraczonen den Gletscher hinauf, eine Erscheinung, deren Ursachen noch nicht eindeutig geklärt sind. ¹⁾ Im Laufe des Sommers 1962 rückte die Front stellenweise um 50—75 m vor, dieses Vorrücken wurde jedoch durch starke Kalbungen wieder wett gemacht. Auf Grund älterer Kartendarstellungen und an Hand von Mitteilungen des Norwegischen Polarinstituts in Oslo wurden die früheren Gletscherstände in die Karte eingetragen. 1897 endigte er auf Leirholmen, der östlichsten Lovéninsel, der Rückzug des Gletschers beträgt seither drei Kilometer. Bemerkenswert ist jedoch, daß der Gletscher 1953 bis zu den kleinen Schären (Breskjera) vorstieß, wie Luftaufnahmen eindeutig beweisen. Auf ihnen ist auch zu erkennen, daß die früher nahe dem linken Ufer verlaufenden 4 Mittelmoränen zu einer einzigen zusammengeschoben und an der Front um etwa 2 km nach Norden versetzt waren, ein Moränenverlauf, der auch dem Zustand von 1962 entspricht. Der Vorstoß von 1953 kam also aus dem Becken des Kongsvegen; der südliche Teilstrom des

Gletschers, der 1938 völlig spaltenlos und fast ohne Bewegung (2 cm/Tag) war, überwältigte damals den nördlichen Drei-Kronen-Arm und schob ihn auf die Hälfte seiner früheren Breite zusammen.

Die Bewegungsmessungen

Im Sommer 1962 wurden drei photogrammetrische Bewegungs-Meßstandlinien eingerichtet. Zwischen den Meßpunkten A 51 (am Hang des Coletthögda) und A 52 (am Südufer) liegt das Hauptquerprofil; von einer eigenen Frontstandlinie aus wurde dann noch die Bewegung der Kalbungsfront beobachtet. Über die Ergebnisse dieser Bewegungsmessungen berichtete *U. Voigt* (4) sehr eingehend. Es sollen deshalb hier nur einige der wichtigsten Ergebnisse zusammenfassend hervorgehoben werden.

In Diagramm 1 ist die Geschwindigkeit des Gletschers im Hauptquerprofil 51/52 aus photogrammetrischen Messungen für die Zeit zwischen 24. 6. und 19. 7. 1962 dargestellt. Das bemerkenswerteste Ergebnis ist die Verdoppelung der Geschwindigkeit im südlichen Teilstrom (Kongsvegen) gegenüber den Verhältnissen von 1938. Die Geschwindigkeit stieg innerhalb der südlichen Séraczone bis auf über 4 m/Tag an; der Hauptstrom bis zur Mittelmoräne von 1962 bewegte sich blockartig mit dieser hohen Geschwindigkeit, die an grönländische Verhältnisse heranreicht, und erst an der Mittelmoräne selbst ist ein deutlicher Abfall gegen das nördliche Gletscherufer festzustellen. Innerhalb der dortigen Séraczone nimmt dann die Geschwindigkeit von etwa 2 m/Tag sehr rasch ab, wobei wahrscheinlich ein Gleiten (slip) des Gletschers am Felsufer des Coletthögda in der Größenordnung von 0,8 m/Tag erfolgt. Da dort der Gletschertrand selbst nicht eingesehen werden konnte, sind nähere Aussagen nicht möglich.

Wenn man den Zustand von 1938 betrachtet, so gewinnt man den Eindruck, daß damals der nördliche (Drei-Kronen-)Arm des Gletschers in seiner ganzen Breite Blockbewegung mit etwa 2 m/Tag besaß; der Geschwindigkeitsanstieg erfolgte in denselben Séraczonen wie gegenwärtig.

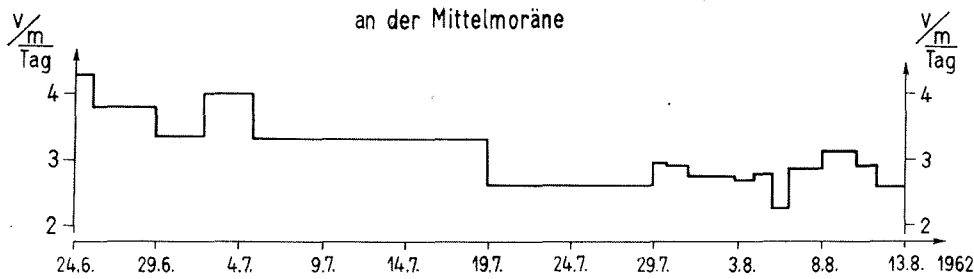
¹⁾ Vielleicht liegt hier erhöhte Ablation zwischen den Eistürmen vor; es kann aber auch an ein Zusammensacken des so stark aufgelösten Eiskörpers gedacht werden, worauf auch Hinweise bei der Durchquerung der Séraczonen im Jahre 1964 gefunden wurden: alle Spalten waren dort durch Eistrümmer aufgefüllt, was erst die Begehung dieser Zonen ermöglichte.

