

# Analyse eines Höhenprofils über das grönländische Inlandeis

Von H. R. Thake\*

**Zusammenfassung:** Das geodätische Höhenprofil längs des Expeditionsprofils der EGIG 1959 wird zerlegt in eine durchweg konvexe Grundkurve und kürzerperiodische Abweichungen von dieser. Zur Darstellung der Grundkurve wird ein von Haefeli angegebener, aus rheologischen Überlegungen gewonnener Kurventypus herangezogen, die darin enthaltenen Parameter nach der Methode der kleinsten Quadrate ermittelt. Die Abweichungen werden abschnittsweise und im ganzen einer Fourieranalyse unterworfen, um die in ihnen bevorzugt enthaltenen Wellenlängen herauszufinden.

**Summary:** The altitudes (determined by levelling) in the west — east — profile of EGIG 1959 are decomposed into a trend, which is convex throughout, and into deviations from this trend. For representation of the trend, use is made of a type of function derived by Haefeli from rheological considerations; the optimal values for the parameters contained in the Haefeli — function are calculated by the method of least squares. The deviations are Fourier-analyzed for sections of the profile and for the profile as a whole, in order to detect the main wave lengths contained in them.

## 1. Überblick und Aufgabenstellung

Sowohl die im großen recht regelmäßige, an ein Ellipsenstück erinnernde Kurvenform von Höhenprofilen über das grönländische Inlandeis (Schnittkurven von Vertikalebene und der Firnoberfläche) als auch die dieser Grundkurve überlagerten, kürzerperiodischen Wellungen (im folgenden „morphologische Wellen“ genannt) haben schon frühzeitig die Aufmerksamkeit von Polarforschern verschiedener Fachrichtungen auf sich gezogen und zu Darstellungen und Deutungsversuchen angeregt. Erwähnt seien hier nur die Namen Mohn, Nansen, Brockamp und Haefeli ([11], [2], [3], [6], [7]).

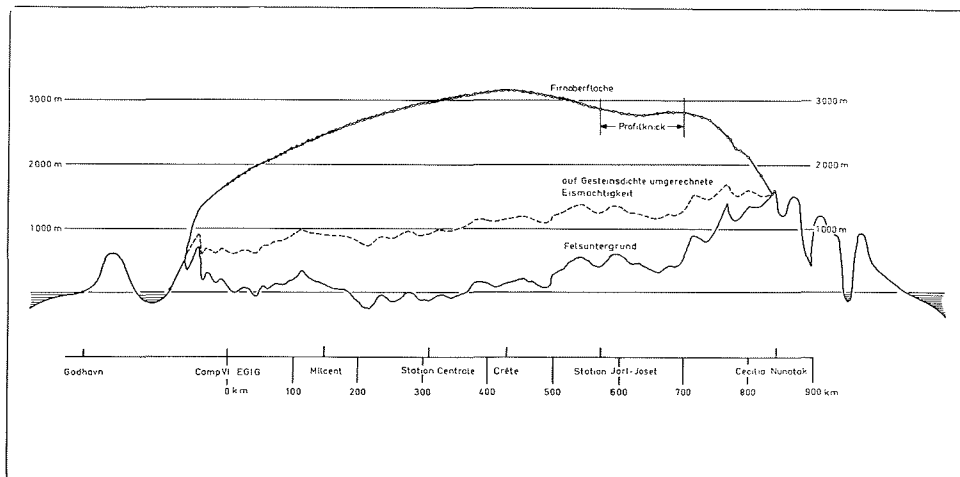


Abb. 1: Vertikalschnitt durch das grönländische Inlandeis längs des EGIG-Profiles (nach [5]).

Fig. 1: Vertical section through the Greenland ice cap along the EGIG-profile (after [5]).

Die vorliegende Untersuchung wurde im Jahre 1967 von Prof. Brockamp, dem damaligen Leiter des Instituts für Reine und Angewandte Geophysik an der Universität Münster, angeregt. Nach seinem Tode im Jahre 1968 erfolgte ein vorläufiger Abschluß der Bearbeitung, die Ergebnisse wurden erst jetzt (1972) zur Veröffentlichung zusammengestellt.

\* Dr. H. R. Thake, 5 Köln 60, Karl-Peters-Straße 30

Ziel dieser Arbeit ist:

1. Zerlegung eines Höhenprofils längs des EGIG-Expeditionsprofils in eine großräumige, monoton gekrümmte, „ruhige“ Grundkurve (theoretische Kurve, „Trend“) und kürzerperiodische Schwankungen, d. h. Abweichungen von der Grundkurve, die dieser Grundkurve überlagert sind.
2. Analyse der errechneten Abweichungen hinsichtlich der in ihnen vorherrschenden „Wellenlängen“.

