

Paper-ID: VGI_198703



Navigation auf dem Weg zum Nordpol

Herbert Lichtenegger ¹

¹ *Institut für Angewandte Geodäsie und Photogrammetrie, Technische Universität Graz, Rechbauerstraße 12A, 8010 Graz*

Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen und Photogrammetrie **75** (1), S. 14–21

1987

Bib_TE_X:

```
@ARTICLE{Lichtenegger_VGI_198703,  
Title = {Navigation auf dem Weg zum Nordpol},  
Author = {Lichtenegger, Herbert},  
Journal = {{\0}sterreichische Zeitschrift f{\u}r Vermessungswesen und  
Photogrammetrie},  
Pages = {14--21},  
Number = {1},  
Year = {1987},  
Volume = {75}  
}
```



Navigation auf dem Weg zum Nordpol

Von H. Lichtenegger, Graz

Zusammenfassung

Die Arbeit berichtet über eine österreichische Nordpolexpedition, wobei besonderes Augenmerk auf die astrogeodätischen Navigationsmethoden gelegt wird, welche zu diesem Zweck entwickelt wurden.

Summary

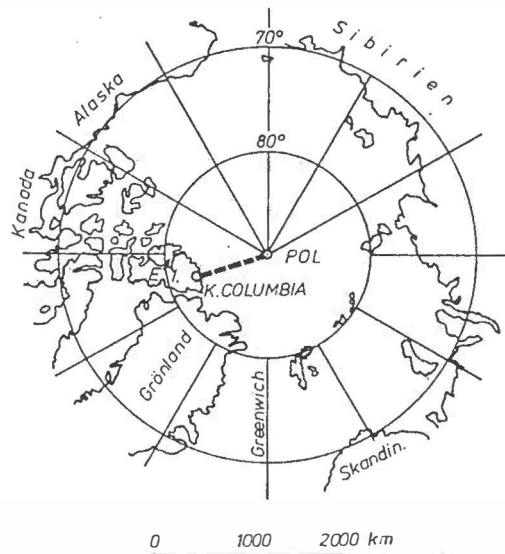
The paper reports on an Austrian North-Pole Expedition. Particular attention is given to astrogeodetic navigation methods which have been developed for this purpose.

1. Vorbemerkung

Am 10. März 1986 startete der damals 26-jährige Österreicher Bernhard Klammer (B.K.) nach mehrjähriger Vorbereitung eine Expedition mit dem Ziel, zu Fuß und im Alleingang vom nördlichsten Landteil Kanadas aus den geographischen Nordpol zu erreichen. Über das Abenteuer wurde mehrfach in allen Medien berichtet.

Der Verfasser hatte die Aufgabe, für das Unternehmen einfache und doch sichere astrogeodätische Navigationsmethoden zu entwickeln, welche im Notfall eine Satelliten-Navigationseinheit ersetzen sollten und auch tatsächlich ersetzt haben.

Da die Verfahren auch für andere Expeditionen von Interesse sein könnten, werden diese in der vorliegenden Arbeit ausführlich beschrieben. Zuvor aber wird ein kurzer Überblick über die Ziele und den Verlauf der Expedition gegeben.



Figur 1: Geplante Expeditionsroute von Kap Columbia zum Pol

2. Ziel und Verlauf der Expedition

Als Ziel der Expedition galt die erstmalige Erreichung des geographischen Nordpols zu Fuß und im Alleingang. Außerdem sollte das Unternehmen „by fair means“ ablaufen, das heißt, die Ausrüstung (Verpflegung, Bekleidung, Waffen usw.) im Gesamtgewicht von mehr als 100 kg war auf einem Schlitten nur durch menschliche Muskelkraft und ohne Verwendung von Hunden oder Motoren mitzuführen. Als einzige Verbindung zur Zivilisation war ein wöchentlicher Funkkontakt zur Basisstation in der Eskimosiedlung „Resolute Bay“ vorgesehen.

