

MEDDELELSE R OM GRØNLAND

UDGIVNE AF

KOMMISSIONEN FOR VIDENSKABELIGE UNDERSØGELSER I GRØNLAND

Bd. 173 · Nr. 7

---

---

EXPEDITION GLACIOLOGIQUE INTERNATIONALE AU GROENLAND

E. G. I. G. 1957—1960 Vol. 3 No. 1

---

DAS NIVELLEMENT

ÜBER DAS GRÖNLÄNDISCHE INLANDEIS

DER

INTERNATIONALEN GLAZIOLOGISCHEN  
GRÖNLAND-EXPEDITION

1959

VON

H. MÄLZER

---

MIT 16 BILDERN, 13 ABBILDUNGEN,

11 TABELLEN,

19 EINMESSUNGSSKIZZEN UND 2 ANLAGEN

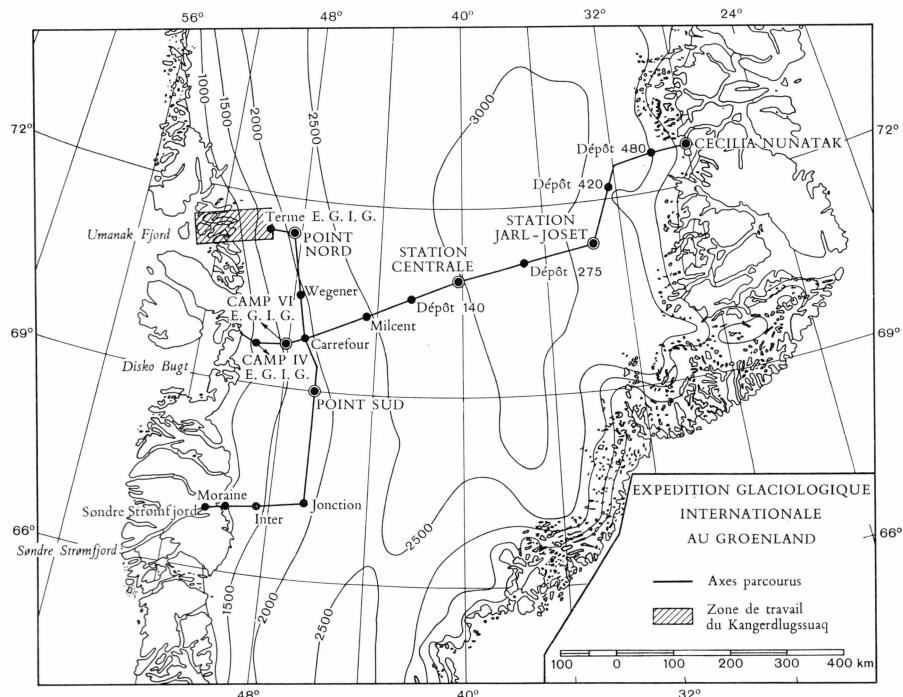
KØBENHAVN

C. A. REITZELS FORLAG

BIANCO LUNOS BOGTRYKKERI A/S

1964





## EXPEDITION GLACIOLOGIQUE INTERNATIONALE AU GROENLAND 1957-1960

Réalisation technique:  
EXPEDITIONS POLAIRES FRANÇAISES  
(Missions PAUL-EMILE VICTOR)

L'EXPEDITION GLACIOLOGIQUE INTERNATIONALE AU GROENLAND est une expédition commune à un certain nombre d'organismes scientifiques des pays suivants: Allemagne, Autriche, Danemark, France et Suisse. Crée en 1956, elle fut autorisée par le Gouvernement de Danemark et patronnée par l'ASSOCIATION INTERNATIONALE D'HYDROLOGIE SCIENTIFIQUE.

La direction scientifique de l'expédition est assurée par le COMITE DE DIRECTION, et sa réalisation confiée aux EXPEDITIONS POLAIRES FRANÇAISES. Le chef d'expédition est PAUL-EMILE VICTOR. Le support aérien a été assuré par les FORCES ARMEES AIR (France).

Après deux années de préparation et de reconnaissances (1957-1958), le programme de recherches glaciologiques dans la partie centrale du Groenland a été réalisé pendant la campagne d'été 1959 et l'hivernage à la Station JARL-JOSÉT (1959-1960). L'expédition proprement dite s'est terminée par une campagne réduite en 1960 ramenant hivernants et matériel.



## INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
Zusammenfassung – Summary .....	8
Vorwort .....	9
<b>1 Aufgabe, Voruntersuchungen und Vorbereitungen .....</b>	<b>11</b>
<b>1.1 Aufgabe .....</b>	<b>11</b>
<b>1.2 Voruntersuchung und Wahl des Meßverfahrens .....</b>	<b>11</b>
<b>1.3 Versuchsmessungen .....</b>	<b>14</b>
<b>1.4 Abschätzung der zu erwartenden Genauigkeit .....</b>	<b>16</b>
<b>1.5 Bereitstellung der Nivellierinstrumente und Nivellierlatten .....</b>	<b>16</b>
<b>1.6 Latteneichung .....</b>	<b>18</b>
<b>2 Sommerkampagne 1959 .....</b>	<b>26</b>
<b>2.1 Übersicht über den Expeditionsverlauf der Arbeitsgruppe Nivellement .....</b>	<b>26</b>
<b>2.1.1 Zeitplan .....</b>	<b>27</b>
<b>2.2 Fußnivelllement vom Camp Séismique-EPF bis zum Höhenanschlußpunkt A 14 .....</b>	<b>29</b>
<b>2.2.1 Erkundung .....</b>	<b>29</b>
<b>2.2.2 Ausrüstung .....</b>	<b>30</b>
<b>2.2.3 Gruppeneinteilung .....</b>	<b>31</b>
<b>2.2.4 Technische Durchführung .....</b>	<b>32</b>
<b>2.2.4.1 Messungsgang und Feldkontrollen .....</b>	<b>32</b>
<b>2.2.4.2 Feldbuchführung .....</b>	<b>33</b>
<b>2.2.5 Höhenanschluß am Punkt A 14 .....</b>	<b>35</b>
<b>2.2.6 Wetterlage .....</b>	<b>36</b>
<b>2.2.7 Arbeitsleistung .....</b>	<b>36</b>
<b>2.3 Nivellement über das Inlandeis vom Camp Séismique-EPF bis Station Jarl-Joset (Weaselnivelllement) .....</b>	<b>37</b>
<b>2.3.1 Ausrüstung .....</b>	<b>37</b>
<b>2.3.2 Gruppeneinteilung .....</b>	<b>38</b>
<b>2.3.3 Technische Durchführung .....</b>	<b>39</b>
<b>2.3.3.1 Anschluß an das Fußnivelllement .....</b>	<b>39</b>
<b>2.3.3.2 Normaler Messungsgang .....</b>	<b>39</b>
<b>2.3.3.3 An- und Abschlußmessungen an den Balisen .....</b>	<b>41</b>
<b>2.3.3.4 Feldbuchführung .....</b>	<b>42</b>
<b>2.3.3.5 Überprüfung von Instrumenten- und Lattenhorizont .....</b>	<b>44</b>
<b>2.3.4 Höhenbestimmung der geophysikalischen Punkte (GP) .....</b>	<b>46</b>
<b>2.3.5 Wetterlage während des Nivellements .....</b>	<b>46</b>
<b>2.3.6 Arbeitsleistung .....</b>	<b>47</b>
<b>2.3.7 Wiederholungsmessungen .....</b>	<b>47</b>
<b>2.4 Betrachtungen zur Refraktion .....</b>	<b>48</b>

	Seite
3 Auswertung und Ergebnisse des Nivellements . . . . .	55
3.1 Berechnung und Ergebnisse des Fußnivelllements . . . . .	55
3.2 Berechnung und Ergebnisse des Nivellements über das Inlandeis . . . . .	59
3.3 Ergebnisse der Wiederholungsnivelllements . . . . .	61
3.4 Berechnung der Höhen der geophysikalischen Punkte (GP) . . . . .	61
3.5 Besondere Höhenangaben . . . . .	61
3.6 Genauigkeit des Nivellements . . . . .	75
3.6.1 Fußnivellelement . . . . .	75
3.6.2 Inlandeisnivellelement . . . . .	76
3.7 Das Höhenprofil . . . . .	77
4 Literatur-Verzeichnis . . . . .	102
Anhang . . . . .	103

## VERZEICHNIS DER TABELLEN

	Seite
1 Eichung der Invarlatte A .....	20
2 Eichung der Invarlatte B .....	22
3 Eichung der Holzlatten .....	24
4 Refraktionsbeobachtungen .....	52
5 Refraktionsbeobachtungen .....	54
6a Zusammenstellung des Fußnivelllements durch das Ablationsgebiet, Nivellement I und II .....	56
6b Ergebnisse des Fußnivelllements durch das Ablationsgebiet .....	58
7a Zusammenstellung des Nivellements über das Inlandeis .....	62
7b Ergebnisse des Nivellements über das Inlandeis .....	63
8a Zusammenstellung des Nivellements über das Inlandeis, Wiederholungsmessung .....	70
8b Ergebnisse des Nivellements über das Inlandeis, Wiederholungsmessung .....	71
9 Gegenüberstellung der 1. Messung und der 2. Messung (Wiederholungsmessung) .....	72
10 Höhenverzeichnis der geophysikalischen Punkte (GP) .....	73
11 Verzeichnis der Sonderhöhen .....	74

## VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN

1 Latteneichung: Invarlatte A .....	21
2 Latteneichung: Invarlatte B .....	23
3 Latteneichung: Holzlatten .....	25
4 Zeitplan Nivellement .....	28
5 Trassenverlauf des Fußnivelllements .....	30
6 Schema des Fußnivelllements .....	32
7a, 7b Feldbuchführung Fußnivelllement: Nivellement I und II .....	34
8 Schema des Weaselnivellements .....	40
9 Schema der Feldbuchführung beim Weaselnivellement .....	43
10 Feldbuchführung beim Weaselnivellement .....	44
11 Refraktionsgang .....	51

*Das Höhenprofil:*

12 Trassenverlauf mit Entfernungsangaben für das Nivellement A 14-TA 0 .....	79
13 Nivellement 1959, Oberflächenprofil A 14-TA 53 .....	82

*Anlagen:*

1 Profilübersicht A 14-TA 53 1 : 1.000.000	
2 Expeditionskarte 1 : 1.25 Mill.	

### Zusammenfassung

Im Rahmen der EGIG wurde während der Sommerkampagne 1959 zum ersten Mal das geometrische Nivellement in der Arktis für eine genaue Höhenübertragung auf große Entfernung eingesetzt.

In rund 3 Monaten wurde ein Nivellementszug von der Westküste Mittelgrönlands (Disko Bugt) in östlicher Richtung über das Inlandeis von nahe 700 km Länge gemessen. Die innere Genauigkeit des Nivellements für die Höhenbestimmung des West-Ost-Profil der EGIG übertrifft die Forderungen der Glaziologie und Geophysik. Das Nivellement mußte in der Überwinterungsstation Jarl-Joset, 250 km südwestlich des Profilendpunktes Cecilia Nunatak, beendet werden. Durch ein unabhängiges Doppelnivellement sind die Messungen in sich kontrolliert. Als Ergebnis liegen die Höhenunterschiede zwischen den Ablationspegeln im westlichen Profilstück und zwischen den Balisen auf dem Inlandeis, die Höhen dieser Festpunkte und ein exaktes Höhenprofil vor.

### Summary

During the Summer Campaign 1959 of EGIG, the geometrical levelling was used for the first time in arctic zones to obtain an accurate carrying of the heights over large distances.

Within nearly 3 months a profile of almost 700 km length was levelled from the western shore of middle Greenland in eastern direction across the inland ice. The inner precision of the levelling for this profile exceeds the demands of the glaciology and geophysics. The levelling had to be stopped at the wintering station of Jarl-Joset, 250 km to the southwest of Cecilia Nunatak, the end of the profile. Control was established by independent double measurements. The results are the differences of elevation between the ablation level points of the western part of the profile and between the balises (bench marks) on the icecap, the elevation of these points and an accurate profile of the heights.

## VORWORT

Die vorliegende Veröffentlichung gibt eine zusammenfassende Darstellung über die Tätigkeit der Arbeitsgruppe Nivellement bei der Sommerkampagne 1959 der Internationalen Glaziologischen Grönland-Expedition (EGIG) einschließlich der Berechnungen und Ergebnisse. Zur Sicherung der Originalfeldbücher, die beim *Geodätischen Institut der Technischen Hochschule Karlsruhe* hinterlegt sind, wurden 4 Kopien gefertigt und an die folgenden Institute verteilt:

*Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut,  
1. Abteilung: Theoretische Geodäsie,  
München 22, Marstallplatz 8;*

*Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut,  
2. Abteilung: Angewandte Geodäsie,  
Frankfurt, Forsthausstrasse 151;*

*Institut für Photogrammetrie, Topographie und  
Allgemeine Kartographie der Technischen Hoch-  
schule München,  
München 2, Arcisstrasse 21;*

*Geodätisches Institut der Technischen Hochschule  
Karlsruhe,  
Karlsruhe, Englerstrasse 7.*

Den Kopien sind außerdem ein Erläuterungsbericht, Einmessungsskizzen der Ablationspegl und Balisen und die Beobachtungen der Latteneichungen beigefügt.

Die Vervielfältigung der Feldbücher des Fußnivelllements wurde vom *Deutschen Geodätischen Forschungsinstitut, 1. Abteilung, München*, und die des Inlandeisnivelllements durch Finanzierung der *Deutschen Forschungsgemeinschaft* vom *Geodätischen Institut der Technischen Hochschule Karlsruhe* übernommen.

Die Auswertung des Nivellements wurde mit Unterstützung des *Deutschen Geodätischen Forschungsinstituts, 1. Abteilung*, und des *Geodätischen Instituts der Technischen Hochschule Karlsruhe* durchgeführt,

wofür Herrn Prof. Dr.-Ing., Dr. E. h. M. KNEISSL, Herrn Prof. Dr.-Ing. R. SIGL und Herrn Prof. Dr.-Ing. H. LICHTE der besondere Dank ausgesprochen werden muß. An dieser Stelle sei auch dem Generalsekretär der EGIG, Herrn Prof. A. BAUER (France), sowie Herrn Prof. Dr.-Ing. R. FINSTERWALDER und Herrn Prof. Dr.-Ing. W. HOFMANN für ihre stete Hilfe bei allen auftretenden Fragen sehr herzlich gedankt.

Die instrumentelle Ausrüstung für die Expedition wurde in dankenswerter Weise von der *Deutschen Forschungsgemeinschaft*, vom *Deutschen Geodätischen Forschungsinstitut, 1. und 2. Abteilung*, vom *Institut für Photogrammetrie, Topographie und Allgemeine Kartographie der Technischen Hochschule München*, vom *Geodätischen Institut der Technischen Hochschule Karlsruhe* und vom *Bundesministerium für Verteidigung* zur Verfügung gestellt.

## 1. AUFGABE, VORUNTERSUCHUNGEN UND VORBEREITUNGEN

### 1.1. Aufgabe

Bei der Internationalen Glaziologischen Grönland-Expedition (EGIG) – Sommerkampagne 1959 – war es Aufgabe der Arbeitsgruppe Nivellelement, auf dem West-Ost-Profil die im Ablationsgebiet westlich Camp Séismique –EPF– bei der Vorexpedition 1958 von Prof. A. BAUER gesetzten Ablationspegl und anschließend die im Akkumulationsgebiet des Inlandeises von der Gruppe Lagemessung vermarkten und bestimmten Festpunkte (Balisen) höhenmäßig einzumessen. Der Höhenanschluß sollte an den auf dem gewachsenen Fels in Höhe der Disko Bugt (Atâ Sund) gelegenen Punkt A 14 erfolgen, dessen Höhe über dem Meeresspiegel (560,4 m) bereits 1948 von Prof. A. BAUER bestimmt wurde [BAUER, 1953]. Um die relativen vertikalen Eisbewegungen möglichst genau zu erfassen, die sich aber erst durch Vergleich mit späteren Wiederholungsmessungen ergeben werden, war für die Bestimmung der Höhenunterschiede der etwa 10 km auseinanderliegenden Festpunkte eine möglichst große Genauigkeit anzustreben.

Bei der Betrachtung geodätischer Messungen auf der Eisoberfläche muß beachtet werden, daß sich alle Punkte in Bewegung befinden. Um die Ergebnisse weitgehend auf denselben Eiszustand beziehen zu können, mußte die Durchführung der Arbeiten in kürzester Zeitspanne erfolgen. Die Wahl des Meßverfahrens hing daher von der höchstmöglichen Genauigkeit ab, die bei einem Minimum an Zeitaufwand erreichbar war.

### 1.2. Voruntersuchung und Wahl des Meßverfahrens

Nach der Gründungsversammlung der EGIG in Grindelwald im April 1956 hat Prof. Dr. F. KOBOLD als Beauftragter des Direktionskomitees für die geodätischen Arbeiten dem Direktionskomitee auf einer Versammlung im November 1956 in Zürich ein »Programm für die geodätischen Arbeiten« vorgeschlagen. Im Rahmen dieses Programms wird eine relative Höhengenauigkeit von  $\pm 0,2$  bis  $0,4$  m benachbarter Balisen und  $\pm 1$  m für die Höhe eines beliebigen Punktes verlangt.

Um diesen Forderungen nachzukommen, wurde beschlossen, u. a. auch die Anwendung und Durchführung eines geometrischen Nivellements in der Arktis näher zu studieren.

Für die Höhenübertragung auf dem grönlandischen Inlandeis wurden bisher das barometrische und das trigonometrische Meßverfahren eingesetzt [zum Beispiel: TSCHAEN, 1959]. Obwohl die barometrische Höhenmessung bei Expeditionen stets eine bedeutende Stellung eingenommen hat und auch in Zukunft einnehmen wird, wenn es gilt, Höhen mit entsprechender Genauigkeit zu bestimmen, konnte sie in diesem Falle den relativ hohen Anforderungen keinesfalls genügen.

Den Anwendungsbereich der trigonometrischen Höhenmessung hat Prof. Dr. H. LICHTE vor allem aufgrund der umfangreichen Messungen der Expéditions Polaires Françaises (EPF) eingehend untersucht und die Ergebnisse seiner Arbeit der EGIG-Versammlung im November 1956 in Kopenhagen vorgelegt [LICHTE, 1957].

Die örtlichen Refraktionskoeffizienten im Meßbereich von 1 bis 2 m über Eis schwankten um mehr als das 200 fache des mittleren wirksamen Refraktionskoeffizienten  $k = 0,13$ . Weiterhin ließen die Messungen und deren Auswertungen erkennen, daß die in Station Centrale ermittelten, örtlichen Refraktionskoeffizienten aber auch bis zum 5fachen des über dem Inlandeis wirksamen Refraktionskoeffizienten anwachsen [TAYLOR, 1956; LICHTE, 1957]. Diese Tatsache veranlaßte H. LICHTE zur Durchrechnung verschiedener Zielstrahlen. Es zeigte sich, daß ein im Höhenbereich von 1,2 bis 2,0 m etwa parallel zur Schneeoberfläche verlaufender Zielstrahl tagsüber sinusartige Schwingungen mit Wellenlängen von einigen Kilometern und Amplituden von wenigen Dezimetern beschreibt, wodurch sich eine plausible Erklärung für die verschiedenen Größenordnungen des über eine größere Strecke wirksamen Refraktionskoeffizienten und des entsprechenden örtlichen Refraktionskoeffizienten ergibt. Wegen der nicht erfaßbaren Asymmetrie des Zielstrahlverlaufs ist bei gleichzeitiger und gegenseitiger Beobachtung und Zielweiten von nur 1 Kilometer mit einem mittleren Fehler des Einzelhöhenunterschiedes von  $\pm 0,04$  m zu rechnen. Unter Berücksichtigung der weiteren unregelmäßigen Messungsfehler (Zenitdistanz, Strecke, Instrumenten- und Zielhöhe) wäre bei beiderseitigem Anschluß an fehlerfreie Höhen für einen in 3000 m Höhe in der Mitte des Inlandeises gelegenen Punkt (etwa 450 km von den Anschlußpunkten entfernt) ein mittlerer Höhenfehler von  $\pm 1$  m zu erwarten. Mit durchschnittlichen Zielweiten von 1 km Länge, die relativ genau – etwa mit Basislatte – bestimmt werden müssen, wären theoretisch die gestellten Genauigkeitsanforderungen zu erfüllen. Die trigonometrische Höhenüberbrückung des Inlandeises in einer Sommerkampagne scheitert an den zu hohen personellen und materiellen Aufwendungen; die Verteilung der Höhenmessung auf

mehrere Jahre ist wegen der nicht erfaßbaren vertikalen Eisbewegungen unmöglich.

Seinen grundlegenden Untersuchungen hatte Prof. Dr. H. LICHTE die Möglichkeiten eines geometrischen Nivellements angeschlossen und einen vollständigen Durchführungsentwurf ausgearbeitet [LICHTE, 1957]. Der Grundgedanke bestand darin, durch ein geometrisches Doppel-nivellement mit Zielweiten von etwa 100 m bei gleichzeitigen und gegenseitigen Beobachtungen mit automatisch horizontierenden Nivellierinstrumenten und Fahrzeugunterstützung die Genauigkeit der Höhenbestimmung zu steigern und die Arbeitsgeschwindigkeit zu beschleunigen. Diesem Vorschlag von Professor Dr. H. LICHTE folgend und nach den ersten erfolgversprechenden Versuchsmessungen von Prof. Dr. W. HOFMANN, beschloß das Direktionskomitee der EGIG unter dem Präsidium von Professor Dr. R. FINSTERWALDER im Oktober 1957 endgültig, das geometrische Nivellement im Rahmen der EGIG erstmalig unter arktischen Verhältnissen durchzuführen [FINSTERWALDER, 1958].

Es war bereits bei der Vorplanung – vor allem aufgrund der langjährigen Erfahrungen der EPF – abzusehen, daß der Einsatz von Fahrzeugen beim Nivellement durch das spalten- und bruchreiche Ablationsgebiet nicht zweckmäßig ist, vielleicht für den Fortgang der Arbeiten sogar hinderlich sein könnte. Spaltengebiete, die zu Fuß leichter überbrückt werden können, müßten umfahren werden und Blankeiszonen, die vor allem in den Sommermonaten an dem verhältnismäßig steil abfallenden Rande des Inlandeises hervortreten, würden womöglich ein Befahren vollkommen ausschließen. So wurde gleichzeitig beschlossen, das Nivellement durch das Ablationsgebiet zu Fuß ohne Fahrzeugunterstützung auszuführen. Gegebenenfalls sollte zur Überbrückung schwer begehbarer und unzugänglicher Zonen die trigonometrische Höhenmessung mit äußerst kurzen Zielweiten eingesetzt werden.

Um den Anwendungsbereich und die verschiedenen Verfahren der Barometrie im Polargebiet näher zu untersuchen, waren zusätzlich barometrische Höhenmessungen vorgesehen. Das Programm zu diesen Messungen war von Prof. Dr. K. GERKE und Dr.-Ing. D. MÖLLER ausgearbeitet worden. Für diese Untersuchungen liefern die auf dem West-Ost-Profil durch geometrisches Nivellement zu bestimmenden Höhen exakte Vergleichswerte.

Auf die Bearbeitung und die Ergebnisse der barometrischen Messungen wird in dieser Abhandlung nicht eingegangen. Sie werden in der Veröffentlichungsreihe der EXPÉDITION GLACIOLOGIQUE INTERNATIONALE AU GROENLAND E. G. I. G. 1957–1960 unter Volume 3 No. 2 mitgeteilt.

### 1.3. Versuchsmessungen

Da man sich auf keine bisherigen Erfahrungsberichte stützen konnte, bedurfte es bei der Vorbereitung des Nivellements einer sehr intensiven und systematischen Arbeit.

Die ersten Nivellementsversuche wurden von Prof. Dr. W. HOFMANN, dem Leiter der geodätischen Arbeitsgruppen (Lagemessung und Nivellement), im Rahmen des »Kurses für Hochgebirgsforschung« im August 1957 auf dem Firnfeld des Großen Gurgler Ferners in den Ötztaler Alpen durchgeführt [HOFMANN, 1958]. Diese Versuche galten hauptsächlich der Anwendbarkeit eines Fußnivelllements, wobei das automatisch horizontierende Nivellierinstrument INA von Ertel verwendet wurde. Um ein Einsinken von Stativ und Latte während der Messung auszuschließen, wurden die Stativfüße auf Holzscheiben von 15 cm Durchmesser gestellt. Die Latte wurde auf einen Holzstab gesetzt, der durch den weichen Oberflächenfirn bis auf den festen Horizont im Untergrund eingetrieben war. Mit dieser provisorischen Anordnung, die sich schon recht gut bewährte, wurde aus einem 4,2 km langen Nivellement bei Zielweiten von 100 m ein mittlerer Kilometerfehler von  $\pm 3$  mm für das einfache Nivellement abgeleitet. Bei Verwendung von nur einer Latte und Ablesung an drei Fäden konnte eine Leistung von 1 km/Stunde erreicht werden.

Ein weiteres Versuchsnivellement wurde im Februar 1958 auf dem Jungfraujoch unter der Leitung von Prof. Dr. W. HOFMANN mit zwei Nivellierinstrumenten Ni 2 arctic und zwei Nivellierlatten durchgeführt. Bei sehr böigem Wetter mit Treibschnne und einer Temperatur von  $-7^{\circ}\text{C}$  wurde eine 800 m lange Schleife als unabhängiges Doppelnivellement dreimal gemessen. Die Zielweiten lagen bei 100 m. Es galt dabei vor allem, die Messung für ein vorgesehenes Nivellement mit Fahrzeugen auf ihre zweckmäßigste Anordnung näher zu untersuchen.

Gegenüber den ersten Versuchen auf dem Gurgler Ferner waren bereits zwei wesentliche Verbesserungen getroffen worden. An den Stativspitzen wurden Schneeteller aus Metall von etwa 20 cm Durchmesser befestigt und die Latten auf Holzscheiben von 40 cm Durchmesser gesetzt. Beide Maßnahmen, die das Einsinken der Instrumente verhindern und einen festen Aufsatz für die Latten schaffen sollten, erwiesen sich als sehr zweckmäßig. Bei den ständig auffrischenden Böen bis 14 m/sec vibrierte das Lattenbild mitunter so heftig, daß Ablesungen praktisch unmöglich waren. Ähnliche, aber wesentlich schwächere Erscheinungen waren bereits bei den Messungen auf dem Gurgler Ferner beobachtet worden. Da auch in Grönland mit gleichen Windverhältnissen zu rechnen war, lag der Gedanke nahe, starre Stative zu verwenden, die einen wesentlich festeren Stand haben. Ein gleichmäßiger

Gletscherwind störte die Beobachtungen nicht. Für das Doppelnivellement ergab sich ein mittlerer Kilometerfehler von  $\pm 5$  mm. Der Arbeitsfortschritt lag bei 1 km/Stunde. Diese Ergebnisse ließen erkennen, daß das Nivellement eine Höhengenauigkeit liefert, die für glaziologische Zwecke ausreicht, und auch die zu erwartende Arbeitsleistung war zufriedenstellend.

Bevor die Kettenfahrzeuge (Weasel) im Herbst 1958 mit dem Schiff nach Grönland gebracht wurden, fanden in Fontainebleau bei Paris, wo die Weasel für die Expedition bereitgestellt wurden, im August 1958 nochmals Versuchsmessungen statt. Für diese Messungen mit den Fahrzeugen stand bereits die volle Ausrüstung zur Verfügung und die Messungen wurden so durchgeführt, wie sie in dem Abschnitt »Nivellement über das Inlandeis« näher beschrieben sind. Die in der Werkstatt des *Instituts für Photogrammetrie der Technischen Hochschule München* entworfene und gebaute Lattenbefestigung an den Fahrzeugen erwies sich allerdings nicht als zweckmäßig, da vor allem das Richten der Latte eine erhebliche Zeit in Anspruch nahm. Die Latte war oben an einem Galgen aufgehängt und konnte durch einen Arm, der im unteren Drittel der Latte angriff, mit zwei senkrecht zueinander gerichteten Schieneführungen bewegt und senkrecht gestellt werden. Diese Vorrichtung war gewählt worden, um der Latte eine möglichst große Stabilität zu geben, wurde aber später durch eine einfache Kugelgelenkhalterung ersetzt, die sich bei der Expedition sehr gut bewährt hat. Die Messung einer 1 km langen Schleife brachte in mehreren Durchgängen bei Zielweiten von 100 m Widersprüche bis 3 mm. Obwohl die Geländeverteilnisse sehr günstig waren, wurden für ein 1 km langes Nivellement mit 3-Fadenablesungen etwa 80 Minuten benötigt. Dieser hohe Zeitaufwand war vorwiegend darauf zurückzuführen, daß die Beobachter und Schreiber mit der Messungsanordnung noch nicht hinreichend genug vertraut waren. Trotzdem waren die Ergebnisse befriedigend und auch diese Versuche haben wesentlich zum Gelingen des Unternehmens beigetragen.

Es war aber zu erwarten, daß diese relativ hohe Genauigkeit bei den wesentlich härteren Bedingungen in Grönland nicht einzuhalten war. Die Zeitstudien ließen erkennen, daß in den wenigen zur Verfügung stehenden Sommermonaten (Anfang Mai bis Mitte August) die einmalige und vollständige nivellitische Überbrückung des 900 km langen West-Ost-Profils für eine Arbeitsgruppe von 4 Geodäten nur unter äußerst günstigen Umständen durchführbar ist. Auf alle Fälle bestand die berechtigte Aussicht, im Hauptarbeitsgebiet der Glaziologie und Geophysik von der Westküste über Camp VI-EGIG und Station Centrale bis zur Überwinterungsstation Jarl-Joset ein Höhenprofil mit einer Genauigkeit zu gewinnen, die durch kein anderes Meßverfahren erreichbar ist.

### 1.4. Abschätzung der zu erwartenden Genauigkeit

Die Versuchsmessungen ließen unter den gegebenen Verhältnissen einen mittleren Fehler für ein 1 km langes Doppelnivellement von  $M_o = \pm 0,5$  cm erkennen. Unter den arktischen Bedingungen, wie sie in Grönland vorherrschen, mußte jedoch mit einem wesentlich größeren mittleren Fehler bis etwa  $M_o = \pm 3$  cm gerechnet werden. In Abhängigkeit von der Entfernung vom Höhenanschlußpunkt ergeben sich für die Hauptprofilpunkte folgende Unsicherheiten:

Station	Entfernung S km	Mittlerer Fehler $M_S = \pm M_o \sqrt{S}$ bei	
		$M_o = \pm 3$ cm	$M_o = \pm 0,5$ cm
A 14	0		
Camp VI-EGIG .....	100	$\pm 30$ cm	$\pm 5$ cm
Station Centrale .....	400	60	10
Scheitelpunkt (Dépôt 275) .....	530	69	12
Station Jarl-Joset .....	670	78	13
Cecilia Nunatak .....	920	91	15
Balisenabstand .....	10	9	2

Unter den getroffenen Voraussetzungen und nach den gewonnenen Erfahrungen vermag das geometrische Nivellement die Forderung, die Höhen der Festpunkte auf dem Inlandeis auf  $\pm 1$  m einzumessen, zu erfüllen. Bei einem kaum zu erwartenden mittleren Kilometerfehler von  $M_o = \pm 0,5$  cm würden die Höhen sogar nur um  $\pm (10-20)$  cm unsicher sein. Der relative Höhenunterschied von zwei benachbarten Balisen dürfte bei einem vorgesehenen Abstand von 10 km wohl kaum mit einem mittleren Fehler von mehr als  $\pm 10$  cm behaftet sein.

Diese Betrachtungen beziehen sich nur auf die innere Genauigkeit des Nivellements. Über die absolute Genauigkeit kann infolge der während der Messungen zwischenzeitlich erfolgten und noch unbekannten vertikalen Eisbewegungen keine Aussage getroffen werden.

### 1.5. Bereitstellung der Nivellierinstrumente und Nivellierlatten

Ein Gesamtüberblick über die instrumentelle Ausrüstung während des Nivellements wird in den Abschnitten 2.2.2. und 2.3.1. gegeben. Für die Bereitstellung der Nivellierinstrumente und Nivellierlatten mußten besondere Überlegungen und Untersuchungen angestellt werden.

Als Instrument wurde das selbsthorizontierende Nivellier Zeiss »Ni 2 arctic« vorgeschlagen. Dieses Instrument versprach einfache und rasche Handhabung, Zuverlässigkeit und infolge seiner guten Optik und fein ausgebildeten Strichplatte eine relativ hohe Ablesegenauigkeit bei Zielweiten von rund 100 m, wie sie beim Grönlandnivelllement vorgesehen waren. Außerdem hatte sich dieser Instrumententyp schon jahrelang bewährt und konnte in der gewünschten Stückzahl von 4 Instrumenten (2 Gebrauchsinstrumente und 2 Ersatzinstrumente) von den genannten Institutionen zur Verfügung gestellt werden. Die Instrumente wurden in den Kälteräumen der *Bundesforschungsanstalt für Lebensmittelfrischhaltung, Karlsruhe*, bei Temperaturen bis  $-30^{\circ}\text{C}$  getestet. Der Kompensator, die Dosenlibelle und die drehbaren Teile (Fußschrauben, Fokussierschraube und Okularschraube) zeigten keine Störungen.

Die ausziehbaren Originalstative vom Zeiss Ni 2 erschienen jedoch für den Einsatz in Grönland nicht zweckmäßig. Wohl hielten sie den Vereisungsproben in dem Kälter Raum stand, aber bei böigem Wetter, wie es in Grönland zu erwarten war und wie die Versuchsmessungen schon gezeigt hatten, übertrugen sich die Schwingungen zu leicht auf das Instrument und den Kompensator. Wegen des schwingenden Lattenbildes wurden die Ablesungen wesentlich erschwert, wenn nicht sogar unmöglich gemacht. Infolgedessen fiel die Wahl auf starre Stative, die eine erhöhte Standfestigkeit besitzen.

Als Ersatzinstrumente wurden 2 normale Nivellierinstrumente mit Röhrenlibelle und Kippschraube vom Typ Breithaupt NAMAL NAKIP zur Verfügung gestellt. Beide Instrumente waren von der Firma kältefest geliefert worden.

Besondere Beachtung mußte bei der Bereitstellung der Ausrüstung den Nivellierlatten, die dem Nivellement den Maßstab geben, geschenkt werden. Die entscheidende Frage lag bei der Verwendung von Holz- oder Invarlatten. Der Ausdehnungskoeffizient von Invar  $\alpha \approx 0,15 \cdot 10^{-5}$  ist um etwa eine Potenz kleiner als der von Holz mit  $\alpha \approx 1,2 \cdot 10^{-5}$  [HÜTTE, 1950]. Obwohl Invar beständiger gegen Temperaturänderungen ist als Holz, neigt es vor allem bei nicht ausreichender Alterung und bei starken Erschütterungen zu unkontrollierbaren Sprüngen. Das hygro-skopische Verhalten von Holz bei starker Kälte ist vollkommen ungewiß. Es besteht die Gefahr, daß Holz bei tiefen Temperaturen und wechselnder Feuchtigkeit springt. Dieser Fehler ist selbst durch laufenden Lattenvergleich, der aber unter allen Umständen vermieden werden sollte, kaum erfassbar. Außerdem bringt die in das Holz eindringende Feuchtigkeit unabhängig von der Temperatur eine Längenänderung, die mehrere Zehntel millimeter auf 1 m betragen kann [JORDAN/EGGERT/KNEISSL, 1956].

Da gegen die Verwendung von Holzlatten aus den dargelegten Gründen starke Bedenken bestanden, entschloß man sich, auf alle Fälle

für das Nivellement über das Inlandeis, Invarlatten zu verwenden, die an den Weaseln befestigt werden sollten. Das Fußnivelllement durch die spalten- und bruchreiche Ablationszone sollte jedoch mit 2 gewöhnlichen 4 m-Holzlatten durchgeführt werden, da diese von Gewicht leichter und, auf 2 m zusammengeklappt, bei dem Marsch besser zu transportieren sind.

Drei Invarlatten (2 Gebrauchslatten, 1 Reservelatte) wurden speziell für die vorgesehene Verwendung von der Firma Nestle und Fischer, Dornstetten /Schwarzwald, gefertigt. In einem Holzkörper ist auf beiden Seiten ein 3 m langes und 25 mm breites Invarband von 0,5 mm Dicke mit Schachbrett-Teilung eingespannt. Die Bezifferung der Dezimeter befindet sich auf dem Holzkörper, wobei der 1 m – Bereich durch 1 Punkt und der 2 m – Bereich durch 2 Punkte über der Dezimeterangabe gekennzeichnet sind. Gemäß der vorgesehenen Messungsanordnung tragen die Latten auf den schmalen Seiten der Holzkörper (Stirnseite) eine weitere Schachbrett-Teilung.

Zur Belastungsprobe wurden die 3 Latten auf einem Rüttelstand 7 Stunden hintereinander sehr starken Erschütterungen ausgesetzt. Der Test war sehr befriedigend: Die Invarbänder zeigten nach der Belastung keine Sprünge und die Holzkörper keinerlei Beschädigungen.

## 1.6. Latteneichung

In den Klima- und Kälteräumen der *Bundesforschungsanstalt für Lebensmittelfrischhaltung, Karlsruhe*, wurden die Nivellierlatten mit dem Normalmeter Nr. 1098 – Carl Bamberg, Berlin – des *Geodätischen Instituts der Technischen Hochschule Karlsruhe* geeicht. Die Gleichung des Normalmeters lautet

$$L = 1 \text{ m} + 0,003 \text{ m} + 0,0115 (t - 18^\circ) \text{ mm.}$$

Die Voreichung der Invarlatten wurde vom 15.1.1959 bis 17.2.1959 bei den mittleren Temperaturen  $+22^\circ$ ,  $+2^\circ$ ,  $-12^\circ$ ,  $-22^\circ$  und  $-31^\circ \text{ C}$  durchgeführt. Die Nacheichung erfolgte in der Zeit vom 16.2.1960 bis 29.2.1960 bei den mittleren Temperaturen  $+22^\circ$ ,  $+1^\circ$ ,  $-11^\circ$  und  $-21^\circ \text{ C}$ . Eine Nacheichung bei  $-30^\circ \text{ C}$  erwies sich nicht als notwendig, da die Arbeitstemperatur nur in seltenen Fällen unter  $-20^\circ \text{ C}$  lag.

Die Eichungen erfolgten etwa in Abständen von Dezimeterintervallen, so daß für einen Eichungsdurchgang bei einer konstanten Eichtemperatur für die 3 m langen Invarlatten  $n = 20$  Bestimmungen für das mittlere Lattenmeter vorliegen. Nur bei der Voreichung im  $-30^\circ \text{ C}$  Bereich blieb die Anzahl der Bestimmungen auf  $n = 10$  beschränkt.

Der mittlere Fehler einer einzelnen Bestimmung der mittleren Lattenmeter liegt bei  $m = \pm 35 \cdot 10^{-3}$  mm und der mittlere Fehler eines Eichungsdurchgangs bei einer konstanten Temperatur liegt bei  $M = \pm 8 \cdot 10^{-3}$  mm. Die Ergebnisse der Latteneichungen für die verwendeten Invarlatten sind in den Tabellen 1 und 2 und in den graphischen Darstellungen der Abbildungen 1 und 2 wiedergegeben. Aus den Vor- und Nacheichungen der Lattenseiten 1 und 2 wurden zwei ausgleichende Geraden als Eichlinien in Abhängigkeit von der Temperatur für die Latten A und B gefunden. Die mit diesen Geraden bestimmten Ausdehnungskoeffizienten sind für die Latten A und B

$$\alpha_A = 0.23 \cdot 10^{-5} \text{ und } \alpha_B = 0.21 \cdot 10^{-5}.$$

Die beiden Werte zeigen in sich gute Übereinstimmung und liegen durchaus günstig zu dem allgemeinen Wert des Ausdehnungskoeffizienten von Invar mit  $\alpha \approx 0.15 \cdot 10^{-5}$  [HÜTTE, 1950].

Gegenüber den bestimmenden Werten weichen die ausgleichenden Geraden A und B um maximal 0,03 bzw. 0,04 mm ab. Dem entspricht bei einem 2 000 m großen Höhenunterschied ein Fehler von 6 bzw. 8 cm.