Der südliche (Kongsvegen-)Arm hingegen war völlig inaktiv. Leider war es 1938 nicht möglich, auch Messungen vom nördlichen Gletscherufer aus vorzunehmen. Das Vorherrschen des Drei-Kronen-Armes in diesem System dürfte charakteristisch für die lange Periode des Gletscherrückgangs gewesen sein, die hier wie in den meisten anderen Gletschergebieten Spitzbergens bis Anfang der Fünfziger Jahre andauerte. Nur der Nachschub aus den weiten Firnhoch-

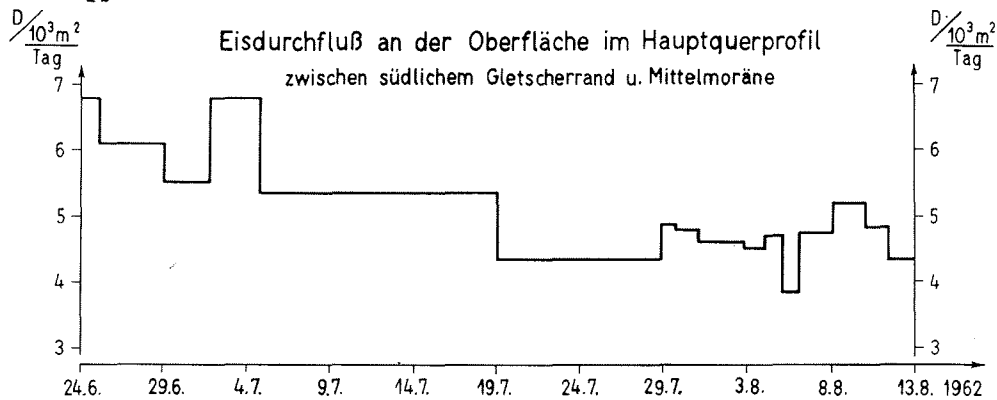
flächen des Holvedahlplateaus, dessen Eismassen durch die relativ enge Pforte zwischen Coletthögda und Garwoodtoppen gepreßt werden, hielt im Drei-Kronen-Arm die Blockbewegung aufrecht und verursachte dessen völlige Zerreißung, die 1938 in einem auffallenden Gegensatz zur glatten, spaltenlosen Eisoberfläche des schmalen, bewegungslosen Kongsvegen stand. Auf diese Sachlage wurde bereits 1939 hingewiesen [7]. Der Vorstoß des Gletschers von

Diagramm Nr. 2

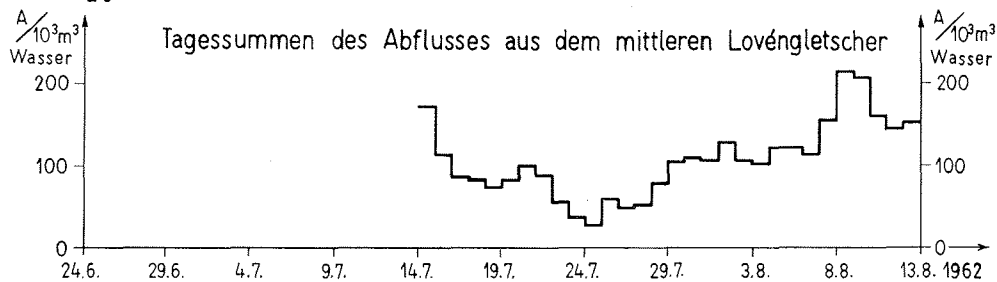
2a Die Schwankung der Geschwindigkeit im Hauptquerprofil



2b



2c



1953 ging auf eine Neubelebung des Kongsvegen-Armes zurück, und auch 1962 war dieser Teilstrom noch viel aktiver als der stark eingeeengte nördliche Arm, dessen Eismassen vom doppelt so rasch bewegten Kongsvegen mitgeschleppt wurden, worauf der lineare Abfall der Geschwindigkeitskurven von der Mittelmoräne bis zur nördlichen Séraczone hinweist.

