

Die geodätischen Arbeitsbedingungen in West-Spitzbergen¹⁾

Von Siegfried Meier, Technische Universität Dresden *)

Zusammenfassung: Die mit dem Wechsel der Jahreszeiten variablen Arbeitsbedingungen in Westspitzbergen werden unter folgenden Gesichtspunkten beschrieben: Gelände, Klima, Vereisung, Beleuchtung, Helligkeit, Sicht, Kontrast, Refraktion, Scintillation. — Besondere Erfahrungen wurden 1964/65 in der Belichtung und im Kontrast terrestrisch-photogrammetrischer Aufnahmen, insbesondere in der Polarnacht, gesammelt. Günstige Zeiten für die Höhenmessung werden aus Refraktionsmessungen und dem Bodenzustand abgeleitet. — Einschließlich der Dämmerung und der Vollmondphasen in der Polarnacht kann man zehn Monate des Jahres im Gelände arbeiten.

Abstract: The field conditions for surveying on the western coast of Svalbard are described with following aspects: topography, climate, covering of ice, optical properties of the atmosphere. Special studies was made in contrast of terrestrial exposures, especially by moonlight in the polar night, and in terrestrial refraction and scintillation. — Favourable seasons for levelling are given. — Including the dawn and dusk and the moonlight in the polar night one can survey ten month a year.

Wenn ein Geodät aufgefordert wird, an einer Polarexpedition teilzunehmen, verschafft er sich vorher, ganz gleich, ob er an der topographischen Aufnahme des Expeditionsgebietes oder an speziellen geophysikalischen Aufgaben mitwirkt, einen Einblick in das Gelände, das Klima und die Meteorologie des Arbeitsgebietes. Je besser er über diese Bedingungen informiert ist, desto gründlicher kann er Geräte und Verfahren den speziellen Erfordernissen anpassen. Zwar sind die grundsätzlichen Bedingungen und Probleme in den Polargebieten (z. B. die Optik der Atmosphäre über dem Eis) einander gleich, doch treten im Wechsel der Topographie (Inlandeis, Meereis, Randgebirge) und der Jahreszeit Verschiedenartigkeiten auf. In den Übergangszeiten zwischen Polartag und Polarnacht werden diese, bei veränderlicher Strahlung und Beleuchtung und wechselnden Bodenzustand und Eisverhältnissen, besonders deutlich.

Nicht selten wird die Meinung vertreten, es sei unnötig, daß ein Geodät überwintere. Mit Ausnahme zur Bestimmung astronomi-

scher Punkte verbleibt er nur über die Winternacht im Polargebiet, um im Frühjahr am Ort seiner Tätigkeit zu sein. Im Winter ist es dunkel, und im Dunkeln kann der Geodät nicht arbeiten — so heißt das Argument. Daß dies nur ein Vorurteil ist, beweisen u. a. die Ergebnisse der Deutschen Spitzbergen-Expedition 1964/65, deren Überwinterungsgruppe (U. Voigt, Glaziologe und Leiter, G. Lorenz, S. Meier, R. Zirnstein, Geodäten, G. Reinhardt, Arzt) geodätische, insbesondere fotogrammetrische Messungen über die Dämmerung hinaus in der Polarnacht ausführte [3, 4, 8].

Die Spitzbergen-Expeditionen 1962 und 1964/65 des Nationalkomitees für Geodäsie und Geophysik der DDR nach dem Kongsfjord (Kingsbay, 79° N) galten in erster Linie glaziologischen Problemen. Die dabei anfallenden Vermessungsaufgaben waren: Erkundung, Signalisierung und Beobachtung eines Festpunktnetzes [5, 6], terrestrisch-photogrammetrische Kartenaufnahme des Expeditionsgebietes im Maßstab 1:25 000, glaziologische und periglazial-morphologische Spezialkarten 1:10 000 und größer [1, 7], fotogrammetrische und trigonometrische Geschwindigkeitsmessungen an kalbenden und nicht-kalbenden Gletschern, am Kalb- und Fjordeis sowie fotogrammetrische Frontaufnahmen [3, 4, 7], trigonometrische und nivellitische Höhen für gravimetrische Eisdickenbestimmung und Höhenprofile über Gletschereis [2].