Die klappbaren 4 m – Holzlatten, die für das Fußnivelllement verwendet wurden, konnten vor Beginn der Expedition nicht geeicht werden, da sie noch nicht zur Verfügung standen. Die Nacheichung wurde zusammen mit den Invarlatten in der Zeit vom 16.2.1960 bis 29.2.1960 in derselben Weise durchgeführt. Für einen Eichungsdurchgang bei einer konstanten Temperatur liegen  $n = 30$  bzw. 20 Bestimmungen vor. Die mittleren Fehler einer einzelnen Bestimmung des mittleren Lattenmeters  $m = \pm 82 \cdot 10^{-3}$  mm und eines Eichungsdurchgangs  $M = \pm 16 \cdot 10^{-3}$  sind etwa doppelt so groß wie die entsprechenden Werte bei den Invarlatten.

Die Ergebnisse dieser Eichungen zeigen Tabelle 3 und Abbildung 3. Aus den ausgleichenden Eichungsgeraden ergeben sich die Ausdehnungskoeffizienten für die NEDO-Latte von Nestle und Fischer zu  $\alpha = 0.42 \cdot 10^{-5}$  und für die Latte Nr. 3480 von Nestler zu  $\alpha = 0.18 \cdot 10^{-5}$ . Dieses Ergebnis kann nicht diskutiert werden, da hierbei unbekannte Faktoren wie Alter des Holzes, Feuchtigkeitsgehalt, Struktur und Faserung des Materials eine erhebliche Rolle spielen. Fest steht nur, daß die Ausdehnungskoeffizienten weit unter dem allgemeinen Wert für Holz von  $\approx 1,2 \cdot 10^{-5}$  liegen [HÜTTE, 1950].

Gegenüber den bestimmenden Werten weichen die ausgleichenden Geraden um maximal 0,03 mm ab. Dem entspricht bei einem 1 000 m großen Höhenunterschied ein Fehler von 3 cm.

Tabelle 1  
Eichung der Invarlatte A (3 m)  
Weaselnivellement

Voreichung										Nacheichung														
t °C	Länge des Lattenmeters 1 m + k (mm)	$M = \pm \sqrt{\frac{IvvJ}{n(n-1)}}$	$m = \pm \sqrt{\frac{IvvJ}{n-1}}$	n	t °C	Länge des Lattenmeters 1 m + k (mm)	$M = \pm \sqrt{\frac{IvvJ}{n(n-1)}}$	$m = \pm \sqrt{\frac{IvvJ}{n-1}}$	n															
15.1. – 17.2.1959										Latte A Seite 1 (A <sub>1</sub> )														
+ 19,7	+ 0,102	± 0,007	± 0,033	20	+ 22,0	+ 0,095	± 0,005	± 0,022	20	16.2. – 29.2.1960														
+ 2,0	+ 0,075	± 0,011	± 0,047	20	+ 1,6	+ 0,074	± 0,007	± 0,032	20															
- 11,6	+ 0,024	± 0,007	± 0,031	20	- 11,6	+ 0,008	± 0,007	± 0,033	20															
- 21,7	- 0,008	± 0,007	± 0,030	17	- 20,8	+ 0,019	± 0,007	± 0,031	20															
- 31,5	+ 0,008	± 0,010	± 0,031	10																				
15.1. – 17.2.1959										Latte A Seite 2 (A <sub>2</sub> )														
+ 21,8	+ 0,120	± 0,006	± 0,028	20	+ 21,4	+ 0,129	± 0,006	± 0,027	20	16.2. – 29.2.1960														
+ 2,1	+ 0,090	± 0,009	± 0,041	20	+ 1,9	+ 0,084	± 0,010	± 0,043	20															
- 11,0	+ 0,045	± 0,090	± 0,039	20	- 11,1	+ 0,043	± 0,006	± 0,025	20															
- 21,9	+ 0,016	± 0,011	± 0,045	17	- 21,0	+ 0,026	± 0,007	± 0,033	20															
- 31,3	+ 0,026	± 0,012	± 0,037	10																				

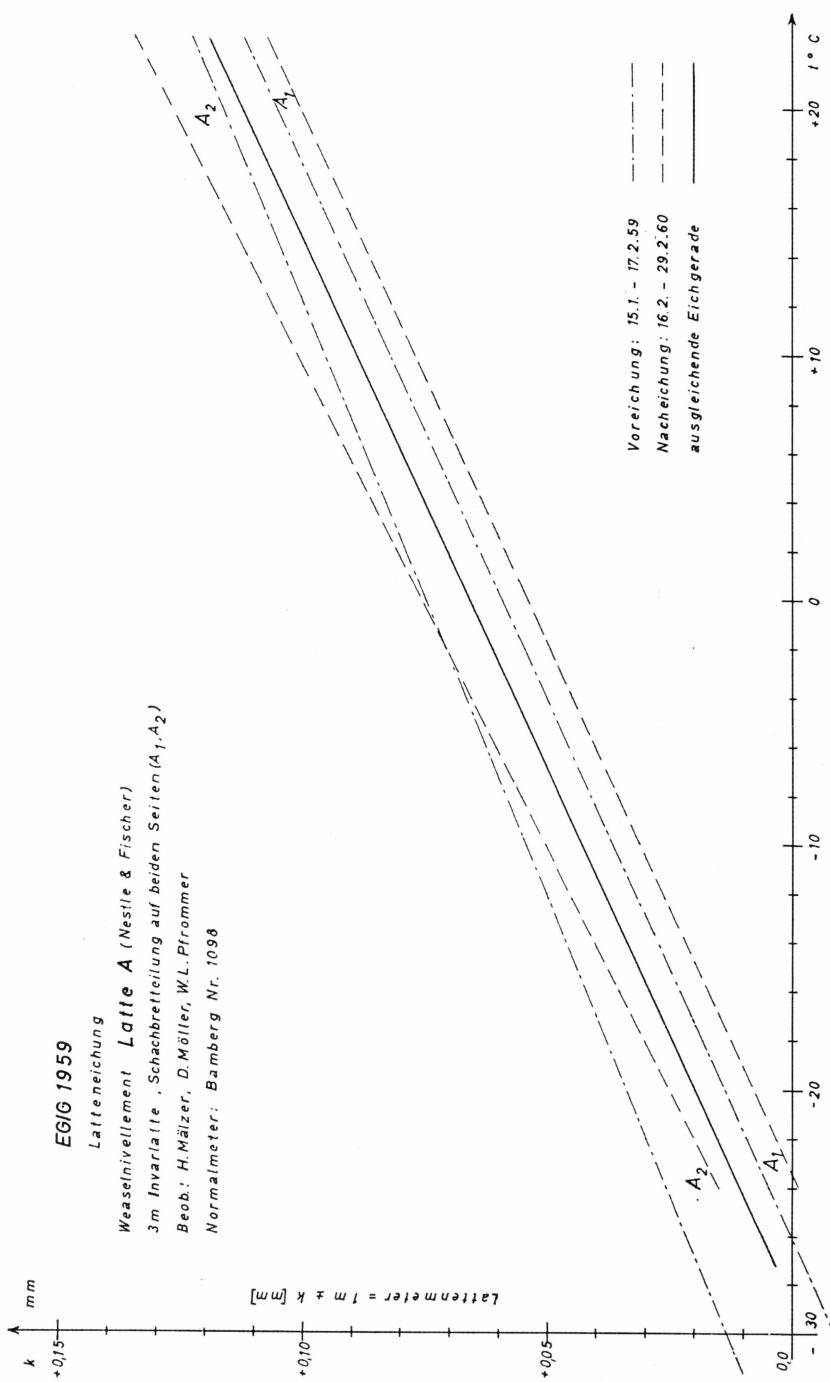


Abbildung 1.

Tabelle 2  
Eichung der Invarlatte B (3 m)  
Weaselnivelllement

		Voreichung				Nacheichung			
t °C	Länge des Lattenmeters 1 m + k (mm)	$M = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{n(n-1)}}$	$m = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{n-1}}$	n	t °C	Länge des Lattenmeters 1 m + k (mm)	$M = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{n(n-1)}}$	$m = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{n-1}}$	n
15.1. – 17.2.1959									
Latte B Seite 1 (B <sub>1</sub> )									
+ 22,7	+ 0,142	± 0,005	± 0,023	20	+ 21,8	+ 0,174	± 0,009	± 0,042	20
+ 2,0	+ 0,119	± 0,008	± 0,038	20	+ 1,2	+ 0,148	± 0,009	± 0,042	20
- 11,6	+ 0,071	± 0,007	± 0,032	20	- 11,0	+ 0,066	± 0,005	± 0,024	20
- 21,9	+ 0,068	± 0,016	± 0,065	17	- 21,0	+ 0,045	± 0,009	± 0,040	20
- 31,0	+ 0,028	± 0,012	± 0,037	10					
16.2 – 29.2.1960									
15.1. – 17.2.1959									
Latte B Seite 2 (B <sub>2</sub> )									
+ 23,4	+ 0,145	± 0,006	± 0,027	20	+ 21,8	+ 0,146	± 0,011	± 0,047	20
+ 2,0	+ 0,124	± 0,009	± 0,042	20	+ 0,4	+ 0,125	± 0,006	± 0,028	20
- 11,7	+ 0,058	± 0,006	± 0,029	20	- 11,1	+ 0,060	± 0,006	± 0,026	20
- 23,0	+ 0,052	± 0,011	± 0,045	17	- 21,0	+ 0,043	± 0,007	± 0,032	20
- 31,0	+ 0,048	± 0,010	± 0,033	10					

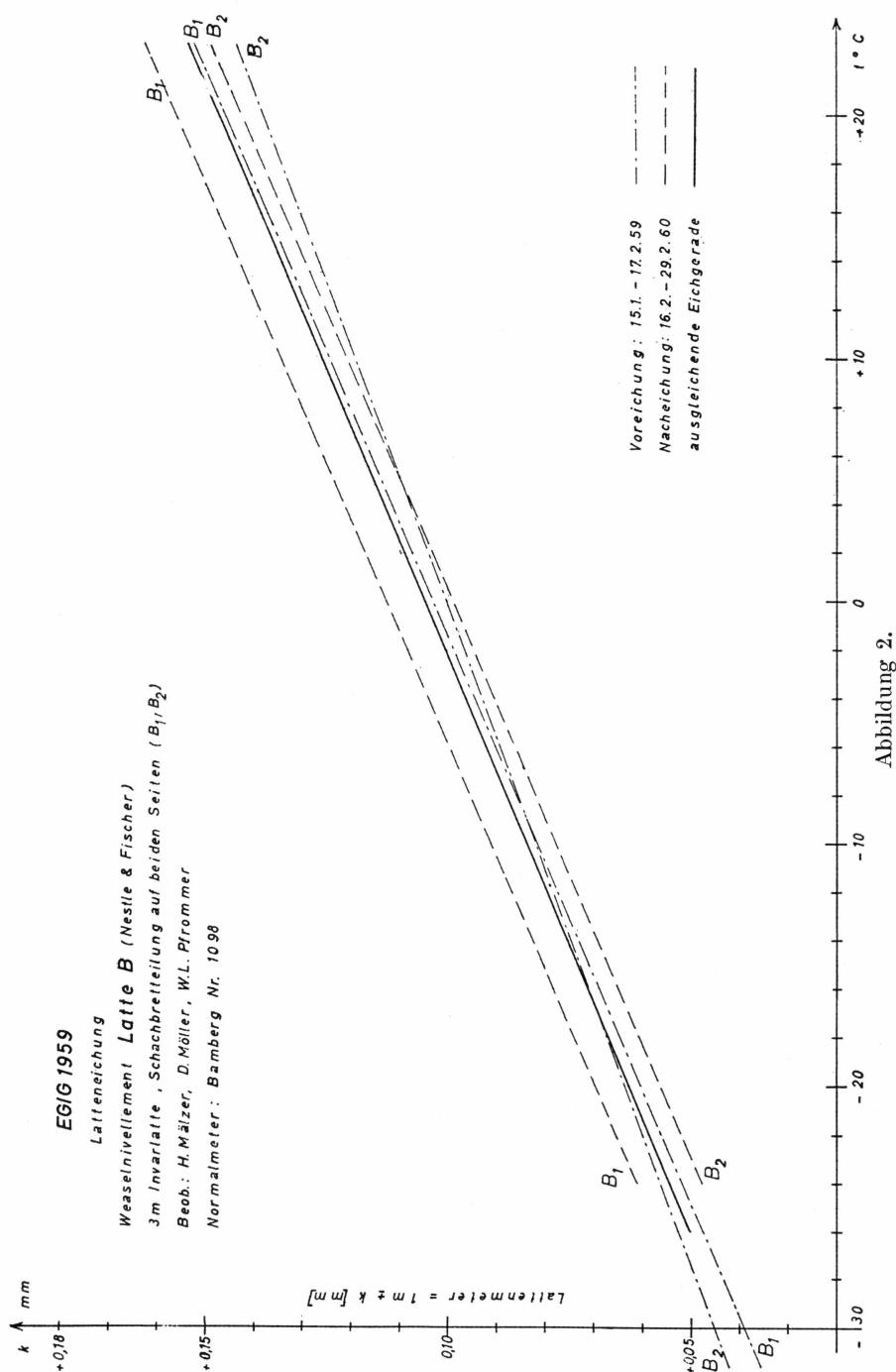


Tabelle 3  
**Eichung der Holzlatten (4 m, klappbar)**  
**Fußnivelllement**

16.2. – 29.2.1960

t °C	Länge d. Lattenmeters 1 m ± k mm	$M = \pm \sqrt{\frac{Ivv}{n(n-1)}}$ mm	$m = \pm \sqrt{\frac{Ivv}{n-1}}$ mm	n
<i>Nestle &amp; Fischer »Nedo«</i>				
+ 21,5	- 0,220	± 0,010	± 0,055	30
+ 2,0	- 0,268	± 0,015	± 0,083	30
- 11,3	- 0,349	± 0,012	± 0,065	30
- 20,0	- 0,398	± 0,008	± 0,037	20
<i>Nestler Nr. 3480</i>				
+ 21,8	- 0,390	± 0,023	± 0,126	30
+ 2,0	- 0,452	± 0,021	± 0,114	30
- 11,3	- 0,447	± 0,014	± 0,074	30
- 21,0	- 0,495	± 0,022	± 0,100	20

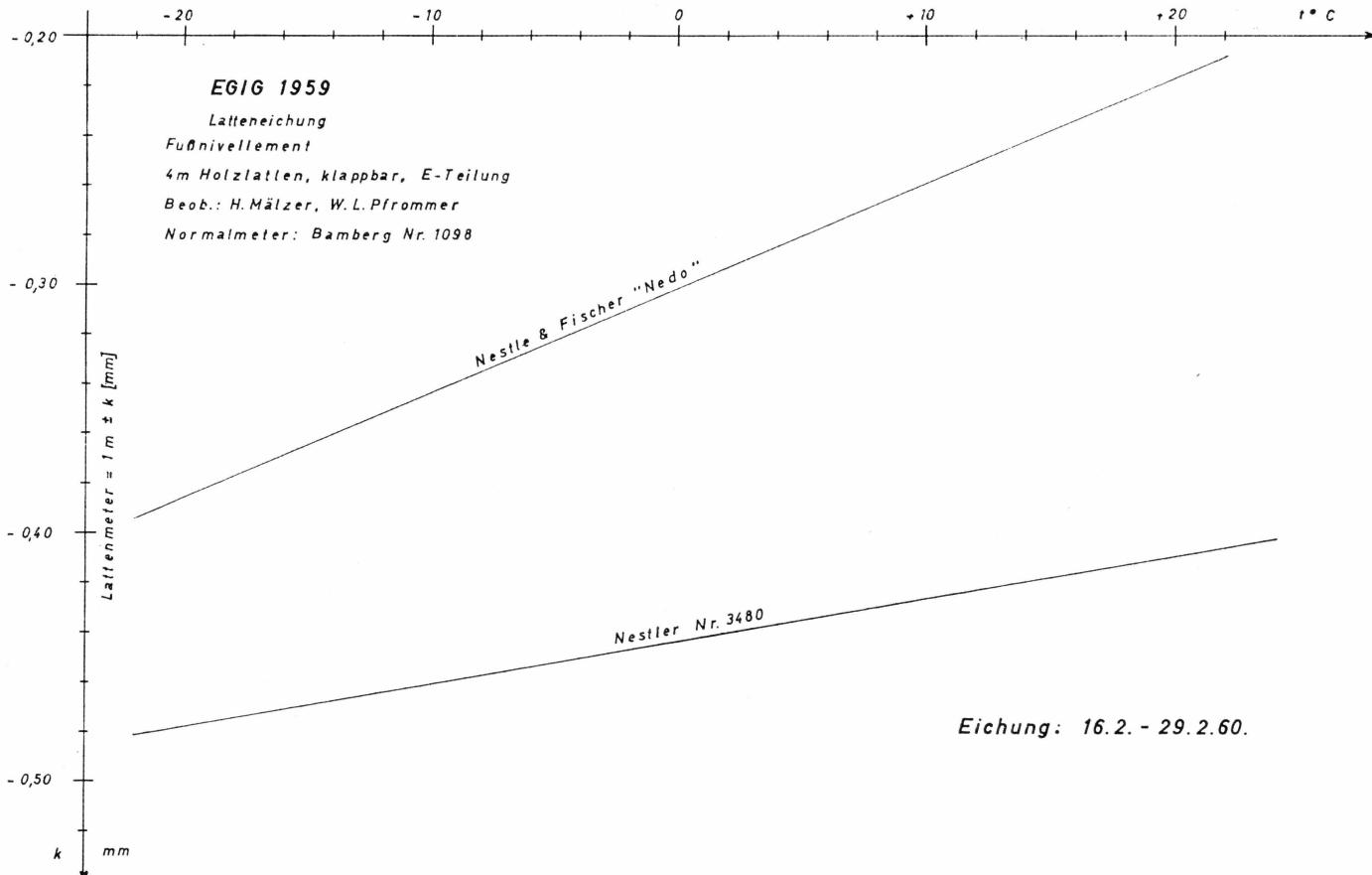


Abbildung 3.

## 2. SOMMERKAMPAGNE 1959

### 2.1. Übersicht über den Expeditionsverlauf der Arbeitsgruppe Nivellement

Die nachfolgende Zusammenstellung gibt einen Überblick über den zeitlichen Ablauf, die Tätigkeit und die zurückgelegten Strecken von der Ankunft im Camp VI-EGIG bis zur Rückkehr.

		Tage	km
1. Mai–9. Mai	Aufenthalt im Camp VI-EGIG, Mithilfe bei der Errichtung des Lagers, Vorbereitung des Nivellements und Erkundung und Absteckung der Marschroute durch das Ablationsgebiet bis zum Felsrand	9	
10. Mai	Fahrt zum Camp Séismique-EPF, dem Ausgangspunkt des Fußnivelllements	1	30
11. Mai–23. Mai	Fußnivelllement: Camp Séismique-EPF bis zum Höhenanschlußpunkt A 14	13	64
23. Mai	Rückflug zum Camp VI-EGIG		94
24. Mai–26. Mai	Vorbereitungen für das Nivellement über das Inlandeis im Camp VI-EGIG und Übernahme der Fahrzeuge (Weasel)	3	
27. Mai	Fahrt zum Camp Séismique-EPF, dem Anschlußpunkt für das Inlandeisnivelllement	1	30
28. Mai–1. Juni	Nivellement: Camp Séismique-EPF bis Camp VI-EGIG	5	30
2. Juni–17. Juni	Nivellement: Camp VI-EGIG (Balise TA 0) bis Milcent (Balise TA 15)	16	148
17. Juni–1. Juli	Nivellement: Milcent (Balise TA 15) bis Station Centrale (Balise TA 31)	14	161
2. Juli–3. Juli	Aufenthalt in Station Centrale	2	
4. Juli–18. Juli	Nivellement: Station Centrale (Balise TA 31) bis Dépôt 275 (Balise T 43)	15	123
18. Juli–28. Juli	Nivellement: Dépôt 275 (Balise T 43) bis Station Jarl-Joset (Balise TA 53)	10	140
29. Juli–2. August	Aufenthalt in Station Jarl-Joset	5	
3. August–10. August	Barometrische Höhenmessung: Station Jarl-Joset (Balise TA 53) bis Station Centrale (Balise TA 31); (Sprungverfahren)	8	263

VII	Nivellement über das grönlandische Inlandeis 1959	27
		Tage km
11. August–15. August	Barometrische Höhenmessung: Station Centrale (Balise TA 31) bis Balise T 8 (Parallelverfahren); Messung abgebrochen	5 247
15. August	Fahrt von Balise T 8 bis Camp VI-EGIG. Abtransport mit Hubschrauber zum Port Victor	62

Gesamtzeit und zurückgelegte Strecke vom 1. Mai bis 15. August 1959 107 1392

### 2.1.1. Zeitplan

Nach der Überquerung des Inlandeises erreichte die Arbeitsgruppe Nivellement am 28. Juli 1959, also 18 Tage später als im Expeditionsplan [Expéditions Polaires Françaises, 1957] vorgesehen war (10. Juli), die Station Jarl-Joset. Dieser Zeitverlust ist auf den 9 Tage längeren Aufenthalt im Camp VI-EGIG und auf die besonders schwierigen Verhältnisse während des Fußnivelllements durch das Ablationsgebiet zurückzuführen.

Nach dem Operationsplan sollte das Fußnivelllement durch das Ablationsgebiet bereits am 2. Mai beginnen. Beim Eintreffen der gesamten Expedition am 1. Mai im Hauptlager Camp VI-EGIG war das Lager noch nicht errichtet und die Versorgungsflüge und Materialabwürfe waren noch nicht erfolgt. Der Zeitverlust war auf die besonderen Umstände zurückzuführen, die durch die Schwierigkeiten beim Transport der Fahrzeuge vom Ausgangslager Flughafen Søndre Strømfjord zum Inlandeis eingetreten waren und einen raschen Vormarsch der Transportgruppen verhinderten. So mußten alle Arbeitsgruppen zunächst tatkräftig bei der Errichtung des Lagers mitwirken, und außerdem mußten die Fallschirmabwürfe des wissenschaftlichen Materials abgewartet werden. Zudem war es zwingend erforderlich, vor Beginn des Fußnivelllements die Marschroute eingehend zu erkunden und festzulegen.

Am 11. Mai konnte das Fußnivelllement, nicht wie vorgesehen ab Camp VI-EGIG, sondern 30 km westlich ab Camp Séismique –EPF, beginnen. Am 23. Mai war das Fußnivelllement mit 9 Tagen Verspätung gegenüber dem Operationsplan am Höhenfestpunkt A 14 beendet. Nach Übernahme und Installation der Fahrzeuge im Camp VI-EGIG, in das die Arbeitsgruppe Nivellement mit Hubschraubern gebracht worden war, begann das Nivellement über das Inlandeis am 28. Mai ab Camp Séismique –EPF.

Nach den Messungen im Profilstück Camp Séismique –EPF bis Camp VI-EGIG (28. Mai – 1. Juni) verließ die Arbeitsgruppe Nivellement bereits mit 18 Tagen Verspätung gegenüber dem Zeitplan am 2. Juni Camp VI-EGIG in östlicher Richtung. Das Nivellement über das Inlandeis bis Station Jarl-Joset brachte keinen weiteren Zeitverlust.

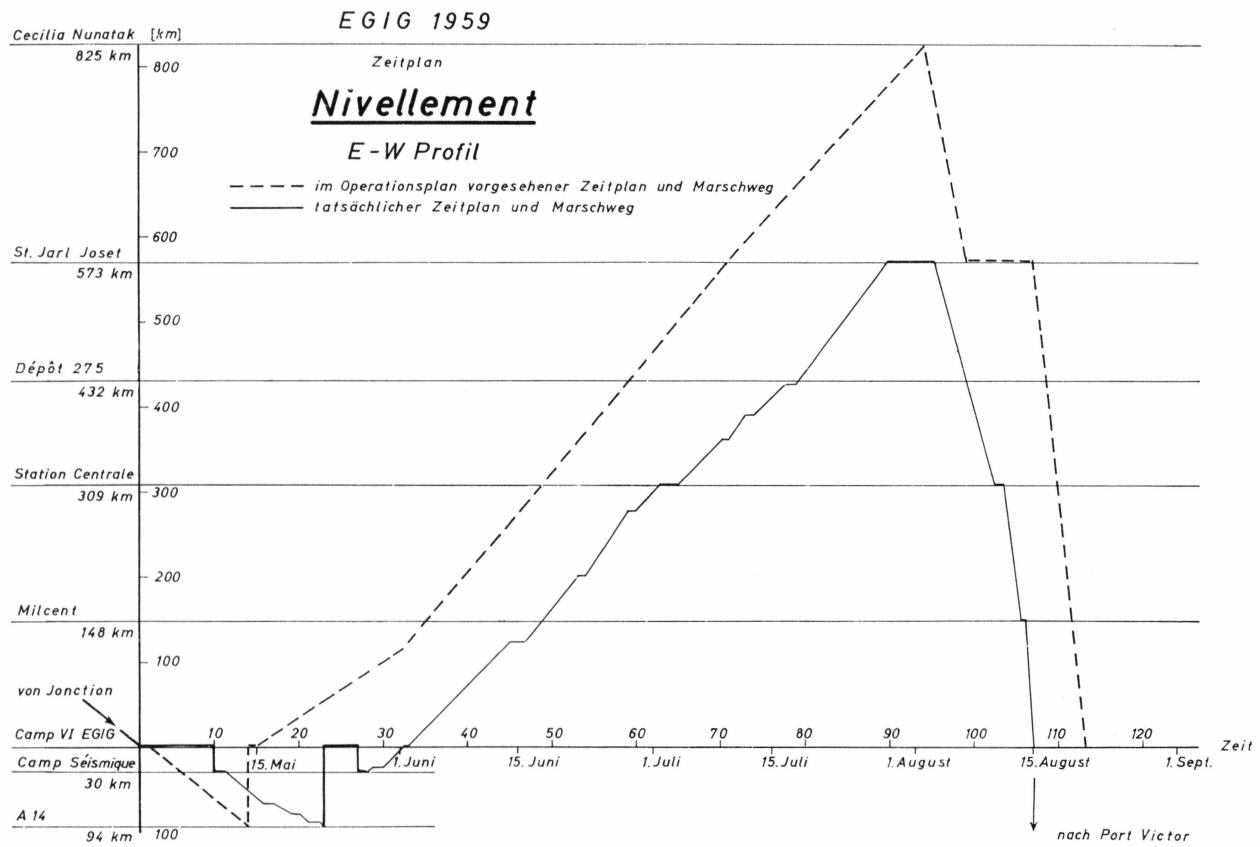


Abbildung 4.

Die fast dreiwöchige Verspätung und die von der Transportgruppe und von der Arbeitsgruppe Lagemessung erkundeten schwierigen Geländeverhältnisse im Profilstück zwischen Dépôt 420 und Cecilia Nunatak führten nach eingehender Beratung mit der Arbeitsgruppe Inlandeisglaziologie, Prof. A. RENAUD und Dr. DE QUERVAIN, und dem technischen Leiter der Expedition, R. GUILLARD, zu dem Entschluß, das Nivellement in Station Jarl-Joset zu beenden. Der nahezu 150 km lange Abstieg von dem etwa 100 km nordöstlich der Station Jarl-Joset gelegenen Dépôt 420 bis zum Cecilia Nunatak dürfte für das Nivellement wegen der terrassen- und wellenförmigen Absätze fast noch größere Geländeschwierigkeiten bieten, als dies im westlichen Ablationsgebiet der Fall war. Unter diesen Verhältnissen wäre im weiteren Verlauf der Route bis Cecilia Nunatak wieder ein Fußnivelllement erforderlich gewesen, und die Gruppe Nivellement hätte vor Mitte September das Ziel kaum erreicht. Eine Rückführung der Gruppe zu diesem späten Zeitpunkt über das Inlandeis bis zur Westküste erschien unmöglich, da sich schon im August die Wetterlage im allgemeinen merklich verschlechtert und der grönlandische Winter einbricht. Eine Abholung der Gruppe an der Ostküste war im Operationsplan nicht vorgesehen und hätte auch kurzfristig nicht organisiert werden können. Ein direkter, von dem abgesteckten Profil der EIGI abweichender Durchgang in östlicher Richtung von Station Jarl-Joset zum nächstgelegenen Nunatak (etwa 150 km) war durch breite und gefährvolle Gletscherspalten versperrt.

Eine Weiterführung des Nivellements von Station Jarl-Joset in nord-östlicher Richtung bis zum Dépôt 420 wäre zeitlich noch möglich gewesen, es wurde aber davon zugunsten barometrischer Höhenmessungen während des Rückmarsches über das Inlandeis Abstand genommen. Außerdem sollten an den glaziologisch besonders interessierenden Stellen Wiederholungsnivellements durchgeführt werden, um vielleicht schon gewisse Rückschlüsse auf relative Höhenänderungen ziehen zu können.

## 2.2. Fußnivelllement vom Camp Séismique -EPF bis zum Höhenanschlußpunkt A 14

### 2.2.1. Erkundung

Entscheidend für das Gelingen des Fußnivelllements war eine eingehende Erkundung der Marschroute durch das spalten- und bruchreiche Ablationsgebiet bis zum Gebirgsrand. Die Erkundung wurde während der Errichtung des Camp VI-EGI unter Leitung von Prof. A. BAUER mit 2 Hubschraubern durchgeführt. Die Grundlage hierzu

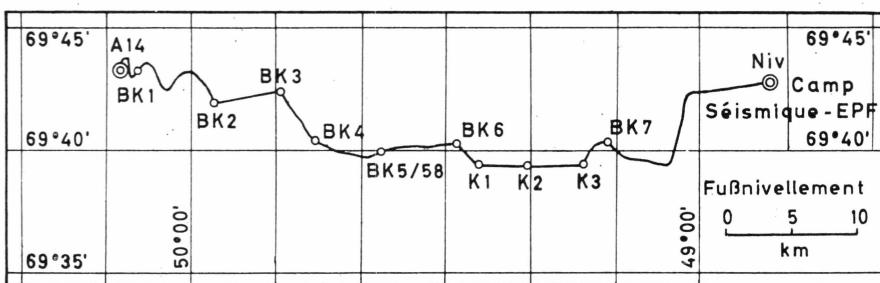


Abbildung 5.

bildete eine Karte 1:50 000, die Prof. A. BAUER 1958 mit Hilfe von Luftbildern gefertigt hatte. Die Erkundungsflüge ergaben, daß man das Fußnivellelement durch das Bruch- und Spaltengebiet nicht wie vorgesehen vom Camp VI-EGIG, sondern von dem etwa 30 km weiter westlich gelegenen Camp Séismique -EPF infolge günstiger Schnee- und Geländeverhältnisse beginnen lassen konnte. Dadurch wurde die besonders schwierige Marschroute bis zum Randgebirge auf rund 64 km verkürzt. Wegen der nicht ausreichenden Flugstunden für die Hubschrauber mußte auf weitere Hubschrauberunterstützung verzichtet werden. Vom täglichen Rückflug zum Camp VI-EGIG, wie es im Operationsplan [Expéditions Polaires Françaises, 1957] vorgesehen war, wurde daher Abstand genommen. Das Unternehmen wurde auf Übernachtung in mitzuführenden Zelten umgestellt.

Für die Versorgung der Arbeitsgruppe Nivellement wurden in Abständen von 4–5 km insgesamt 14 Verpflegungslager durch Hubschraubereinsatz eingerichtet und die Wegstrecke in Abständen von 1–2 km durch Fähnchen gekennzeichnet.

Abbildung 5 zeigt den Trassenverlauf des Fußnivellelements.

### 2.2.2. Ausrüstung

Die technische Ausrüstung bestand aus:

- 2 Nivellierinstrumente Zeiss »Ni 2 arctic« Nr. 149779 und 148277.
- 1 Nivellierinstrument Zeiss »Ni 2 arctic« Nr. 150960 als Ersatzinstrument.
- 2 starre Stativen für die genannten Instrumente. Um ein Einsinken der Stativen im Schnee zu verhindern, waren etwa 10 cm oberhalb der Stativspitzen Metallscheiben von 21 cm Ø (Schneeteller) angeschraubt. Die Lagefestigkeit dieser Schneeteller im Schnee wurde durch 3 radial angeordnete und 1 cm hohe Rippen erhöht.
- 2 Holznivellierlatten von Nestler, Lahr, Nr. 3480 und Nestle und Fischer, Dornstetten/Schwarzwald, »Nedo«, 4 m lang und auf 2 m zusammenklappbar mit E-Teilung.

- 2 Holzscheiben, 40 cm Ø und 3 cm dick mit einem eingeschraubten Metallknopf in der Mitte als Aufsatzpunkt für die Nivellierlatten. Die Lagefestigkeit dieser Holzscheiben im Schnee wurde durch je 3 stabile Metalldreiecke, die auf der Unterseite nahe am Rande der Holzscheiben befestigt waren, erhöht.
- 2 Fluchtstäbe, 2 m lang, zum Abstützen der Nivellierlatten während der Messung.
- 1 Kontrollstab, 2,50 m lang, mit quadratischem Querschnitt von  $4 \times 4$  cm, stabiler Eisenspitze und Schachbrett-Teilung auf jeder Seite (Spezialanfertigung der Firma Nestle und Fischer).
- 2 Feldbuchrahmen für die Feldbuchniederschrift und die notwendigen Formulare.

Zu der technischen Ausrüstung kam beim Fußnivelllement noch die Marsch- und Sonderausrüstung:

- 2 Polarzelte,
- 6 Seesäcke der Teilnehmer mit Schlafsäcken, Luftmatratzen und Daunenkleidung,
- 3 Sicherungsseile mit Haken und Eishammer,
- 4 Paar Steigeisen,
- 2 Eispickel,
- 1 Spaten,
- 2 Benzinkocher,
- 1 20 lt. Benzinkanister,
- Koch- und Eßgeschirr und neben den notwendigen Notrationen jeweils 1–2 Verpflegungskisten.

Die gesamte Ausrüstung hatte ein Gewicht von etwa 250 kg und wurde auf 2 Handschlitten mitgeführt.

### **2.2.3. Gruppeneinteilung**

Für die Durchführung des Fußnivelllements wurde die Arbeitsgruppe in 3 Untergruppen eingeteilt:

Gruppe I (Nivellement I): Schreiber und Beobachter:  
 Dipl.-Ing. W. L. PFROMMER,  
 Dipl.-Ing. K. SCHNÄDELBACH;

Gruppe II (Nivellement II): Schreiber und Beobachter:  
 Dr.-Ing. D. MÖLLER,  
 Dr.-Ing. H. MÄLZER  
 (wissenschaftlicher Gruppenleiter);

Lattenträger: Dr. H. G. DE SYPIORSKI,  
 Dr. O. SCHIMPP.

Beobachter und Schreiber wechselten sich in ihrer Tätigkeit alle 2 Tage ab. Ohne die hilfsbereite und aufopfernde Mitarbeit des Expeditionsarztes Dr. DE SYPIORSKI und von Dr. O. SCHIMPP, der der Arbeitsgruppe Küstenglaziologie angehörte, hätten die unter den schwierigen Verhältnissen durchgeführten Messungen nicht erfolgreich beendet werden können.

## 2.2.4. Technische Durchführung

Als Ausgangspunkt für das Fußnivelllement wurde am 10. Mai 1959 am Camp Séismique -EPF eine 8 m lange Balise mit der Bezeichnung »Niv« gesetzt und 1,68 m tief in den Firnschnee bis zum anstehenden Eis eingebohrt. Zur Höhensicherung wurden 2 etwa 1 m lange Bambusstäbe in den Firn eingeschlagen. Zur Erleichterung des Fußmarsches wurde das Nivellement in abfallender Ost-West-Richtung vom Camp Séismique -EPF zum Felsrand durchgeführt.

### 2.2.4.1. Messungsgang und Feldkontrollen

Das Nivellement wurde als Vierfachnivelllement und unabhängiges Doppelnivelllement über 2 Latten durchgeführt. Das Messungsverfahren ist aus Abbildung 6 ersichtlich. Mit den etwa 3 m entfernt nebeneinander aufgestellten Instrumenten I und II erfolgten die Ablesungen an den beiden Latten A und B. Die Latten wurden nebeneinander in einem Abstand von 3–5 m auf die Metallknöpfe der vorher fest eingetretenen Holzscheiben aufgesetzt und mit einem Fluchtstab abgestützt.

#### Schema des Fußnivellements

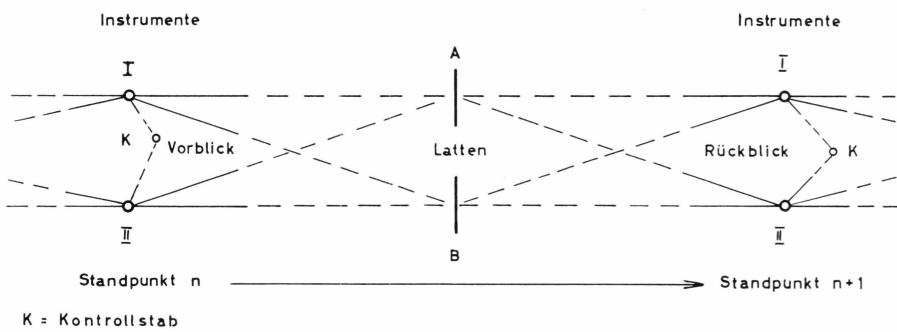


Abbildung 6.

Aus den Höhenunterschieden der beiden Lattenstandpunkte A und B ergaben sich durch Vergleich der Beobachtungen mit Instrument I und II die Standpunktcontrollen. Es mußte sein

- 1) für den Rückblick  $R$   
 $\Delta R_I = R_A - R_B = \Delta R_{II}$

- 2) für den Vorblick  $V$   
 $\Delta V_I = V_A - V_B = \Delta V_{II}$ .

Zeigten die Kontrollen größere Differenzen als 3 mm, wurden die Ablesungen überprüft. Erst nach vorgenommener Kontrolle wechselten die Lattenträger oder die Beobachter die Standpunkte.

Die relative Standfestigkeit der Latten während des Instrumentenwechsels vom Standpunkt  $i$  zum Standpunkt  $i+1$  konnte durch die Beziehung  $\Delta V_i = \Delta R_{i+1}$  überprüft werden. Fast ausnahmslos lagen die Abweichungen unter 3 mm. Die Standfestigkeit der Instrumente während des Lattenwechsels wurde durch Ablesungen an einem in den Firn gerammten Kontrollstab vor Beginn und nach Beendigung der Standpunktbeobachtungen überprüft. Es war jedoch nicht möglich, während des gesamten Nivellements diese Kontrolle durchzuführen, da der Kontrollstab vor allem im westlichen Bereich des Ablationsgebietes, als das Nivellement über Blankeis geführt werden mußte, nicht mehr gesteckt werden konnte.

Eine weitere Kontrolle bot der ständige Vergleich der gemessenen Höhenunterschiede  $\Delta h = R - V$  von Nivellement I und II zwischen den Lattenstandpunkten  $i$  und  $i+1$  und außerdem der Vergleich der genäherten Höhen  $H$ .

Die ursprünglich vorgesehenen Zielweiten von 100 m konnten nur in wenigen Fällen eingehalten werden, da die Schnee- und Eisoberfläche ausgeprägte Täler und Höhenrücken mit Geländeneigungen bis zu 10 % aufwies. Je nach den Geländebedingungen ergaben sich Zielweiten von 15 bis 120 m.

Um instrumentelle Fehler auszuschalten, wurde auf gleiche Zielweiten im Vor- und Rückblick besonders geachtet. Die Instrumente wurden täglich überprüft und gegebenenfalls justiert.

An einigen Tagen konnte bei Einbruch der Nacht oder bei Beginn schlechten Wetters der nächste Ablationspegel nicht mehr erreicht werden. Um in diesen Situationen die Höhenübertragung zu sichern, wurden die beiden Holzscheiben und die Instrumente oberhalb der Schneeteller bis 30 cm tief in den Firn eingegraben und der Kontrollstab eingerammt. In den Blankeiszonen wurde die Höhe durch 2 eingeschlagene Eisenrohre, die mit Schnee abgedeckt wurden, gesichert. Die Überprüfung der Horizonte relativ zueinander war bei Wiederaufnahme der Messungen stets befriedigend.

Da die Marschroute über größere und zum Teil durch Schnee verdeckte und daher nicht sichtbare Gletscherspalten verlief, war während des ganzen Nivellements eine gegenseitige Sicherung der Mannschaft durch Seile erforderlich.