Die geplante Marschrouten ist in Fig. 1 dargestellt. Ausgehend von Kap Columbia (83° nördliche Breite, 70° westliche Länge) auf Ellesmere-Insel, dem nördlichsten Festlandpunkt Kanadas, sollte der Pol erreicht werden. Hierzu war eine Strecke von mehr als 750 km über das Eis des Polarmeeres zurückzulegen. Bei einer Tagesleistung von 10–15 km waren daher etwa zweieinhalb Monate für das Unternehmen vorgesehen. Der frühestmögliche Termin für eine solche Expedition liegt wegen der Polarnächte in den hohen Breitengraden um den Frühlingsbeginn. Andererseits muß der Pol spätestens gegen Ende Mai erreicht sein, da nach dieser Zeit das Eis bricht und so weder ein Rückmarsch noch ein Ausfliegen möglich ist.

B.K. startete daher seinen einsamen Marsch am 10. März 1986. Eisige Schneestürme mit Spitzen bis zu 200 Stundenkilometer und Temperaturen bis unter -50° verhinderten gleich zu Beginn ein zügiges Vorankommen. Dreißig Tage quälte sich B.K. mit seinem Schlitten im Vier-Stunden-Rhythmus durchs Eis, vier Stunden Marsch, vier Stunden Ruhepause. . . ! Dann der verhängnisvolle Sturz von einer Eisbarriere, der zu einem Knochenbruch an der rechten Hand führte. Kurze Zeit später folgte der Ausfall seines Funkgerätes, der glücklicherweise nur den Sendeteil, nicht aber den Empfang betraf. So war B.K. über die anlaufenden Rettungsaktionen informiert, und es gelang ihm auch, nach 14 Tagen mit dem Piloten eines Versorgungsflugzeuges Kontakt aufzunehmen und so seine Rettung einzuleiten. Damit war diese Expedition, wie bereits elf andere vorher mit ähnlicher Zielsetzung, gescheitert und B.K. bezweifelt heute überhaupt ihre Realisierbarkeit.

Zur gleichen Zeit wie B.K. marschierte auch ein französischer Arzt im Alleingang, aber mit Unterstützung durch ein Versorgungsflugzeug (welches übrigens B.K. rettete) in Richtung Pol, den er nach 63 Tagen am Sonntag, den 11. Mai tatsächlich erreichte. B.K. will daher bei seiner nächsten, für 1988 geplanten Expedition ebenfalls ein Versorgungsflugzeug anmieten, dafür aber in einer neuen Herausforderung als erster Mensch den Hin- und Rückmarsch zum bzw. vom Pol schaffen.

3. Astrogeodätische Navigation

3.1 Allgemeines

Die astrogeodätische Navigation, anfangs nur als Ersatz oder Ergänzung gedacht, wurde wegen des frühen Ausfalls der Satelliten-Navigationsanlage zufolge der Tiefsttemperaturen zum alleinigen Orientierungshilfsmittel während der gesamten Dauer der Expedition. Ihre vordringliche Zielsetzung, nämlich einem Laien eine einfache aber sichere Navigationsmethode zur Verfügung zu stellen, konnte erreicht werden. Dies geht schon aus der Tatsache hervor, daß B.K. auf Grund der letzten Positionsangabe vor seinem Unfall mit einer Unsicherheit von nur 2 km gefunden und damit gerettet werden konnte. Gleichzeitig wurde damit auch bestätigt, daß die vorgeschlagene Methode trotz der Polnähe und unter widrigsten Umweltbedingungen die angestrebte Genauigkeit von $\pm 1^c$ (= zehn Milligon) in Lage, gleichbedeutend mit ± 1 km liefern kann.