Der für die Grundkurve in Betracht gezogene Kurventypus sollte glaziologisch sinnvoll sein, d. h. den Anschluß an glazialrheologische Vorstellungen und Theorien ermöglichen, und nicht nur eine rein numerisch-mathematische Darstellung — etwa durch Parabelstücke, wie bei Interpolationsaufgaben — abgeben.

Eine Interpretation der für die Kurvenparameter  $n$ ,  $H$  und  $C$  (s. Abschn. 3) errechneten Werte erfolgt nicht, desgleichen wird keine Deutung des Spektrums der morphologischen Wellen versucht, zumal die Ergebnisse keine einfach gegliederten Spektren mit nur wenigen Linien sind. Bezüglich möglicher Erklärungen sei auf die Literatur verwiesen ([2], [3], [7], [12]).

Es erscheint nicht ausgeschlossen, daß durch die — vielleicht zunächst etwas befremdliche, aber im Sinne der Ausgleichsrechnung durchaus legitime — Freigabe des Parameters  $H$  (Tophöhe) für die Optimierung gewisse Züge in das Spektrum hineingetragen werden, die der unmittelbaren Anschauung nicht entsprechen.

Der nachfolgenden Analyse wurden die Werte des Nivellements der EGIG 1959 zugrundegelegt, s. dazu Mälzer ([10]). Sie wurden freundlicherweise vom geodätischen Institut der Technischen Hochschule Karlsruhe auf Lochkarten (Stützstellenabstand  $\Delta x = 100$  m) zur Verfügung gestellt.

## 2. Ermittlung der Grundkurve

Für die Grundkurve wurde gemäß dem eingangs Gesagten ein von Haefeli ([6], [7]) aus rheologischen Überlegungen abgeleiteter Kurventyp gewählt:

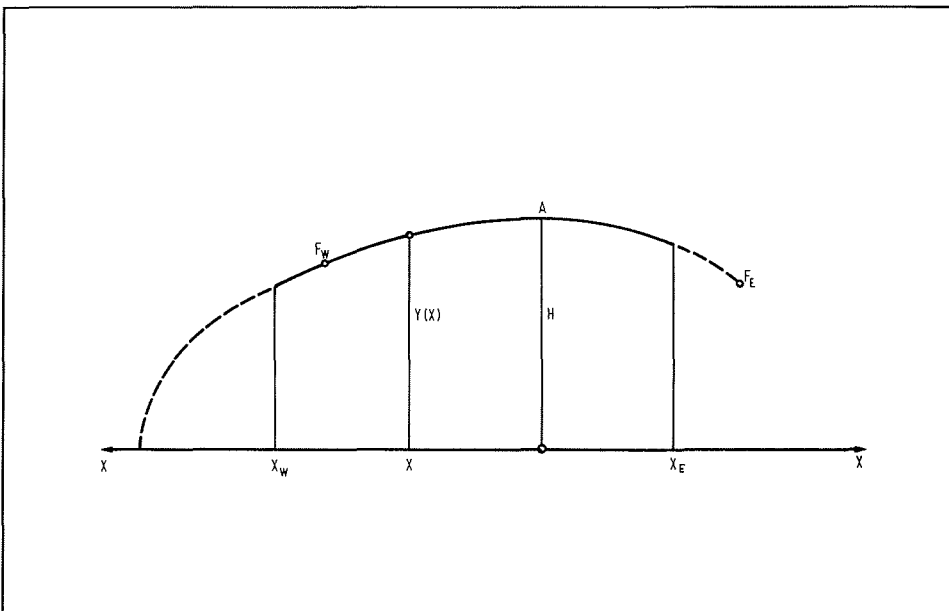


Abb. 2: Zur Haefeli-Kurve (1).  
Fig. 2: Concerning the Haefeli-function (1).

$$(1) Y = \left( H \frac{2(n+1)}{n} - Cx \frac{n+1}{n} \right) \frac{n}{2(n+1)}$$

C und n: Konstanten; H: Tophöhe.

Dieser Ausdruck gilt nach Haefeli — mit jeweils anderem Wert der Konstanten C — sowohl für einen streifenförmigen als auch für einen sphärischen, auf horizontaler Unterlage ausgebreiteten Eisschild für den Teil oberhalb der Firnlinie. (1) beschreibt einen Vertikalschnitt, d. h. den Schnitt der Oberfläche des Eiskörpers mit einer lotrechten Ebene.