#### **2.2.4.2. Feldbuchführung**

In den Abbildungen 7 a und 7 b sind die Feldbuchformulare mit einem Beispiel für Nivellement I (Instrument I) und Nivellement II (Instrument II) wiedergegeben. In den Spalten 1 bis 3 sind die Standpunkte, die Entfernung im Vor- und Rückblick ( $E_r$  und  $E_v$ ) und die Ablesungen am Kontrollstab vor Beginn  $K_a$  und nach Beendigung  $K_e$

### Feldbuchführung Fußnivellelement: Nivellement I

Instr.: I 149779 Beob.: SCHNÄDELBACH Schr.: PFROMMER Dat.: 14.5.1959 Wetter: sonnig, leicht windig

Stpkt	$E_r$ $E_v$	$K_a$ $K_e$	A				B				$\Delta R$ $\Delta V$	Be- mer- kung
			R	V	$\Delta h$	H	R	V	$\Delta h$	H		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
						1280,000				1280,000		
125	{ 34 65	2039 2039}	0,115	3,015	-2,900	1277,100	0,115	3,029	-2,914	1277,086	{ 0 - 14	13.20 Uhr
126	75 96	1848 1848	0,008	3,434	-3,426	1273,674	0,021	3,489	-3,468	1273,618	- 13 - 55	
127	97 108	1925 1925	0,274	2,968	-2,694	1270,980	0,328	2,882	-2,554	1271,064	- 54 - 86	
128	110 109	1712 1712	0,849	1,795	-0,946	1270,034	0,763	1,839	-1,076	1269,988	+ 86 - 44	
129	115 120	1839 1839	1,650	1,991	-0,341	1269,693	1,696	1,999	-0,303	1269,685	- 46 - 8	
130	116 104	1814 1814	0,958	2,037	-1,079	1268,614	0,965	1,970	-1,005	1268,680	- 7 + 67	
131	116 118	1895 1894	0,825	2,421	-1,596	1267,018	0,756	2,391	-1,635	1267,045	+ 69 + 30	
132	100 106	1703 1703	0,749	2,562	-1,813	1265,205	0,717	2,561	-1,844	1265,201	+ 32 + 1	
133	108 108	1902 1902	0,538	2,133	-1,595	1263,610	0,537	2,030	-1,493	1263,708	+ 1 + 103	
134	108 106	1703 1703	0,603	1,724	-1,121	1262,489	0,503	1,748	-1,245	1262,463	+100 - 24	
135	118 110	1703 1703	0,994	1,477	-0,483	1262,006	1,018	1,442	-0,424	1262,039	- 24 + 35	
Probe	2247		7,563	25,557	-17,994	-17,994	7,419	25,380	-17,961	-17,961	+144 +177	

Abbildung 7 a.

der Beobachtungen auf einem Standpunkt vermerkt. Die Spalten 4–7 und 8–11 enthalten die Ablesungen für die Vor- und Rückblicke ( $V$  und  $R$ ), die Höhenunterschiede  $\Delta h = R - V$  und die genäherten Höhen  $H$  für die Standpunkte der Latten A und B. In Spalte 12 wurden die bereits beschriebenen Kontrollrechnungen durchgeführt. Die Berechnung wurde seitenweise verprobpt. Zur Sicherung des Beobachtungsmaterials erfolgte die Feldbuchführung neben dem Original auf 2 weiteren Durchschlägen.

Für jeden Ablationspegel wurden beim Höhenanschluß genäherte und auf volle m abgerundete Ausgangshöhen eingeführt. Die Differenzen

### Feldbuchführung Fußnivelllement: Nivellement II

Instr.: II 148277 Beob.: MÄLZER Schr.: MÖLLER Dat.: 14.5.1959 Wetter: sonnig, leicht windig

Stpkt	$E_r$	$K_a$	A				B				$\Delta R$	Be-mer-kung
	$E_v$	$K_e$	R	V	$\Delta h$	H	R	V	$\Delta h$	H	$\Delta V$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Balise			1,192									K 3
Pegel (Bam- bus)				1,591	-0,399							Höhen- über- tragung
125	{ 34 65	1960 1960	0,036	2,932	-2,896	1277,104	0,036	2,947	-2,911	1277,089	{ 0 -15	K 3
126	75 96	2092 2092	0,252	3,677	-3,425	1273,679	0,264	3,732	-3,468	1273,621	-12 -55	
127	97 108	1817 1818	0,164	2,852	-2,688	1270,991	0,217	2,770	-2,553	1271,068	-53 + 82	
128	110 109	1613 1613	0,752	1,696	-0,944	1270,047	0,667	1,740	-1,073	1269,995	+ 85 - 44	
129	115 120	1720 1720	1,530	1,869	-0,339	1269,708	1,575	1,876	-0,301	1269,694	-45 - 7	
130	116 104	1737 1737	0,875	1,960	-1,085	1268,623	0,882	1,893	-1,011	1268,683	- 7 + 67	
131	116 118	1731 1731	0,660	2,253	-1,593	1267,030	0,591	2,222	-1,631	1267,052	+ 69 + 31	
132	100 106	1632 1632	0,677	2,488	-1,811	1265,219	0,644	2,487	-1,843	1265,209	+ 33 + 1	
133	108 108	1898 1898	0,535	2,126	-1,591	1263,628	0,533	2,024	-1,491	1263,718	+ 2 + 102	
134	108 106	1774 1774	0,678	1,793	-1,115	1262,513	0,576	1,818	-1,242	1262,476	+ 102 - 25	
135	118 110	1716 1716	1,005	1,485	-0,480	1262,033	1,030	1,451	-0,421	1262,055	- 25 + 34	
Probe	1097 1150		7,164	25,131	-17,967	-17,967	7,015	24,960	-17,945	-17,945	+ 149 + 171	

Abbildung 7 b.

zwischen der Abschlußhöhe des Ablationspegels  $i + 1$  und der genäherten Ausgangshöhe des Ablationspegels  $i$  ergab den genäherten Höhenunterschied.

#### 2.2.5. Höhenanschluß am Punkt A 14

Das Fußnivelllement wurde an dem Höhenfestpunkt A 14 abgeschlossen. Die Höhe dieses Punktes über dem Meerespegel (560,4 m)

war 1948 durch Prof. A. BAUER trigonometrisch bestimmt worden [BAUER, 1953]. Der Punkt, der sich nahe der oberen Seilbahnstation und zwischen den alten Lagern II und III der Expéditions Polaires Françaises (EPF) befindet, liegt auf einer ausgeprägten Felskuppe und wurde mit einem weißen Dreieck gekennzeichnet vorgefunden.

Zur eindeutigen Sicherung dieses Punktes wurde 3 m südöstlich von der Felskuppe ein Höhenbolzen mit der Bezeichnung »Höhenmarke 1 EIG 1959« einbetoniert (siehe Anhang, Seite 104). Versichert wurde die Höhenmarke 1 durch einen Nebenpunkt, der durch einen Höhenbolzen mit der Aufschrift »Höhenmarke 5« vermarkt wurde. Die Höhenmarke 5 liegt 0,91 m westlich der Höhenmarke 1. Die Höhenunterschiede zwischen der Felskuppe des Punktes A 14 und den Höhenmarken 1 bzw. 5 betragen – 0,082 m bzw. – 0,075 m.

### **2.2.6. Wetterlage**

Zu Beginn des Fußnivelllements am 11. Mai 1959 herrschten nachts noch – 22° C und tagsüber lag die Temperatur nicht über – 10° C. Der fast ununterbrochen wehende Gletscherwind war nur bei Geschwindigkeiten über 10 m/sec hinderlich, da es dann den Lattenträgern nicht mehr möglich war, die Latten fest und ruhig zu halten. Außerdem brachten höhere Windgeschwindigkeiten eine Schneefrist mit sich, wodurch die Sicht stark behindert wurde und eine Orientierung nicht mehr möglich war. Abgesehen von einigen kürzeren Unterbrechungen wegen zu starken Windes oder zu schlechter Sicht verliefen die Messungen bis etwa 2 km östlich des Ablationspegels BK 5/58 reibungslos.

Sehr unangenehm wirkte sich das plötzlich am 16. Mai 1959 eintretende Tauwetter aus. In nur wenigen Stunden hatten sich Ströme mit Schmelzwasser und in den Tälern Sumpfseen gebildet, die überquert werden mußten. Um die Messungen mit der notwendigen Sicherheit fortzuführen, wurde ein großer Teil der noch zurückzulegenden Strecke in der Nacht bei Mitternachtssonne gemessen. Zu dieser Zeit hatte ein leichter Frost von etwa – 3° C das Schnee- und Eisfeld wieder einigermaßen gangbar gemacht. Die letzten 14 km zwischen den Ablationspegneln BK 3 und BK 1 wurden in 22 Stunden ohne Unterbrechung gemessen.

### **2.2.7. Arbeitsleistung**

Nach 13 Tagen und einer zurückgelegten Entfernung von rund 64 km ab Camp Séismique –EPF (11. Mai) erreichte die Arbeitsgruppe Nivellement am 23. Mai den Höhenfestpunkt A 14. Der nivellierte Höhenunterschied betrug rund –787 m. Für die Höhenübertragung durch

das Ablationsgebiet waren 464 Doppel-Beobachtungsstandpunkte notwendig.

Von 10 Ablationspeglern wurden die Höhen bestimmt.

- a) Auf die Gesamtzeit von 13 Tagen entfällt eine Tagesleistung von ..... 4,9 km/d;
- b) auf die 13 Tage entfallen 4 Schlechtwettertage, so daß verbleiben ..... 9 Arbeitstage;
- c) auf diese 9 Arbeitstage entfällt eine Tagesleistung von ..... 7,1 km/d;
- d) die maximale Tagesleistung betrug ..... 9 km/d;
- e) bei einer effektiven Arbeitszeit von durchschnittlich 9 h/d betrug die Marschgeschwindigkeit ..... 0,8 km/h.

### **2.3. Nivellement über das Inlandeis vom Camp Séismique -EPF bis Station Jarl-Joset (Weaselnivellement)**

#### **2.3.1. Ausrüstung**

Die technische Ausrüstung für das Nivellement über das Inlandeis bestand aus:

- 4 Nivellierinstrumente Zeiss »Ni 2 arctic« Nr. 149779, 148277, 150960 und 15340. 2 Instrumente waren als Ersatzinstrumente vorgesehen.
- 2 Nivellierinstrumente Breithaupt »Namal Nakip« Nr. 106931 und 106936 mit Röhrenlibelle und Kippschraube als Ersatzinstrumente.
- 2 starre Stativen
- 2 ausziehbare Stativen als Ersatzstative für die genannten Instrumente, mit Schneetellern ausgerüstet wie unter Abschnitt 2.2.2. beschrieben.
- 3 Invar-Nivellierlatten (A, B, C) von Nestle und Fischer, Dornstetten/Schwarzwald, 3 m lang, Schachbrett-Teilung auf beiden Seiten und Teilung auf einer Schmalseite (Stirnseite). Die Latte C war als Ersatzlatte vorgesehen.
- 4 Lattenhalterungen für die Befestigung der Nivellierlatten an den Weaseln. 2 Vorrichtungen waren als Ersatz vorgesehen. Die Lattenhalterungen waren in der Werkstatt des Instituts für Photogrammetrie, Topographie und Allgemeine Kartographie der Technischen Hochschule München hergestellt worden und vorn mit einem Kugelgelenk (serienmäßiger Stativkopf der Firma Linhof, München) versehen. Die Kugel (50 mm Ø) war durch eine Flügelschraube feststellbar und trug eine 20 cm lange rechteckige Metallschiene, die in den U-förmigen Ausschnitt einer 80 cm langen Schiene eingeschoben und verschraubt werden konnte. Die U-Schiene war wiederum auf die Nivellierlatte in der Mitte der ungeteilten Schmalseite aufgeschraubt. Die Halterungen wurden an den Weaseln so befestigt, daß die Nivellierlatten frei hingen und eine Bodenfreiheit von 10–20 cm hatten. Der Abstand der Latten vom Weasel betrug 60 cm. Die Lattenhalterungen waren auf einem Rüttelstand auf ihre Festigkeit und Brauchbarkeit geprüft worden.

- 2 Holzlatten, 2,50 m lang mit Schachbrett-Teilung, zur Höhenübertragung auf die Balisen.
- 4 Kontrollstäbe wie unter Abschnitt 2.2.2. beschrieben.
- 2 Holzscheiben wie unter Abschnitt 2.2.2. beschrieben.
- 5 Klammern zum Anschrauben an die Balisen mit Knopf zum Aufsetzen der Latte für die Höhenübertragung auf die Balisen.
- 4 Brunsviga Handadditionsmaschinen mit Registrierstreifen vom Typ AS 10 mit 9stelliger Blocktastatur. 2 Maschinen waren in der 5. Stelle gesplittet und für die Niederschrift der Beobachtungen und Durchführung der Kontrollen vorgesehen. Die beiden anderen Maschinen dienten der Berechnung vorläufiger Höhenunterschiede.
- 3 Gegensprechanlagen mit Kabelverbindung, Kopfhörern und Kehlkopfmikrofonen. Die Anlagen, gefertigt vom Institut für Hochfrequenztechnik der Technischen Hochschule Karlsruhe, waren zur gegenseitigen Verständigung der Beobachter und Schreiber vorgesehen. 1 Anlage diente als Ersatz.
- 4 Funkspiegelgeräte vom Typ AN/PRC 6 zur Verständigung der beiden Gruppen A und B.

Die Ausrüstung wurde ergänzt durch ein meteorologisches Besteck für meteorologische Beobachtungen und 5 Thommen-Bodenhöhenmesser für barometrische Höhenmessungen.

### **2.3.2. Gruppeneinteilung**

Der Arbeitsgruppe Nivellement standen als Fahrzeuge 2 Weasel, 1 Wohnschlitten und 1 Transportschlitten zur Verfügung. Entsprechend der technischen Durchführung des Nivellements erfolgte eine Aufteilung in 2 Gruppen.

Gruppe A (Nivellement I): Weasel Nr. 38 mit Transportschlitten;  
 Chef und Technischer Gruppenleiter: L. FAIVRE;  
 Schreiber und Beobachter: Dipl.-Ing. W. L. PFROMMER,  
 Dipl.-Ing. K. SCHNÄDELBACH;

Gruppe B (Nivellement II): Weasel Nr. 45 mit Wohnschlitten;  
 Funker: R. CORNEC;  
 Schreiber und Beobachter: Dr.-Ing. H. MÄLZER  
 (wissenschaftlicher Gruppenleiter),  
 Dr.-Ing. D. MÖLLER.

Beobachter und Schreiber wechselten ihre Tätigkeit alle 2 Tage. Besonders anerkennend muß die große Hilfsbereitschaft und Einsatzfreude von L. FAIVRE und R. CORNEC erwähnt werden. Zudem hatte die Arbeitsgruppe Nivellement in L. FAIVRE einen im Polargebiet sehr erfahrenen Techniker und mit R. CORNEC einen ausgezeichneten Funker gefunden.

### 2.3.3. Technische Durchführung

Das Nivellement wurde als Vierfachnivelllement und unabhängiges Doppelnivelllement bei gleichzeitiger und gegenseitiger Beobachtung von Vor- und Rückblick durchgeführt. Der Messungsvorgang ist aus der Abbildung 8 ersichtlich. Am Weasel der Gruppe A war die Latte A und am Weasel der Gruppe B die Latte B befestigt. Das Nivellement I der Gruppe A wurde also über die Latte B und das Nivellement II der Gruppe B über die Latte A geführt.

#### 2.3.3.1. Anschluß an das Fußnivelllement

Der Höhenanschluß bei Camp Séismique –EPF erfolgte an die zu Beginn des Fußnivelllements am 10. Mai 1959 gesetzte und durch Bambusstäbe versicherte 8 m lange Balise. Die Überprüfung am 28. Mai 1959 ergab folgendes Ergebnis:

Punkt	$\Delta h$ 10. Mai	$\Delta h$ 28. Mai	Differenz
Nördl. Sicherungsмарке ...	– 0,409 m	– 0,401 m	+ 8 mm
Höhenмарке an Balise »Niv« westl. Sicherungsмарке ..	– 0,433	– 0,428	+ 5

Da kaum anzunehmen ist, daß sich die etwa 1 m tief in den Firn eingesetzten und nur wenige cm über die Schneoberfläche herausragenden Bambusstäbe relativ zur näheren Umgebung wesentlich geändert hatten, ist die Differenz auf ein Einsinken der Balise zurückzuführen. Der Betrag von 5–8 mm als Höhenänderung ist für den Anschluß des Nivellements ohne Bedeutung.

#### 2.3.3.2. Normaler Messungsgang

Die beiden Beobachter stellten die Instrumente senkrecht zur Fahrtrichtung in einem Abstand von 10–20 m gegenüber den Fahrzeugen auf. Der Beobachter der vorderen Gruppe, der auf dem Standpunkt  $i$  stehen möge, begann mit der Ablesung des Kontrollstabes  $\textcircled{1}_i$ , dann folgte die Ablesung der Latte  $\textcircled{2}_i$ . Gleichzeitig mit der Beobachtung des Rückblickes  $\textcircled{3}_i$  wurde vom Standpunkt  $i - 1$  der Vorblick  $\textcircled{4}_{i-1}$  beobachtet. Danach erfolgten die Schluß- und zugleich Kontrollbeobachtungen an der Latte  $\textcircled{5}_{i-1}$  und am Kontrollstab  $\textcircled{6}_{i-1}$  auf dem Standpunkt  $i - 1$ . Die gegenseitige Beobachtung beider Latten ergab eine

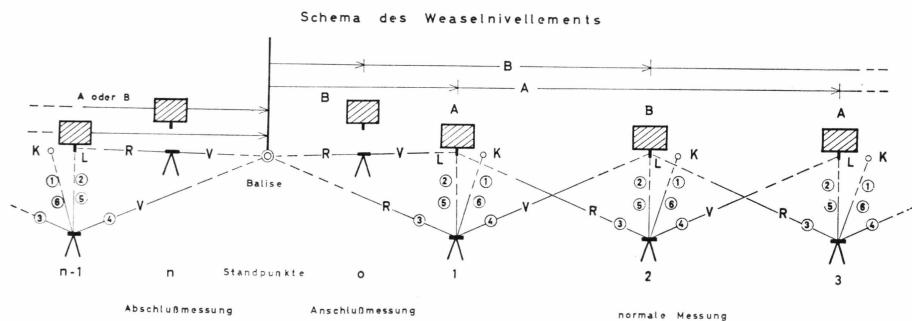


Abbildung 8.

*Erläuterungen:*

Nivellement I der Gruppe A läuft über die ungeraden Instrumentenstandpunkte (1, 3, 5 ...) und über die geraden Lattenstandpunkte (0, 2, 4 ...);

Nivellement II der Gruppe B läuft über die geraden Instrumentenstandpunkte (0, 2, 4 ...) und über die ungeraden Lattenstandpunkte (1, 3, 5 ...).

$L$  = Latte am Weasel,  $K$  = Kontrollstab,  $R$  = Rückblick,  
 $V$  = Vorblick, —— = Zielrichtung

Reihenfolge der Beobachtungen:

① Kontrollstab K	③ Rückblick	④ Vorblick	⑤ Latte L
② Latte L	Lattenwechsel		⑥ Kontrollstab K

Standpunktkontrolle für den Höhenunterschied  $\Delta h$  zwischen den Standpunkten  $i$  und  $i-1$  der Gruppen A und B:

$$\begin{aligned} -\Delta h_i^{i-1} &= (② - ③)_i \\ -\Delta h_{i-1}^i &= (④ - ⑤)_{i-1} \\ \hline -\Delta h_i^{i-1} + \Delta h_{i-1}^i &= 0 \end{aligned}$$

Diese Kontroll-Höhenunterschiede  $\Delta h$  wurden von den Schreibern, die in den Fahrzeugen saßen, mit den Handfunkssprechgeräten ausgetauscht und auf Übereinstimmung geprüft.

Durch die ungleichen Zielweiten ②, ③ und ④, ⑤ blieben auch die Instrumente unter ständiger Kontrolle und Justierfehler konnten sofort festgestellt werden. Überschritten die Differenzen der Kontrollhöhenunterschiede 3 mm, wurden die Beobachtungen überprüft und gegebenenfalls die Instrumente justiert. Erst nach vorgenommener Kontrolle wechselte die hintere Gruppe ihren Standpunkt und fuhr vom Standpunkt  $i-1$  an dem Standpunkt  $i$  vorbei bis zum Standpunkt  $i+1$ . Um gleiche Zielweiten zum Eliminieren instrumenteller Fehler einzuhalten, waren in den Weaseln spezielle Meilenzähler eingebaut (62 Zähleinheiten = 100 m). Als normale Entfernung erwiesen sich auf dem flach

ansteigenden Inlandeis ( $0,2\text{--}0,5\%$ ) 70 Zählereinheiten = 112,7 m als günstig, zumal die Instrumente eine gute Ablesung noch gestatteten. Außerdem garantierte diese Entfernung eine relativ hohe Marschgeschwindigkeit.

Jedoch zeigte die Schneeoberfläche in dem Profilstück Camp Séismique-EPF bis Milcent (Balise TA 15) noch eine großräumige Wellenform mit Steigungen und Gefälle bis  $5\%$  und darüber. Selbst bei Ausnutzung der gesamten Lattenlängen konnten öfters nur Zielweiten von weniger als 25 m genommen werden.

Die Nivellierlatten wurden vor jeder Standpunktbeobachtung von den Beobachtern mittels einer Dosenlibelle senkrecht gerichtet und für die Weiterfahrt schräg gestellt. Der Schreiber rammte vom Fahrzeug aus den Kontrollstab in den Firn. Die Beobachter saßen während des Standpunktwechsels mit ihren Instrumenten je nach der Wetterlage in der offenen Tür der Weasel, auf dem mitgeführten Transportschlitten bzw. in der offenen Tür des Wohnwagens.

Die Verständigung zwischen Beobachter und Schreiber bereitete keine Schwierigkeit, da während der Messung die Fahrzeugmotoren abgestellt waren und die Fahrzeugtüren selbst bei tieferen Temperaturen bis  $-30^\circ\text{C}$  offen gehalten werden konnten. Die Gegensprechanlagen, die für extreme Witterungsverhältnisse und geschlossene Fahrzeugtüren vorgesehen waren, kamen nicht zum Einsatz.

Falls bei Einbruch von Schlechtwetter, in den späten Abendstunden oder bei den erforderlichen Ruhepausen kein Festpunkt (Balise) mehr erreicht werden konnte, wurden zur Höhensicherung 2 Holzscheiben etwa 30 cm tief in den Schnee eingegraben und durch 2 Kontrollstäbe versichert. Außerdem wurden die Stativen der Instrumente mit den Schneetellern in den Schnee eingelassen. Selbst nach 2-tägigem stürmischem Wetter hatten sich die Instrumentenhorizonte zu den Holzplatten und Kontrollstäben nicht geändert. Die Instrumente blieben grundsätzlich im Freien stehen und waren mit einer Nylonhülle abgedeckt.

### **2.3.3.3. An- und Abschlußmessungen an den Balisen**

Um die Regel der gleichen Zielweiten für Vor- und Rückblick nicht zu verletzen, wurden die An- und Abschlußmessungen an den Balisen wie folgt durchgeführt. Bei der Anschlußmessung fuhr grundsätzlich die Gruppe A eine Entfernung von 70 Zählereinheiten nach vorn auf den Standpunkt 1. Die Gruppe B stellte das Instrument in die Mitte zwischen Balise und Standpunkt 1, so daß für Vor- und Rückblick ( $V$  und  $R$ ) gleiche Entfernungen vorhanden waren. Die Standpunkt-kontrolle ergab sich dann als

$$(R - V)_0 = - (② - ③)_1.$$

Die Abschlußmessung an einer Balise wurde analog der Anschlußmessung durchgeführt, indem der letzte Standpunkt  $n$  die Strecke vom Standpunkt  $n - 1$  bis zur Balise halbierte. Als Standpunktkontrolle erhielt man

$$-(\textcircled{4}) - (\textcircled{5})_{n-1} = (R - V)_n.$$

Die Höhenübertragung auf die Balisen erfolgte mit einer 2,50 m langen Holzlatte. Die Latte wurde auf den Knopf einer Klammer aufgesetzt, die an die Balisen angeschraubt werden konnte. Die Lage der Klammer wurde auf die Balisenlänge eingemessen, um die Höhenangaben später auf Balisenspitze oder Fußpunkt beziehen zu können. Zur Zeit der Messung standen die 10 m langen Balisen, Aluminiumrohre von 6 cm Ø und aus 2 m langen Elementen zusammengesetzt, etwa 3 m im Firnschnee und überragten mit etwa 7 m die Schneeoberfläche.

#### 2.3.3.4. Feldbuchführung

Zur Niederschrift und Überprüfung der Beobachtungsergebnisse und für die Berechnungen standen jeder Gruppe 2 Handadditionsmaschinen mit Registrierstreifen vom Typ Brunsviga AS 10 zur Verfügung. Während die eine Maschine der vorläufigen Berechnung relativer Höhenunterschiede zwischen den Balisen diente, wurden mit der anderen Maschine sämtliche Beobachtungswerte einschließlich Standpunktsentfernung und Standpunktnummern registriert und die Berechnungen der Kontrollhöhenunterschiede durchgeführt. Zu diesem Zweck war das Werk dieser Maschine in der 5. Stelle der 9stelligen Tastatur gesplittet, so daß man 4stellige Werte in 2 unabhängigen Werken verarbeiten konnte. Das Schema der Niederschrift ist aus Abbildung 9 ersichtlich und ein Zahlenbeispiel ist in Abbildung 10 wiedergegeben. Das Schema der Niederschrift war so angelegt, daß sich durch Differenzbildung unmittelbar die Kontrollhöhenunterschiede ergaben, die der laufenden Überwachung des Nivellements dienten. Das Vorzeichen der Kontrollhöhenunterschiede

$(\textcircled{2} - \textcircled{3})_i$  ist bei Steigung negativ (dekadische Ergänzung)  
Gefälle positiv,

$(\textcircled{4} - \textcircled{5})_i$  ist bei Steigung negativ (dekadische Ergänzung)  
Gefälle positiv.

Gleichzeitig mit der Messung wurde das Nivellement mit der 2. Additionsmaschine genähert durchgerechnet. Zu den genäherten und auf volle Meter abgerundeten Ausgangshöhen der Balisen wurden laufend die Ablesungen der Rück- und Vorblicke addiert bzw. subtrahiert. Die Differenz zwischen der Abschlußhöhe der Balise  $i + 1$  und der genäherten Ausgangshöhe der Balise  $i$  ergab den genäherten Höhenunter-

schied. Im Mittel lagen die Differenzen zwischen Nivellement I und II für die Höhenunterschiede der durchschnittlich 10–12 km entfernt stehenden Balisen bei 15 mm. Horizontänderungen von Instrument und Latte wurden bei dieser genäherten Berechnung nur berücksichtigt, wenn sie 3 mm überschritten.

Zur weiteren Überwachung des Nivellements wurden auf jedem 10. Standpunkt die genäherten Höhen von Nivellement I und II verglichen.

Um die Messungsergebnisse zu sichern, erfolgte die Niederschrift neben dem Original auf 2 weiteren Durchschlägen. Die ersten Durchschläge wurden innerhalb der Gruppen A und B ausgetauscht und die zweiten Durchschläge bei Begegnung mit anderen Arbeitsgruppen diesen übergeben.

### Schema der Feldbuchführung beim Weaselnivelllement

① usw. Reihenfolge der Ablesungen auf jedem Standpunkt

Gruppe B (Nivellement II)		Gruppe A (Nivellement I)	
Standpunkt 1	Entfernung Balise-Stpkt. 1	Standpunkt 1	Entfernung Balise-Stpkt. 1
① Kontrollstab	② Latte A <sub>1</sub>	② Latte A <sub>1</sub>	③ Rückblick Balise
② Latte A <sub>1</sub>	-----	③ Rückblick Balise	-----
-----	① – ②	-----	② – ③
④ Vorblick B <sub>2</sub>	⑤ Latte A <sub>1</sub>	⑤ Latte A <sub>1</sub>	⑥ Kontrollstab
⑤ Latte A <sub>1</sub>	-----	-----	-----
-----	④ – ⑤	-----	⑤ – ⑥
Entfernung Balise-Stpkt. 1		Entfernung Stpkt. 1–2	
Standpunkt 2	Entfernung Balise-Stpkt. 2	Standpunkt 3	Entfernung Stpkt. 1–3
① Kontrollstab	② Latte B <sub>2</sub>	① Kontrollstab	② Latte A <sub>3</sub>
② Latte B <sub>2</sub>	③ Rückblick A <sub>1</sub>	② Latte A <sub>3</sub>	③ Rückblick B <sub>2</sub>
-----	-----	-----	-----
① – ②	② – ③	① – ②	② – ③
④ Vorblick A <sub>3</sub>	⑤ Latte B <sub>2</sub>	④ Vorblick B <sub>4</sub>	⑤ Latte A <sub>3</sub>
⑤ Latte B <sub>2</sub>	⑥ Kontrollstab	⑤ Latte A <sub>3</sub>	⑥ Kontrollstab
-----	-----	-----	-----
④ – ⑤	⑤ – ⑥	④ – ⑤	⑤ – ⑥
Entfernung Stpkt. 2 – 3		Entfernung Stpkt. 3 – 4	
Standpunkt 4	Entfernung Stpkt. 2 – 4	Standpunkt 5	Entfernung Stpkt. 3 – 5

Die Abschlußmessung an einer Balise ist analog der Abschlußmessung aufgeschrieben.

Abbildung 9.

### Feldbuchführung beim Weaselnivelllement

Gruppe B (Nivellement II)		Gruppe A (Nivellement I)	
24.06.1959		1	75 #
9.00 Uhr		1.872	1.273
Balise T 21	1.201	1.273	1.304 –
	1.171 –	599	9.969 *
	30 *	950	1.273
	70 #	1.273	1.872 –
		9.677	9.401 *
			70 #
	2 140 #	3	141 #
	1.710 1.247	1.868	1.283
	1.247 1.569 –	1.283	1.446 –
	463 9.678 *	585	9.837 *
	1.083 1.248	974	1.283
	1.248 1.710 –	1.283	1.868 –
	9.835 9.538 *	9.691	9.415 *
	70 #		70 #
	4 140 #	5	141 #
	:	:	
	:	:	
	70 #		67 #
	88 120 #	87	141 #
	1.327	2.016	1.316
	797 –	1.316	1.790 –
	530 *	700	9.526 *
Balise T 22		785	1.316
16.50 Uhr		1.316	2.016 –
24.06.1959		9.469	9.300 *
			50 #

#### Erläuterung der Maschinenzeichen

\* Summe                  # Aufschreibung geht nicht  
  – Subtraktion            in die Summe ein

Abbildung 10.

#### 2.3.3.5. Überprüfung von Instrumenten- und Lattenhorizont

Für eine einwandfreie Höhenübertragung ist es erforderlich, daß während der Beobachtung und beim Standpunktwechsel der Instrumenten- bzw. Lattenhorizont unverändert bleiben. Diese Voraussetzung ist für ein Nivellement über Schnee und Eis nicht gewährleistet, und

es mußten Vorkehrungen getroffen werden, um etwa eintretende Horizontänderungen zu erfassen. Da Latte und Fahrzeug eine Einheit bildeten, bewirkten Hebungs- und Setzungsscheinungen der Weasel, hervorgerufen etwa durch Entspannung der Federung oder Einsinken im Schnee, zugleich eine Änderung des Lattenhorizontes. Schon ein unruhiges Verhalten von Fahrer und Schreiber hätte zu falschen Ergebnissen führen können.

Um Horizontänderungen von Instrument und Latte – vor allem während des Standpunktwechsels der anderen Gruppe – festzuhalten, wurde vor Beginn und nach Beendigung der Messung auf einem Standpunkt der Kontrollstab durch die Beobachtungen ① und ⑥ abgelesen (siehe Abbildung 8). Bei unveränderter Horizontlage von Latte und Instrument auf dem Standpunkt  $i$  mußten die zum Schluß der Messung erfolgten Ablesungen an der Latte ⑤ und am Kontrollstab ⑥ gleich der zu Beginn der Messung durchgeföhrten Ablesungen am Kontrollstab ① und Latte ②, also

$$\textcircled{1} = \textcircled{6}, \textcircled{2} = \textcircled{5}$$

und außerdem

$$(\textcircled{1} - \textcircled{2})_i = - (\textcircled{5} - \textcircled{6})_i$$

sein. Unter der Voraussetzung absoluter Standfestigkeit des Kontrollstabs lag

a) nur eine <sup>Hebung</sup><sub>Senkung</sub> des Instrumentenhorizontes vor,

wenn  $\begin{cases} \textcircled{1} < \textcircled{6} \\ \textcircled{1} > \textcircled{6} \end{cases}$  und  $\begin{cases} \textcircled{2} < \textcircled{5} \\ \textcircled{2} > \textcircled{5} \end{cases}$ ,

aber  $\textcircled{2} - \textcircled{5} = \textcircled{1} - \textcircled{6}$  oder

$$\textcircled{1} - \textcircled{2} = - (\textcircled{5} - \textcircled{6})$$

war;

b) nur eine <sup>Hebung</sup><sub>Senkung</sub> des Lattenhorizontes vor,

wenn  $\begin{cases} \textcircled{2} > \textcircled{5} \\ \textcircled{2} < \textcircled{5} \end{cases}$  und  $\textcircled{1} = \textcircled{6}$ ,

aber  $\textcircled{2} - \textcircled{5} \neq \textcircled{1} - \textcircled{6}$  oder

$$\textcircled{1} - \textcircled{2} \neq - (\textcircled{5} - \textcircled{6})$$

war;

c) eine Veränderung des Latten- und Instrumentenhorizontes vor,

wenn  $\textcircled{1} \neq \textcircled{6}$  und  $\textcircled{2} \neq \textcircled{5}$  bzw.  $\textcircled{2} = \textcircled{5}$ ,

aber  $\textcircled{2} - \textcircled{5} \neq \textcircled{1} - \textcircled{6}$  oder

$$\textcircled{1} - \textcircled{2} \neq - (\textcircled{5} - \textcircled{6})$$

war.

Es hat sich gezeigt, daß die Instrumente ziemlich fest standen und nur in wenigen Fällen ihren Horizont änderten, dagegen die Fahrzeuge und damit die Latten während des durchschnittlich 9–10 Minuten dauernden Standes, bedingt durch den Standpunktwechsel der anderen Gruppe, häufig bis zu 3 mm einsanken. In einigen Fällen zeigten die Latten sogar Veränderungen bis zu 10 mm. Es erwies sich, daß die Kontrollstäbe ihre Lage sehr gut beibehielten. Obwohl die Kontrollstäbe direkt neben den Weaseln standen, haben sich die Horizontänderungen der Fahrzeuge auf die Kontrollstäbe nicht übertragen, da sie bis zu 50 cm tief in den festen Firnschnee eingerammt waren.

### **2.3.4. Höhenbestimmung der geophysikalischen Punkte (GP)**

Auf Wunsch der Arbeitsgruppe Geophysik wurden die auf dem West-Ost-Profil festgelegten und durch Bambusstäbe gekennzeichneten geophysikalischen Punkte, an denen Gravimetermessungen durchgeführt wurden, höhenmäßig bestimmt. Die Höhenangaben sollten auf 1 Dezimeter erfolgen und sich nach einer getroffenen Vereinbarung auf die Spitzen der Bambusstäbe beziehen. Die Höhendifferenzen zwischen den Stabspitzen und der Schneeoberfläche (etwa 1,0–1,5 m) wurden von der Arbeitsgruppe Geophysik zum Zeitpunkt ihrer Messungen bestimmt.

Die Höhenbestimmung der GP-Punkte erfolgte stets von 2 benachbarten Nivellementsstandpunkten durch Seitenblicke.

### **2.3.5. Wetterlage während des Nivellements**

Die Wetterlage war während der Fahrt über das Inlandeis relativ gut. Bei flacher Schneedrift, leichtem Schneefall und Wind bis 16 m/sec war es möglich, die Messungen fortzusetzen. Die Instrumente standen bei dieser Windgeschwindigkeit, die fast 60 km/h entspricht, auf den starren Stativen sehr fest. Der Kompensator zur automatischen HORIZONTALIERUNG der Ziellinie zeigte keine oder nur ganz leichte Schwingungen. Auch die Lattenbefestigungen mit den Kugelgelenken waren bei dieser Windgeschwindigkeit noch sehr stabil. Nur an 9 Tagen, das entspricht 15 % der Reisezeit über das Inlandeis, herrschte so schlechtes Wetter mit Nebel, dichtem Schneefall und hoher Schneedrift, daß die Messungen abgebrochen werden mußten. Die Temperatur schwankte während der Messung zwischen 0° und –30° C und lag im Mittel bei –8° C.

Die angenehmsten Temperaturen für den Fortgang der Messungen lagen zwischen –5° und –12° C. Bei ansteigender Temperatur bis 0° C war der Schnee sehr weich und die Weasel und Schlitten sanken tief in den Schnee ein. Vor allem wurde durch die relativ kurzen Fahrstrecken und das immer wiederkehrende Anfahren das Material sehr beans-

sprucht. So mußte auf einer Strecke von etwa 100 km inmitten des Inlandeises bei Station Centrale bis zum Scheitelpunkt bei Dépôt 275 der schwer beladene Transportschlitten zurückgelassen werden, um das Nivellement rascher voranzutreiben. Das Nachholen des Schlittens in den angebrochenen Nachtstunden bedeutete dann keinen Zeitverlust für den Fortgang der Arbeiten.

### 2.3.6. Arbeitsleistung

Nach 62 Reisetagen und einer zurückgelegten Entfernung von rund 603 km ab Camp Séismique -EPF (28. Mai) über Milcent (17. Juni) und Station Centrale (1. Juli) erreichte die Arbeitsgruppe Nivellement am 28. Juli die Überwinterungsstation Jarl-Joset. Die überwundenen Höhenunterschiede zwischen Camp Séismique -EPF (Balise »Niv«) und dem Scheitelpunkt bei Dépôt 275 (Balise T 43) bzw. zwischen dem Scheitelpunkt und Station Jarl-Joset (Balise TA 53) betrugen rund + 1827 bzw. - 308 m. Für die Höhenübertragung längs des Profils waren 5660 Beobachtungsstandpunkte notwendig.

Einschließlich der auf dem West-Ost-Profil gelegenen Deformationsbalisen (DW und DE) im Camp VI-EGIG, von Milcent und Station Centrale und der Deformationsbalisen Jarl-Joset (DW, DE, DN, DS) wurden 66 Balisen höhenmäßig eingemessen. Außerdem wurden die Höhen von 35 geophysikalischen Punkten (GP) bestimmt.

- a) Auf die Gesamtzeit von 62 Tagen entfällt eine Tagesleistung von ..... 9.7 km/d;
- b) auf die 62 Tage entfallen 9 Schlechtwettertage und 2 Aufenthaltstage in Station Centrale, so daß verbleiben ..... 51 Arbeitstage;
- c) auf diese 51 Arbeitstage entfällt eine Tagesleistung von ..... 11.8 km/d;
- d) die maximale Tagesleistung betrug ..... 16.6 km/d;
- e) bei einer effektiven Arbeitszeit von durchschnittlich 10 h/d betrug die Marschgeschwindigkeit ..... 1,2 km/h.

### 2.3.7. Wiederholungsmessungen

Nach Beendigung des Nivellements in Station Jarl-Joset wurden Wiederholungsnivellements in dem Deformationsviereck Station Jarl-Joset und auf dem Rückweg über das Inlandeis zwischen den auf dem West-Ost-Profil gelegenen Deformationsbalisen von Station Centrale und Milcent und zwischen den Balisen TA 53 – T 52, T 32 – TA 31 und TA 31 – T 30 durchgeführt. Es war vorgesehen, vor allem in den ver-

mutlich rascheren Fließzonen zwischen Milcent (TA 15) und dem Camp VI-EGIG, weitere Wiederholungsmessungen anzusetzen, die aber nicht ausgeführt werden konnten. Auf Veranlassung der Expeditionsleitung mußte die Arbeitsgruppe Nivellement bereits am 15. August im Camp VI-EGIG eintreffen, da der Abtransport vom Inlandeis auf diesen Tag festgesetzt worden war.

Insgesamt wurde eine Strecke von 28,4 km nachnivelliert.