Die Geschwindigkeitsschwankungen

(Diagramm 2)

Während des Sommers 1962 schwankte die Geschwindigkeit des Gletschers beträchtlich, wie die Diagramme 1 und 2a zeigen. Am schnellsten war die Bewegung zu Beginn der Meßperiode am 24. 6., als die Geschwindigkeit im Hauptquerprofil 4,5 m/Tag erreichte. Am Ende der Gesamtmeßperiode am 13. 8. 1962 war die Tagesgeschwindigkeit auf unter 3 m abgesunken. Die Schwankungen machen bis zu 30 % der mittleren Geschwindigkeit aus. Es ist nicht unwahrscheinlich, daß zu Beginn der Ablationsperiode die höchsten Geschwindigkeitswerte des ganzen Jahres erreicht werden; dieses Problem soll durch entsprechende Messungen im Frühjahr 1965 geklärt werden.

Die Geschwindigkeitsschwankungen des Sommers 1962 erfaßten gleichsinnig das ganze Zungenende bis zur Kalbungsfrent und auch die gesamte Gletscherbreite, wie Diagramm 2b im Vergleich zu 2a zeigt. Der für die einzelnen Meßperioden ermittelte Eisdurchfluß an der Oberfläche des Kongsvegen, der in $10^3\text{m}^2/\text{Tag}$ angegeben ist, verläuft gleichsinnig mit den Geschwindigkeitsschwankungen, welche an der Mittelmoräne im Hauptquerprofil festgestellt wurden.

Gegen die Gletscherfront hin ergab sich, wie dies schon 1938 beobachtet war, ein Anstieg der Geschwindigkeit, eine Erscheinung, die von vielen kalbenden Gletschern bekannt geworden ist. Vom Hauptquerprofil nahm die Geschwindigkeit gletscherabwärts auf einer Strecke von 1200 m um durchschnittlich 15 % zu. Ob es sich dabei nur um eine sommerliche Erscheinung handelt, wie F. Wilhelm [8] vermutete, oder ob die

Geschwindigkeitszunahme gegen die Kalbungsfrent ganzjährig auftritt, sollen die Wintermessungen 1964/65 an diesem Gletscher ergeben.

Die Dicke der Gletscherzunge kann an der Front mit ca. 90 m angenommen werden, wobei die Fronthöhen der Karte und Wassertiefen nach norwegischen Lotungen herangezogen wurden. Aus den Messungen, die an der Frontstandlinie durchgeführt wurden, ist die Oberflächengeschwindigkeit des Zungenendes bekannt, und aus diesen Daten kann auf eine tägliche Kalbungsmenge von über 1 Million m^3 Eis geschlossen werden. Die gravimetrischen Eisdickenmessungen, welche 1964 in einem Profil nahe der Front vorgenommen wurden, und die umfangreichen Bewegungsmessungen desselben Sommers werden diese erste Abschätzung des Eisausstoßes der Kongsvegenfront auf eine sichere Basis stellen.

Während des Sommers 1938 wurden auf dem Gänsegletscher im Hornsund, Südspitzbergen, Geschwindigkeitsschwankungen beobachtet, welche dieselbe Größenordnung hatten wie jene des Kongsvegen im Jahre 1962, nämlich $\pm 25\%$ der Durchschnittsgeschwindigkeit [7]. Auch wurde festgestellt, daß gute Übereinstimmung zwischen diesen Schwankungen und der Strahlungsmenge bestand, die gleichzeitig gemessen worden war. Es wurde schon damals vermutet, daß die Geschwindigkeitsschwankungen des Gletschers mit Ablationsvorgängen zusammenhängen, ohne daß hierfür nähere Hinweise gefunden werden konnten.

Während des Sommers 1962 wurden auf dem Mittleren Lovéngletscher, welcher 6 km westlich der Kongsvegen-Frent auf dem Lande endigt (Siehe Karte 1), hydrometeorologische Untersuchungen durchgeführt [5]. Dabei wurde von Mitte Juli bis Mitte August der Abfluß in den beiden Bächen dieses Gletschers gemessen, die Tagessummen des Gesamtabflusses sind im Diagramm 2c eingetragen.

Obwohl der Abfluß eines Nachbargletschers und nicht jener des Kongsvegen selbst bestimmt wurde, ergeben sich doch gewisse Übereinstimmungen zwischen den Wasserabflußmengen des Mittleren Lovéngletschers und den Geschwindigkeitsschwankungen auf dem Kongsvegen. Das läßt an die

Wirkung von Wasserschmierschichten am Untergrund dieses Gletschers denken, die durch Ablationsvorgänge entstehen. Diesem Problem wird während der Spitzbergenexpedition 1964/65 des NKG der DDR besondere Aufmerksamkeit gewidmet; denn diese Unternehmung hat es sich zum Ziel gesetzt, durch ganzjährige intensive Messungen einen Beitrag zur Kenntnis der Mechanik blockbewegter arktischer Gletscher zu liefern [9].