Die angetroffenen Arbeitsbedingungen sollen zusammenfassend dargestellt werden. Der Verfasser kann sich dabei — außer den eigenen — auf die Erfahrungen seiner Expeditionskameraden K. Dreßler, G. Lorenz, L. Stange, J. Töppler und R. Zirnstein stützen.

*) Dipl.-Ing. Siegfried Meier, X 85 Bischofswerda, Am Schillerplatz 7

Gelände, Klima, Vereisung

Westspitzbergen (39 000 km²) gliedert sich in die Schichttafel­flächen des Landinnern mit Hochland- und Inlandeis-Vergletscherung und in die Faltungszonen der Westküste, sog. Hekla-Hook-Formation, mit z. T. netzartig verzweigten Talgletschern, von denen einige das Meer erreichen. Von Norden und Westen greifen Fjorde ein; dem Randgebirge sind Küstenebenen vorgelagert. Das Hochgebirgsrelief der Westküste mit Gipfelhöhen zwischen 500 und 1200 m bietet dem Geodäten im Vergleich zu anderen Polargebieten folgende Vorteile:

- a) hochgelegene, freistehende Festpunkte (Steinmänner), lange Sichtstrahlen, damit Ausnutzung der meist klaren Atmosphäre (s. u.),
- b) gut unterlüftete Zielstrahlen für trigonometrische Höhenmessung (s. u.).

Dem stehen folgende Nachteile gegenüber:

- a) hohe physische Belastung und eingeschränkter Aktionsradius durch Hochgebirgsrelief, zerrissene Gletscher, Frostboden, Fjorde, wechselnde Schnee- und Eisbedeckung,
- b) Sichtbeschränkung in niederen Lagen, besonders in den Tälern der Westküste,
- c) beschränkte Möglichkeiten zur Motorisierung, z. B. für Traversen.

Norwegische, schwedische und sowjetische Expeditionsgruppen verwenden Helikopter, sogar zur Landung von Meßtrupps auf Gipfeln. Raupenfahrzeuge sind in Spitzbergen außerhalb der Bergbausiedlungen noch nicht benutzt worden, dagegen gummibereifte Traktoren zum Lastentransport in Küstennähe. Das wichtigste Transportmittel ist auch für kleine Expeditionen ein seetüchtiges Motorboot. Durch den Golfstromeinfluß bleiben die Fjorde der Westküste bis vier Monate zugänglich; im Fjordinnern ist mit gelegentlichem Kalbeisstau zu rechnen, der besonders im Herbst zusammen mit Eisschlamm den Bootsverkehr behindert. Im Spätwinter und im Frühjahr tragen die Fjorde feste Eisdecken, die, mit Ausnahme der Trümmereisfelder vor der Front der auch im Winter kalbenden Gletscher, rasch gequert werden können. Die Außenkante der Fjordeise ändert sich kurzfristig²⁾.

Die 20—50 m breiten Großspalten der schnellströmenden Gletscher bleiben auch im Winter offen. Querungen sind mit alpinen Hilfsmitteln möglich, aber zeitraubend.

Das Jahresmittel der Lufttemperatur liegt zwischen -8° und -10° C. In den Sommermonaten werden sehr konstant Tagesmittel zwischen $+1^{\circ}$ und $+6^{\circ}$ C gemessen. Das Mittel des kältesten Monats, gewöhnlich Februar oder März, liegt zwischen -20° und -25° C. Die Wintertemperaturen schwanken etwa fünfmal stärker als die Sommertemperaturen. Warmluft­einbrüche mit Temperaturen über dem Gefrierpunkt sind nicht selten. Das Spitzbergen-Wetter ist im großen Teil des Jahres unbeständig. Von der hohen Luftfeuchte des nebelreichen Sommers — die Hälfte aller Tage weist Werte zwischen 90 und 100 % auf — werden die blanken Teile der Instrumente sofort angegriffen. Meßbänder, auch „nichtrostende“, Dreifüße, Schraub- und Klemmverbindungen müssen gefettet oder geölt sein. Um die Instrumente vor großen Temperatur- und Feuchteschwankungen zu schützen, bewahrt man sie am besten triebsschneedicht verpackt, außerhalb der Hütte auf³⁾.