## 2.4. Betrachtungen zur Refraktion

Auf die ursprünglich speziell für Refraktionsmessungen auf jedem Standpunkt vorgesehenen 3-Fadenablesungen mußte verzichtet werden, da sonst ein zu großer Zeitverlust eingetreten wäre. Hätte die Beobachtungszeit auf jedem der nahezu 6000 Standpunkte nur eine Minute länger beansprucht, so wäre der Zeitaufwand für das Nivellement über das Inlandeis bei einer Arbeitszeit von 10 h/d auf weitere 10 Tage angestiegen. Um aber einen Beitrag zu der sehr wichtigen Frage der Refraktion in den untersten Luftsichten über Eis und Schnee zu liefern, wurden die 3-Fadenablesungen in Verbindung mit den drei täglichen meteorologischen Beobachtungsterminen (9<sup>00</sup>, 15<sup>00</sup>, 21<sup>00</sup> Expeditionszeit) und zu gegebenen Zwischenzeiten während des gesamten Nivellements über das Inlandeis durchgeführt. An 53 Tagen wurden insgesamt 242 Beobachtungen dieser Art vorgenommen. Die Entfernungsbetrugen durchschnittlich 100 bis 120 m und die Zielstrahlen verliefen 0,3 bis 2,2 m über der Schneeeoberfläche. Die Temperaturen lagen zwischen -2° und -25° C. Temperaturgradienten wurden bei diesen Beobachtungen nicht gemessen. Alle Messungen zeigten negative Ergebnisse, indem die mit dem oberen und mittleren Faden und dem mittleren und unteren Faden ermittelten Lattenabschnitte gleich waren. Daraus mußte gefolgert werden, daß die verschieden hoch über der Schneeeoberfläche verlaufenden Zielstrahlen gar nicht oder gleichmäßig infolge der Refraktion abgelenkt wurden.

Beim Nivellement selbst wurden jedoch Refraktionsstörungen bemerkt, die sich durch Flimmern, Schwebungen und lang anhaltende Verbiegungen der Zielstrahlen äußerten. Durch gesonderte stationäre Messungen wurde versucht, diese Erscheinungen näher zu erfassen.

Die Flimmererscheinungen werden durch eine schnell schwankende, turbulente Luftströmung infolge des Temperaturausgleichs bei negativem Temperaturgradienten hervorgerufen [JORDAN/EGGERT/KNEISSL, 1956]. Das sehr kurzperiodisch, um wenige Millimeter schwankende Lattenbild verursachte keine Genauigkeitsminderung, da die Mittellage des Fadens leicht feststellbar war. Flimmererscheinungen traten nicht sehr

häufig auf und stellten sich nur an wenigen Tagen bei Temperaturen bis  $-16^{\circ}\text{C}$  ein.

In einigen Fällen wurden Schwebungen, die öfters beobachtet werden konnten, von Flimmererscheinungen überlagert. Schwebungen mit einer Periode bis zu 5 Minuten und einer Zielstrahlwanderung bis  $\pm 1\text{ cm}$  auf 100 m Entfernung traten vor allem bei nur leichter Luftbewegung auf. Diese Erscheinungen zeigten sich vorwiegend in den Abendstunden ab  $16^{\text{o}}$ , wenn die Temperatur unter  $-10^{\circ}\text{C}$  herunterging.

Die Schwebungen sind die Folge eines positiven Temperaturgradienten, wenn zwischen den Luftsichten mit verschiedenen Temperaturen statisches Gleichgewicht herrschte, die isothermischen Flächen und damit der Lichtstrahl aber wegen leichter Luftbewegung langsam auf und ab schweben [JORDAN/EGGERT/KNEISSL, 1956].

Die Störungen waren mitunter so verwirrend, daß die Messungen abgebrochen werden mußten. Selbst bei kürzeren Zielweiten von 50 m wurde die Sicherheit der Beobachtung durch Schwebungen von einigen Millimetern noch beeinträchtigt.

Bei vollkommener Windstille, wenn ein Konvektionsstrom praktisch nicht vorhanden ist, erscheint das Lattenbild völlig ruhig und klar. Wegen der Unregelmäßigkeit der isothermischen Flächen wird jedoch der Lichtstrahl gebrochen, was zu fehlerhaften Ablesungen führt [JORDAN/EGGERT/KNEISSL, 1956].

Zielstrahlverbiegungen äußerten sich durch Abweichungen der Kontrollhöhenunterschiede  $\Delta h$  aus den gleichzeitig beobachteten Vor- und Rückblicken auf den Standpunkten  $i-1$  und  $i$  (siehe Abschnitt 2.3.3.2). Mit Einführung der geläufigen Bezeichnungen für die Beobachtungen (siehe Abbildung 8) und mit  $r = \text{Zielstrahlverbiegung infolge Refraktion}$  erhält man für

a) eine Zielstrahlhebung

$$\text{I: } -\Delta h_i^{i-1} = [(\textcircled{2}) - (\textcircled{3}) + r]_i$$

$$\text{II: } -\Delta h_{i-1}^i = [(\textcircled{4}) + r] - (\textcircled{5})]_{i-1}$$

$$-\Delta h_i^{i-1} + \Delta h_{i-1}^i = -2r \quad | \text{ I-II } | \quad -\Delta h_i^{i-1} + \Delta h_{i-1}^i = +2r$$

$$+\Delta h_i^{i-1} - \Delta h_{i-1}^i = +2r \quad | \text{ II-I } | \quad +\Delta h_i^{i-1} + \Delta h_{i-1}^i = -2r.$$

b) eine Zielstrahlneigung

$$\text{I: } -\Delta h_i^{i-1} = [(\textcircled{2}) - (\textcircled{3}) - r]_i$$

$$\text{II: } -\Delta h_{i-1}^i = [(\textcircled{4}) - r] - (\textcircled{5})]_{i-1}$$

$\Delta h_i^{i-1}$  ist der aus dem Rückblick vom Standpunkt  $i$  nach Standpunkt  $i-1$  und  $\Delta h_{i-1}^i$  der aus dem Vorblick von Standpunkt  $i-1$  nach dem Standpunkt  $i$  gleichzeitig beobachtete Höhenunterschied. Aus der Differenz der gegenseitig gemessenen Höhenunterschiede erhält man den doppelten Refraktionsfehler. Voraussetzung ist natürlich, daß die Instrumente justiert und gleichmäßige Zielstrahlkrümmungen im Rück- und Vorblick vorhanden sind.

Als Beispiel der häufig aufgetretenen Refraktionsstörungen ist in Abbildung 11 der Refraktionsgang am 21. Juli 1959 von 16<sup>00</sup> bis 19<sup>00</sup> dargestellt. Dabei traten Zielstrahleigungen bis zu 10 mm bei einer Entfernung von 114 m auf. Nach Abbruch des Nivellements infolge zu starker Störungen wurden durch eine besondere Messungsanordnung Refraktionsmessungen durchgeführt. Durch behelfsmäßige Messungen wurde auch versucht, die Temperaturgradienten im Bereich von 0,50 m bis 2,50 m über der Schneeoberfläche wenigstens in der Größenordnung zu erfassen. Die Ergebnisse dieser Beobachtungen sind in Tabelle 4 wiedergegeben. Dieses Beispiel läßt klar erkennen, daß bei dem größten gemessenen positiven Temperaturgradienten  $dt \approx +2,4^\circ\text{C}$  auch die größten Neigungen der Zielstrahlen (-3 mm auf 69 m und -7 mm auf 102 m Entfernung) vorhanden waren. Die Wiederholungsmessungen in derselben Aufstellung am anderen Morgen verliefen völlig störungsfrei. Durch eine Anzahl von weiteren Beobachtungen dieser Art an verschiedenen Tagen wurden die Ergebnisse des angeführten Beispiels nur bestätigt.

Tiefgründige Betrachtungen zu den Refraktionsfragen können jedoch nicht angestellt werden, da einmal die instrumentelle Ausrüstung für diese speziellen Messungen nicht vorgesehen und vorhanden war und zum andern das Beobachtungsmaterial nicht umfangreich genug sein dürfte.

Da von vornherein mit größeren Refraktionsstörungen zu rechnen war, wurden die Beobachtungsanordnungen und Berechnungen so abgestimmt, daß sich auch die Refraktionseinflüsse weitgehend herausheben. Bei gleichzeitiger gegenseitiger Beobachtung von Vor- und Rückblick kann angenommen werden, daß die Zielstrahlen nahezu gleichmäßig gekrümmt sind und einen symmetrischen Verlauf haben. Sind  $R_r$  und  $V_r$  die Refraktionseinflüsse beim Rückblick  $R$  und Vorblick  $V$ , dann erhält man für die Höhenunterschiede  $\Delta H$  aus Nivellement I und II:

$$\begin{aligned}\Delta H_I &= \dots + R_{i-1} - (V + V_r)_{i-1} + (R + R_r)_{i+1} - (V + V_r)_{i+1} \dots \\ \Delta H_{II} &= \dots \quad + (R + R_r)_i - (V + V_r)_i + (R + R_r)_{i+2} - V_{i+2} \dots\end{aligned}$$

Sind nun  $(V_r)_{i-1} = (R_r)_i$ ,  $(R_r)_{i+1} = (V_r)_i$  usw., dann fällt bei der Mittelbildung von Nivellement I und II ein Refraktionsfehler heraus.

Diese Annahme wurde durch mehrere Versuchsmessungen bestätigt. Als Beispiel sei die Messung vom 5./6. Juli 1959 aufgeführt. Nach aufgetretenen Refraktionsstörungen nach 17<sup>30</sup> Uhr wurde um 19<sup>45</sup> Uhr das Nivellement abgebrochen. Für weitere Refraktionsuntersuchungen wurde eine stationäre Messungsanordnung getroffen, die der gegenseitigen Beobachtung beim Nivellement entsprach und deren Ergebnisse Tabelle 5 zeigt. Die während der Refraktionsstörung am Abend gleichzeitig und gegenseitig beobachteten Höhenunterschiede  $\Delta h_I$  und  $\Delta h_{II}$  ergaben gemittelt den »Soll« – Höhenunterschied  $\Delta h$ .

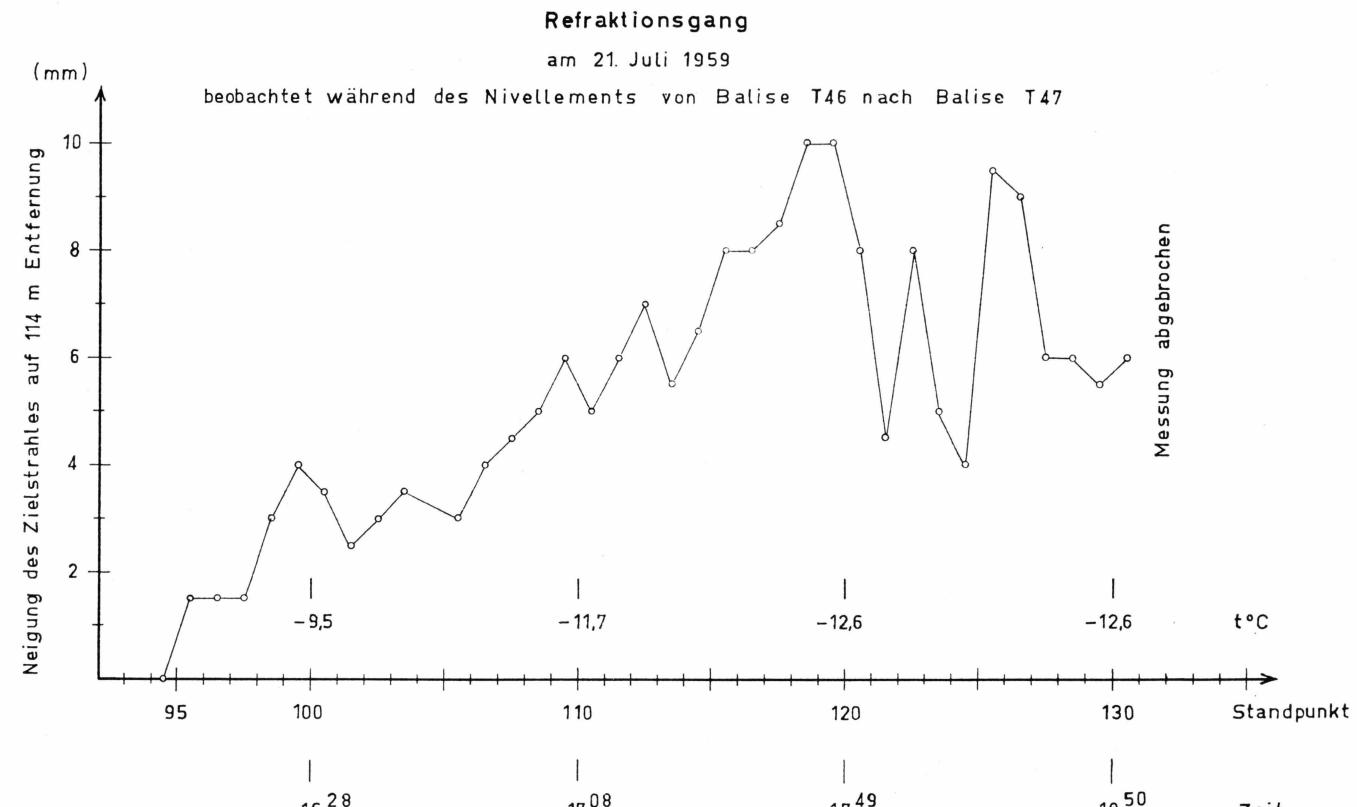


Abbildung 11.

4\*

Auch die gleichen Zielweiten im Rück- und Vorblick beim einfachen Nivellement können zur Beseitigung des Refraktionseinfusses wesentlich beitragen, wenn gleiche Verhältnisse in der isothermischen Schichtung der Luft für kürzere Zeiten erhalten bleiben. Die auf jedem 10. Standpunkt durchgeföhrten Höhenvergleiche zwischen Nivellement I und II zeigten selbst bei stärkeren Refraktionsstörungen keine systematisch ansteigenden Verfälschungen.

*Refraktionsbeobachtungen* bei Standpunkt 132 zwischen den Balisen T 46 und T 47 am 21./22.7.1959 nach Abbruch des Nivellements.

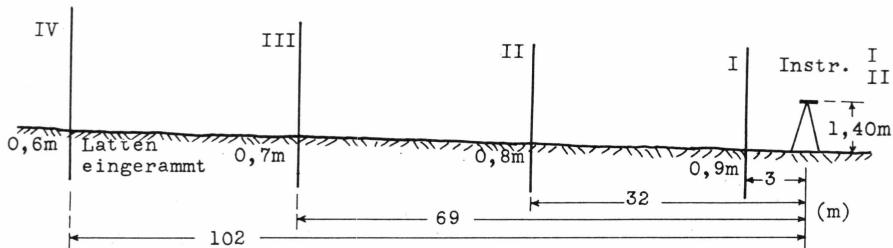


Tabelle 4

I						0	
II						+ 113	
III						+ 195	
IV						+ 167	
Bestimmung der »Soll«-Höhenunterschiede durch Nivellement aus den Mitten am 22.7.1959, 8 <sup>15</sup>							
Latte	Zeit	Instrument	Differenzen		Refr.-Einf.		Bemerkung
		I      II	$\Delta h_I$	$\Delta h_{II}$	$\Delta h_M$		
I	19 <sup>15</sup>	2275    2279	0	0	0	mm	21.7.1959 t über Boden: 0,50 m..... -14,° C 2,50 m..... -13,° C $dt = + 0,3$ ° C ○ verschleiert Wind 1 m/sec
II		2162    2165	+ 113	+ 114	+ 114	-1	
III		2079    2082	+ 196	+ 197	+ 196	-1	
IV		2106    2110	+ 169	+ 169	+ 169	-2	
I							t über Boden: 0,50 m..... -14,° C 2,50 m..... -13,° C $dt = + 1,6$ ° C
II	20 <sup>00</sup>	2275    2279	0	0	0		
III		2162    2165	+ 113	+ 114	+ 114	-1	
IV		2079    2082	+ 196	+ 197	+ 196	-1	
		2105    2107	+ 170	+ 172	+ 171	-4	windstill

(Fortsetzung)

Tabelle 4 (fortgesetzt)

Latte	Zeit	Instrument		Differenzen			Refr.- Einfl.	Bemerkung
		I	II	$\Delta h_I$	$\Delta h_{II}$	$\Delta h_M$		
I	21 <sup>00</sup>	2275	2279	0	0	0	mm	t über Boden: 0,50 m..... - 17,°2 C 2,50 m..... - 14,°8 C $dt = + 2,°4 C$
II		2162	2164	+113	+115	+114	-1	
III		2078	2081	+197	+198	+198	-3	
IV		2102	2105	+173	+174	+174	-7	leicht neblig windstill
I	22 <sup>00</sup>	2275	2279	0	0	0		t über Boden: 0,50 m..... - 16,°8 C 2,50 m..... - 16,°3 C $dt = + 0,°5 C$
II		2163	2165	+112	+114	+113	0	
III		2080	2082	+195	+197	+196	-1	
IV		2107	2110	+168	+169	+168	-1	leicht neblig windstill
I	7 <sup>00</sup>	2275	2279	0	0	0		22.7.1959 t über Boden: 0,50 m..... - 11,°2 C 2,50 m..... - 10,°5 C $dt = + 0,°7 C$
II		2163	2166	+112	+113	+112	+1	
III		2080	2084	+195	+195	+195	0	
IV		2108	2113	+167	+166	+166	+1	○ verschleiert Wind 2-3 m/sec
I	8 <sup>00</sup>	2275	2279	0	0	0		t über Boden: 0,50 m..... - 10,°5 C 2,50 m..... - 10,°5 C $dt = 0^{\circ} C$
II		2162	2166	+113	+113	+113	0	
III		2080	2083	+195	+196	+196	-1	
IV		2109	2112	+166	+167	+166	+1	

*Refraktionsbeobachtungen bei den Standpunkten 49/50 zwischen den Balisen T 32 und T 33 am 5./6.7.1959.*

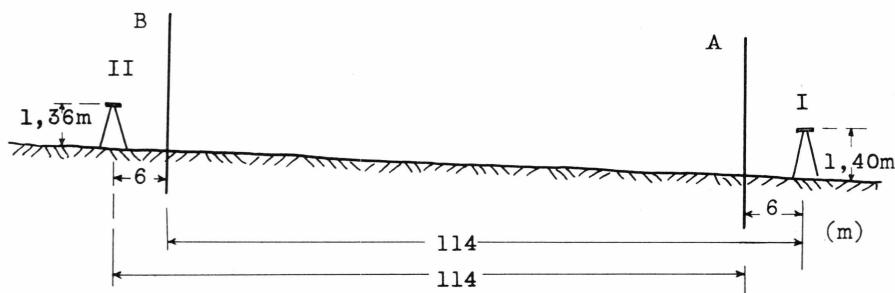


Tabelle 5

Latte	Zeit	Instr. I		Instr. II		$\Delta h$ Mittel	Bemerkung
		Abl.	$\Delta h$	Abl.	$\Delta h$		
B	19 <sup>45</sup>	1601		1867		+ 316	5.7.1959
			+ 321		+ 311		-15°, 5 C
A	1922			2178			
B	19 <sup>47</sup>	1601		1867		+ 315	
			+ 321		+ 309		
A	1922			2176			
B	21 <sup>50</sup>	1604		1867		+ 316	
			+ 318		+ 314		
A	1922			2181			
B	21 <sup>52</sup>	1603		1867		+ 316	-18° C
			+ 319		+ 314		
A	1922			2181			
B	8 <sup>00</sup>	1608		1867		+ 314	6.7.1959
			+ 314		+ 315		-11° C
A	1922			2182			
B	8 <sup>02</sup>	1607		1867		+ 315	
			+ 315		+ 315		
A	1922			2182			

Bestimmung des »Soll«-Höhenunterschiedes durch Nivellement aus der Mitte am 6.7.1959, 8<sup>10</sup>.

Latte	Instr.	
	I	II
B	2107	2104
A	1791	1789
$\Delta h_{\text{Soll}}$	+ 316	+ 315

### 3. AUSWERTUNG UND ERGEBNISSE DES NIVELLEMENTS<sup>1)</sup>

#### 3.1. Berechnung und Ergebnisse des Fußnivelllements

Bei der Auswertung des Fußnivelllements, das als Vierfach-Nivellelement und unabhangiges Doppelnivellelement durchgeföhrt worden war, wurde jedes Nivellement für sich berechnet (siehe Tabellen 6 a). Zu den gemessenen Höhenunterschieden  $\Delta H'$  (Spalten 2 und 6) zwischen den Ablationspeglern wurden summarisch die Korrekturen v (Spalten 3 und 7) wegen Horizontänderungen von Instrument und Latte und der Einfluß der Temperatur auf die Lattenlänge k (Spalten 4 und 8) addiert. Für die Temperatur wurden Mittelwerte der während des Nivellements laufend durchgeföhrenen Temperaturmessungen eingeföhrt. Die gemittelten Temperaturen sind in den Spalten 4 und 8 über den Korrekturwerten k eingetragen, und die Korrekturen selbst wurden den Latteneichkurven (Abbildung 3) entnommen.

Die Höhenunterschiede  $\Delta H = \Delta H' + v + k$  von Nivellement I (Instrument I) und Nivellement II (Instrument II), die jeweils über die Latten A und B berechnet sind ( $\Delta H_{IA}$ ,  $\Delta H_{IB}$ ,  $\Delta H_{IIA}$ ,  $\Delta H_{IIB}$ ) befinden sich in den Spalten 5 und 9 und die Mittel der beiden unabhangigen Nivellements  $\Delta H = \frac{\Delta H_A + \Delta H_B}{2}$  in den Spalten 10. Das Gesamtmittel  $\Delta H$  aus Nivellement I und II steht in Spalte 14 der Tabelle 6 b »Ergebnisse des Fußnivelllements durch das Ablationsgebiet«. Die Höhenunterschiede sind auf volle cm abgerundet.

Da nicht nur die Höhenunterschiede, sondern auch die Höhen der Ablationspegl vor allem für glaziologische Betrachtungen wichtig sind, werden die Höhen auf volle cm (Spalte 15) unter Angabe des Datums (Spalte 16) in Tabelle 6 b mitgeteilt.

Die Höhenangaben beziehen sich auf den Punkt A 14 [BAUER, 1953]; die einnivellierte Punkte der Ablationspegl sind aus den Punktskizzen des Anhangs Seite 105–106 ersichtlich.

<sup>1)</sup> Die Auswertungen und Berechnungen wurden von Dr.-Ing. D. MÖLLER und dem Verfasser ausgeführt.

Tabelle 6 a

**Zusammenstellung des Nivellements durch das Ablationsgebiet**  
Nivellement I

Punkt	Latte A				Latte B				$\Delta H$ Mittel
	$\Delta H'$ gemessen	Korr. <i>v</i>	t°C Lt. Korr.	$\Delta H =$ $\Delta H' + v + k$	$\Delta H'$ gemessen	Korr. <i>v</i>	t°C Lt. Korr.	$\Delta H =$ $\Delta H' + v + k$	
	m	mm	mm	m	m	mm	mm	m	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A 14									
Höhenmarke 1	- 0,082								
BK 1 Pegel	+ 52,913	-	+ 2 - 23	+ 52,890	+ 52,939	-	+ 2 - 15	+ 52,924	+ 52,907
BK 2 Pegel	+ 182,315	+ 20	+ 2 - 80	+ 182,255	+ 182,314	+ 35	+ 2 - 53	+ 182,296	+ 182,276
BK 3 Pegel	+ 65,301	+ 10	- 3 - 29	+ 65,282	+ 65,289	+ 10	- 3 - 20	+ 65,279	+ 65,280
BK 4 Pegel	+ 50,339	-	0 - 22	+ 50,317	+ 50,340	+ 9	0 - 15	+ 50,334	+ 50,326
BK 5/58 Pegel	+ 102,785	-	+ 2 - 45	+ 102,740	+ 102,777	+ 15	- 2 - 30	+ 102,762	+ 102,751
BK 6 Pegel	+ 104,172	+ 10	- 2 - 47	+ 104,135	+ 104,145	-	- 2 - 32	+ 104,113	+ 104,124
K 1 Pyramide	+ 30,151	-	- 2 - 9	+ 30,142	+ 30,170	-	- 2 - 14	+ 30,156	+ 30,149
K 2 Pyramide	+ 32,031	-	- 3 - 10	+ 32,021	+ 32,031	-	- 3 - 14	+ 32,017	+ 32,019
K 3 Pegel	+ 39,033	-	- 3 - 12	+ 39,021	+ 39,035	-	- 3 - 18	+ 39,017	+ 39,019
BK 7 Tetraeder	+ 24,104	-	- 10 - 8	+ 24,096	+ 24,103	+ 4	- 10 - 11	+ 24,096	+ 24,096
C. Séismique Balise »Niv«	+ 104,502	-	- 12 - 37	+ 104,465	+ 104,553	-	- 12 - 48	+ 104,505	+ 104,485
Probe	+ 787,646	+ 40	- 322	+ 787,364	+ 787,696	+ 73	- 270	+ 787,499	+ 787,432

*Lattenverteilung:* Vom Punkt A 14 bis Ablationspegel BK 6

Latte A: Nestler, Nr. 3480

Latte B: »Nedo«, Nestle & Fischer

Vom Ablationspegel BK 6 bis Camp Séismique-EPF

Latte A: »Nedo«, Nestle & Fischer

Latte B: Nestler, Nr. 3480

Tabelle 6 a

**Zusammenstellung des Fußnivelllements durch das Ablationsgebiet**

Nivellement II

Punkt	Latte A				Latte B				$\Delta H$ Mittel
	$\Delta H'$ gemessen	Korr. $v$	t°C Lt. Korr.	$\Delta H =$ $\Delta H' + v + k$	$\Delta H'$ gemessen	Korr. $v$	t°C Lt. Korr.	$\Delta H =$ $\Delta H' + v + k$	
	m	mm	mm	m	m	mm	mm	m	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A 14									
Höhenmarke 1									
BK 1 Pegel	+ 52,906	-	+ 2 - 23	+ 52,883	+ 52,930	-	+ 2 - 15	+ 52,915	+ 52,899
BK 2 Pegel	+ 182,240	+ 20	+ 2 - 80	+ 182,180	+ 182,239	+ 35	+ 2 - 53	+ 182,221	+ 182,200
BK 3 Pegel	+ 65,295	+ 10	- 3 - 29	+ 65,276	+ 65,290	+ 10	- 3 - 20	+ 65,280	+ 65,278
BK 4 Pegel	+ 50,331	-	0 - 22	+ 50,309	+ 50,340	+ 9	- 15	0 + 50,334	+ 50,322
BK 5/58 Pegel	+ 102,699	-	- 2 - 45	+ 102,654	+ 102,704	+ 15	- 2 - 30	+ 102,689	+ 102,672
BK 6 Pegel	+ 104,177	+ 10	- 2 - 47	+ 104,140	+ 104,160	-	- 2 - 32	+ 104,128	+ 104,134
K 1 Pyramide	+ 30,171	-	- 2 - 9	+ 30,162	+ 30,183	-	- 2 - 14	+ 30,169	+ 30,166
K 2 Pyramide	+ 32,005	-	- 3 - 10	+ 31,995	+ 32,018	-	- 3 - 14	+ 32,004	+ 32,000
K 3 Pegel	+ 39,005	-	- 3 - 12	+ 38,993	+ 39,022	-	- 3 - 18	+ 39,004	+ 38,998
BK 7 Tetraeder	+ 24,094	-	- 10 - 8	+ 24,086	+ 24,102	+ 4	- 10 - 11	+ 24,095	+ 24,090
C. Séismique Balise »Niv«	+ 104,498	-	- 12 - 37	+ 104,461	+ 104,531	-	- 12 - 48	+ 104,483	+ 104,472
Probe	+ 787,421	+ 40	- 322	+ 787,139	+ 787,519	+ 73	- 270	+ 787,322	+ 787,231

Tabelle 6 b

## Ergebnisse des Fußnivelllements durch das Ablationsgebiet

Punkt	Fehlerrechnung			Ergebnis		
	Str. $s = 1:p$	$d = \Delta H_I - \Delta H_{II}$	$pdd$	Gesamt- mittel $\Delta H$	Höhe	Datum 1959
	km	mm		m	m	
1	11	12	13	14	15	16
A 14					560,4*)	(1948)
Höhenmarke 1				— 0,08	560,32	23.5.
BK 1 Pegel	1,8	+ 8	36	+ 52,90	613,22	20.5.
BK 2 Pegel	8,9	+ 76	649	+ 182,24	795,46	20.5.
BK 3 Pegel	5,2	+ 2	1	+ 65,28	860,74	19.5.
BK 4 Pegel	4,7	+ 4	3	+ 50,32	911,06	18.5.
BK 5/58 Pegel	5,4	+ 79	1156	+ 102,71	1013,77	17.5.
BK 6 Pegel	6,1	— 10	16	+ 104,13	1117,90	15.5.
K 1 Pyramide	2,3	— 17	126	+ 30,16	1148,06	15.5.
K 2 Pyramide	3,7	+ 19	98	+ 32,01	1180,07	14.5.
K 3 Pegel	4,3	+ 21	103	+ 39,01	1219,08	13.5.
BK 7 Tetraeder	2,6	+ 6	14	+ 24,09	1243,17	13.5.
C. Séismique Balise »Niv«	19,0	+ 13	9	+ 104,48	1347,65**) )	11.5.
Probe	64,0	+ 201	2211	+ 787,25	+ 787,25	

\*) 1948 trigonometrisch bestimmte Anschlußhöhe über dem Meeresspiegel [BAUER, 1953].

\*\*) Die Höhe von Balise »Niv«-Camp Séismique-EPF bezieht sich auf den Höhenanschlußpunkt (Balisenklammer) 2,25 m über Balisenfußpunkt (siehe Anhang Seite 106).

### 3.2. Berechnung und Ergebnisse des Nivellements über das Inlandeis

Die Auswertung erstreckte sich auf die unabhängige und doppelte Berechnung der beiden Nivellements I und II. Die Ergebnisse dieser Berechnungen sind in Tabelle 7 a »Zusammenstellung des Nivellements über das Inlandeis« zusammengefaßt. Die in den Spalten 5 und 9 mitgeteilten Höhenunterschiede  $\Delta H$  sind aus den gemessenen Höhenunterschieden  $\Delta H'$  (Spalten 2 und 6) unter Anbringen der Korrekturen  $v$  infolge Horizontänderungen von Latte und Instrument und unter Berücksichtigung der temperaturabhängigen Lattenänderungen  $k$  ermittelt worden, so daß gilt  $\Delta H = \Delta H' + v + k$ .

Die Lattenkorrekturen  $k$  ergaben sich aus den Eichkurven (Abbildungen 1 und 2) und unter Einführung der gemittelten Temperaturen. Die gemittelten Temperaturen sind aus den Spalten 4 und 8 ersichtlich.

Die anzubringenden Korrekturen infolge der Horizontänderungen von Instrument  $v_J$  und Nivellierlatte  $v_L$  wurden unter Voraussetzung einer unveränderten Lage des Kontrollstabes berechnet. Diese Verbesserungen  $v = v_J + v_L$  sind für die Höhenunterschiede von 2 benachbarten Balisen in den Spalten 3 und 7 zusammengefaßt.

Zur Bestimmung der Verbesserungen  $v$  sind folgende 4 Fälle möglich:

1.) Während des Standpunktwechsels vom Standpunkt  $i-1$  zum Standpunkt  $i+1$

a.) hat sich das *Instrument* auf dem Standpunkt  $i$  um  $Jg$  gehoben:

$$\begin{array}{ll} \text{Soll: } \Delta h = [R - V]_i & = [\textcircled{3} - \textcircled{4}]_i \\ \text{Ist: } \Delta h' = [R - (V + Jg)]_i & = [\textcircled{3} - (\textcircled{4} + Jg)]_i \\ \hline \text{Verbesserung: } v_{Jg} = \Delta h - \Delta h' & = + Jg \text{ oder} \\ & v_{Jg} = (\textcircled{6} - \textcircled{1})_i; \end{array}$$

b.) ist das *Instrument* auf dem Standpunkt  $i$  um  $Je$  eingesenkt:

$$\begin{array}{ll} \text{Soll: } \Delta h = [R - V]_i & = [\textcircled{3} - \textcircled{4}]_i \\ \text{Ist: } \Delta h' = [R - (V - Je)]_i & = [\textcircled{3} - (\textcircled{4} - Je)]_i \\ \hline \text{Verbesserung: } v_{Je} = \Delta h - \Delta h' & = - Je \text{ oder} \\ & v_{Je} = (\textcircled{6} - \textcircled{1})_i. \end{array}$$

Die Verbesserung wegen Änderung des Instrumentenhorizontes auf dem Standpunkt  $i$  ergibt sich vorzeichenrichtig aus der Differenz der Beobachtungen am Kontrollstab nach Beendigung und vor Beginn der Messung

$$v_J = (\textcircled{6} - \textcircled{1})_i.$$

2.) Während des Standpunktwechsels vom Standpunkt  $i - 1$  zum Standpunkt  $i + 1$

a.) hat sich die *Latte* auf dem Standpunkt  $i$  um *Lg gehoben*:

$$\begin{array}{lcl} \text{Soll: } \Delta h = [R - V]_{i+1} & = & [(3) - (4)]_{i+1} \\ \text{Ist: } \Delta h' = [(R - Lg) - V]_{i+1} & = & [(3) - Lg - (4)]_{i+1} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{Verbesserung: } v_{Lg} = \Delta h - \Delta h' = + Lg \text{ oder} \\ v_{Lg} = (2) - (5)_i, \text{ wenn Instrumenten-} \\ \text{horizont unverändert;} \end{array}$$

b.) ist die *Latte* auf dem Standpunkt  $i$  um *Le eingesunken*:

$$\begin{array}{lcl} \text{Soll: } \Delta h = [R - V]_{i+1} & = & [(3) - (4)]_{i+1} \\ \text{Ist: } \Delta h' = [(R + Le) - V]_{i+1} & = & [(3) + Le - (4)]_{i+1} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{Verbesserung: } v_{Le} = \Delta h - \Delta h' = - Le \text{ oder} \\ v_{Le} = (2) - (5)_i, \text{ wenn Instrumenten-} \\ \text{horizont unverändert.} \end{array}$$

Für die *allgemeine* Bestimmung der Verbesserung wegen Änderung des Lattenhorizontes  $v_L$  muß die Änderung des Instrumentenhorizontes  $v_J$  berücksichtigt werden. Die Verbesserung infolge Änderung des Lattenhorizontes auf den Standpunkt  $i$  ergibt sich vorzeichenrichtig aus der Differenz der Beobachtungen an der Latte vor Beginn und nach Beendigung der Messung, korrigiert um die Horizontverbesserung des Instruments:

$$\begin{aligned} v_L &= (2) - (5) + v_J_i \\ v_L &= (2) - (5) + (6) - (1)_i. \end{aligned}$$

Der auf einem Standpunkt  $i$  beobachtete Höhenunterschied  $\Delta h_i$  ergibt sich somit aus

$$\begin{aligned} \Delta h_{i-1}^{i+1} &= (R - V)_i + v_J + v_L \\ \Delta h_{i-1}^{i+1} &= (3) - (4)_i + (6) - (1)_i + (2) - (5) + (6) - (1)_{i-1}. \end{aligned}$$

In Tabelle 7 b »Ergebnisse des Nivellements über das Inlandeis« sind in Spalte 13 die aus Nivellement I und II gemittelten Höhenunterschiede  $\Delta H$  zwischen den Balisen mitgeteilt, die sich auf die Höhenanschlußpunkte (Klammern an den Balisen) beziehen. Zur eindeutigen Festlegung der Höhenangaben erschien es sinnvoll, die Höhen auf die Balisenfußpunkte zu beziehen. Die Umrechnung erfolgte mit Hilfe der Längen  $dH$  von den Balisenfußpunkten bis zu den Höhenanschlußpunkten (Spalten 13, 14, 15):

$$\begin{aligned} \Delta H_i^{i+1} &(\text{Balisenanschlußpunkte}) + dH_i - dH_{i+1} \\ &= \Delta H_i^{i+1} (\text{Balisenfußpunkte}). \end{aligned}$$

Die endgültigen, auf volle cm abgerundeten Höhenunterschiede  $\Delta H$ , bezogen auf die Balisenfußpunkte, sind aus Spalte 15 ersichtlich.

Da neben den Höhenunterschieden auch die Höhen für weitere wissenschaftliche Untersuchungen benötigt werden, sind diese unter Angabe des Datums den Ergebnissen angeschlossen (Spalten 16 und 17).

Zur Vervollständigung der Ergebnisse sind im Anhang die Einmessungsskizzen aller höhenmäßig bestimmten Balisen hinzugefügt (Anhang Seite 106–113).

### 3.3. Ergebnisse der Wiederholungsnivellements

Die Auswertung der Wiederholungsnivellements erfolgte analog der des 1. Nivellements (Tabellen 8 a, 8 b). Eine Gegenüberstellung zu den Ergebnissen des 1. Nivellements gibt Tabelle 9.

Merkliche Höhenänderungen zwischen den Deformationsbalisen konnten nicht festgestellt werden. Selbst im Deformationsviereck von Milcent liegen die ermittelten relativen Höhenänderungen nach 58 Tagen noch unter 1 cm. Dagegen deuten die Ergebnisse auf eine Verminderung der relativen Höhenunterschiede bei Station Centrale um 3 cm innerhalb von 40 Tagen und auf eine Vergrößerung um 2 cm bei Station Jarl-Joset nach 6 Tagen hin.

Endgültige Aussagen können mit dem geringen Beobachtungsmaterial nicht getroffen werden, zumal auch noch Beobachtungsfehler in diesen Differenzen mit enthalten sind.

### 3.4. Berechnung der Höhen der geophysikalischen Punkte (GP)

Zwischen den Höhen der benachbarten Nivellementsstandpunkte wurden die Höhen der geophysikalischen Punkte unter Berücksichtigung der Korrekturen  $v$  und  $k$  eingerechnet und auf volle Dezimeter abgerundet in Tabelle 10 mitgeteilt. Die Höhenangaben sind zur Orientierung durch eine Kilometrierung und Lage zu den Balisen ergänzt.

### 3.5. Besondere Höhenangaben

In Tabelle 11 »Verzeichnis der Sonderhöhen« sind die Standpunktshöhen der meteorologischen Instrumente (Thermographen und Barographen) der Stationen Camp VI-EGIG, Milcent, Station Centrale und Jarl-Joset angegeben. Außerdem wurden in Station Jarl-Joset markante Punkte nach Angaben des wissenschaftlichen Leiters der Überwinterungsstation, F. BRANDENBERGER, höhenmäßig eingemessen. Die Messung und Berechnung der Höhen erfolgten jeweils im Anschluß an die nächstgelegene Balise.