3.2 Instrumentarium

Nachdem handelsübliche Sextanten aus Genauigkeitsgründen ausschieden, war für die Wahl eines geeigneten Instruments vorerst die Frage zu klären, ob herkömmliche Bautheodolite (nur solche kamen wegen des geringen Gewichts bei ausreichender Genauigkeit in Frage) den extremen Temperaturen um -50° hinsichtlich Libellen und Achslager standhalten. Ein am Institut des Verfassers vorhandenes Instrument der ehemaligen Firma Miller wurde diesbezüglich freundlicherweise von der Firma Swarovski Optik K.G. in Tirol geprüft. Als Ergebnis folgte, daß zwar wegen der auf Alkohol basierenden Füllung der Libellen deren Zerstörung bei den angegebenen Temperaturen nicht zu befürchten war, allerdings eine besondere Vorbehandlung (Schmierung!) nicht nur der Achslager, sondern aller mechanisch bewegter Teile (Fokussierung, Feinbewegung etc.) notwendig ist. Das Hauptproblem bestand in der Verbindung des Glaskreises zu seiner metallischen Halterung, wobei eine Bruchgefahr für den Teilkreis nicht ausgeschlossen wurde. Um all diese Schwierigkeiten zu umgehen, hat die Firma Swarovski das großzügige Angebot unterbreitet, aus ihrem Verkaufsprogramm einen Theodoliten NT-1S der japanischen Firma Nikon leihweise und kostenlos für die Expedition zur Verfügung zu stellen. Dabei wurde das Instrument so adaptiert, daß eine einwandfreie Funktion bis -50° gewährleistet war.

Der genannte Bautheodolit zeichnet sich durch geringes Gewicht (inklusive Kunststoffbehälter nur 6 kg) und ein helles aufrechtes Bild bei einem Gesichtsfeld von nahezu 2° und 25-facher Vergrößerung aus. Der Vertikal- und Horizontalkreis sind gleichzeitig auf einer Skala sichtbar und erlauben eine direkte Ablesung auf 10° bei einer Schätzung auf 1° . Trotz seiner kompakten Bauweise ist die Bedienung des Instrumentes selbst mit dicken Fellhandschuhen problemlos möglich. Wegen der klaren und benutzerfreundlichen Gliederung der Bedienungselemente konnte die Einschulung von B.K. in kürzester Zeit erfolgen. Auf die Verwendung eines Stativs wurde u. a. aus Gewichtsgründen verzichtet und das Instrument jeweils auf einem Photokoffer horizontalisiert. Wegen der nur geringen zu messenden Höhenwinkel waren auch keine Zenitokulare notwendig, als Sonnenfilter diente eine auf das Fernrohr aufsteckbare Scheibe aus belichtetem Filmmaterial. In Fig. 2 ist das Instrument während eines Einsatzes abgebildet, die Aufnahme wurde freundlicherweise von B.K. zur Verfügung gestellt.

3.3 Methode

Die Navigation hat allgemein zwei Aufgaben zu erfüllen, nämlich einerseits Breite und Länge des Standortes festzustellen und zum zweiten den Kurs bzw. die Nordrichtung anzugeben. Von der Wertigkeit her war primär auf die genaue Festlegung der Nordrichtung als Marschroute zu achten. An dieser Stelle sei vermerkt, daß in Polnähe die Verwendung eines Magnetkompasses zur absoluten Orientierung natürlich versagt, aber auch der Polarstern wegen seiner geringen Zenitdistanz hierfür ungeeignet ist. Die Bestimmung der Breite diente der Kontrolle der Position und sollte auch die Pollage definieren. Der Festlegung der Länge hingegen kommt nur geringe Bedeutung zu, da sich diese beim Marsch nach Norden gegenüber der bekannten Ausgangslänge nicht ändert. Als Beobachtungsgestirn kam aus verständlichen Gründen nur die Sonne in Frage, das Vorhandensein einer in Weltzeit (UT) laufenden Armbanduhr wurde vorausgesetzt. Die erforderliche Minutengenauigkeit war mit Hilfe von Zeitzeichen über das Funkgerät leicht erreichbar.