Beleuchtung, Helligkeit, Sicht, Kontrast

Die Atmosphäre ist ein Teil der geodätischen Meßanordnung. Ihre optischen Eigenschaften werden im Polargebiet durch folgende Besonderheiten bestimmt: den niedrigen Sonnenstand und den Gegensatz Polartag — Polarnacht, die außerordentlich hohe Transparenz der Atmosphäre.⁴⁾

¹⁾ Aus dem Forschungsprogramm des Nationalkomitees für Geodäsie und Geophysik der DDR bei der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin.

²⁾ Vgl. Lorenz, G. und Meier, S., Die Eisverhältnisse im Kongsfjord (Westspitzbergen) 1964/65, erscheint in *Z. Polarforschung*.

³⁾ vgl. Kolbig, J., Klimatische Beanspruchung technischer Geräte beim Einsatz in der Antarktis, *Inf. Klimaschutz*, Bd. 2, H. 3, 1963.

⁴⁾ Trübungs­faktor nach Linke an der Gesamtstrahlung zwischen 2,10 und 2,70, Trübungs­koeffizient nach Ångström für Kurzstrahlung ($\lambda < 625$ nm) zwischen 0,013 und 0,036 in Ny Alesund, Sommer 1962. Diese niedrigen Werte, insbesondere des Trübungs­koeffizienten, werden an mitteleuropäischen Flachlandstationen nur selten gemessen.

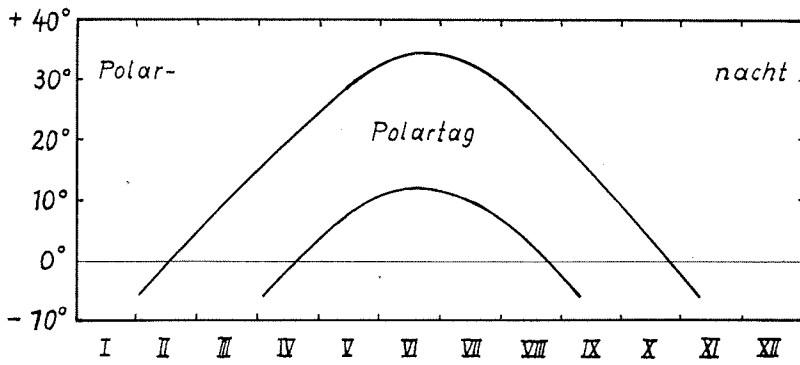


Abbildung 1
Mittags- und Mitternachtssonnenhöhe im Kongsfjord
Figur 1
Sun's altitude at noon and midnight in the Kingsbay