Tabelle 7 a  
Zusammenstellung des Nivellements über das Inlandeis

Punkt	Nivellement I				Nivellement II			
	$\Delta H'$ gemessen	Korr. $v$	$t^{\circ}\text{C}$	$\Delta H =$ $\Delta H' + v + k$	$\Delta H'$ gemessen	Korr. $v$	$t^{\circ}\text{C}$	$\Delta H =$ $\Delta H' + v + k$
	m	mm	mm	m	m	mm	mm	m
1	2	3	4	5	6	7	8	9
C. Séismique Balise »Niv«								
T 301	+ 267,909	- 113	- 1,2 + 27	+ 267,823	+ 267,956	- 109	- 1,2 + 16	+ 267,863
TA 0 - DW	+ 48,833	- 17	- 2,4 + 5	+ 48,821	+ 48,819	- 10	- 2,4 + 3	+ 48,812
TA 0	+ 13,698	- 3	- 6,6 + 1	+ 13,696	+ 13,698	+ 1	- 6,6 + 1	+ 13,700
TA 0 - DE	+ 7,719	+ 2	- 5,5 + 1	+ 7,722	+ 7,719	- 1	- 5,5 0	+ 7,718
T 1	+ 1,843	0	- 4,6 - 5,6	+ 1,843	+ 1,842	- 1	- 4,6 - 5,6	+ 1,841
T 2	+ 41,904	- 5	- 5,0 + 4	+ 41,903	+ 41,881	- 13	- 5,0 + 2	+ 41,870
T 3	+ 72,658	- 12	- 7,8 + 7	+ 72,653	+ 72,662	- 23	- 7,8 + 4	+ 72,643
T 4	+ 50,562	- 5	- 7,8 + 5	+ 50,562	+ 50,576	- 16	- 7,8 + 3	+ 50,563
T 5	+ 57,927	- 12	- 3,5 + 6	+ 57,921	+ 57,893	- 20	- 3,5 + 3	+ 57,876
T 6	+ 60,088	- 23	- 9,0 + 5	+ 60,070	+ 60,068	- 28	- 9,0 + 2	+ 60,042
T 7	+ 42,654	- 13	- 7,3 + 4	+ 42,645	+ 42,647	- 26	- 7,3 + 2	+ 42,623
T 8	+ 51,220	- 16	- 7,7 + 5	+ 51,209	+ 51,228	- 2	- 7,7 + 3	+ 51,229
T 9	+ 46,633	- 22	- 9,3 + 4	+ 46,615	+ 46,626	- 41	- 9,3 + 2	+ 46,587
T 10	+ 66,650	- 18	- 9,2 + 6	+ 66,638	+ 66,643	- 21	- 9,2 + 3	+ 66,625
T 11	+ 66,524	- 31	- 9,7 + 5	+ 66,498	+ 66,516	- 43	- 9,7 + 3	+ 66,476
T 11 a	+ 26,669	- 15	- 11,1 + 2	+ 26,656	+ 26,666	- 18	- 11,1 + 1	+ 26,649
T 12	+ 39,498	- 19	- 13,3 + 3	+ 39,482	+ 39,506	- 24	- 13,3 + 2	+ 39,484
T 13	+ 66,848	- 34	- 13,1 + 5	+ 66,819	+ 66,864	- 45	- 13,1 + 3	+ 66,822
Probe	+ 1029,837	- 356	+ 95	+ 1029,576	+ 1029,810	- 440	+ 53	+ 1029,423

Tabelle 7 b

## Ergebnisse des Nivellements über das Inlandeis

Punkt	Fehlerrechnung			Ergebnis				Dat. 1959
	Str. $s = 1:p$	$d =$ $\Delta H_I -$ $\Delta H_{II}$	$pdd$	$\Delta H$ Balisenan- schlußpkt.	$dH$ Balisen- fußpkt.	$\Delta H$ Balisen- fußpunkt	Höhe Balisen- fußpunkt	
	km	mm		m	m	m	m	
1	10	11	12	13	14	15	16	17
C. Séismique Balise »Niv«					2,250		1345,40	28.5.
T 301	21,4	- 40	75	+ 267,843	1,880	+ 268,21	1613,61	31.5.
TA 0 - DW	8,1	+ 9	10	+ 48,816	1,410	+ 49,29	1662,90	1.6.
TA 0	0,7	- 4	23	+ 13,698	4,000	+ 11,11	1674,01	1.6.
TA 0 - DE	0,5	+ 4	32	+ 7,720	1,435	+ 10,28	1684,29	2.6.
T 1	0,2	+ 2	20	+ 1,842	3,107	+ 0,17	1684,46	2.6.
T 2	7,9	+ 33	138	+ 41,886	3,208	+ 41,79	1726,25	3.6.
T 3	8,7	+ 10	11	+ 72,648	3,360	+ 72,49	1798,74	4.6.
T 4	9,3	- 1	0	+ 50,562	3,445	+ 50,48	1849,22	4.6.
T 5	7,5	+ 45	270	+ 57,898	3,495	+ 57,85	1907,07	5.6.
T 6	10,6	+ 28	74	+ 60,056	3,343	+ 60,21	1967,28	6.6.
T 7	9,5	+ 22	51	+ 42,634	3,446	+ 42,53	2009,81	7.6.
T 8	8,1	- 20	49	+ 51,219	3,180	+ 51,48	2061,29	8.6.
T 9	12,7	+ 28	62	+ 46,601	3,397	+ 46,39	2107,68	9.6.
T 10	12,6	+ 13	13	+ 66,632	4,000	+ 66,03	2173,71	10.6.
T 11	10,7	+ 22	45	+ 66,487	3,857	+ 66,63	2240,34	11.6.
T 11 a	8,0	+ 7	6	+ 26,652	1,997	+ 28,51	2268,85	12.6.
T 12	9,2	- 2	0	+ 39,483	3,524	+ 37,95	2306,80	13.6.
T 13	15,2	- 3	1	+ 66,820	3,782	+ 66,57	2373,37	14.6.
Probe	160,9	+ 153	880	+ 1029,497	- 1,532	+ 1027,97	+ 1027,97	

Tabelle 7 a (Fortsetzung)  
Zusammenstellung des Nivellements über das Inlandeis

Punkt	Nivellement I				Nivellement II			
	$\Delta H'$ gemessen	Korr. $v$	$t^{\circ}\text{C}$	$\Delta H =$ $\Delta H' + v + k$	$\Delta H'$ gemessen	Korr. $v$	$t^{\circ}\text{C}$	$\Delta H =$ $\Delta H' + v + k$
	m	mm	mm	m	m	mm	mm	m
1	2	3	4	5	6	7	8	9
T 13			— 13,0				— 13,0	
T 14	+ 43,010	— 24	+ 3	+ 42,989	+ 43,008	— 23	+ 2	+ 42,987
			— 12,5				— 12,5	
TA 15 – DW	+ 27,785	— 21	+ 2	+ 27,766	+ 27,795	— 21	+ 1	+ 27,775
			— 10,5				— 10,5	
TA 15	+ 3,930	— 2	0	+ 3,928	+ 3,929	— 2	0	+ 3,927
			— 10,5				— 10,5	
TA 15 – DE	+ 4,162	— 1	0	+ 4,161	+ 4,161	0	0	+ 4,161
			— 13,8				— 13,8	
T 16	+ 38,615	— 26	+ 3	+ 38,592	+ 38,624	— 35	+ 1	+ 38,590
			— 10,9				— 10,9	
T 17	+ 38,546	— 30	+ 3	+ 38,519	+ 38,560	— 37	+ 2	+ 38,525
			— 12,3				— 12,3	
T 18	+ 48,435	— 29	+ 4	+ 48,410	+ 48,443	— 49	+ 2	+ 48,396
			— 11,7				— 11,7	
T 19	+ 41,071	— 27	+ 3	+ 41,047	+ 41,072	— 48	+ 2	+ 41,026
			— 11,6				— 11,6	
T 20	+ 40,671	— 23	+ 3	+ 40,651	+ 40,684	— 37	+ 2	+ 40,649
			— 5,5				— 5,5	
T 21	+ 32,858	— 56	+ 3	+ 32,805	+ 32,851	— 66	+ 2	+ 32,787
			— 2,8				— 2,8	
T 22	+ 25,807	— 34	+ 3	+ 25,776	+ 25,808	— 21	+ 2	+ 25,789
			— 5,7				— 5,7	
T 23	+ 31,613	— 28	+ 3	+ 31,588	+ 31,643	— 39	+ 2	+ 31,606
			— 3,4				— 3,4	
T 24	+ 38,631	— 29	+ 4	+ 38,606	+ 38,614	— 56	+ 2	+ 38,560
			— 3,6				— 3,6	
T 25	+ 32,025	— 40	+ 3	+ 31,988	+ 32,009	— 46	+ 2	+ 31,965
			— 6,0				— 6,0	
T 26	+ 23,121	— 36	+ 2	+ 23,087	+ 23,118	— 22	+ 1	+ 23,097
			— 6,0				— 6,0	
T 27	+ 23,980	— 32	+ 2	+ 23,950	+ 23,976	— 25	+ 1	+ 23,952
			— 8,4				— 8,4	
T 28	+ 27,029	— 27	+ 2	+ 27,004	+ 27,029	— 28	+ 1	+ 27,002
			— 9,8				— 9,8	
T 29	+ 30,971	— 24	+ 2	+ 30,949	+ 30,953	— 33	+ 1	+ 30,921
Probe	+ 552,260	— 489	+ 45	+ 551,816	+ 552,277	— 588	+ 26	+ 551,715

Tabelle 7 b (Fortsetzung)  
Ergebnisse des Nivellements über das Inlandeis

Punkt	Fehlerrechnung			Ergebnis				
	Str. $s = 1:p$	$d =$ $\Delta H_I - \Delta H_{II}$	$pdd$	$\Delta H$ Balisen- schlußpkt.	$dH$ Balis- fußpkt.	$\Delta H$ Balisen- fußpunkt	Höhe Balisen- fußpunkt	Dat. 1959
	km	mm		m	m	m	m	
1	10	11	12	13	14	15	16	17
T 13					3,782		2373,37	16.6.
T 14	9,6	+ 2	0	+ 42,988	3,518	+ 43,25	2416,62	16.6.
TA 15 – DW	7,0	- 9	12	+ 27,770	3,408	+ 27,88	2444,50	17.6.
TA 15	0,6	+ 1	2	+ 3,928	3,369	+ 3,97	2448,47	17.6.
TA 15 – DE	0,5	0	0	+ 4,161	3,121	+ 4,41	2452,88	17.6.
T 16	9,4	+ 2	0	+ 38,591	3,601	+ 38,11	2490,99	18.6.
T 17	9,5	- 6	4	+ 38,522	3,177	+ 38,94	2529,93	19.6.
T 18	13,1	+ 14	15	+ 48,403	3,433	+ 48,15	2578,08	20.6.
T 19	10,9	+ 21	40	+ 41,036	3,475	+ 40,99	2619,07	20.6.
T 20	9,7	+ 2	0	+ 40,650	3,251	+ 40,88	2659,95	21.6.
T 21	10,8	+ 18	30	+ 32,796	3,438	+ 32,61	2692,56	23.6.
T 22	9,7	- 13	17	+ 25,782	3,566	+ 25,65	2718,21	24.6.
T 23	10,1	- 18	32	+ 31,597	3,126	+ 32,04	2750,25	25.6.
T 24	11,2	+ 46	189	+ 38,583	3,304	+ 38,40	2788,65	26.6.
T 25	11,0	+ 23	48	+ 31,976	3,185	+ 32,10	2820,75	26.6.
T 26	9,1	- 10	11	+ 23,092	2,995	+ 23,28	2844,03	27.6.
T 27	10,1	- 2	0	+ 23,951	3,287	+ 23,66	2867,69	29.6.
T 28	9,9	+ 2	0	+ 27,003	3,319	+ 26,96	2894,66	29.6.
T 29	11,2	+ 28	70	+ 30,935	2,998	+ 31,26	2925,92	30.6.
Probe	163,4	+ 101	470	+ 551,764	+ 0,784	+ 552,55	+ 552,55	

Tabelle 7a (Fortsetzung)  
Zusammenstellung des Nivellements über das Inlandeis

Punkt	Nivellement I				Nivellement II			
	$\Delta H'$ gemessen	Korr. $v$	$t^{\circ}\text{C}$	$\Delta H =$ $\Delta H' + v + k$	$\Delta H'$ gemessen	Korr. $v$	$t^{\circ}\text{C}$	$\Delta H =$ $\Delta H' + v + k$
	m	mm	mm	m	m	mm	mm	m
1	2	3	4	5	6	7	8	9
T 29				-10,0				-10,0
T 30	+ 19,809	- 24	+ 2	+ 19,787	+ 19,795	- 23	+ 1	+ 19,773
TA 31 - DW	+ 14,816	- 13	+ 1	+ 14,804	+ 14,810	- 14	+ 1	+ 14,797
TA 31	+ 0,704	- 2	0	+ 0,702	+ 0,707	- 1	0	+ 0,706
TA 31 - DE	+ 1,186	0	0	+ 1,186	+ 1,183	0	0	+ 1,183
T 32	+ 20,536	- 31	+ 2	+ 20,507	+ 20,549	- 26	+ 1	+ 20,524
T 33	+ 19,239	- 15	+ 2	+ 19,226	+ 19,272	- 29	+ 1	+ 19,244
T 34	+ 21,844	- 14	+ 2	+ 21,832	+ 21,859	- 40	+ 1	+ 21,820
T 35	+ 23,660	- 13	+ 2	+ 23,649	+ 23,671	- 31	+ 1	+ 23,641
T 36	+ 18,348	- 24	+ 2	+ 18,326	+ 18,353	- 25	+ 1	+ 18,329
T 37	+ 16,928	- 20	+ 1	+ 16,909	+ 16,915	- 19	+ 1	+ 16,897
T 38	+ 18,749	- 12	+ 1	+ 18,738	+ 18,719	- 23	+ 1	+ 18,697
T 39	+ 15,950	- 18	+ 1	+ 15,933	+ 15,938	- 22	+ 1	+ 15,917
T 40	+ 18,999	- 38	+ 2	+ 18,963	+ 18,970	- 27	+ 1	+ 18,944
T 41	+ 13,126	- 30	+ 1	+ 13,097	+ 13,111	- 19	+ 1	+ 13,093
T 42	+ 11,834	- 32	+ 1	+ 11,803	+ 11,849	- 26	+ 1	+ 11,824
Dépôt 275	+ 10,508	- 39	+ 1	+ 10,470	+ 10,481	- 37	0	+ 10,444
T 43								
T 44	- 7,861	- 31	- 1	- 7,893	- 7,879	- 22	0	- 7,901
T 45	- 13,977	- 35	- 1	- 14,013	- 13,980	- 37	- 1	- 14,018
Probe	+ 224,398	- 391	+ 19	+ 224,026	+ 224,323	- 421	+ 12	+ 223,914

Tabelle 7 b (Fortsetzung)  
Ergebnisse des Nivellements über das Inlandeis

Punkt	Fehlerrechnung			Ergebnis				
	Str. $s = 1:p$	$d = \Delta H_I - \Delta H_{II}$	$pdd$	$\Delta H$ Balisenanschlußpkt.	$dH$ Balis.-fußpkt.	$\Delta H$ Balisenfußpunkt	Höhe Balisenfußpunkt	Dat. 1959
	km	mm		m	m	m	m	
1	10	11	12	13	14	15	16	17
T 29					2,998		2925,92	30.6.
T 30	9,3	+ 14	21	+ 19,780		+ 19,44		
TA 31 – DW	5,2	+ 7	9	+ 14,800	3,338		2945,36	1.7.
TA 31	0,5	— 4	32	+ 0,704		+ 14,98	2960,34	1.7.
TA 31 – DE	0,5	+ 3	18	+ 1,184	3,153		2960,95	1.7.
T 32	9,6	— 17	30	+ 20,516		+ 0,61	2962,26	4.7.
T 33	10,1	— 18	32	+ 19,235	3,250		2982,53	4.7.
T 34	10,0	+ 12	14	+ 21,826		+ 1,31		
T 35	10,2	+ 8	6	+ 23,645	3,120		3001,98	6.7.
T 36	9,9	— 3	1	+ 18,328		+ 20,27	3023,72	7.7.
T 37	10,1	+ 12	14	+ 16,903	3,367		3047,44	8.7.
T 38	10,3	+ 41	163	+ 18,718		+ 21,74	3065,69	8.7.
T 39	9,9	+ 16	26	+ 15,925	3,240		3082,54	10.7.
T 40	9,8	+ 19	37	+ 18,954		+ 23,72	3101,28	11.7.
T 41	10,0	+ 4	2	+ 13,095	3,167		3117,31	11.7.
T 42	10,0	— 21	44	+ 11,814	3,245		3136,14	13.7.
Dépôt 275	12,4	+ 26	54	+ 10,457		+ 16,03	3149,26	13.7.
T 43					3,290		3161,14	15.7.
T 44	10,0	+ 8	6	— 7,897		+ 13,12	3171,31	15.7.
T 45	10,1	+ 5	2	— 14,016	3,263		3183,70	19.7.
Probe	157,9	+ 112	511	+ 223,971	3,204		3149,72	19.7.
				— 0,168	3,195			
					3,166		+ 223,80	

Tabelle 7 a (Fortsetzung)  
Zusammenstellung des Nivellements über das Inlandeis

Punkt	Nivellement I				Nivellement II			
	$\Delta H'$ gemessen	Korr. $v$	$t^{\circ}\text{C}$ Lt. Korr.	$\Delta H =$ $\Delta H' + v + k$	$\Delta H'$ gemessen	Korr. $v$	$t^{\circ}\text{C}$ Lt. Korr.	$\Delta H =$ $\Delta H' + v + k$
	m	mm	mm	m	m	mm	mm	m
1	2	3	4	5	6	7	8	9
T 45			— 1,4				— 1,4	
T 46	— 22,549	— 62	— 2	— 22,613	— 22,558	— 41	— 1	— 22,600
T 47	— 27,629	— 30	— 2	— 27,661	— 27,603	— 37	— 1	— 27,641
T 48	— 27,654	— 34	— 2	— 27,690	— 27,699	— 35	— 1	— 27,735
T 49	— 38,605	— 31	— 3	— 38,639	— 38,597	— 42	— 2	— 38,641
T 50	— 45,106	— 48	— 4	— 45,158	— 45,110	— 58	— 2	— 45,170
T 51	— 46,567	— 43	— 4	— 46,614	— 46,578	— 48	— 2	— 46,628
T 52	— 43,840	— 67	— 4	— 43,911	— 43,870	— 39	— 3	— 43,912
TA 53 - DW	— 32,304	— 62	— 3	— 32,369	— 32,303	— 57	— 2	— 32,362
TA 53	— 1,108	+ 1	0	— 1,107	— 1,097	— 7	0	— 1,104
TA 53 - DE	— 1,113	— 2	0	— 1,115	— 1,116	0	0	— 1,116
TA 53 - DS								
TA 53	— 0,915	— 1	0	— 0,916	— 0,913	0	— 5,0	— 0,913
TA 53 - DN	— 1,636	— 1	0	— 1,637	— 1,633	— 1	— 5,0	— 1,634
Probe	— 289,026	— 380	— 24	— 289,430	— 289,077	— 365	— 14	— 289,456

Tabelle 7 b (Fortsetzung)  
Ergebnisse des Nivellements über das Inlandeis

Punkt	Fehlerrechnung			Ergebnis			
	Str. $s = 1:p$	$d =$ $\Delta H_I - \Delta H_{II}$	$pdd$	$\Delta H$ Balisenan- schlußpkt.	$dH$ Balisen- fußpkt.	$\Delta H$ Balisen- fußpunkt	Höhe Balisen- fußpunkt
	km	mm		m	m	m	Dat. 1959
1	10	11	12	13	14	15	16
							17
T 45					3,166		3149,72
T 46	15,1	— 13	11	— 22,606	3,265	— 22,71	3127,01
T 47	15,1	— 20	26	— 27,651	3,140	— 27,52	3099,49
T 48	15,0	+ 45	135	— 27,712	3,145	— 27,72	3071,77
T 49	17,5	+ 2	0	— 38,640	3,252	— 38,75	3033,02
T 50	17,4	+ 12	8	— 45,164	3,218	— 45,13	2987,89
T 51	15,0	+ 14	13	— 46,621	3,257	— 46,66	2941,23
T 52	15,6	+ 1	0	— 43,912	3,140	— 43,79	2897,44
TA 53 - DW	9,5	— 7	5	— 32,366	3,539	— 32,77	2864,67
TA 53	0,5	— 3	18	— 1,106	3,207	— 0,77	2863,90
TA 53 - DE	0,5	+ 1	2	— 1,116	3,412	— 1,32	2862,58
TA 53 - DS					3,127		2864,89
TA 53	0,5	— 3	18	— 0,914	3,207	— 0,99	2863,90
TA 53 - DN	0,5	— 3	18	— 1,636	3,315	— 1,74	2862,16
Probe	122,2	+ 26	254	— 289,444	— 0,434	— 289,87	— 289,87

Tabelle 8 a

**Zusammenstellung des Nivellements über das Inlandeis  
Wiederholungsmessung**

Punkt	Nivellement I				Nivellement II			
	$\Delta H'$ gemessen	Korr. $v$	t°C	$\Delta H =$ $\Delta H' + v + k$	$\Delta H'$ gemessen	Korr. $v$	t°C	$\Delta H =$ $\Delta H' + v + k$
	m	mm	mm	m	m	mm	mm	m
1	2	3	4	5	6	7	8	9
TA 53 - DN								
TA 53	+ 1,722	0	- 10,0 0	+ 1,722	+ 1,717	- 1	- 10,0 0	+ 1,716
TA 53 - DS	+ 1,058	0	- 10,0 0	+ 1,058	+ 1,062	- 1	- 10,0 0	+ 1,061
TA 53 - DE								
TA 53	+ 1,151	+ 1	- 9,8 0	+ 1,152	+ 1,155	- 1	- 9,8 0	+ 1,154
TA 53 - DW	+ 1,110	0	- 9,7 0	+ 1,110	+ 1,110	0	- 9,7 0	+ 1,110
T 52	+ 32,522	- 21	- 11,0 - 3	+ 32,498	+ 32,521	- 20	- 11,0 - 1	+ 32,500
T 32								
TA 31 - DE	- 20,504	- 10	- 12,8 - 2	- 20,516	- 20,488	- 16	- 12,8 - 1	- 20,505
TA 31	- 1,200	- 2	- 12,5 0	- 1,202	- 1,201	0	- 12,5 0	- 1,201
TA 31 - DW	- 0,791	- 1	- 15,6 0	- 0,792	- 0,790	- 3	- 15,6 0	- 0,793
T 30	- 14,807	- 6	- 19,3 - 1	- 14,814	- 14,808	- 15	- 19,3 0	- 14,823
TA 15 - DE								
TA 15	- 3,873	0	- 20,0 0	- 3,873	- 3,877	- 1	- 20,0 0	- 3,878
TA 15 - DW	- 4,327	- 1	- 20,0 0	- 4,328	- 4,330	- 1	- 20,0 0	- 4,331
Probe	- 7,939	- 40	- 6	- 7,985	- 7,929	- 59	- 2	- 7,990

Tabelle 8 b

**Ergebnisse des Nivellements über das Inlandeis  
Wiederholungsmessung**

Punkt	Fehlerrechnung			Ergebnis				
	Str. $s = 1:p$	$d = \Delta H_I - \Delta H_{II}$	$pdd$	$\Delta H$ Balisenanschlußpkt.	$dH$ Balis.-fußpkt.	$\Delta H$ Balisenfußpunkt	Höhe Balisenfußpunkt	Dat. 1959
	km	mm		m	m	m	m	
1	10	11	12	13	14	15	16	17
TA 53 - DN					3,229			3.8.
TA 53	0,5	+ 6	72	+ 1,719	3,207	+ 1,74		3.8.
TA 53 - DS	0,5	- 3	18	+ 1,060	3,267	+ 1,00		3.8.
TA 53 - DE					3,374			3.8.
TA 53	0,5	- 2	8	+ 1,153	3,207	+ 1,32		3.8.
TA 53 - DW	0,5	0	0	+ 1,110	3,539	+ 0,78		2.8.
T 52	9,5	- 2	0	+ 32,499	3,254	+ 32,78		2.8.
T 32					3,584			11.8.
TA 31 - DE	9,6	- 11	13	- 20,510	3,315	- 20,24		11.8.
TA 31	0,5	- 1	2	- 1,202	3,425	- 1,31		10.8.
TA 31 - DW	0,5	+ 1	2	- 0,792	3,235	- 0,60		10.8.
T 30	5,2	+ 9	16	- 14,818	3,371	- 14,95		10.8.
TA 15 - DE					3,193			14.8.
TA 15	0,5	+ 5	50	- 3,876	3,732	- 4,42		14.8.
TA 15 - DW	0,6	+ 3	15	- 4,330	3,370	- 3,97		14.8.
Probe	28,4	+ 5	196	- 7,987	+ 0,118	- 7,87		

Tabelle 9

**Gegenüberstellung der 1. Messung und 2. Messung  
(Wiederholungsmessung)**

(Die Höhenunterschiede beziehen sich auf die Balisenfußpunkte)

Punkt	1. Messung		2. Messung		Str. s	$\Delta H_I - \Delta H_{II}$	Zeit- diff.
	Datum 1959	$\Delta H$ m	Datum 1959	$\Delta H$ m			
TA 15-DW .....	17.6.		14.8.				
TA 15 .....	17.6.	+ 3,967	14.8.	+ 3,968	0,6	- 1	58
TA 15-DE .....	17.6.	+ 4,409	14.8.	+ 4,415	0,5	- 6	58
T 30 .....	1.7.		10.8.				
TA 31-DW .....	1.7.	+ 14,985	10.8.	+ 14,954	5,2	+ 31	40
TA 31 .....	1.7.	+ 0,607	10.8.	+ 0,602	0,5	+ 5	40
TA 31-DE .....	4.7.	+ 1,314	11.8.	+ 1,312	0,5	+ 2	39
TA 32 .....	4.7.	+ 20,269	11.8.	+ 20,241	9,6	+ 28	38
T 52 .....	27.7.		2.8.				
TA 53-DW .....	28.7.	- 32,765	2.8.	- 32,784	9,5	+ 19	6
TA 53 .....	29.7.	- 0,774	3.8.	- 0,778	0,5	+ 4	6
TA 53-DE .....	29.7.	- 1,321	3.8.	- 1,320	0,5	- 1	5
TA 53-DS .....	29.7.		3.8.				
TA 53 .....	29.7.	- 0,994	3.8.	- 1,000	0,5	+ 6	5
TA 53-DN .....	29.7.	- 1,743	3.8.	- 1,741	0,5	- 2	5

Tabelle 10

**Höhenverzeichnis der geophysikalischen Punkte (GP)**

Die Höhen beziehen sich auf die *Spitzen* der von der Arbeitsgruppe Geophysik gesteckten Bambusstäbe. Die Bambusstäbe standen etwa 1,0 – 1,5 m über der Schneoberfläche. Die Abstände Spitze – Schneoberfläche wurden von der Arbeitsgruppe Geophysik bei ihren Messungen bestimmt.

Punkt	Lage		Höhe m	Datum
	bei km	zwischen den Balisen		
GP 1	162,4	T 16 – T 17	2510,5	18.6.1959
GP 2	173,6	T 17 – T 18	2555,5	19.6.1959
GP 3	184,7	T 18 – T 19	2599,7	20.6.1959
GP 4	195,8	T 19 – T 20	2678,8	21.6.1959
GP 5	207,1	T 20 – T 21	2681,2	23.6.1959
GP 6	218,7	T 21 – T 22	2712,4	24.6.1959
GP 7	229,8	T 22 – T 23	2751,7	25.6.1959
GP 8	241,1	T 23 – T 24	2786,8	26.6.1959
GP 9	252,2	T 24 – T 25	2819,0	26.6.1959
GP 10	263,2	T 26 – T 27	2848,9	27.6.1959
GP 11	274,5	T 27 – T 28	2877,6	29.6.1959
GP 12	285,5	T 28 – T 29	2911,9	30.6.1959
GP 13	296,7	T 29 – T 30	2934,4	1.7.1959
GP 14	321,7	T 32 – T 33	2993,2	5.7.1959
GP 15	332,9	T 33 – T 34	3016,6	6.7.1959
GP 16	344,0	T 34 – T 35	3034,3	7.7.1959
GP 17	355,0	T 35 – T 36	3058,7	8.7.1959
GP 18	366,3	T 36 – T 37	3081,5	10.7.1959
GP 19	377,4	T 37 – T 38	3101,6	11.7.1959
GP 20	388,5	T 38 – T 39	3120,5	11.7.1959
GP 21	399,8	T 40 – T 41	3141,8	14.7.1959
GP 22	410,8	T 41 – T 42	3155,4	15.7.1959
GP 23	422,0	T 42 – T 43	3168,2	15.7.1959
GP 24	431,5	T 42 – T 43	3176,0	18.7.1959
GP 25	442,7	T 44 – T 45	3166,7	19.7.1959
GP 26	453,8	T 45 – T 46	3151,4	19.7.1959
GP 27	465,0	T 45 – T 46	3134,6	20.7.1959
GP 28	476,0	T 46 – T 47	3117,5	21.7.1959
GP 29	487,2	T 47 – T 48	3093,3	22.7.1959
GP 30	498,3	T 48 – T 49	3073,6	23.7.1959
GP 31	509,5	T 48 – T 49	3044,0	24.7.1959
GP 32	520,6	T 49 – T 50	3020,4	25.7.1959
GP 33	531,8	T 49 – T 50	2992,6	25.7.1959
GP 34	543,3	T 50 – T 51	2952,9	26.7.1959
GP 35	556,0	T 51 – T 52	2913,9	27.7.1959

Tabelle 11  
Verzeichnis der Sonderhöhen

Punkt	$\Delta h$ m	Höhe $H$ m	Bemerkung
Camp VI – E G I G 1.6.1959			
Balise TA O-DW (Fußpunkt)		1662,90	
Barometerstandpunkt »Niv.«	+ 4,09	1666,99	Anschlußpunkt für barometrische Versuchsmessungen im Ablationsgebiet.
Wetterhütte – Boden	+ 1,18	1668,17	
Wetterhütte – Stand des Thermographen. Nr. G 2637 (Fuess)	+ 1,60	1669,77	
Stand des Barographen Nr. C 50640 (Fuess) in Benson-Caravane unter Schneeoberfläche	- 4,13	1665,64	
Milcent 17.6.1959			
Balise TA 15 (Fußpunkt)		2448,47	
Stand des Barographen C 5047 (Fuess) (etwa 60 cm unter Schneeoberfläche)	+ 2,73	2451,20	
Station Centrale 4.7.1959			
Balise TA 31-DE (Fußpunkt)		2962,26	
Wetterhütte – Boden	+ 4,10	2966,36	
Wetterhütte – Stand des Barographen Nr. C 5049 (Fuess), Thermographen Nr. C 2636 (Fuess), der Minimum- und Maximumthermometer	+ 1,50	2967,86	

(Fortsetzung)

Tabelle 11 (fortgesetzt)

Punkt	$\Delta h$ m	Höhe $H$ m	Bemerkung
Station Jarl-Joset 30.7.1959			
Balise TA 53-DW (Fußpunkt)		2864,67	
Meteorologischer Turm: Schraube an der Süd-Ost-Ecke, 1 m über Turmfußpunkt	+ 5,15	2869,82	Turmhöhe über der eingemesen Schraube: + 9,64 m
Iglu-Kamin, Strebe an der Westseite oben	+ 0,06	2869,88	
Iglu-Kamin, runde Plattform unterhalb der Kaminstreben	- 0,29	2869,59	
Barographenstandpunkt im Laiborraum unter Schneeoberfläche	- 2,33	2867,26	
Akkumulationsbalise Dumont 1 (Balisenspitze)	+ 2,49	2869,75	Balisenspitze 0,50 m über Schneeoberfläche

### 3.6. Genauigkeit des Nivellements

Die innere Genauigkeit des Nivellements lässt sich aus den Differenzen  $d$  der unabhängigen Doppelnivellements berechnen. Dieser mittlere Fehler resultiert aus dem nicht mehr erfassbaren Einsinken von Latte und Instrument, instrumentellen Fehlern, Lattenteilungsfehlern, Ablesefehlern, die durch Schätzungsfehler und Beleuchtungseinflüsse hervorgerufen werden, und aus Refraktionseinflüssen.

Ein Maß für die absolute Höhengenauigkeit lässt sich noch nicht finden, da die während der Messung zwischenzeitlich vorhandenen vertikalen Eisbewegungen nicht bekannt sind.

#### 3.6.1. Fußnivelllement

Die Zahlenwerte für die Fehlerrechnung enthalten die Spalten 11–13 der Tabelle 6 b »Ergebnisse des Fußnivelllements durch das Ablationsgebiet«.

Mit den für das Nivellement allgemein geltenden Gewichtsannahmen  $p = 1$  : Strecke  $S$  (km) und den Differenzen  $d = \Delta H_I - \Delta H_{II}$  ergibt sich eine Summe  $[pdd] = 2211$  für  $n = 11$  vergleichbare Höhenunterschiede zwischen den Pegeln. Unter  $\Delta H_I$  und  $\Delta H_{II}$  sind die bereits gemittelten Höhenunterschiede aus den beiden Doppelnivellements I und II zu verstehen.

Als mittlere zufällige Fehler ergeben sich

a) für ein 1 km langes Nivellement

$$m_o = \pm \sqrt{\frac{[pdd]}{2n}} = \pm \sqrt{\frac{2211}{22}} = \pm 10 \text{ mm};$$

b) für ein 1 km langes Doppelnivellement

$$M_o = \pm \frac{m_o}{\sqrt{2}} = \pm \frac{10}{\sqrt{2}} = \pm 7 \text{ mm}.$$

Die Höhenübertragung auf der  $S = 64$  km langen Strecke durch das Ablationsgebiet vom Camp Séismique –EPF bis zum Punkt A 14 erfolgte mit einer inneren Genauigkeit von

$$M_S = \pm M_o \sqrt{S} = \pm 7 \cdot \sqrt{64} = \pm 56 \text{ mm}.$$

Die innere Genauigkeit der Höhenunterschiede zwischen 2 durchschnittlich  $s = 5$  km entfernt gelegenen Ablationspegeln beträgt

$$M_s = \pm M_o \cdot \sqrt{s} = \pm 7 \cdot \sqrt{5} = \pm 16 \text{ mm}.$$

### 3.6.2. Inlandeisnivelllement

In den Spalten 10–12 der Tabelle 7 b »Ergebnisse des Nivellements über das Inlandeis« sind die Zahlenwerte für die Fehlerrechnung zusammengestellt.

Aus den Differenzen  $d = \Delta H_I - \Delta H_{II}$  der  $n = 66$  Höhenunterschiede der Nivellements I und II ergeben sich bei  $[pdd] = 2115$  als mittlere zufällige Fehler

a) für ein 1 km langes Nivellement

$$m_o = \pm \sqrt{\frac{[pdd]}{2n}} = \pm \sqrt{\frac{2115}{132}} = \pm 4 \text{ mm};$$

b) für ein 1 km langes Doppelnivellement

$$M_o = \pm \frac{m_o}{\sqrt{2}} = \pm \frac{4}{\sqrt{2}} = \pm 3 \text{ mm}.$$

Die Höhenübertragung auf der  $S = 603$  km langen Strecke über das Inlandeis vom Camp Séismique – EPF bis zur Station Jarl-Joset erfolgte mit einer inneren Genauigkeit von

$$M_s = \pm M_o \sqrt{S} = \pm 3 \cdot \sqrt{603} = \pm 74 \text{ mm.}$$

Die innere Genauigkeit der Höhenunterschiede zwischen 2 durchschnittlich  $s = 12$  km entfernt gelegenen Balisen beträgt

$$M_s = \pm M_o \cdot \sqrt{s} = \pm 3 \cdot \sqrt{12} = \pm 10 \text{ mm.}$$

Die erzielten inneren Genauigkeiten übertreffen alle Erwartungen und erfüllen bei weitem die Forderungen der Glaziologie und Geophysik.

### 3.7. Das Höhenprofil

Das Ergebnis des Nivellements ist in der Konstruktion eines Höhenprofils vom Punkt A 14 bis Station Jarl-Joset für den Zeitraum vom 11. Mai bis 28. Juli 1959 zusammengefaßt. Für eine exakte Profildarstellung mußten Maßstäbe gewählt werden, die eine genügend genaue Kartierung der einzelnen Beobachtungsstandpunkte nach Lage und Höhe gestatteten. In der Originalkonstruktion liegt das insgesamt 667 km lange Profil mit dem Längenmaßstab 1:25 000 und die Höhen mit 100 facher Überhöhung im Maßstab 1:250 beim *Geodätischen Institut der Technischen Hochschule Karlsruhe* vor. Durch diese Überhöhung zeichnen sich die Oberflächenformen im Profil besonders deutlich ab. Das Profil hat in dieser Darstellung eine Länge von 26,8 m und eine Höhe von 10,6 m. Die Höhen der Balisen sind mit den verbesserten und auf die Schneeoberfläche bezogenen Werten aufgetragen; dagegen sind die Höhen der Einzelpunkte zwischen den Balisen mit den unmittelbar gemessenen Höhenunterschieden ermittelt. Die Verbesserungseinflüsse infolge Änderung von Latten-und InstrumentenhORIZONT sind so gering und betragen für ein ganzes Balisenintervall nur wenige cm, so daß die Grenze der Kartiergenauigkeit im Höhenmaßstab 1:250 praktisch nicht überschritten wird. Die Originalkonstruktion ist durch Reproduktion auf die für den Druck geeigneten Maßstäbe 1:200 000 und 1:2 000 gebracht und in dieser Verkleinerung auf den nachfolgenden Seiten dargestellt (Abb. 13).

Die Längenangaben sind auf den Meereshorizont reduziert und, soweit das Höhenprofil mit dem geodätischen Profil zusammenfällt - von Balise T 301 bis Station Jarl-Joset-, auf die Ergebnisse der Gruppe Lagemessung abgestimmt. Im Gegensatz zum Inlandeisnivelllement, das

geradlinig von Balise zu Balise geführt wurde, verlief das Fußnivellelement durch das Ablationsgebiet auf einer krummlinigen Trasse. Da dieser kurvenreiche Trassenverlauf im Höhenprofil nicht zum Ausdruck kommt, jedoch für die Beurteilung des Profils wichtig erscheint, ist er gesondert in einer ergänzenden Darstellung mit Entfernungsangaben im Maßstab 1 : 200 000 dargestellt (Abb. 12, Trassenverlauf).

Zur Übersicht ist als Anlage das gesamte Höhenprofil in den Maßstäben 1:1 Mill. (Länge) und 1:10 000 (Höhe) beigefügt. Diese Verkleinerung wurde nach den Originalen des Nivellements der Arbeitsgruppe Nivellelement vom *Institut für Angewandte Geodäsie, Frankfurt/Main*, hergestellt und erscheint zugleich in anderen Veröffentlichungen.