Literatur:

- 1) Pillewizer, W.: „Deutsche Spitzbergenexpedition 1962“. *Pet. Geogr. Mitt.* 1962, H. 4.
- 2) Stange, L.: „Die geodätischen Arbeiten der deutschen Spitzbergenexpedition 1962“. *Vermessungstechnik* 11, 1963, H. 6.
- 3) Töppler, J.: „Mit dem Phototheodolit in Spitzbergen“. *Vermessungstechnik* 12, 1964, H. 6.
- 4) Voigt, U.: „Die Bewegung der Gletscherzunge des Kongsvegen (Kingsbay, Westspitzbergen)“. *Pet. Mitt.* 1965, H. 1.
- 5) Karbaum, H. und Mitarbeiter: „Hydrometeorologische Arbeiten am mittleren Lovéngletscher in der Kingsbay“. *Veröffentlichungen des NKG der DDR* 1965.
- 6) Herz, K.: „Ergebnisse mikromorphologischer Untersuchungen im Kingsbay-Gebiet (Westspitzbergen)“. *Pet. Mitt.* 1964, H. 1/2.
- 7) Pillewizer, W.: „Die kartographischen und gletscherkundlichen Ergebnisse der deutschen Spitzbergen-Expedition 1938“. *Pet. Mitt. Erg. H. Nr.* 238, 1939.
- 8) Wilhelm, F.: „Die glaziologischen Ergebnisse der Spitzbergenrundfahrt der Sektion Amberg des Deutschen Alpenvereins“. *Mitt. Geogr. Ges. München*, 1961.
- 9) Pillewizer, W.: „Deutsche Spitzbergen-Expedition 1964/65“. *Pet. Mitt.* 1964, H. 3.

Untersuchungen über die Elastizitätskonstanten von See- und Kunsteis

Von B. Brockamp und H. Querfurth *

Abstract: Ultrasonic measurements (2 MHz and 12 MHz) of the elastic waves on lake ice show a temperature dependence of the longitudinal bulk wave as well as the shear waves and, moreover, an elastic transversal anisotropy of the lake ice. The five elastic constants of the hexagonal ice are calculated from the velocities. Further determinations on artificial ice plates show that the velocity depends on the rate of the thickness of the plate and wave length. — Moreover this treatise discusses problems of measurements in longitudinal plate waves and two species of shear waves as well as surface waves (flexural waves) on the ice of lakes.

Zur Erfassung der elastischen Größen von Eis wird in Verfolg älterer eisseismischer Arbeiten auf Gletschern, Inlandeis und Seen sowie von Laboratoriumsuntersuchungen nachstehend über neuere Untersuchungen aus diesem Arbeitsgebiet des Institutes für Reine und Angewandte Geophysik der Universität Münster berichtet und zwar zuerst über die Untersuchungen im Laboratorium, danach über die zeitlich früher liegenden Beobachtungen auf den Eisdecken von Seen in der Nähe von Münster.

Ultraschallmessungen im Labor

Die dem See gerichtet entnommenen Proben wurden in verschiedenen Richtungen in dem Temperaturbereich von 0 °C bis -20 °C durchschallt. Die Ultraschallmes-

sungen erstreckten sich auf die longitudinale und transversale Vollraumwelle in den beiden Richtungen horizontal und vertikal zur Seeoberfläche. Bestimmt wurden:

A. Longitudinalwellen

- I. die Geschwindigkeit der Vollraumkompressionswelle, welche die Probe in der Richtung vertikal zur Seeoberfläche durchläuft (PV);
- II. die Geschwindigkeit der senkrecht zu der PV-Welle durch die Probe laufenden Kompressionswelle (PH);

B. Transversalwellen

- I. die Geschwindigkeit der Vollraumscherungswelle, welche die Probe in der Richtung vertikal zur Seeoberfläche durchläuft und deren Schwingungsebene parallel zur Wasseroberfläche liegt (SV);
- II. die Geschwindigkeit der SH-Welle (der PH-Welle entsprechend) in ihren beiden Komponenten SHH und SHV. Die Schwingungsebene der SHH-Welle liegt parallel zur Wasseroberfläche, die der SHV-Welle steht senkrecht darauf. Die SHV-Welle hat dieselbe Geschwindigkeit wie die SV-Welle.

*) Prof. Dr. B. Brockamp, 44 Münster (Westf.), Steinfurter Straße 107
Horst Querfurth, 44 Münster, Steinfurter Straße 107