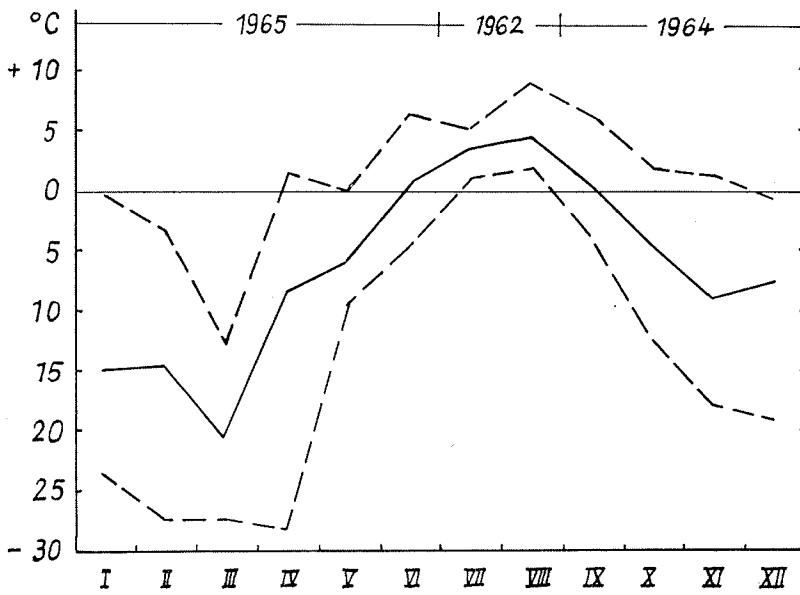


Abbildung 2
Lufttemperatur in Ny Alesund in 2 m Höhe, aus Messungen 1962/64/65 (Monatsmittel).
Figur 2
Air temperature in Ny Alesund 2 m above ground, measured in 1962/64/65 (monthly mean).

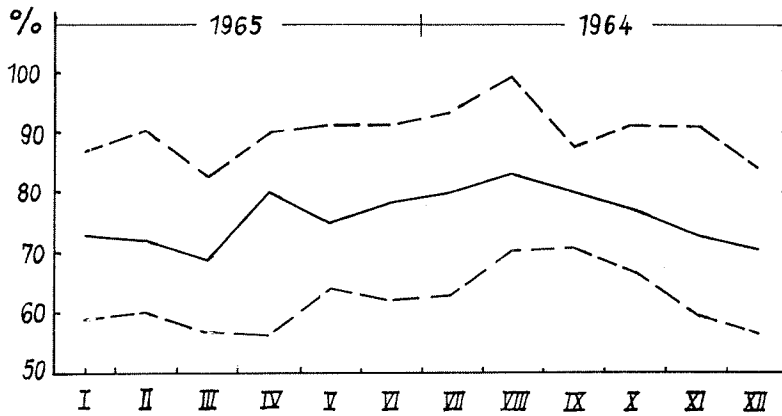


Abbildung 3
Luftfeuchtigkeit in Ny Alesund in 2 m Höhe, aus Messungen 1964/65 (Monatsmittel).
Figur 3
Air humidity in Ny Alesund 2 m above ground, measured in 1964/65 (monthly mean).

Für trigonometrische Beobachtungen interessieren die Sichtweite und der (Farb-)Kontrast der Ziele, für fotogrammetrische Aufnahmen ebenfalls die Durchsichtigkeit der Luft, die Beleuchtung der Objekte und ihr Schwarz-Weiß-Kontrast.

Von Sonnenaufgang (Mitte Februar) bis Sonnenuntergang (Ende Oktober) sind die Sichtverhältnisse sehr gut (mittlere Sichtweite zwischen 20 und 50 km, oft >50 km). Nur an nebligen Tagen (vorwiegend August), bei Neuschneefall und Schneedrift (vorwiegend Spätwinter) liegt die Sichtweite unter 1 km. Bei Schichtbewölkung mit Untergrenze in 200—300 m Höhe und hinter den Bergen stehender Sonne ist der Helligkeitsabfall stark spürbar, beeinträchtigt das Beobachten in den gängigen Zielweiten bis 10 km jedoch nicht. Gegebenenfalls muß man auch zur Dämmerung, die etwa drei Wochen dauert, noch beobachten. Dann sind gegen den Horizont stehende Steinmänner und eine Teilkreisbeleuchtung nützlich. Zur Signalisierung der Steinmänner benutzten wir rot-weißes Fahnen Tuch. Mit gelbem Signaltuch, wie es R. Finsterwalder zur Hochgebirgstriangulation verwandte, traten Verwechslungen mit sehr hellem Kalkstein auf. Bekanntlich verfärben sich entfernte Ziele, weil das Licht in der Atmosphäre in Abhängigkeit von der Wellenlänge verschieden stark extinguiert und zerstreut wird. So erscheint z. B. in der absolut reinen Atmosphäre ein weißes Ziel von gelber Farbe. Auf den Gletschern benutzten wir als Signale rotlackierte Metallzylinder, die beim Beobachten sofort „ins Auge sprangen“.