Unter den getroffenen Vereinbarungen bietet sich eine Navigationsmethode an, die auf die Messung der Sonnenhöhen um die Mittagszeit basiert, wobei der genaue Kulminationszeitpunkt durch die minimale Zenitdistanz z_K der Sonne gegeben ist. Die Breite ergibt sich dann aus der Summe der wegen Refraktion korrigierten Zenitdistanz z_K und der Sonnendeklination.



Figur 2: Bautheodolit Nikon NT-1S im Einsatz

Da die Sonne zum Zeitpunkt der Kulmination den Ortsmeridian passiert, kann auch die Nordrichtung leicht angegeben werden. Der Kulminationszeitpunkt (gemessen in UT) entspricht außerdem 12 Uhr in wahrer Ortszeit, damit ist die Länge ableitbar.

Diese vom Prinzip her einfache Methode führt jedoch in Polnähe zu Schwierigkeiten, da der Zeitpunkt der minimalen Zenitdistanz nicht mehr sicher festzulegen ist. Dies wird auch durch die Tab. 1 deutlich, in der für verschiedene Breiten und eine mittlere Deklination von 10° die Azimute und Zenitdistanzen der Sonne um den Kulminationszeitpunkt aufgelistet sind.

Aus der Tabelle kann zum Beispiel abgelesen werden, daß in einer Breite von 98° oder einer Entfernung von rund 200 km vom Pol die Zenitdistanzänderung innerhalb von 20 Minuten um den Kulminationszeitpunkt unter der Meßgenauigkeit liegt. Mit anderen Worten ausgedrückt, es kann der Kulminationszeitpunkt nur auf ± 20 Minuten und somit die Orientierung auf $\pm 6^{\circ}$ festgelegt werden. Die gesuchte minimale Zenitdistanz und damit die Breite ist hingegen durch mögliche Wiederholungsmessungen leicht mit Minutengenauigkeit zu ermitteln, wobei die Genauigkeit zum Pol hin weiter zunimmt.

Breite	Zeitdifferenz bezüglich Kulmination	Südazimut	Zenitdistanz
90°	± 0 Min.	± 0°0	80°00
	20	5°8	80°04
	40	11°5	80°16
	60	17°3	80°35
94°	± 0 Min.	± 0°0	84°00
	20	5°7	84°02
	40	11°3	84°09
	60	17°0	84°21
98°	± 0 Min.	± 0°0	88°00
	20	5°6	88°01
	40	11°2	88°03
	60	16°8	88°07

Tabelle 1: Horizontkoordinaten der Sonne mit der Deklination 10° um den Kulminationszeitpunkt und in der Nähe des Pols

Die Methode ist daher für die Breitenbestimmung optimal geeignet. Sie wurde so aufbereitet, daß sich im Feld die Breite aus einer einfachen Summation der beobachteten minimalen Zenitdistanz und von Werten ergibt, welche einer Tabelle (siehe Fig. 3) entnommen werden können. Die Deklination in der Tabelle wurde wegen der günstigeren Anzielungsmöglichkeit auf den oberen Sonnenrand bezogen und jeweils für 16^h UT, dem ungefähren Kulminationszeitpunkt für die geplante Ausgangslänge, angegeben, um Interpolationen möglichst zu vermeiden. Die Refraktion für die in Frage kommenden Zenitdistanzen ist für Normaldruck, aber für zwei Temperaturen ausgewiesen. Mit den angegebenen Werten ist eine Genauigkeit von ± 0°01 in Breite, d. h. ± 1 km in Nordsüdrichtung, gewährleistet.

In der Tabelle der Fig. 3 ist auch eine Beziehung für die Längenbestimmung angegeben. Dabei wurde die sogenannte Zeitgleichung vernachlässigt, da diese im betrachteten Zeitraum von März bis Juni nur einen Wert von ± 5 Minuten erreicht und die Längengenauigkeit nach obigen Bemerkungen diesen Betrag mehrfach übersteigt.