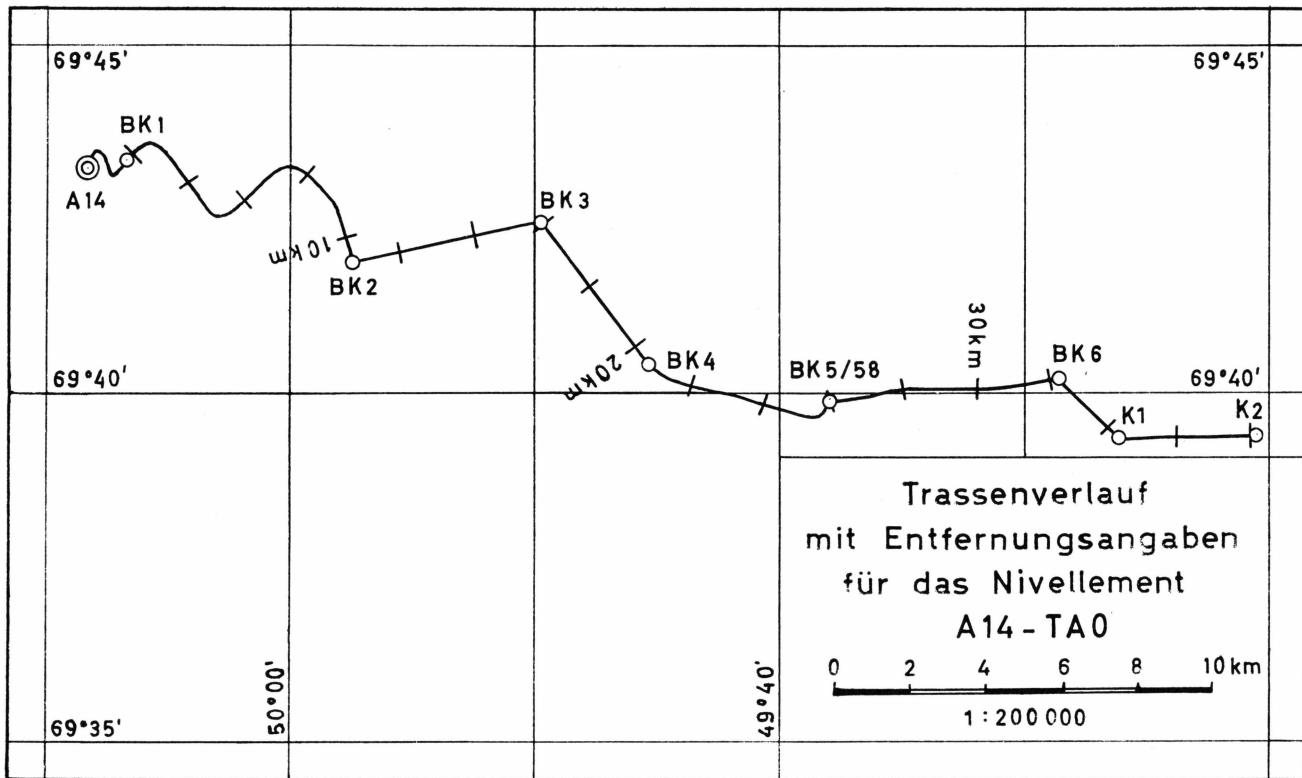


Abbildung 12

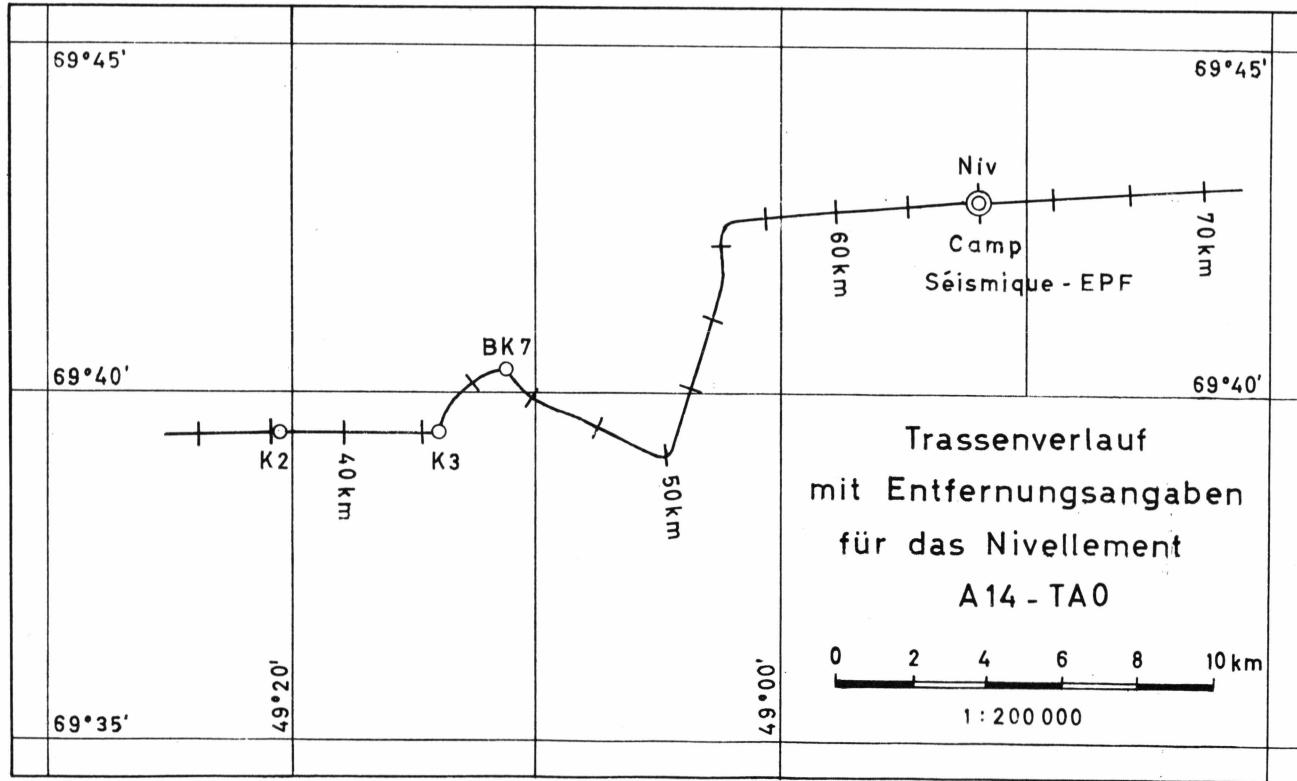


Abbildung 12 (Fortsetzung)

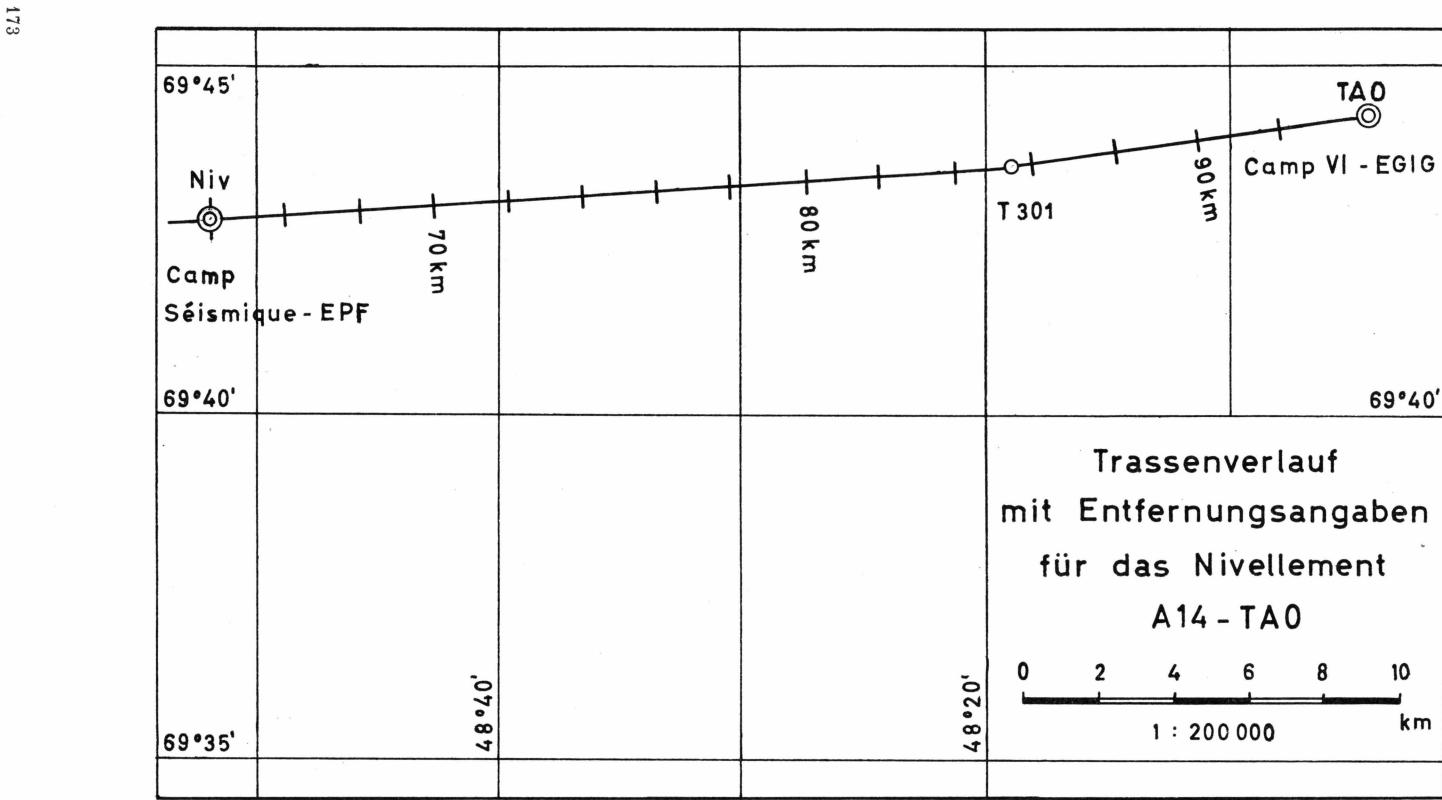


Abbildung 12 (Fortsetzung)

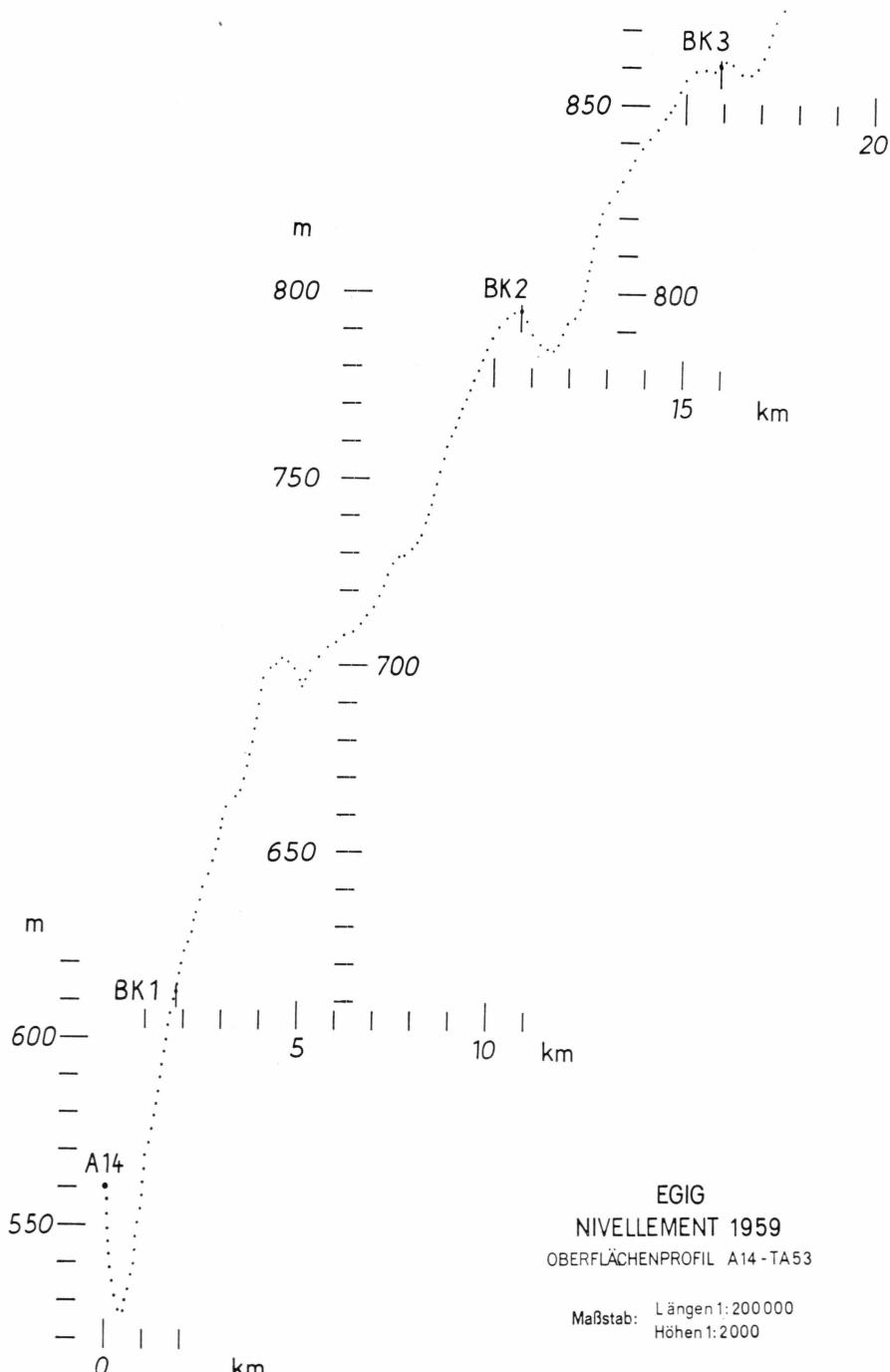
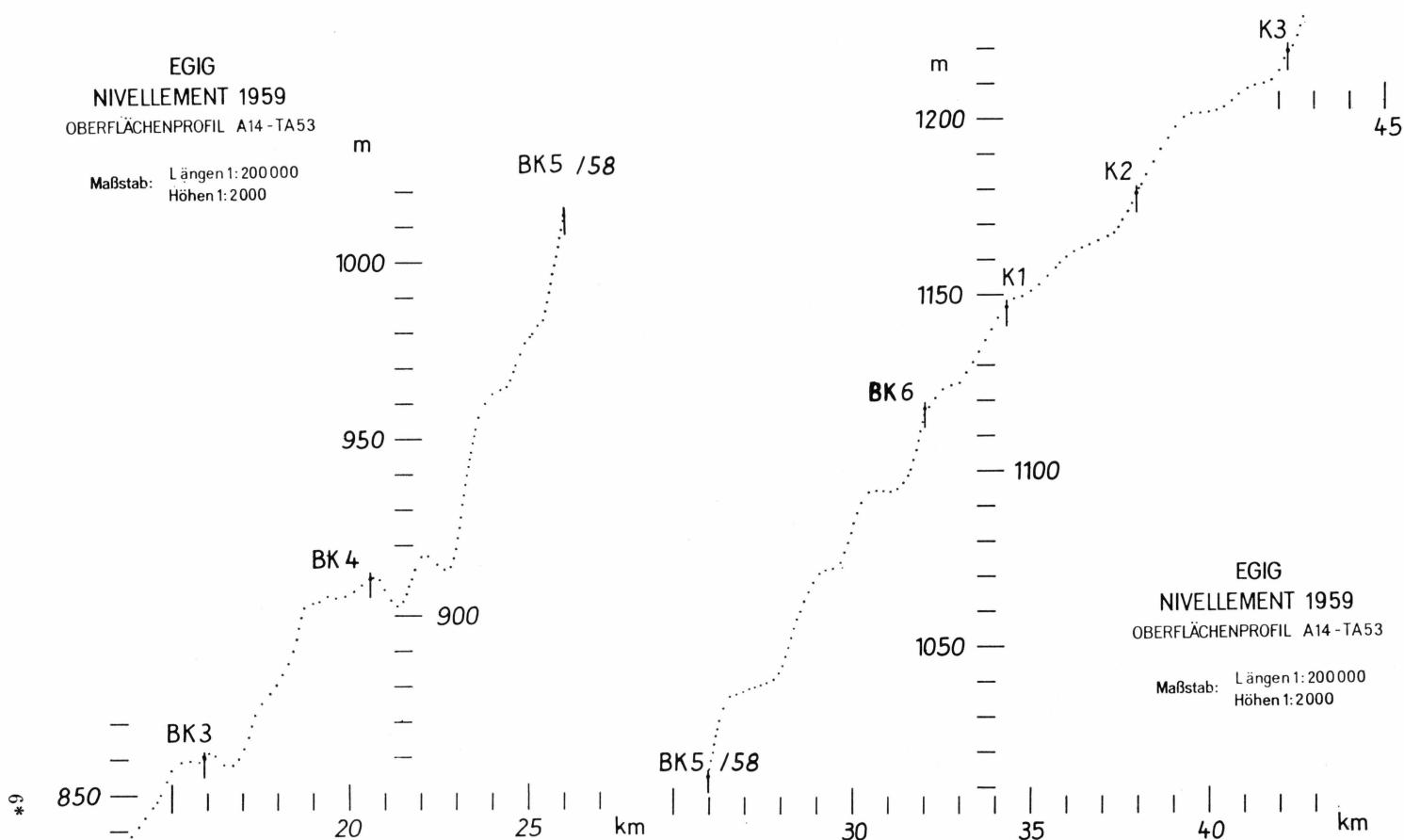
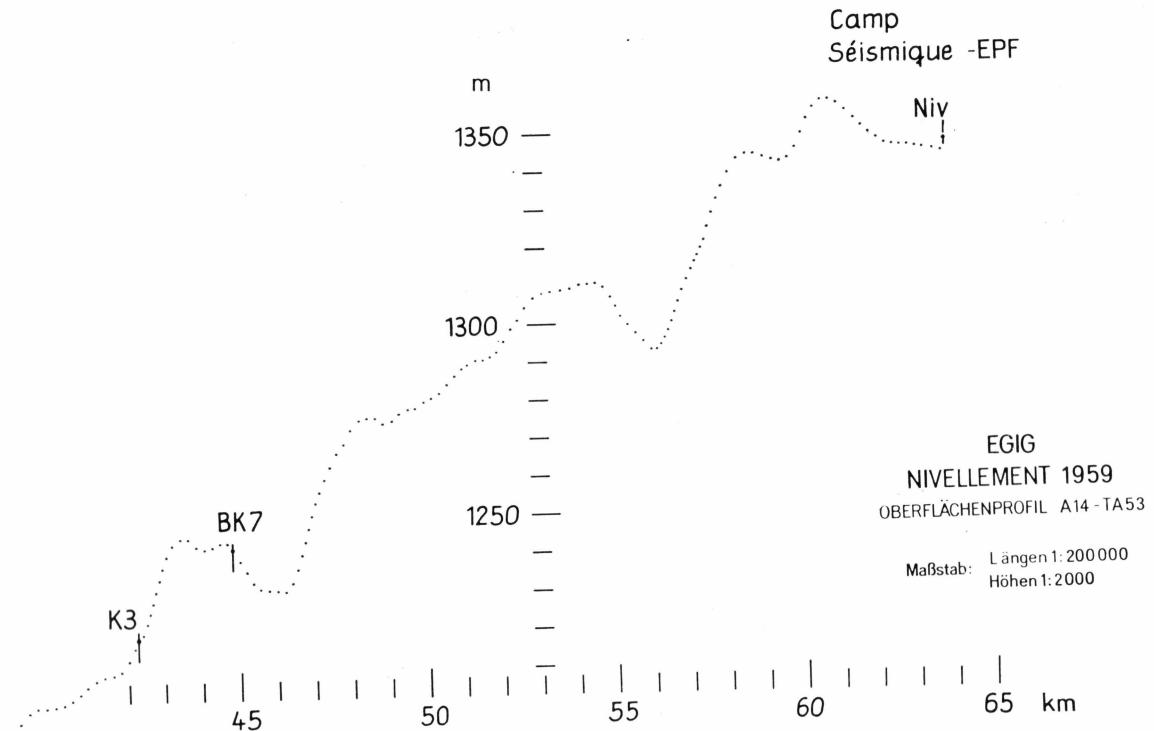
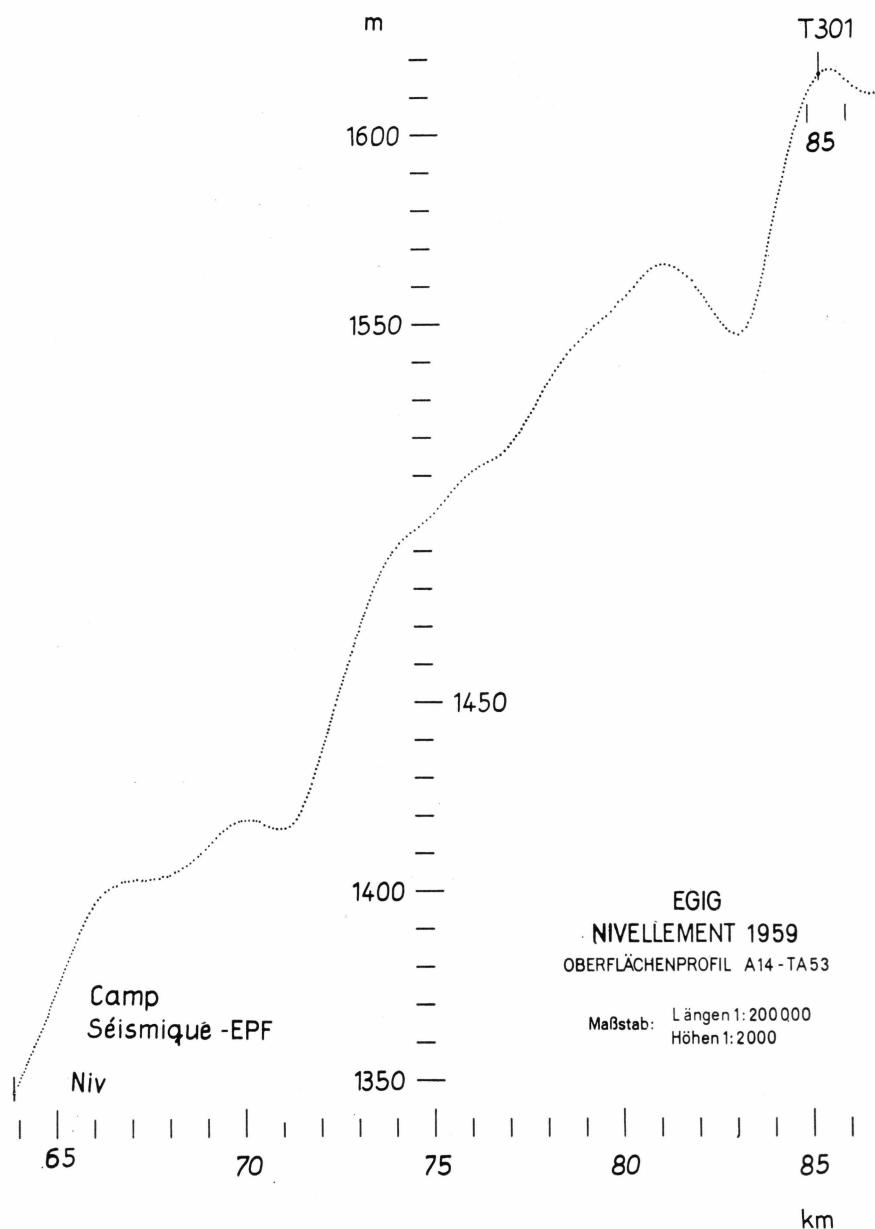
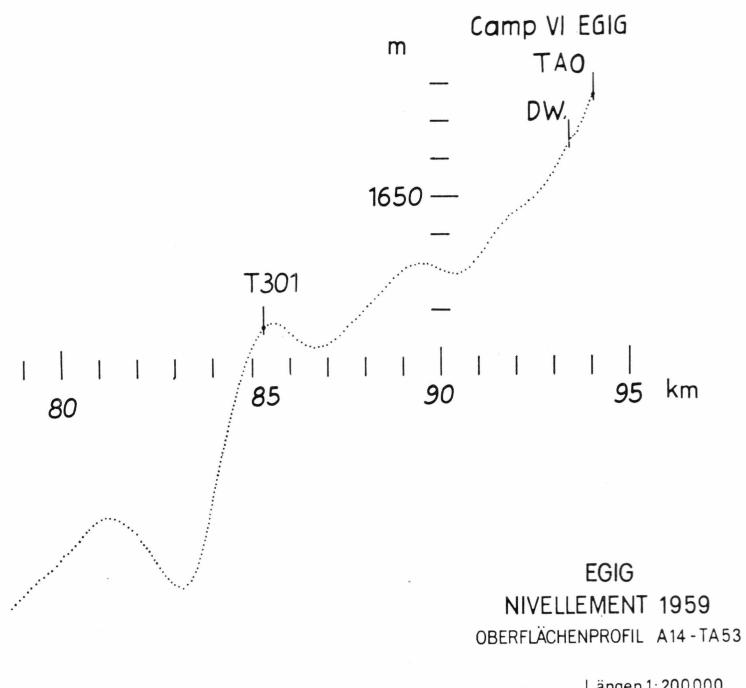


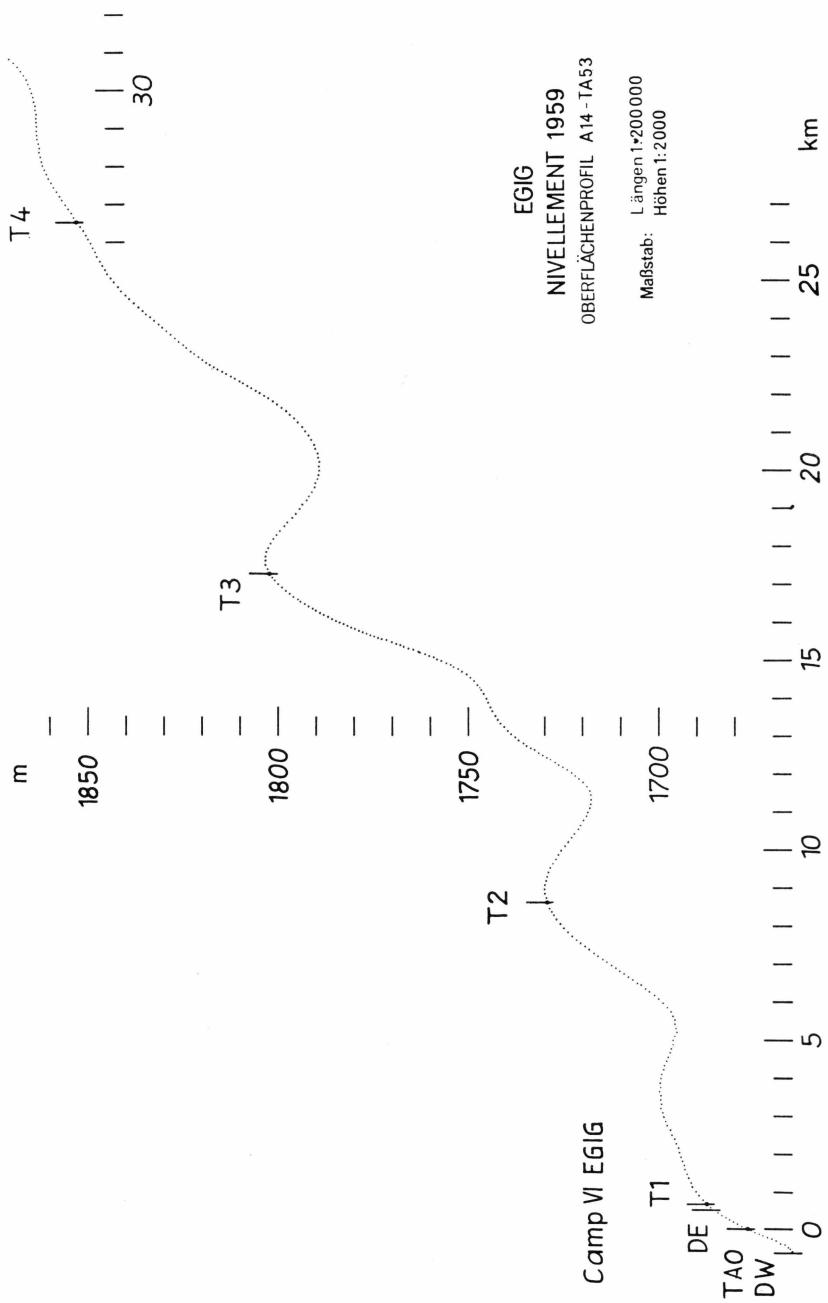
Abbildung 13 (fortgesetzt bis Seite 101)