Auch bei fortschreitender Dämmerung und in der Polarnacht sind terrestrische Beobachtungen, z. B. für den Glaziologen, wünschenswert. Bei Mondschein und wolkenlosem Himmel ist es so hell, daß man sich gefahrlos im Gelände bewegen kann. Außer dem Mondlicht trägt das Polarlicht wesentlich zur Nachthelligkeit bei. Es tritt aber unvorhersehbar mit wechselnder Intensität und Dauer ein und nützt der Beobachtung wenig. Die Helligkeit bei Mondschein ist dagegen in Abhängigkeit von der Mondhöhe für verschiedene Bedeckungsgrade bekannt. Sehr günstig sind die Mittagsstun-

den am Beginn und am Ende der Polarnacht, wenn der Mondschein mit dem letzten Dämmerungsschimmer zusammenfällt.

Trigonometrische Beobachtungen in der Polarnacht sind nur nach Lichtzielen möglich. Wegen der damit verbundenen technischen Schwierigkeiten haben wir uns bei unserem Meßprogramm am Kongsvegen-Gletscher [3] von vornherein auf die terrestrische Photogrammetrie festgelegt. Mit Beginn der Dämmerung wurde zunächst das Meßfilter ausgebaut (klare Atmosphäre, wenig Streulicht; $\frac{1}{3}$ Belichtungsdauer) und mit sinkender Sonne die Topo-Platten gegen 17°DIN-Platten vertauscht. Bei Mondschein betrug die Belichtungszeiten 75 Minuten [4]. Das gröbere Korn beeinträchtigte die Bildmessung nicht; der Kontrast (Wechsel von Schnee, Fels und Blankeis) der Bilder war ausreichend. Viel hindernder waren die Schlagschatten bei tiefstehender Sonne im Spätwinter und im Herbst. Wenn man sich aber den günstigsten Sonnen- (bzw. Mond-) stand herausucht, kann man zu jeder Jahreszeit fotogrammetrieren. Auch die eiförmigen Schneeflächen haben infolge Winddrift Oberflächenstrukturen, die sich abbilden, wenn die Standpunkte nicht zu hoch liegen. Topographische Aufnahmen kann man getrennt auf Fels *und* auf Schnee belichten. Hier muß man noch Erfahrungen sammeln.

Refraktion, Scintillation

Während die Lagemessung im Küstengebirge und auf den Plateaus des Inlandes unter günstigen optischen Verhältnissen erfolgt, leidet die Genauigkeit der Höhenmessung unter den noch unzureichend bekannten Schwankungen der vertikalen Refraktion, die teilweise das Zehnfache der Lichtstrahlschwankungen in Mitteleuropa betragen. Die bisherigen Beobachtungen in Grönland und Antarktika, vorwiegend im Polarsommer und in der eisnahen Schicht, wurden in Spitzbergen auf den gesamten Polartag und bis in 300 m Höhe ausgedehnt. Die Ergebnisse [8] sind Tages- und Jahresgänge, Typen der Refraktionsschichtung, Tabellen der Mittelwerte, Extremwerte und Schwankungen über Boden, Wasser, Schnee und Eis:

Refraktion über Boden

Schneefreie Flächen von Mitte Juni bis Mitte September; lokale Relief- und Klimaeinflüsse; Einstrahlungstyp mit großen negativen Koeffizienten in Bodennähe Ende Juni/Anfang Juli, später abendlicher Übergangstyp und Ausstrahlung; Tagesgang bis 200 m Höhe über Boden.

Refraktion über Wasser

Eisfreie Wasserflächen an der Außenküste ab April, im Fjordinnern ab Juni; geringe tägliche und jährliche Schwankungen; geringe Höhenabhängigkeit; groß-räumlich und zeitlich sehr ausgeglichen.