Aus der Tab. 1 kann weiters abgelesen werden, daß sich das Azimut der Sonne pro Stunde um etwa 15° oder 17° ändert. Dieser Wert ist wegen der Polnähe nahezu unabhängig von der Breite, aber auch der Deklination. Es wurde daher die in Fig. 4 dargestellte Tabelle für eine mittlere Breite und Deklination unter abermaliger Vernachlässigung der Zeitgleichung berechnet. Daraus kann für jede Epoche innerhalb eines Tages das Sollazimut der Sonne entnommen und damit die Nordrichtung festgelegt werden. Bei einer Längengenauigkeit von ± 20 Minuten ist das Azimut um etwa ± 6° unsicher. Diese Genauigkeit ist ausreichend, da sie bei der geplanten Tagesleistung von 10 km nur eine Querabweichung von ± 1 km bewirkt.

Für eine rasche Azimutkontrolle während des Marsches wurde noch ein sogenannter Sonnenkompaß entworfen, welcher in Fig. 5 dargestellt ist. Er beruht auf einer Umkehrung des Prinzips einer äquatorialen Sonnenuhr. Bei dieser wird bekanntlich eine ein Zifferblatt tragende Ebene parallel zur Äquatorebene gestellt und senkrecht darauf, also parallel zur Rotationsachse der Erde, ein schattenwerfender Stab befestigt. In dieser Anordnung bewegt sich bei Sonnenschein der Endpunkt des Schattens in der Zifferblattebene auf einem Kreis um den Schattenstab. Die stündlichen Marken des Zifferblattes sind gleichabständig mit einer Zentriwinkeldifferenz von $1 \text{ h} \triangleq 15^\circ \triangleq 17^\circ$ und sind so zu orientieren, daß die Verbindungsgerade vom Fußpunkt des Schattenstabs zur 12-Uhr-Marke nach astronomisch Nord weist. Im Gegensatz zur Verwendung als Sonnenuhr wird in der Anwendung für Navigationszwecke die

ORTSBESTIMMUNG

FORMELSYSTEM (gütig für den Zeitpunkt der oberen Kulmination)

BREITE = ZENITDISTANZ + DEKLINATION + REFRAKTION

LÄNGE = WELTZEIT UT - 12 h (positiv nach Westen gezählt)

AZIMUTBESTIMMUNG

BEZEICHNUNGEN

ZEIT : Stundenwinkel der Sonne = WELTZEIT UT - LÄNGE - 12 h

AZIMUT : Azimut der Sonne gezählt von Süden über Westen

DEKLINATION DES OBEREN SONNENRANDES (Gon)

DATUM	DEKLINATION	DATUM	DEKLINATION	DATUM	DEKLINATION
1986 März (16h UT)	21 0.62	1986 April 14 10.81	8 19.33		
	22 1.06	15 11.21	9 19.63		
	23 1.50	16 11.60	10 19.92		
	24 1.94	17 12.00	11 20.21		
	25 2.38	18 12.39	12 20.49		
	26 2.81	19 12.77	13 20.76		
	27 3.25	20 13.15	14 21.03		
	28 3.68	21 13.53	15 21.30		
	29 4.11	22 13.90	16 21.56		
	30 4.55	23 14.28	17 21.81		
April 1 4.98	24 1.68	24 14.65	18 22.01		
	5.41	25 15.01	19 22.29		
	5.83	26 15.36	20 22.53		
	6.26	27 15.72	21 22.76		
	6.68	28 16.07	22 22.98		
	7.11	29 16.42	23 23.19		
	7.53	30 16.76	24 23.40		
	7.95	1 17.10	25 23.60		
	8.36	2 17.43	26 23.80		
	8.78	3 17.76	27 23.99		
	9.19	4 18.08	28 24.17		
	9.60	5 18.40	29 24.34		
	10.00	6 18.71	30 24.51		
	10.41	7 19.02	31 24.67		