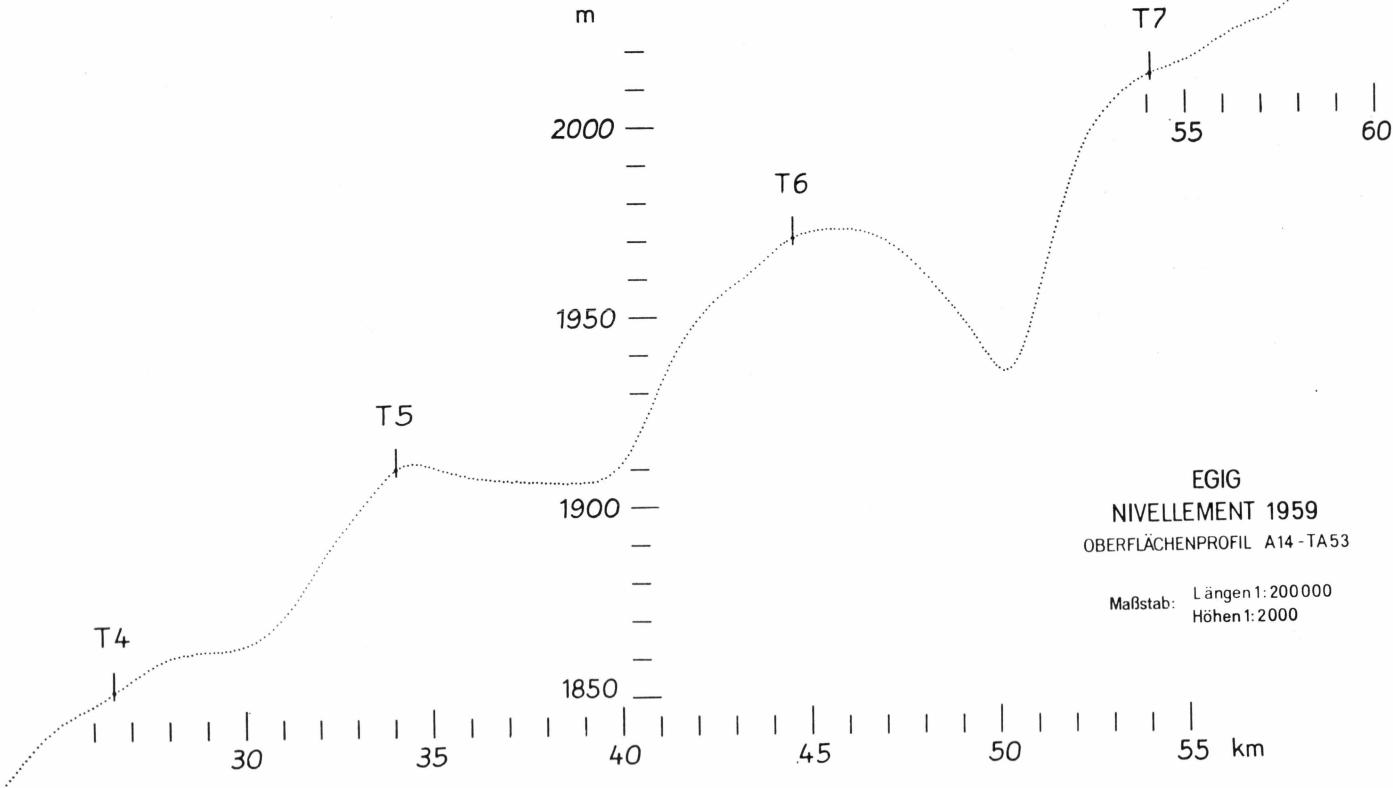


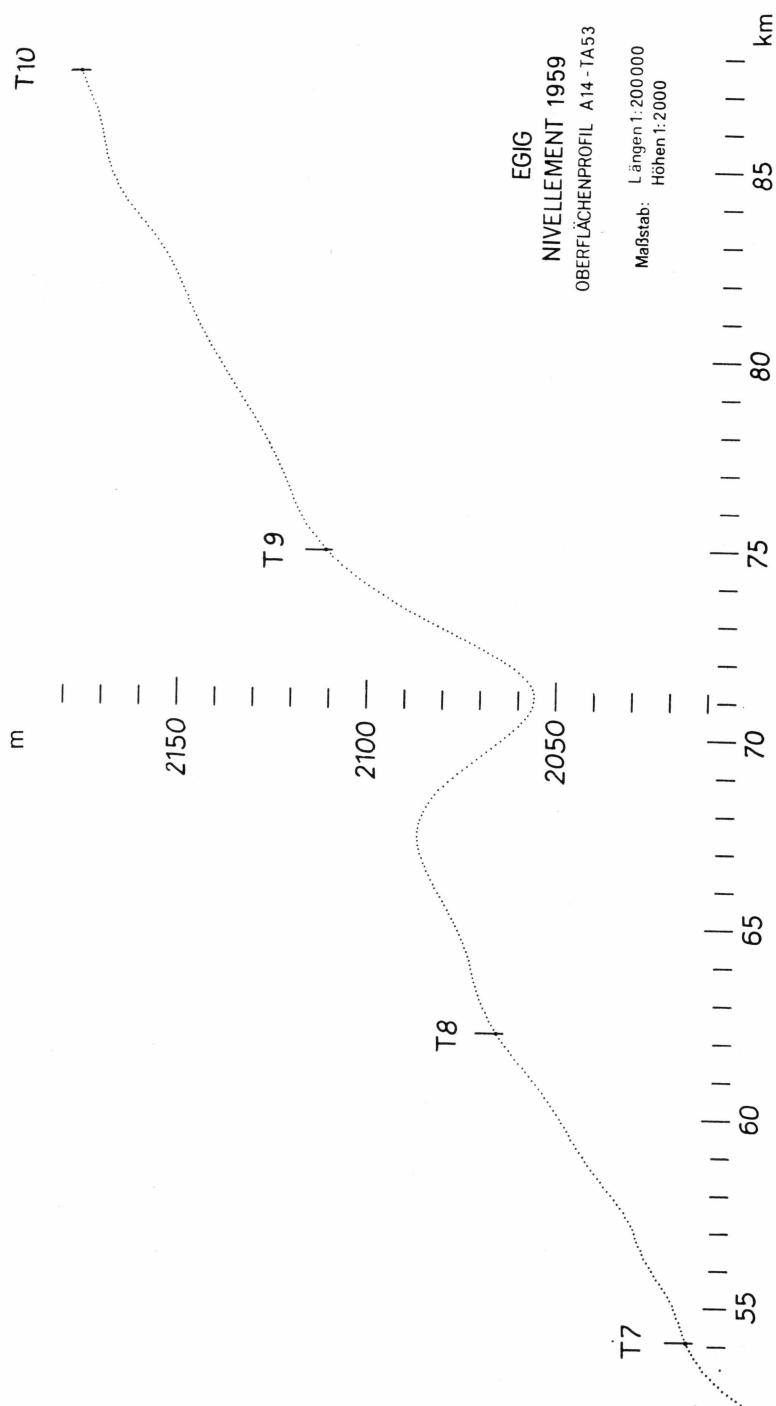


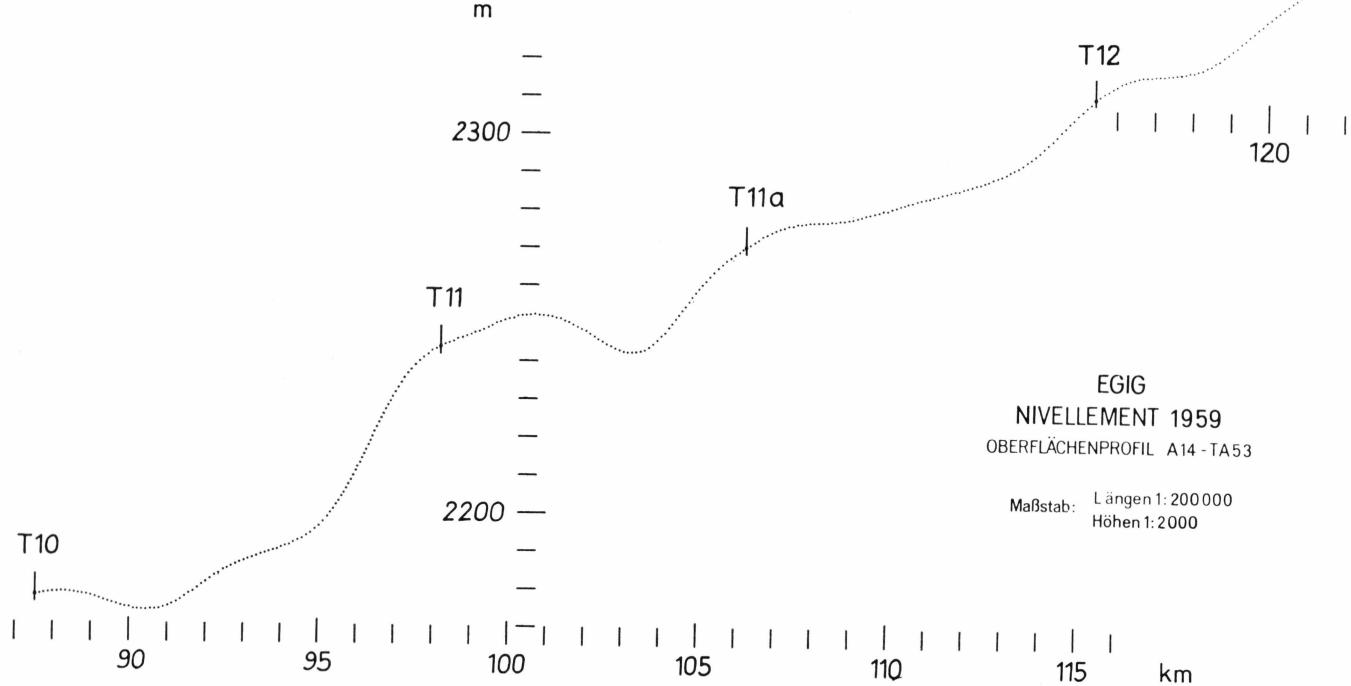


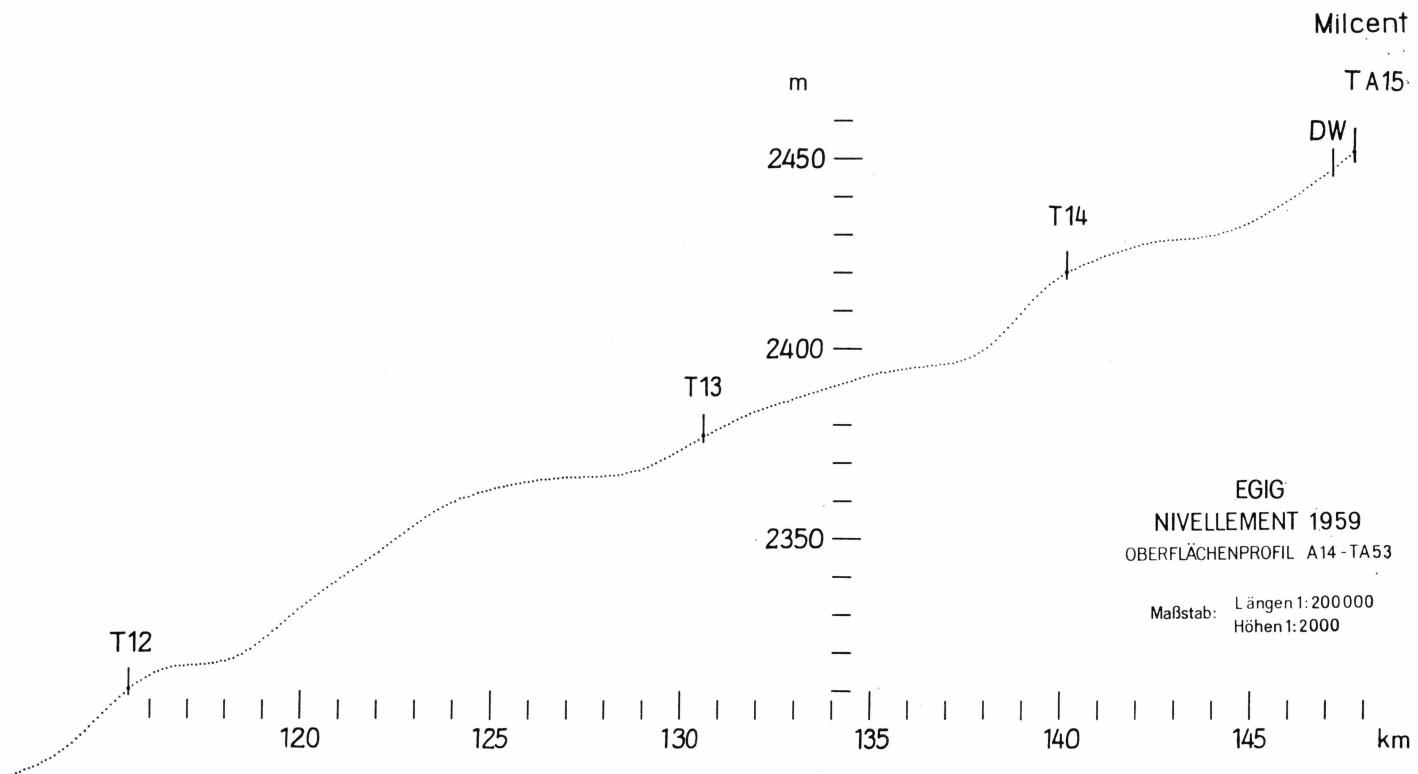


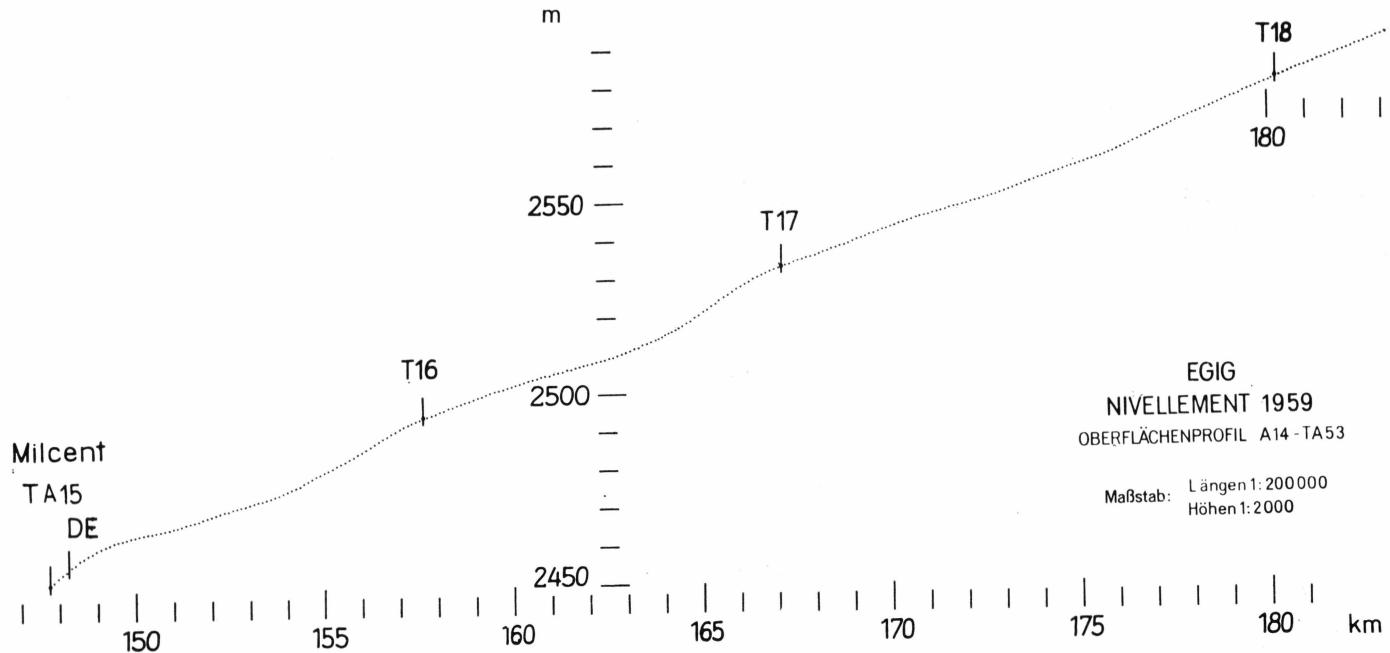




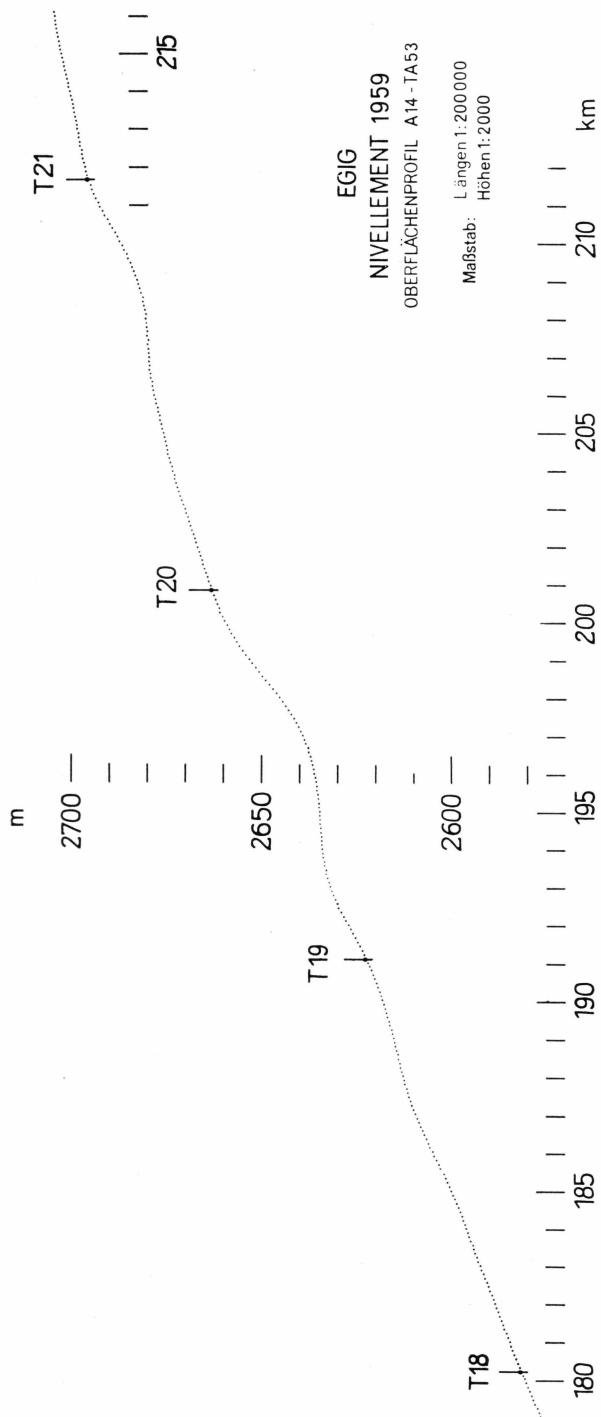


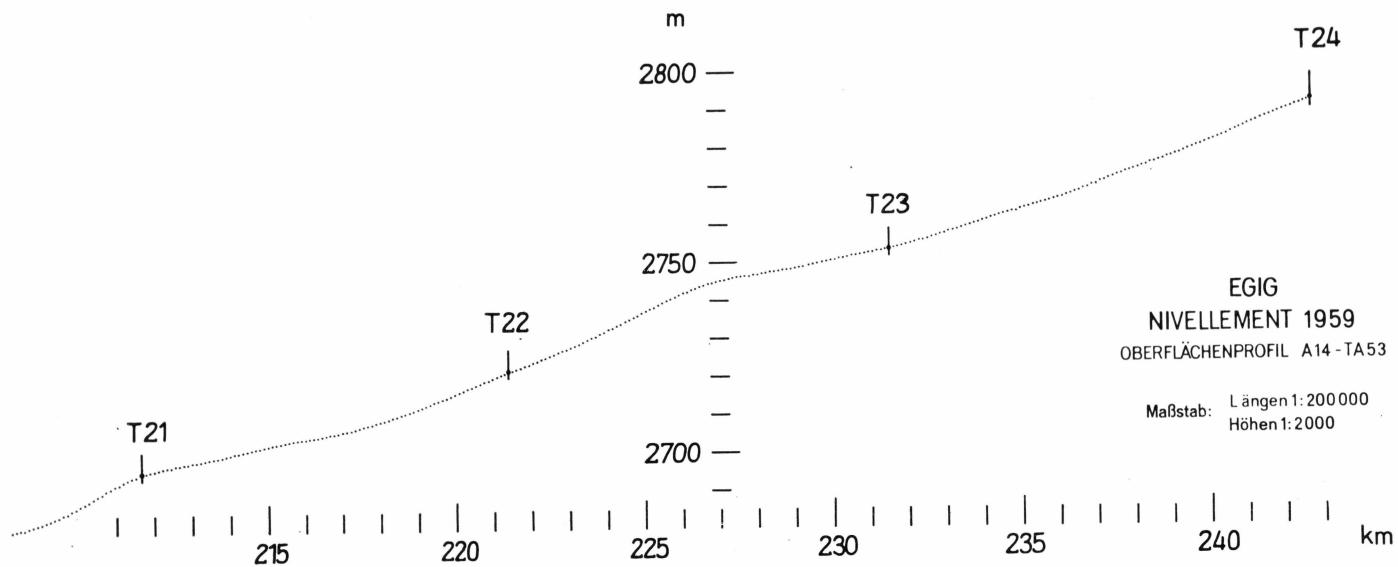


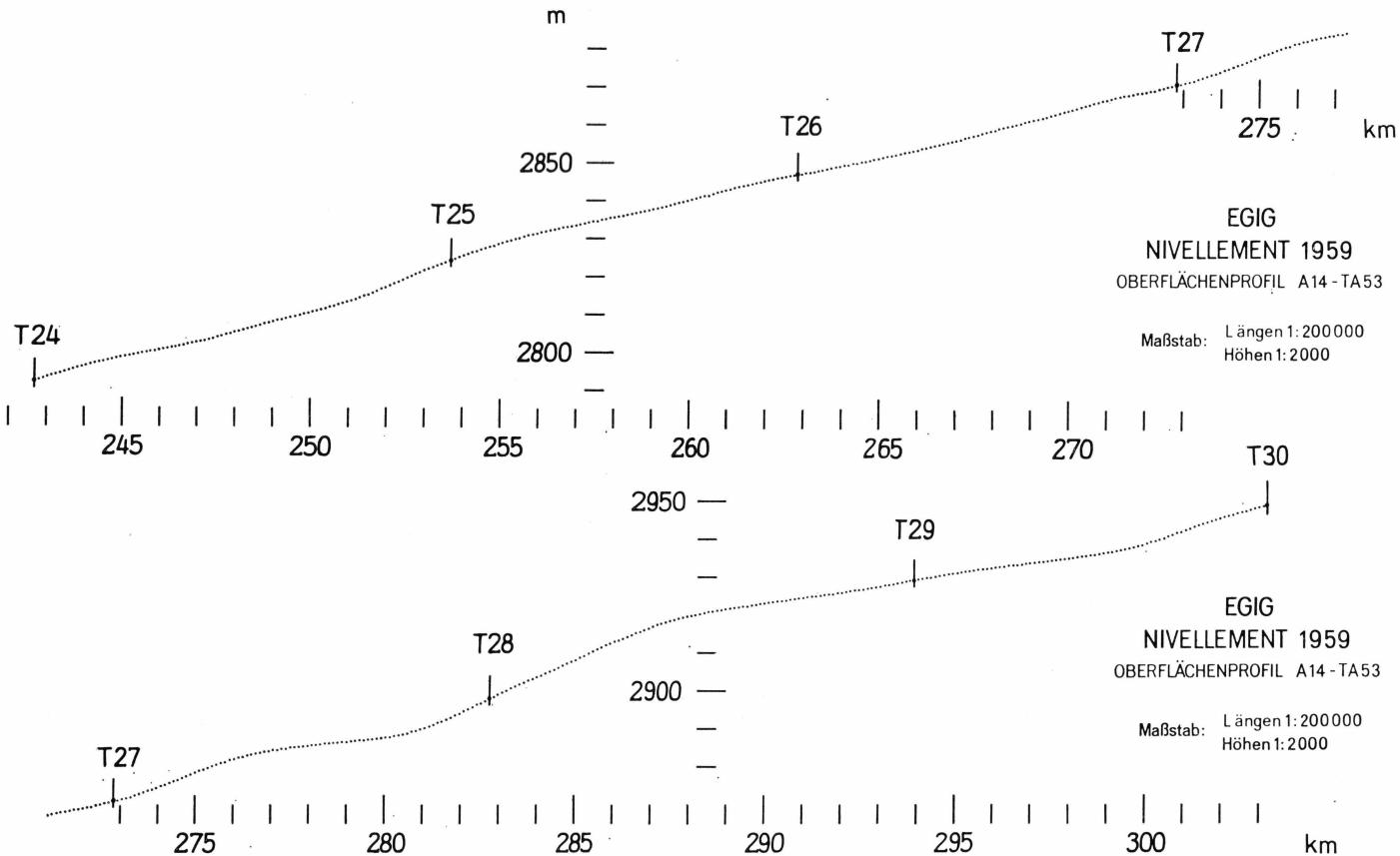


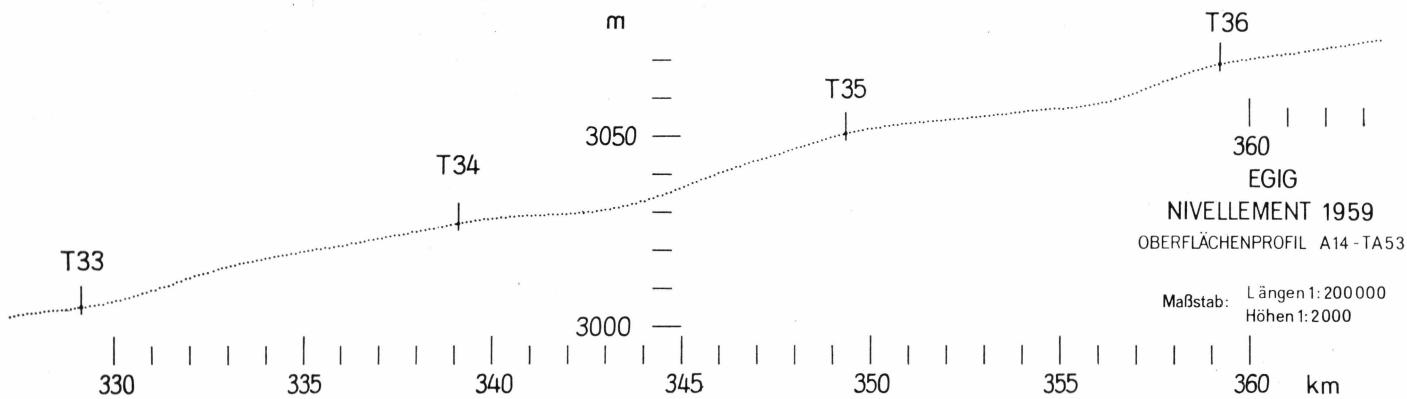
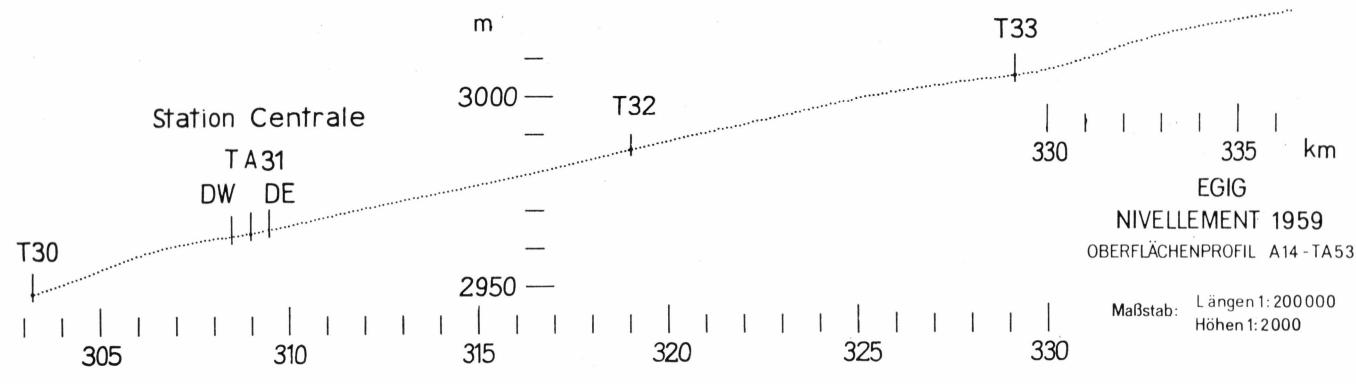


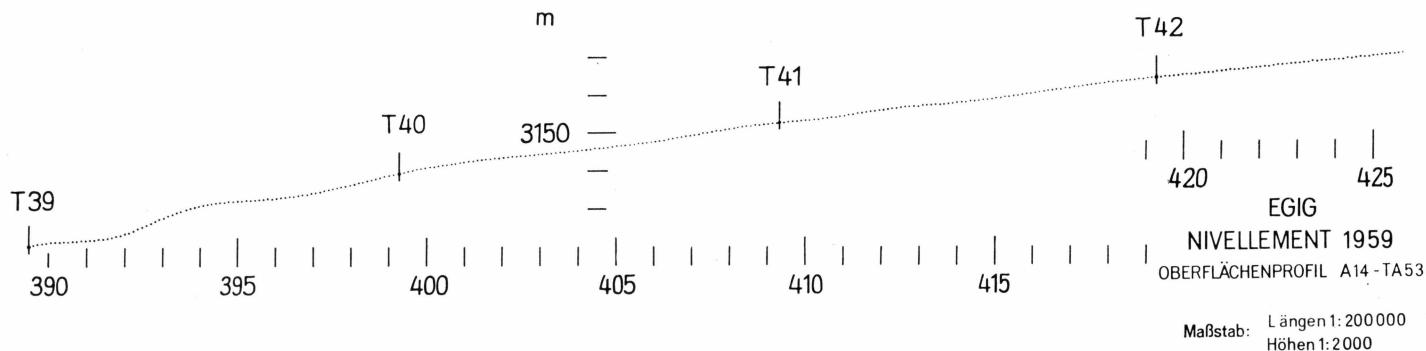
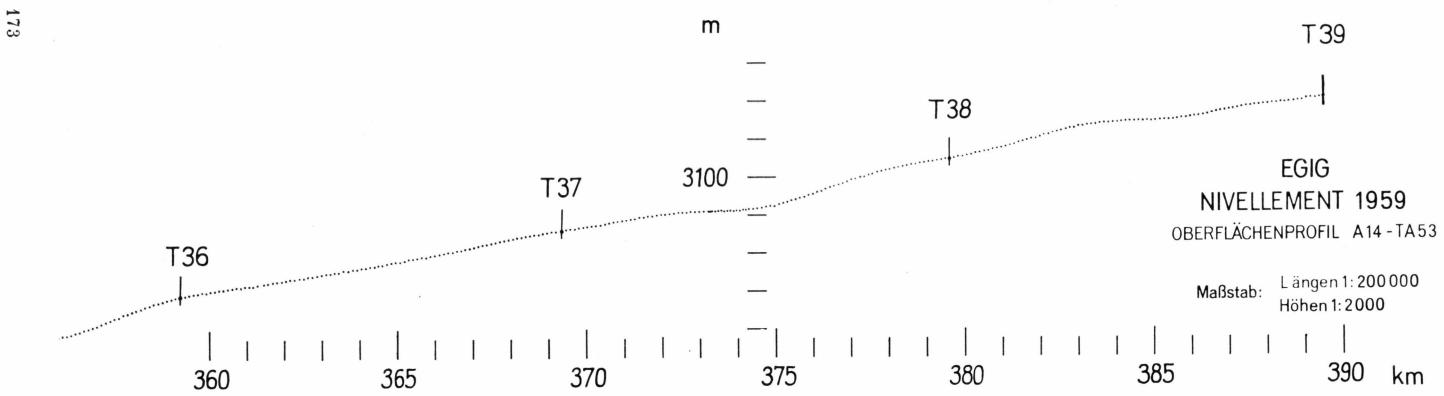
Maßstab: Längen 1:200 000  
Höhen 1:2000

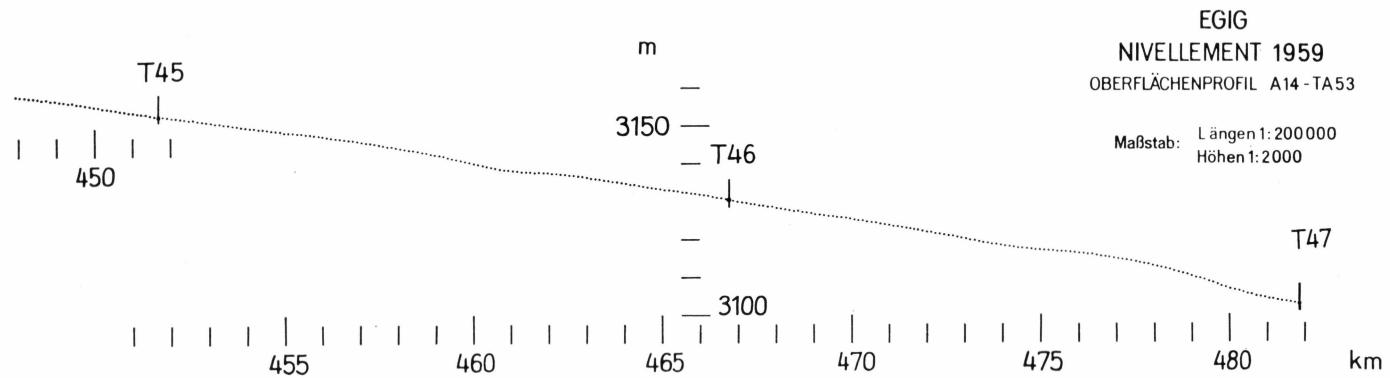
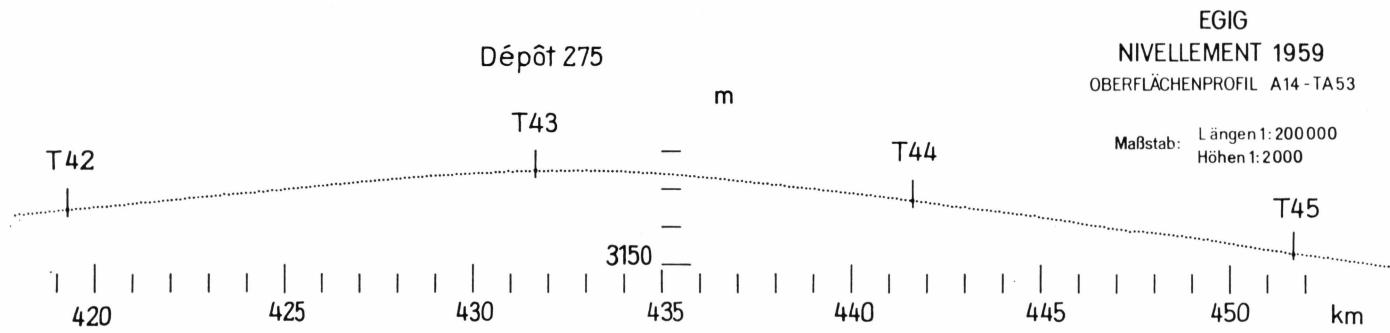


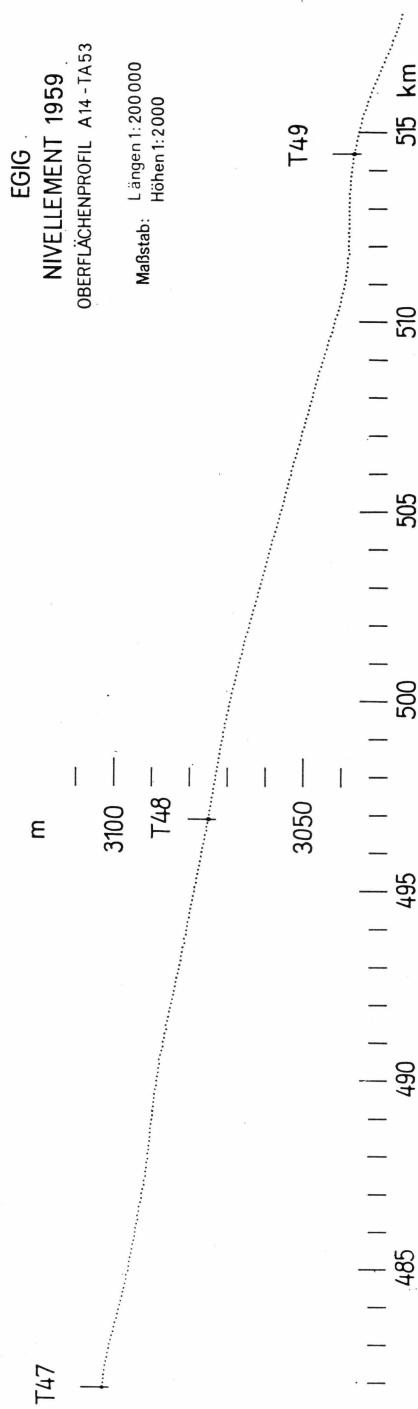






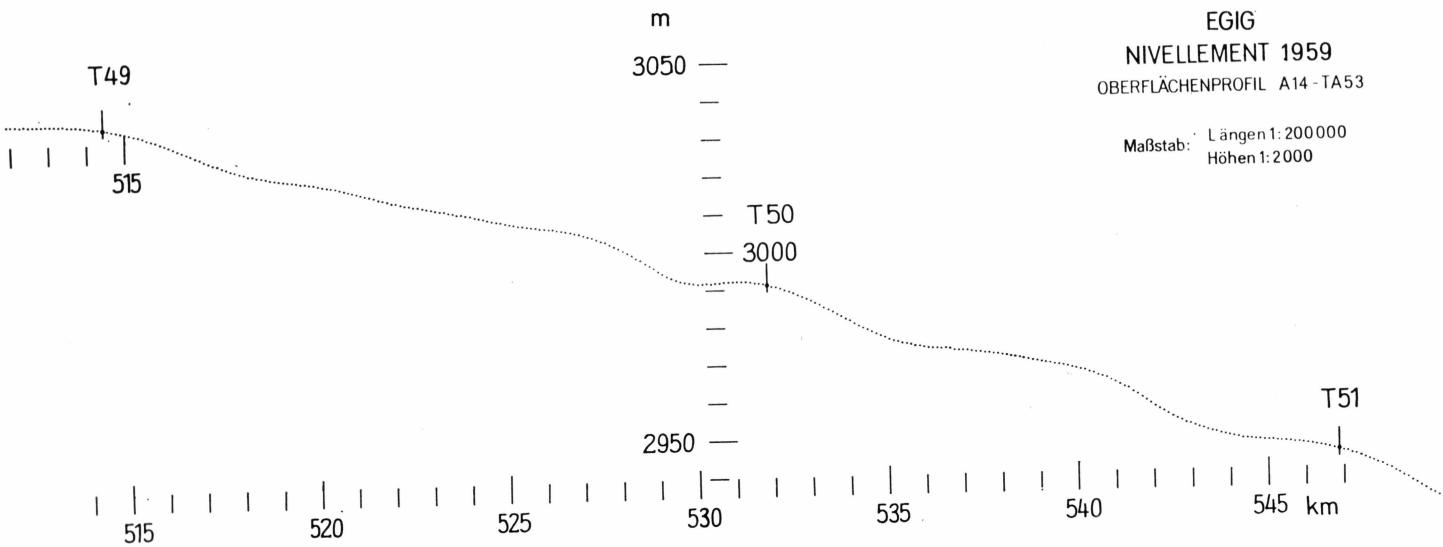


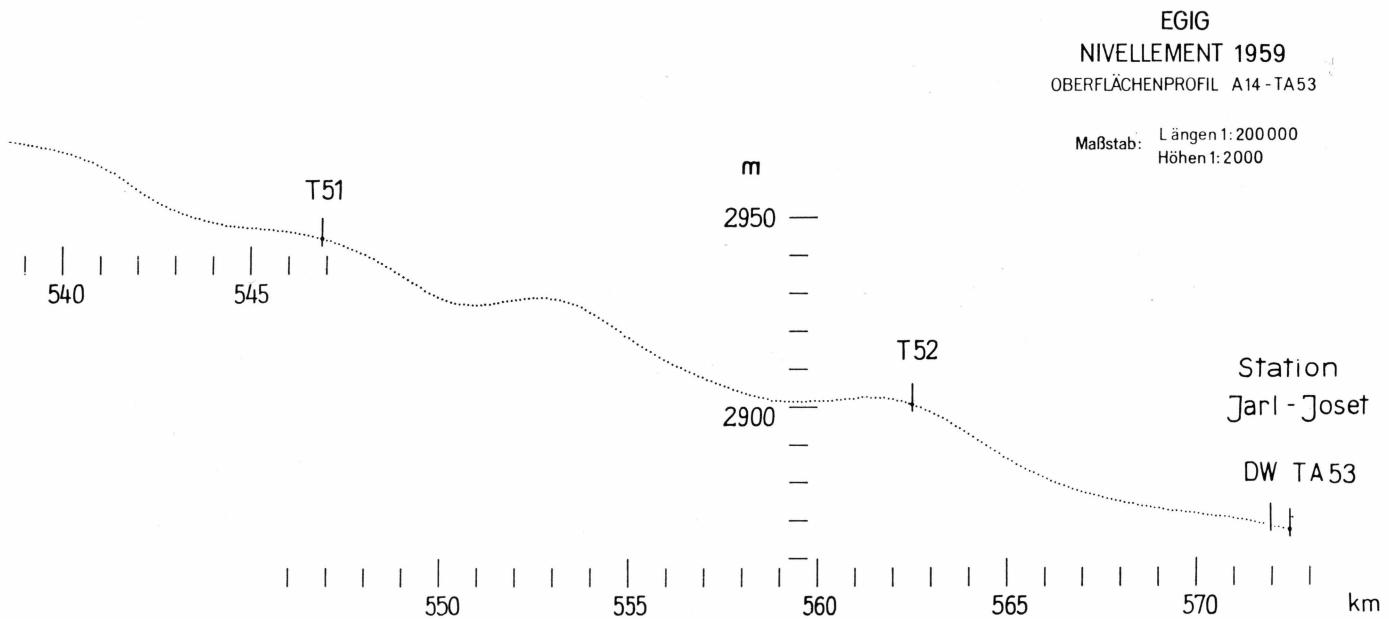




EGIG  
NIVELLEMENT 1959  
OBERFLÄCHENPROFIL A14-TA53

Maßstab: Längen 1:200000  
Höhen 1:2000





## 4. LITERATUR-VERZEICHNIS

- BAUER, A., 1953. Triangulation côtière de la région de l'Egée-Campagne au Groenland 1948. Annales de Géophysique 9,1, S. 44.
- EXPÉDITIONS POLAIRES FRANÇAISES, 1957. Manuel d'Opérations, EGIG, Campagne d'hiver 1959 Hivernage 1959–1960, Paris.
- FINSTERWALDER, R., 1958. Polarforschung und Internationale Glaziologische Grönland-Expedition 1957/1960.  
Sonderdruck 5 aus den Sitzungsberichten der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, math.-naturwiss. Klasse, München.
- HOFMANN, W., 1958. Nivellement-Versuche im Firnfeld des Großen Gurgler Ferners. ZfV, S. 108.
- HÜTTE, 1950. Des Ingénieurs Taschenbuch. 1. Band, 27. Auflage, Berlin, S. 532/917.
- JORDAN/EGGERT/KNEISSL, 1956. Handbuch der Vermessungskunde, Zehnte Ausgabe, Band III, Höhenmessung und Tachymetrie, Stuttgart, S. 188/218.
- LICHTE, H., 1957. Geodätische Messungen auf dem grönlandischen Inlandeis. ZfV, S. 46 und 65.
- TAYLOR, G., 1956. Mesures de températures dans les couches d'air au contact du sol en 1950 à la Station Centrale du Groenland. Annales de Géophysique.
- TSCHAEN, L., 1959. Groenland 1948–1949–1950, Astronomie, Nivellement, Géodésie sur l'Inlandsis. Expéditions Polaires Françaises, Paris.

Anschrift des Verfassers:

Dr.-Ing. HERMANN MÄLZER, Geodätisches Institut der Technischen Hochschule Karlsruhe, Englerstraße 7.

## ANHANG

	Seite
Anschluß an Punkt A 14 (Lage- und Einmessungsskizze) .....	104
Fußnivelllement: Einmessungsskizzen der einnivellierten Ablationspegel .....	105
Weaselnivelllement: Einmessungsskizzen der einnivellierten Balisen.....	106
Bilder .....	114

EGIG Höhenanschluß am Punkt A 14 (560,4 m ü. N.N.)  
1959

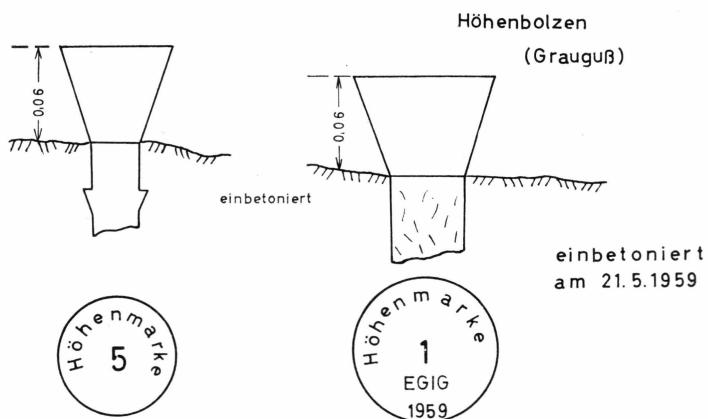
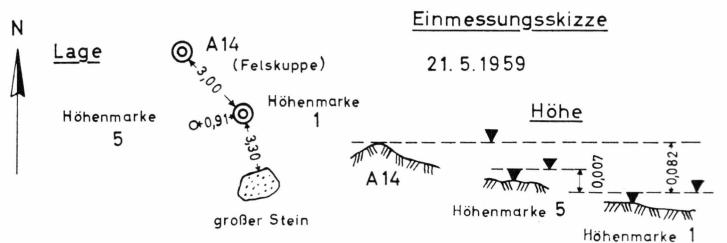
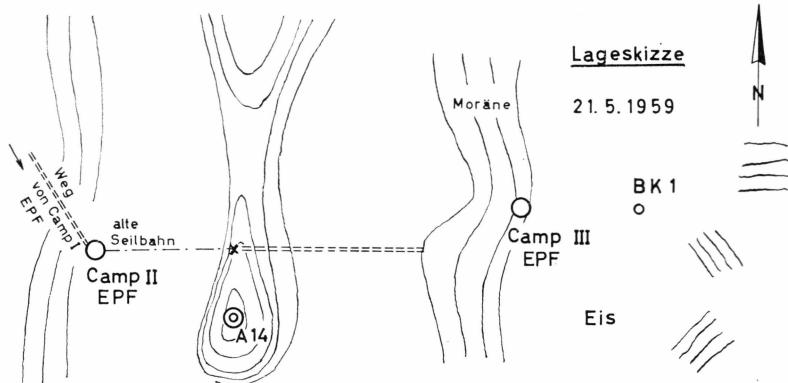


Fig. I.

EGIG 1959

Fußnivelllement

## Punktskizzen

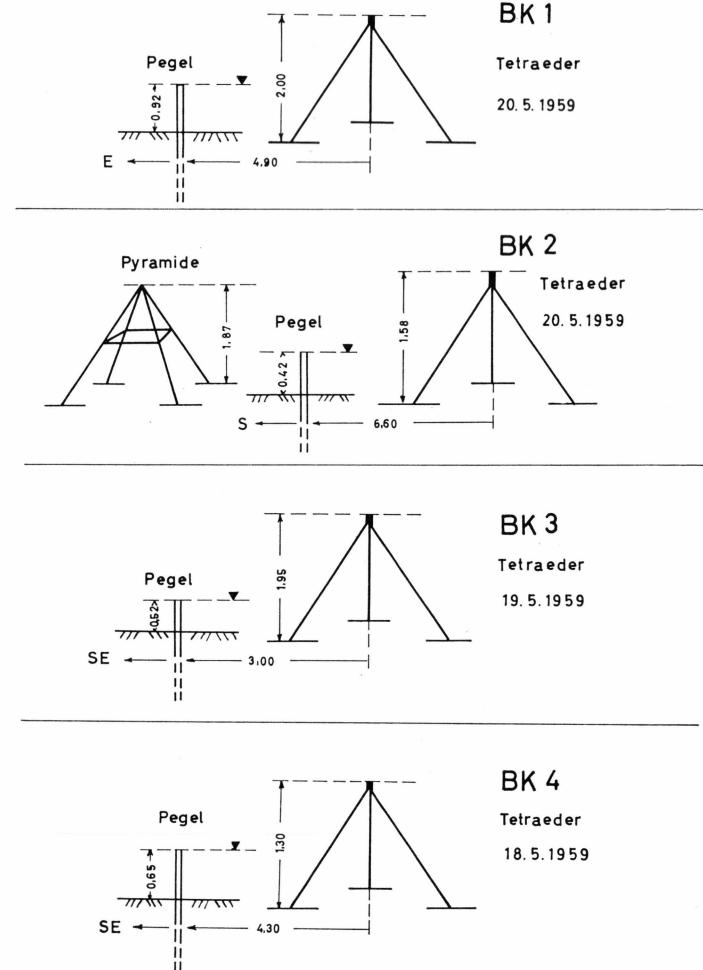


Fig. II.

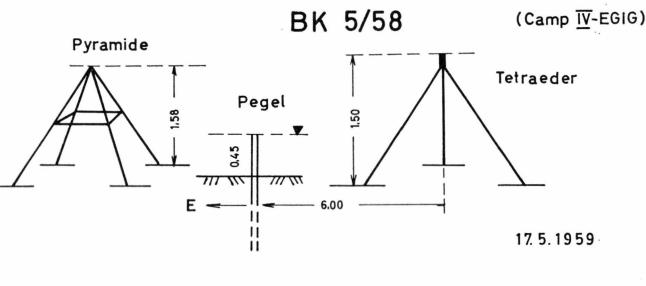


Fig. III.

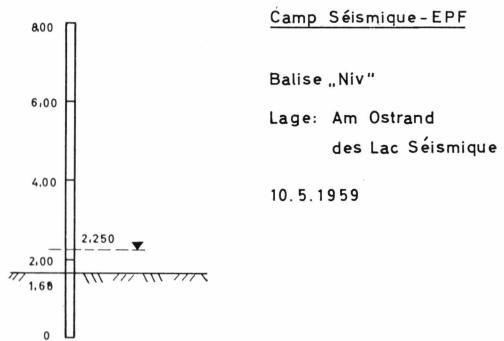
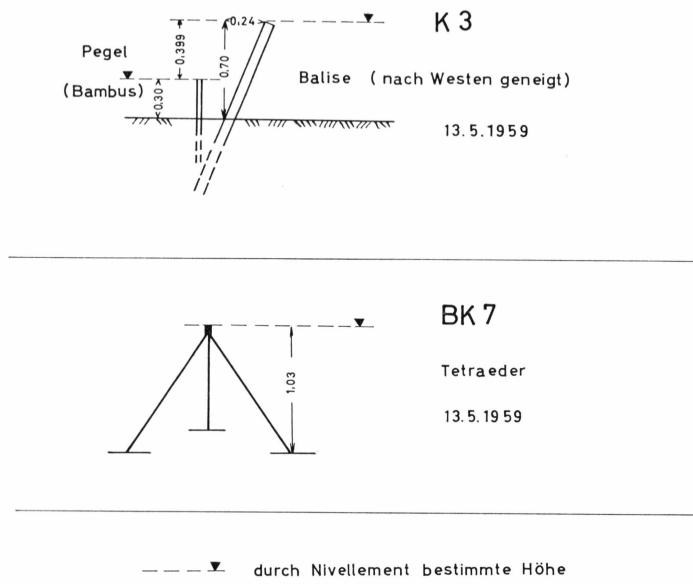


Fig. IV.

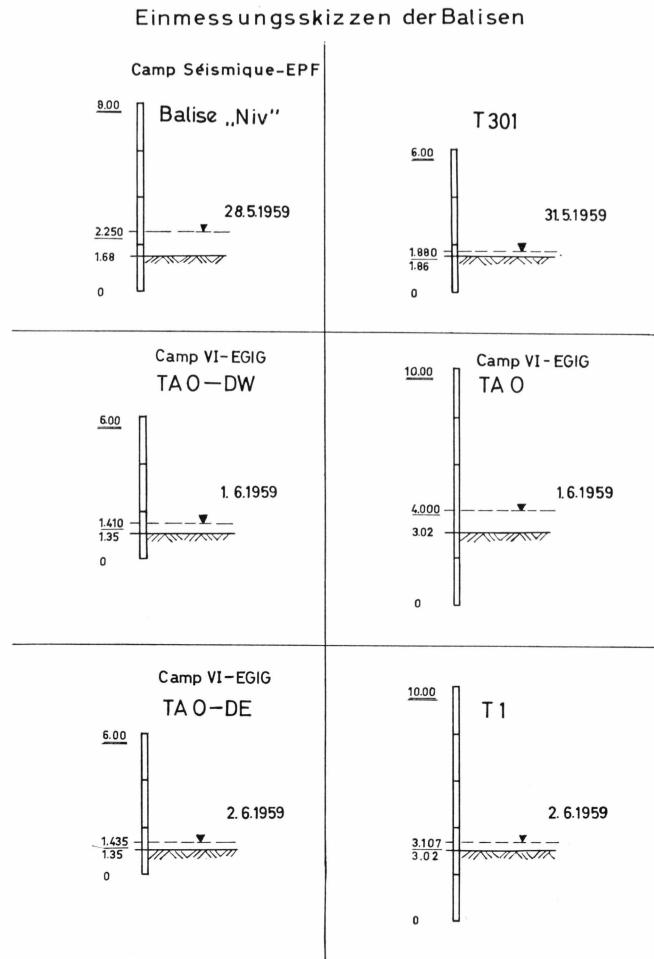


Fig. V.