Refraktion über Schnee und Eis

Schneebedeckung an der Küste von September bis Juni; im Juli/August und teilweise im September aperes Gletschereis unterhalb der Firnlinie; von windgepreßtem Schnee überdecktes Fjordeis bis Mai, dann verfirnt und vor dem Eisgang wassergetränkt. Extreme Schwankungen in Schneenähe von Februar bis Juni, mit der Höhe (weniger schnell als über Boden und Wasser) abklingend; von Februar bis Mai Ausstrahlungstyp, Mitte Mai bis Juni Einstrahlungstyp, dazwischen morgendlicher Übergangstyp; im Spätwinter über dem Fjordeis vorwiegend von meteorologischen Faktoren abhängig; über aperem Eis und im Gletscherwind verhältnismäßig geringe Schwankung; Zunahme der Mittelwerte in Richtung Inland. Unter Berücksichtigung dieser Ergebnisse und des veränderlichen Bodenzustandes sind die günstigen Zeiten für die

Höhenmessung in Tabelle 1 zusammengestellt.

Anwendungen auf verschiedene geophysikalische Aufgaben im arktischen Randgebirge vgl. [2].

Außer den langfristigen setzen die kurzzeitigen Refraktionsschwankungen (Bildflimmern) die Genauigkeit der Höhenmessung herab. Die Ursachen sind

- a) das Aufsteigen erhitzter Luft über den Sander- und Schotterflächen, über der Tundra und entlang exponierter Bergänge bei Einstrahlung (thermische Turbulenz),
- b) das Abfließen kalter Luft von den Gletschern (mechanische Turbulenz).

Während sich die bodennahe Schicht nur im Sommer erwärmt und das thermisch bedingte Flimmern besonders an klaren Tagen im Frühsommer auftritt, weht der turbulente Gletscherwind das ganze Jahr hindurch. Auch an bedeckten Tagen flimmert daher die Luft über dem Eise. Die Häufigkeiten der Beobachtungstermine mit Bildflimmern sind ebenfalls in [2] für verschiedene Situationen in Abhängigkeit von der Höhe über Grund mitgeteilt.

Auswertearbeit

unter Expeditionsbedingungen

Abschließend wollen wir ein Problem berühren, welches bei Überwinterungen um so stärker in den Vordergrund tritt, je stationärer die Expeditionen und je detaillierter ihre Forschungen werden: die intensive Auswertearbeit bereits auf der Expedition.

Tabelle 1 Günstige Zeiten für die Höhenmessung

	Beobachtungszeit	Bodenzustand	Refraktion
trigonometrisch	Juli, August in Bodennähe	wenig veränderlich	geringe Schwankung, Flimmern
	Gesamtes Jahr außerhalb Bodennähe	veränderlich	geringe Schwankung
geometrisch	September Oktober	vorwiegend Frostboden und aperes Eis	mittlere Schwankung
	Februar bis Mai	vorwiegend windgepreßter Schnee	extreme Schwankung; starkes Flimmern

Es ist zweifellos ein bestechender Gedanke, von der Expedition mit fertigen Ergebnissen nach Hause zu kommen. Von Mitteleuropa aus gesehen, scheinen die Voraussetzungen dafür die allerbesten zu sein: körperliche, naturverbundene Arbeit erzeugt Geistesfrische und Nervenkraft. Man kann, nicht abgelenkt durch familiäre Sorgen, konventionelle Unterhaltungsmittel, in Freizügigkeit und Konzentration arbeiten. Trotzdem sprechen einige wichtige Gründe gegen eine Intensiv-Auswertung. Zumindest gibt es natürliche Grenzen, und wenn man sie nicht beachtet, stellen sich Mißerfolge ein.

Wir haben in Spitzbergen, einschließlich Dämmerung und Vollmond in der Polarnacht, 10 Monate im Gelände gearbeitet. Es bleibt also, wenn man die günstigen Feldbedingungen restlos nützt, relativ wenig Zeit zu Auswertungen.

Feldarbeiten im Winter bedürfen auch gründlicher Vorbereitung, besonders wenn sie neuartig sind. Man muß Zeit genug haben, sich innerlich darauf einzustellen, um unvorhergesehene Schwierigkeiten und auch Mißerfolge überwinden zu können, ohne Gemütsschäden davonzutragen.