REFRAKTION (Gon)

ZENITDISTANZ	REFRAKTION
0°	-40°
70	0.04
75	0.05
80	0.06
85	0.08
90	0.11
95	0.19

Figur 3: Tabelle zur Ortsbestimmung

SONNENAZIMUT

ZEIT (h min) +-	AZIMUT (Gon) +-	ZEIT (h min) +-	AZIMUT (Gon) +-	ZEIT (h min) +-	AZIMUT (Gon) +-
0 00	0	4 00	67	8 00	134
0 20	0	4 20	73	8 20	139
0 40	11	4 40	79	8 40	145
1 00	17	5 00	84	9 00	150
1 20	23	5 20	90	9 20	156
1 40	28	5 40	95	9 40	161
2 00	34	6 00	101	10 00	167
2 20	39	6 20	106	10 20	172
2 40	45	6 40	112	10 40	178
3 00	51	7 00	117	11 00	183
3 20	56	7 20	123	11 20	189
3 40	62	7 40	128	11 40	194

HILFSTABELLEN

TRANSFORMATIONEN

1^g = 0°90 = 0°54^h
 1^o = 19'11 = 0^h04^m
 1^h = 15^o = 16⁹67
 (400^g Gonteilung)
 (360^o Altgradteilung)
 (24^h Stundenteilung)

LAGEABWEICHUNGEN

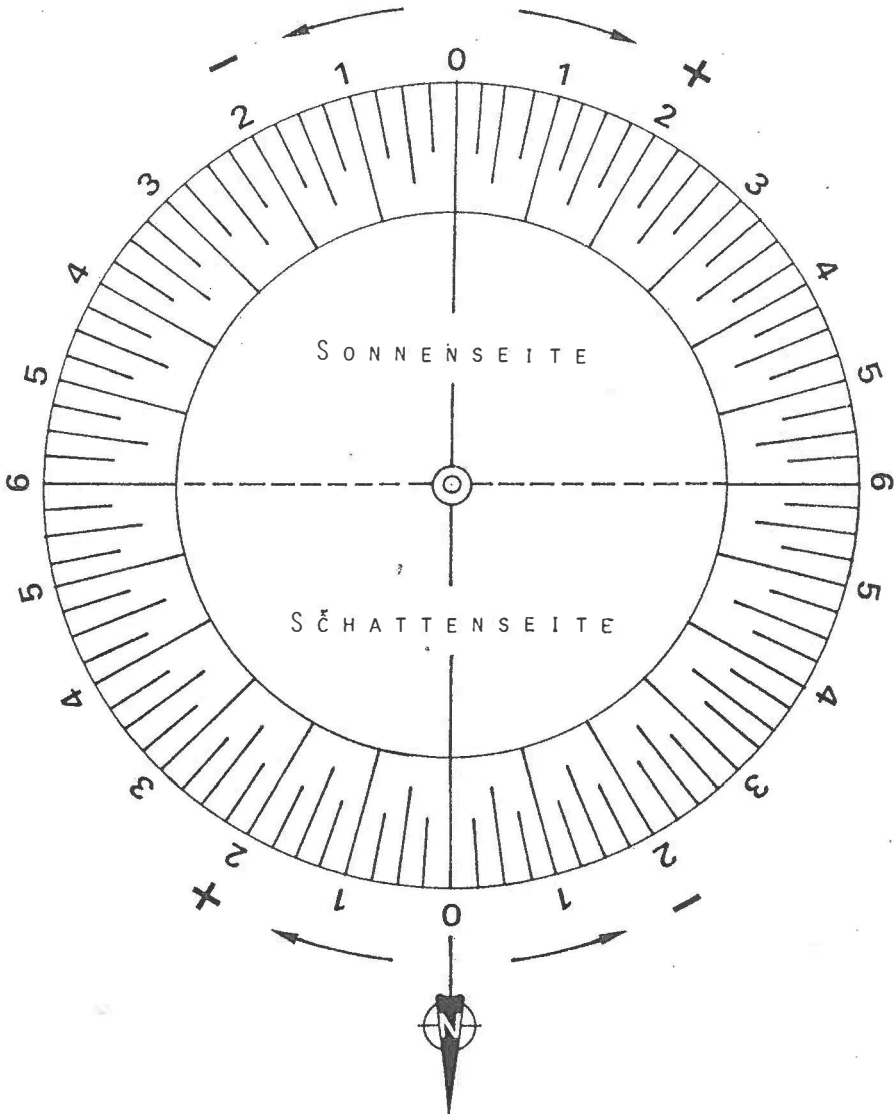
BREITE : 0°01 = 1 km
 LÄNGE : 1^h = 25 km (pro Breitengrad bezüglich Pol)
 AZIMUT : 69 = 1 km (pro 10 Kilometer Weg)