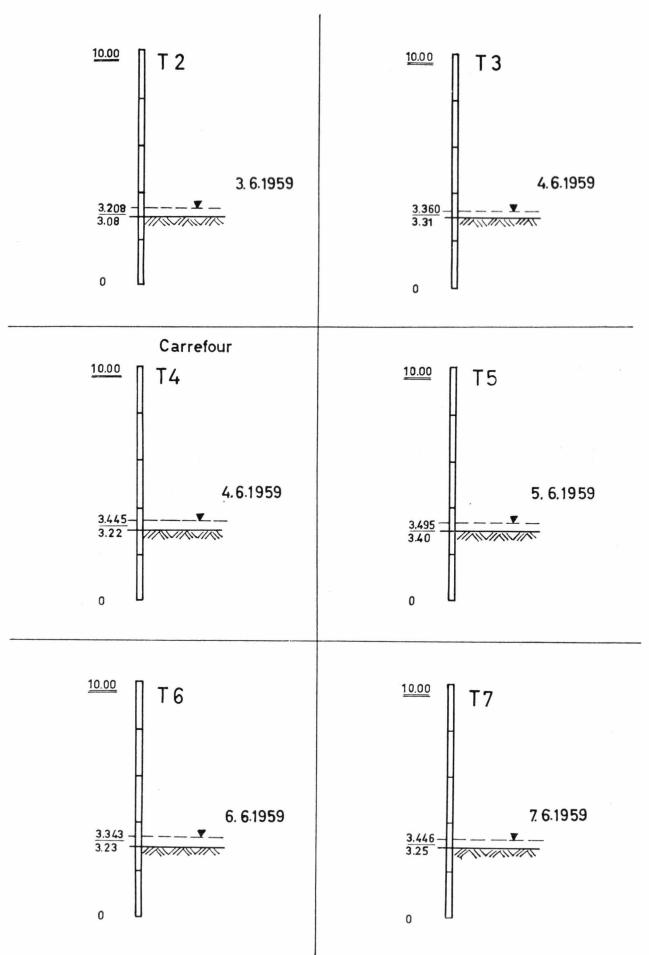


Fig. VI.

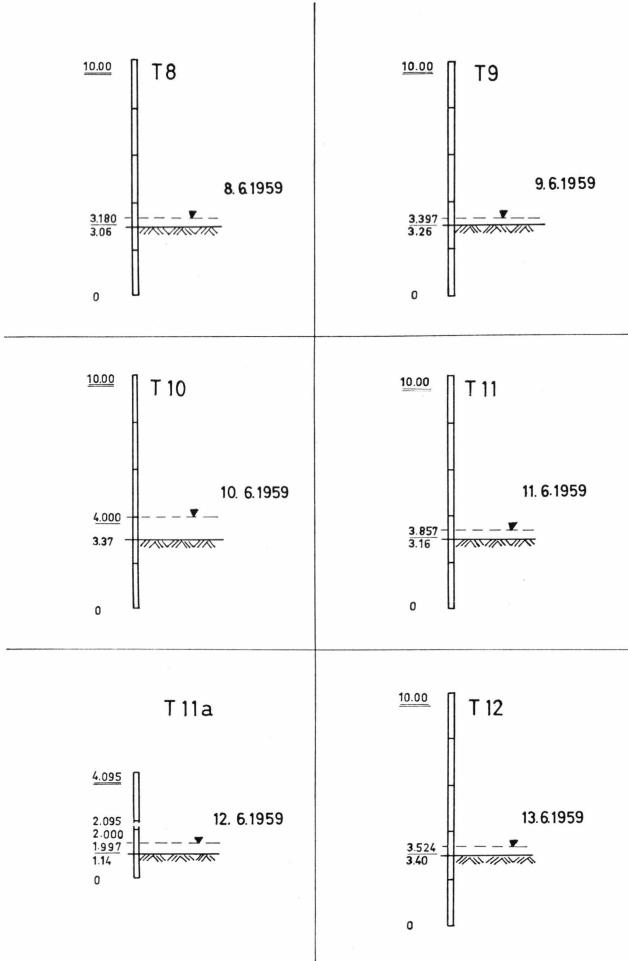


Fig. VII.

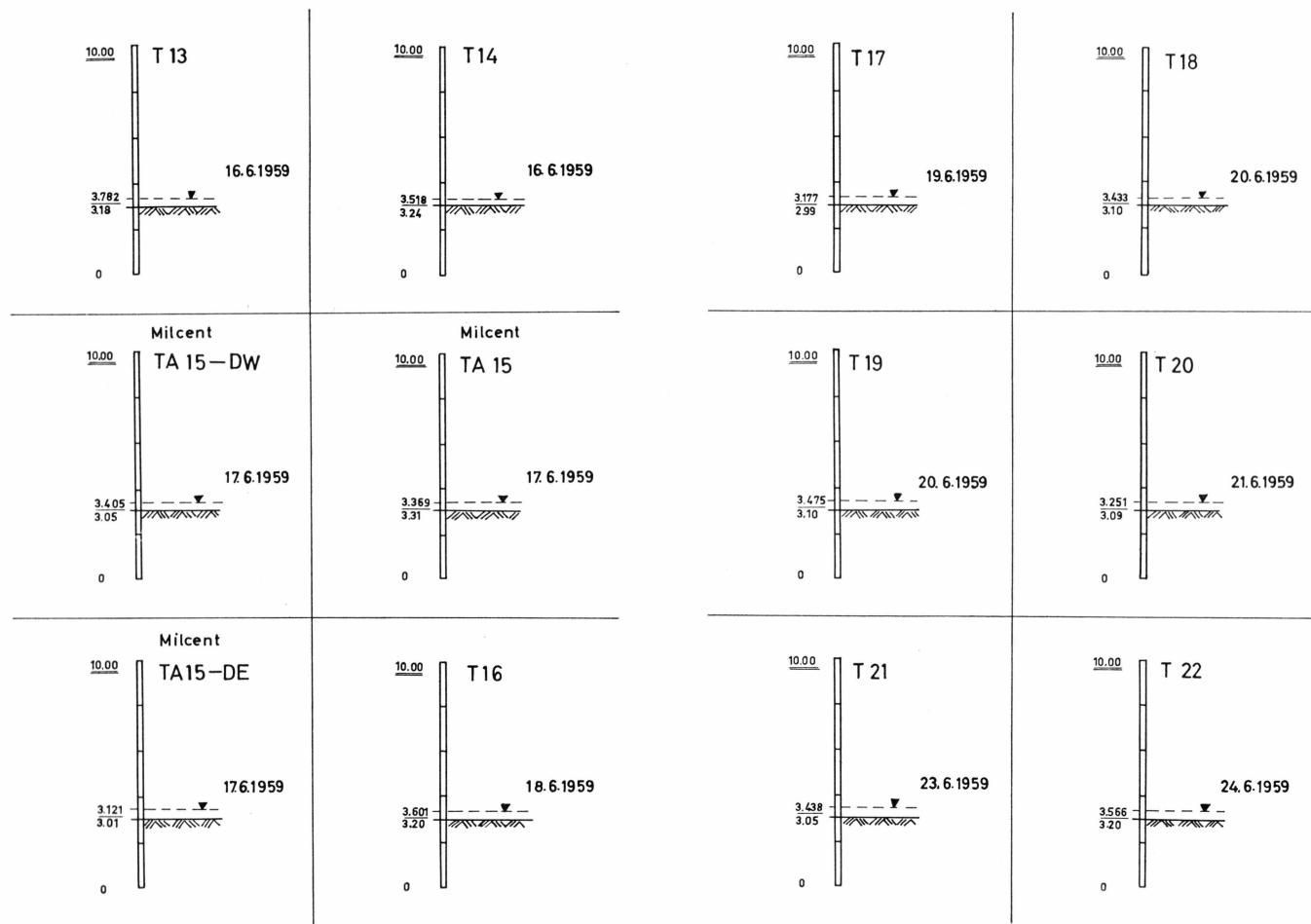


Fig. VIII.

Fig. IX.

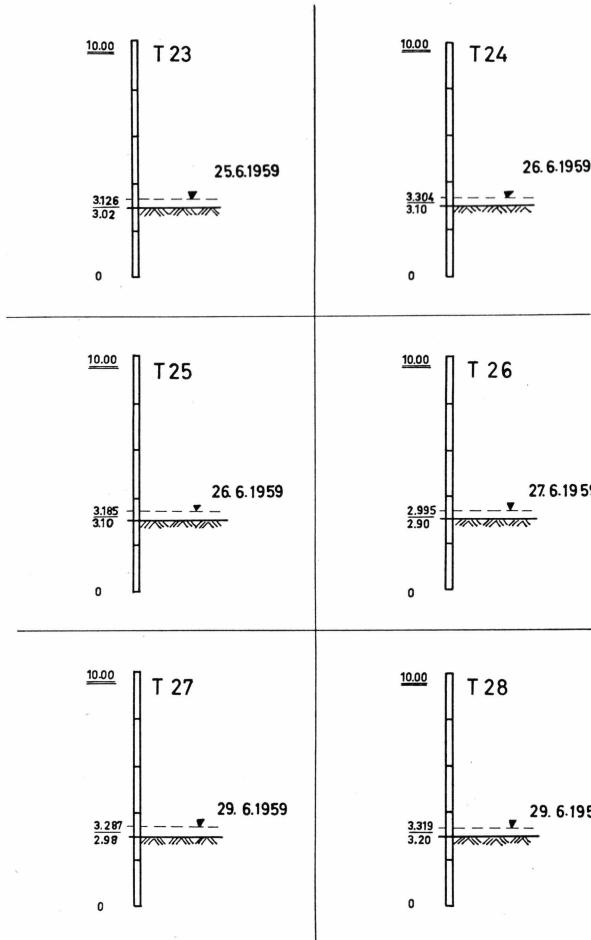


Fig. X.

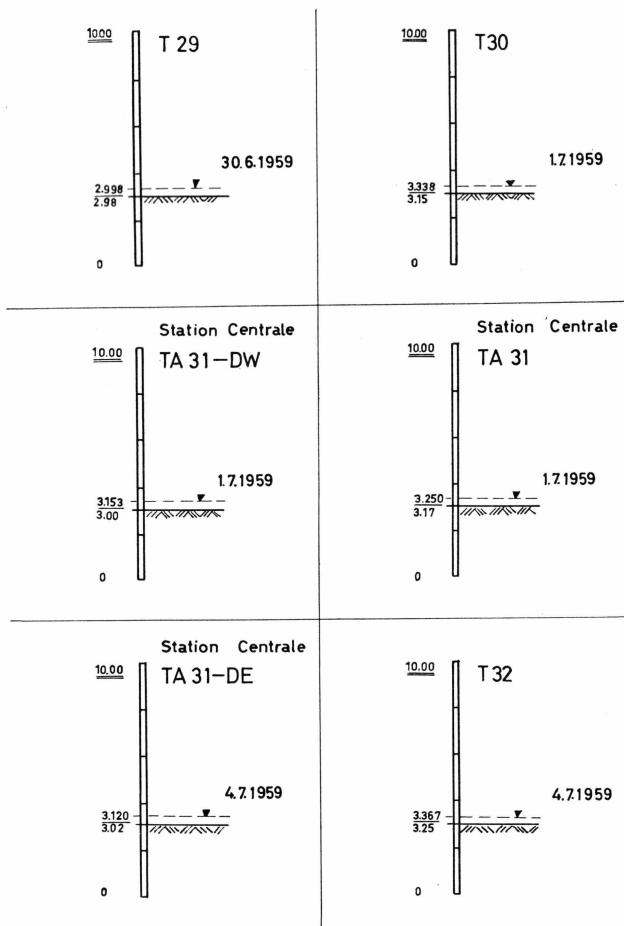


Fig. XI.

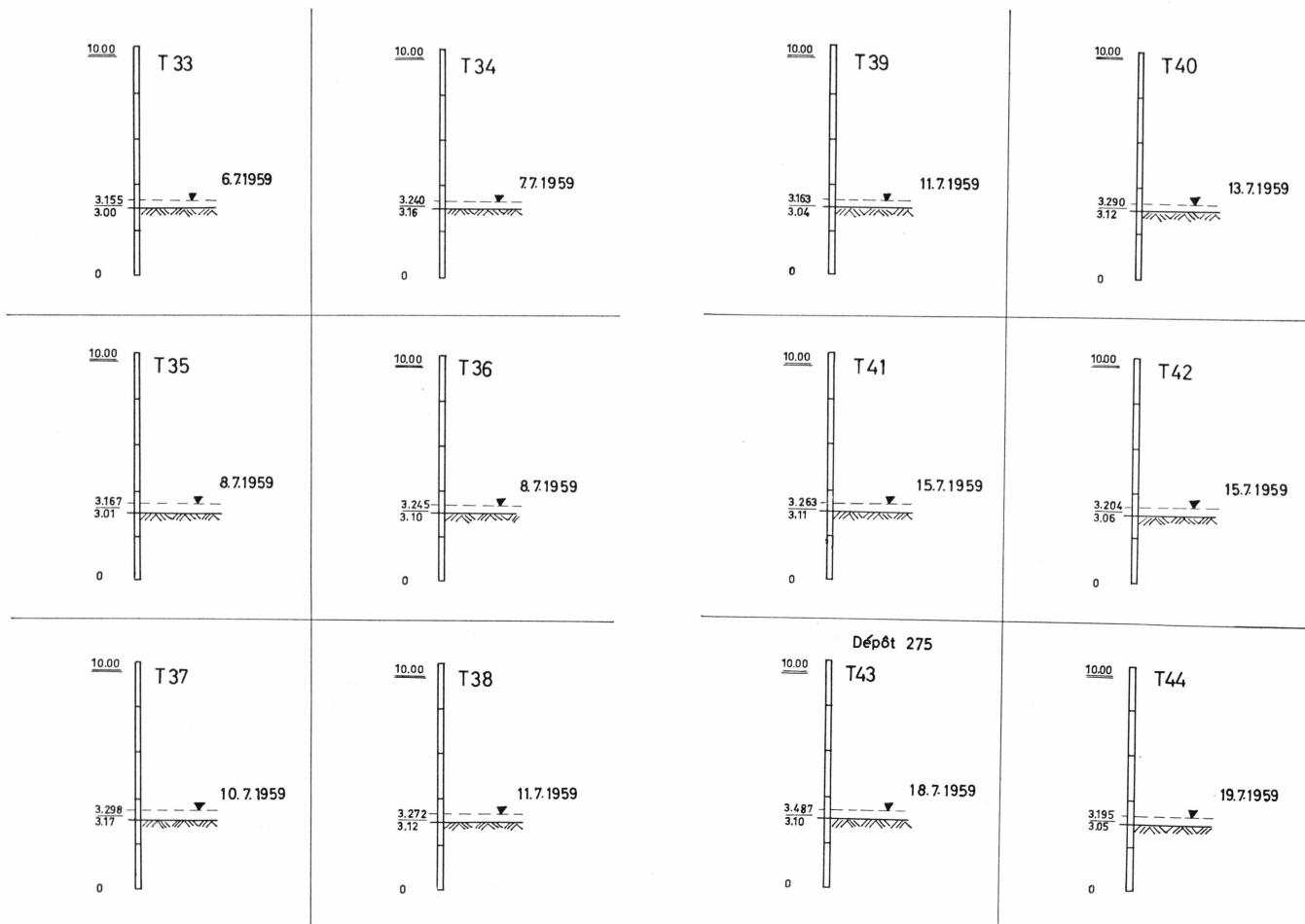


Fig. XII.

Fig. XIII.

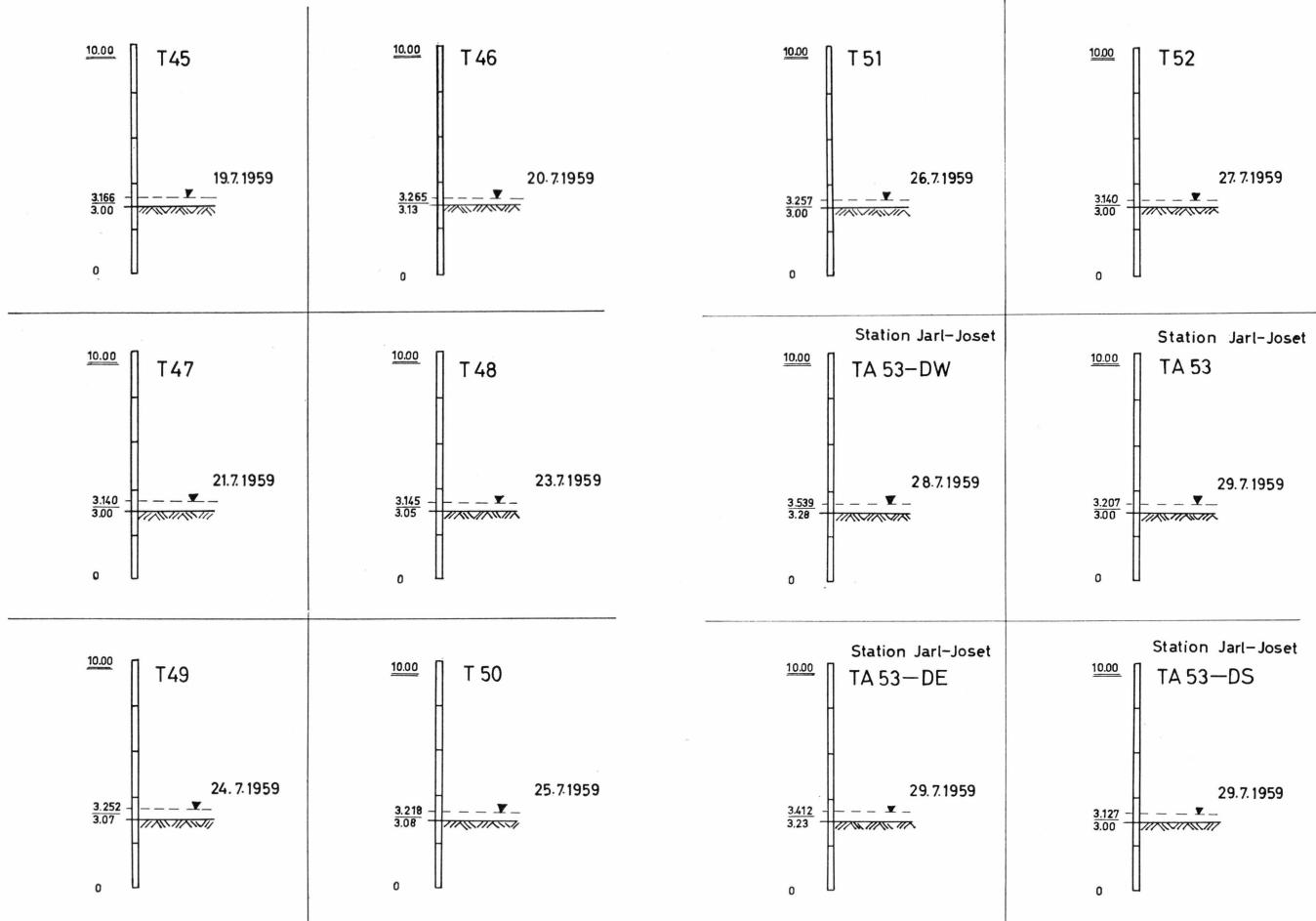


Fig. XIV.

Fig. XV.

## Wiederholungsmessung

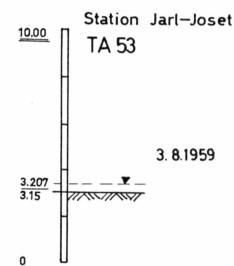
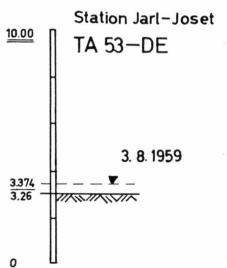
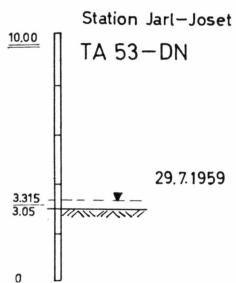
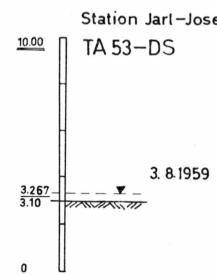
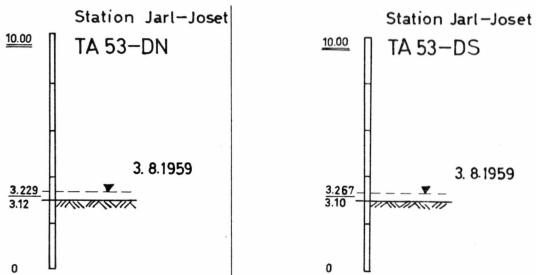


Fig. XVI.

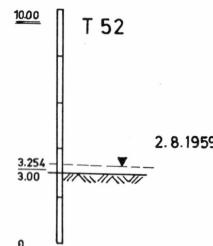
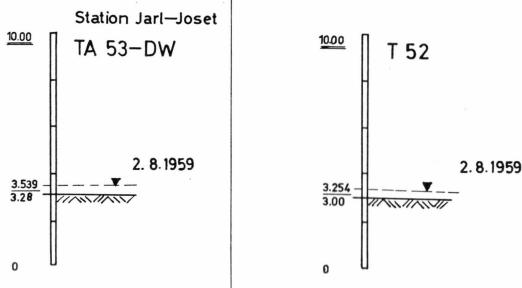


Fig. XVII.

173

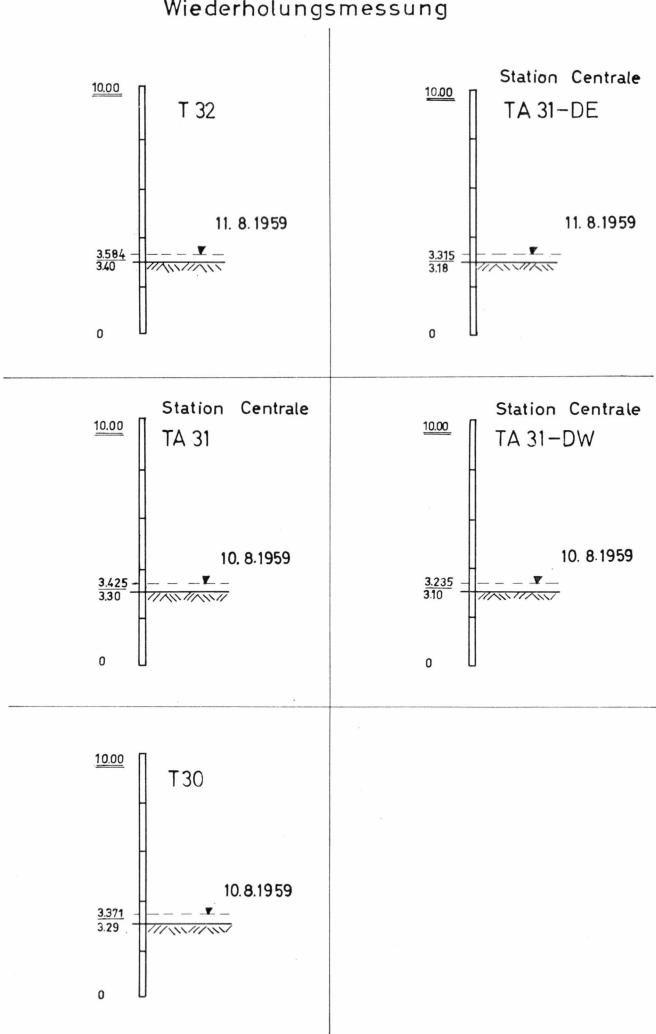


Fig. XVIII.

## Wiederholungsmessung

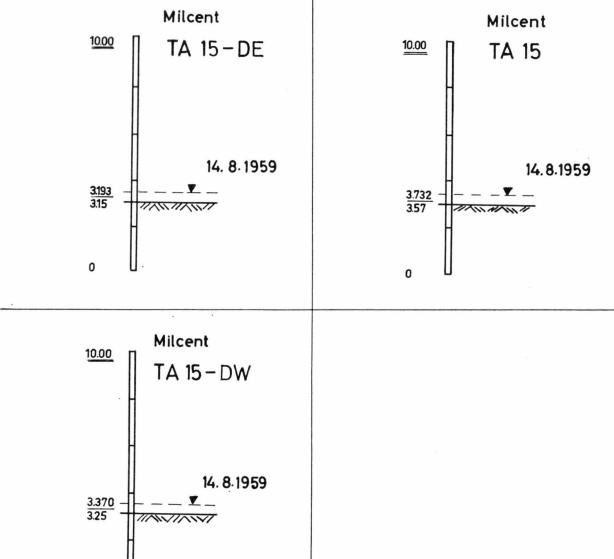


Fig. XIX.



Bild 1.

Zeltlager während des Fußnivelllements beim Ablationspegel BK 3. Rechts, hinter dem Kontrollstab, ein altes Verpflegungs- und Benzinlager der Expéditions Polaires Françaises (EPF).



Bild 2.

Ablationspegel BK 5/58, rechts daneben die Pyramide. Im Hintergrund ein von den Expéditions Polaires Françaises 1952 zurückgelassener Wohnschlitten.

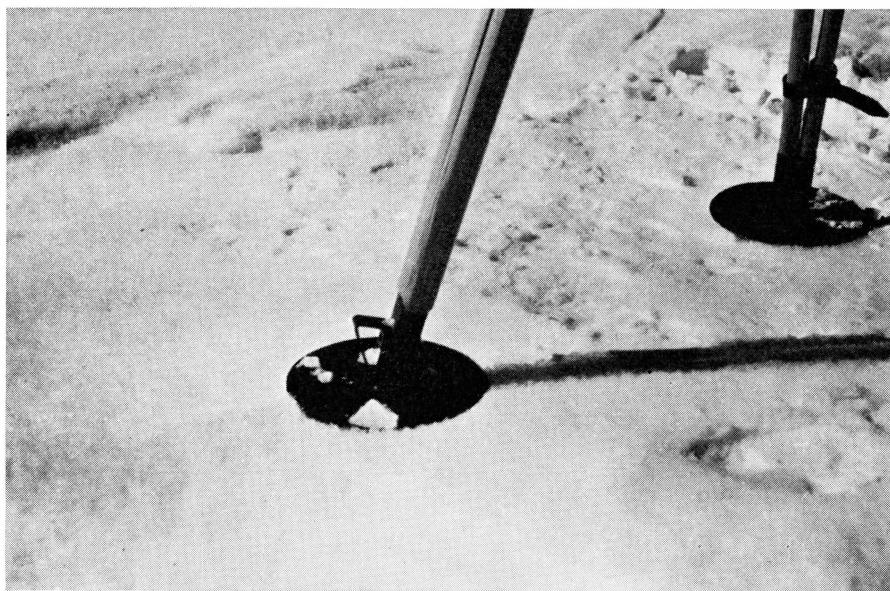


Bild 3.

Metallscheiben von 21 cm Ø (Schneeteller) an den Stativspitzen verhinderten ein Einsinken der Nivellierinstrumente im Schnee.

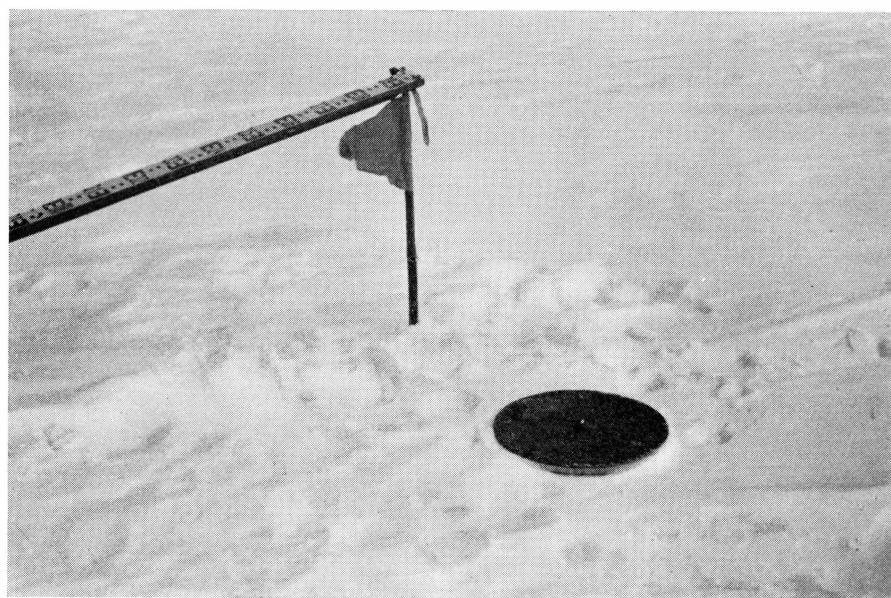


Bild 4.

Auf den Metallknopf in der Mitte der Holzscheibe von 40 cm Ø wurden die Latten beim Fußnivelllement aufgesetzt.



Bild 5.

Instrumentenstandpunkt beim Fußnivelllement. Die Lattenträger wechseln den Standpunkt. Ausrüstung und Gepäck werden auf Handschlitten mitgeführt.

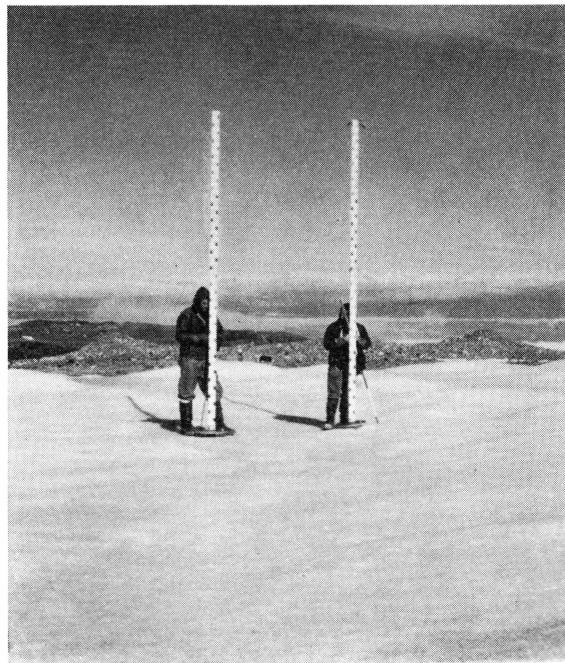


Bild 6.

Lattenaufstellung beim Fußnivelllement. Die Latten sind auf die Holzscheiben aufgesetzt.



Bild 7.  
Fußnivelllement durch das Ablationsgebiet bei Mitternachtssonne.

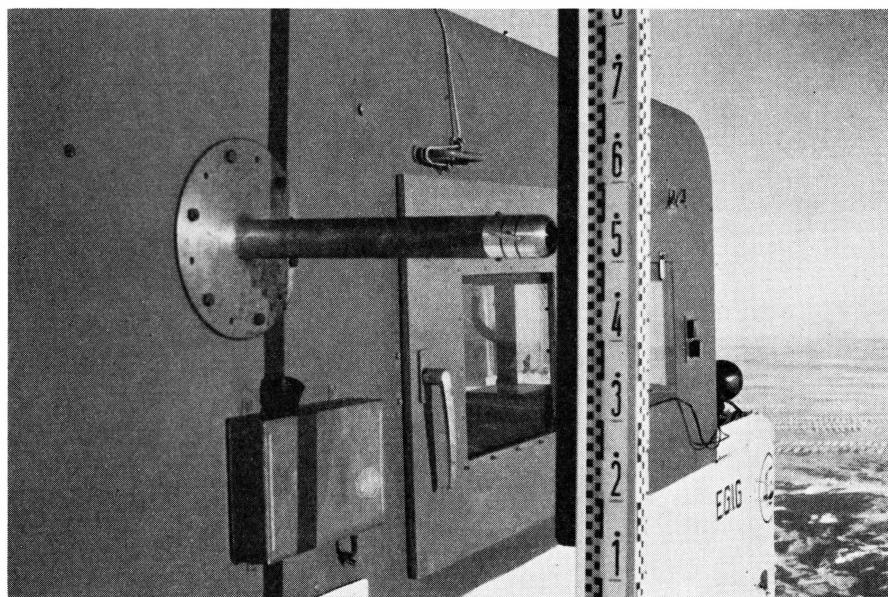


Bild 8.  
Lattenbefestigung mit Kugelgelenkhalterung am Weasel. Der Lattenabstand vom Weasel beträgt 60 cm.

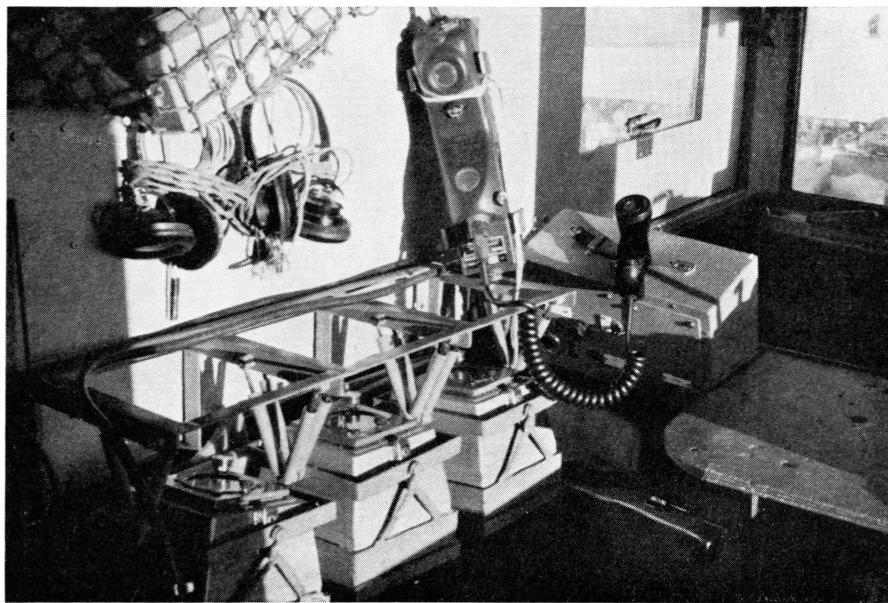


Bild 9.

Aufhängung der Thommen-Bodenhöhenmesser im Weasel. Rechts daneben, an der Wand hängend, ein Handfunksprechergerät AN/PRC 6 und der Schalt- und Verstärkerkasten der Gegensprechanlage.



Bild 10.

Beobachtungsstandpunkt beim Nivellement über das Inlandeis. Der Beobachter beobachtet den Vorblick. Die Latte am Weasel ist senkrecht gestellt, und der Kontrollstab steht neben dem Weasel vor der geöffneten Tür.

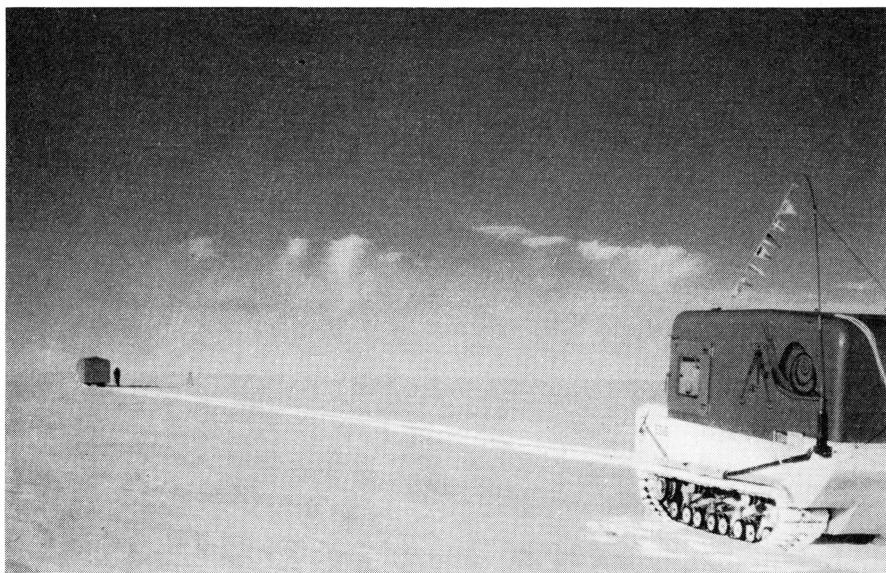


Bild 11.

Die beiden Gruppen stehen in Meßentfernung von etwa 110 m auseinander.



Bild 12.

Standpunktwechsel. Der rechte Weasel bei der Vorbeifahrt an der stehenden Gruppe.  
Die Latte ist während der Fahrt schräg gestellt.



Bild 13.

Höhensicherung während einer Rastpause durch eingerammte Kontrollstäbe, Latte und eingegrabene Holzscheiben (rechts vorn im Bild).



Bild 14.

Vor dem Aufbruch am Morgen. Die Nylonschutzhülle und das Stativ des Instruments sind mit dickem Rauhreif bedeckt.



Bild 15.

Der Beobachter sitzt während des Standpunktwechsels mit dem Instrument auf dem Transportschlitten.

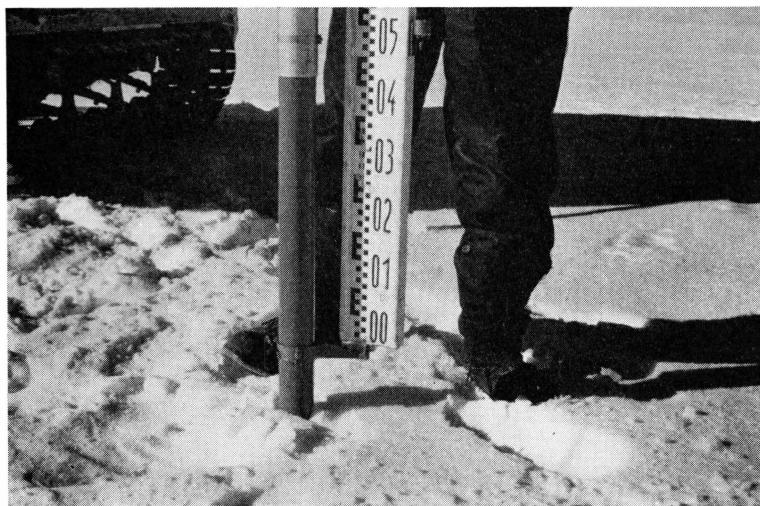
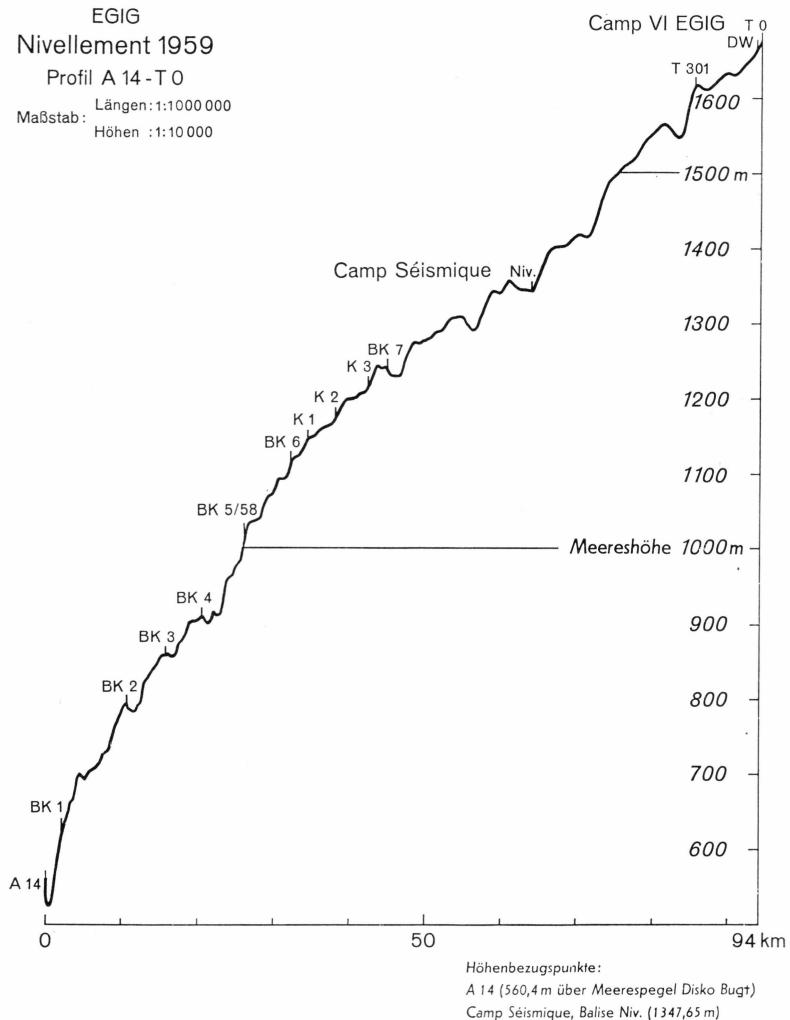


Bild 16.

Höhenübertragung auf eine Balise. Die Latte ist auf den Knopf der Balisenklammer aufgesetzt.



Anlage 1

MEDD. OM GRØNL. BD. 173. NR. 7. [H. MÄLZER].

Expédition Glaciologique Internationale  
au Groenland

## Nivellement 1959

West-Ost-Profil T0-T53

Längen 1:1000000  
Maßstab: Höhen 1:10 000