Amundsen verbot z. B. seinen Kameraden auf der Südpolexpedition im Jahre 1911, meteorologische Nachtbeobachtungen auszuführen. Zu festgesetzter Zeit schaltete er von seiner Koje das Licht aus und zwang seine Mitarbeiter zur Ruhe. Der Erfolg hat ihm recht gegeben.

Unsere Expedition hatte im Winterhaus in Ny Ålesund einen Stereokomparator 1818 aufgestellt, um die laufend anfallenden photogrammetrischen Gletscheraufnahmen [3, 4] auszuwerten.

Photogrammetrische Auswertung bedeutet Augenarbeit. Das Auge erholt sich aber nur an Formen und Farben, die das Sonnenlicht spendet. Man kann auch auf Expedition kaum moderne Datenverarbeitungsmittel einsetzen. Eintönige Rechenarbeit verschärft den psychischen Druck in der Polarnacht und tötet produktive Kräfte. Das fachliche Ergebnis [3] dieser Intensiv-Auswertung war schwach positiv (wenn man bedenkt, daß das gleiche Resultat mit einem Datenverarbeitungssystem Komparator — Regi-

striereinrichtung — Rechner in wenigen Tagen erzielt wird), das psychologische stark negativ⁵⁾. Nach meinen Beobachtungen haben mindestens drei von fünf Überwinterern die ursprüngliche Leistungshöhe nach der Rückkehr des Lichts nicht wieder erreicht und waren spätestens im Monat Mai das, was man landläufig expeditionsmüde nennt. Ich halte eintönige, durch Maschinen ersetzbare Auswertearbeit auf der Expedition nur für nützlich, wenn sie sich auf einen Überblick beschränkt, um das weitere Programm optimal zu gestalten.

Deutsche Spitzbergen-Expeditionen 1962 und 1964/65

Geodätische und photogrammetrische Veröffentlichungen

- (1) Dreßler, K.: Die photogrammetrischen Arbeiten zur Kartenherstellung während der Deutschen Spitzbergen-Expedition 1964/65. Verm. Techn. (1966) H. 7
- (2) Lorenz, G. und Meier, S.: Höhenmessung im arktischen Randgebirge. Verm. Techn. (1966) H. 11.
- (3) Lorenz, G. und Meier, S.: Geschwindigkeitsmessungen am Kongsvegen-Gletscher (Westspitzbergen, 79° N) Verm. Techn. (1966) H. 12.
- (4) Meier, S.: Terrestrische Photogrammetrie an einem arktischen Gletscher während der Polarnacht. Bildm. u. Luftbildw. (1965) H. 4.
- (5) Stange, L.: Die geodätischen Arbeiten der Deutschen Spitzbergen-Expedition 1962. Verm. Techn. (1963) H. 6.
- (6) Stange, L.: Die geodätischen Arbeiten der Deutschen Spitzbergen-Expedition 1964/65. Verm. Techn. (1965) H. 11.
- (7) Töppler, J.: Mit dem Phototheodolit in Spitzbergen. Verm. Techn. (1964) H. 6.
- (8) Dreßler, K., Meier, S., Stange, L. u. a.: Die wissenschaftlichen Ergebnisse der Deutschen Spitzbergen-Expedition 1964/65. Veröff. d. NKG d. DDR, Reihe III, H. 9 Berlin 1967

⁵⁾ Verf. arbeitete eine Zeitlang in einer photogrammetrischen Auswertestelle des Lausitzer Braunkohlenbergbaus. Um die monatliche Arbeitsspitze bei der Massenermittlung aus Erd- und Luftbildern abzufangen, wurde in drei Schichten ausgewertet. In der dritten Schicht traten die gleichen Symptome auf, wenn auch nicht psychisch so belastend wie in der Polarnacht. Die Arbeitsleistung sank bis auf 50% der Tagesleistung. Das Auge kann sich in den Arbeitspausen nicht erholen.