Figur 4: Tabelle zur Azimutbestimmung

Zeit vorgegeben und die Orientierung des Sonnenkompaß gesucht. Dabei beachte man vorerst, daß in Polnähe die Äquator- und Horizontebene zusammenfallen und daher der Sonnenkompaß horizontal zu halten ist. Anschließend ist in seinem Zentrum ein schattenwerfender Stab zu halten und der Kompaß solange zu verdrehen, bis der Schatten auf die Zeitmarke fällt, welche mittels der angegebenen Formel leicht berechnet wird. Nun weist die Verbindung zwischen Zentrum und Nullmarke auf der Schattenseite nach astronomisch Nord.

SONNENKOMPASS

$$\text{ZEIT} = \text{WELTZEIT UT} - \text{LÄNGE} - 12 \text{ h}$$



Figur 5: Sonnenkompaß (die Zeitgleichung ist nicht berücksichtigt)

Der Sonnenkompaß wurde, wie auch die Tabellen für Orts- und Azimutbestimmung, in mehrfacher Ausfertigung auf Karton (11 x 15 cm) kopiert. Dieser war in oranger Farbe gehalten, um das berüchtigte „white out“ zu verhindern, wonach wegen des diffusen Lichtes auf weißem Untergrund kein Schatten sichtbar ist. Nach Aussagen von B.K. hat sich gerade der Sonnenkompaß trotz einfachster Ausführung ausgezeichnet bewährt, weil er die Möglichkeit einer raschen und doch sicheren Orientierung bietet. Es ist daher vorgesehen, den Sonnenkompaß konstruktiv so weiterzuentwickeln, daß er sogar als Kompaßersatz dienen kann.

4. Schlußbemerkung

Durch den Ausfall der Satelliten-Navigationsanlage zufolge der Tiefsttemperaturen war B.K. allein auf das astrogeodätische Navigationsverfahren angewiesen. Nach seinen Aussagen war dieses gemäß den Zielsetzungen von der instrumentellen und methodischen Seite her problemlos anwendbar. Es sei abschließend nochmals darauf hingewiesen, daß die mittels der vorgeschlagenen Methode erreichte Genauigkeit nicht unwesentlich zur Rettung von B.K. beigetragen hat. Dies kann u.a. aber auch als Hinweis dafür gesehen werden, daß auch in Zukunft astrogeodätische Methoden einen festen Platz im Lehrangebot der Universität haben sollten.

Literatur

Klammer, B. (1985): First Austrian North-Pole Expedition. Persönliche Mitteilung, Graz.

Lichtenegger, H. (1986): Äquatoriale Reise-Sonnenuhr (Beschreibung und Handhabung). Interner Institutsbericht, TU Graz.

Rinner, K.; Lichtenegger H. (1977): Sphärische Astronomie, Grundlagen. Skriptenreferat der TU Graz.

Manuskript eingelangt im März 1987.