Das EGIG-Profil zwischen Camp VI und Station Jarl Joset verläuft mit großer Annäherung durch einen Großkreis der Erdkugel, das Höhenprofil längs dieses Profils stellt also annähernd einen Vertikalschnitt dar und läßt daher an die Verwendung einer Kurve vom Typ (1) denken. Bei der Anwendung auf das grönländische Inlandeis ist jedoch folgendes zu bedenken: Es ist etwas problematisch, die Null-Linie für die Höhen ( $y = 0$ ) von (1) mit NN zu identifizieren, da der Felsuntergrund nach seismischen und anderen Messungen sehr unregelmäßig ist und sich insbesondere zum Westen und Osten hin beträchtlich über NN hinausschwingt (ca. 700 bzw. 1500 m), so daß man den grönländischen Eiskörper eher als eine in eine Schüssel eingebettete Eislinse idealisieren kann, den Vertikalschnitt durch den Felsuntergrund überdies evtl. als zwei gegeneinander geneigte Geraden. Deshalb und auch aus anderen Gründen erscheint es angebracht, für den West- und Ostteil des Profils — vom Kulminationspunkt (Crête) aus gerechnet — zwar den gleichen Kurventyp (1), jedoch mit verschiedenen Parametern zu verwenden. Die Optimierung sollte jedoch das Gesamtprofil, d. h. West- und Ostteil gemeinsam umfassen.

Bei dieser Auffassung besteht die Aufgabe nunmehr darin, durch die aus dem Nivellement erhaltenen Höhen zwei „möglichst gut angepaßte“ Kurvenstücke vom Typ (1) zu legen, also die in (1) eingehenden Parameter in diesem Sinne zu bestimmen. Als Verfahren bietet sich hier die Gauß-Legendresche Methode der kleinsten Quadrate an. Entsprechend der Überlegung am Anfang dieses Abschnittes wird nun nicht nur der Exponent n und die Konstante C, sondern auch die Höhe H (Tophöhe) bzw. die Größe

$$(2) B = H \frac{2(n+1)}{n}$$

als Optimierungsparameter angesehen. Allerdings soll H jeweils für beide Kurven einen gemeinsamen Wert haben, um einen stetigen Übergang dieser beiden Kurven im Kulminationspunkt zu haben. Insofern ist das Ergebnis also nicht ohne weiteres dem Ergebnis zweier Einzeloptimierungen, d. h. dem Ergebnis zweier voneinander unabhängiger Rechnungen mit eigenem n, C und auch H (West- und Ostseite des Profils) gleichzusetzen. — Es ist übrigens nicht nur

$$Y^{(W)}(0) = Y^{(E)}(0) = H,$$

sondern auch

$$\frac{dY^{(W)}}{dX} \Big|_{X=0} = \frac{dY^{(E)}}{dX} \Big|_{X=0} = 0$$

Das Optimierungskriterium lautet also:

$$(3a) \sum_{i=1}^{N_W} (Y_i^{(W)} - \tilde{Y}_i^{(W)})^2 + \sum_{i=1}^{N_E} (Y_i^{(E)} - \tilde{Y}_i^{(E)})^2 = \text{Min!}$$

ausführlich:

$$(3 \text{ b}) \sum_{i=1}^{N_W} (Y_i^{(W)} - (H \frac{2(n_W+1)}{n_W} - C_W \cdot X_i \frac{n_W+1}{n_W}))^2 + \sum_{i=1}^{N_E} (Y_i^{(E)} - (H \frac{2(n_E+1)}{n_E} - C_E \cdot X_i \frac{n_E+1}{n_E}))^2 = \text{Min!}$$

durch geeignete Wahl von  $H, C_W, C_E, n_W, n_E$ .

Dabei bedeuten:

$y_i^{(W)}$  die an der Stelle  $x_i$  des Westteils des Profils gemessene Höhe

$y_i^{(E)}$  die an der Stelle  $x_i$  des Ostteils des Profils gemessene Höhe

$\tilde{y}_i^{(W)}, \tilde{y}_i^{(E)}$  die entsprechenden Höhen der optimalen Kurven

$n_W, C_W$  Konstanten  $n$  und  $C$  gemäß (1) für den Westteil

$n_E, C_E$  Konstanten  $n$  und  $C$  gemäß (1) für den Ostteil

$N_W$  Anzahl erfaßter Punkte des Westteils

$N_E$  Anzahl erfaßter Punkte des Ostteils

Eine angenäherte Lösung von (3) wurde numerisch erhalten, indem  $H$  in geeigneten Schritten (bis herab zu  $\Delta H = 0.2 \text{ m}$  in der Nähe des Optimums) variiert und zu jedem der angenommenen  $H$ - bzw.  $B$ -Werte der optimale Wert für  $n$  — ebenfalls durch Variation in kleinen Schritten ( $\Delta n = 0.1$ ) ermittelt wurde. Dabei kam die Transformation

$$(4) \quad u \equiv x \frac{n+1}{n}$$

$$v \equiv y \frac{2(n+1)}{n}$$

zur Anwendung, die die Aufgabe (3) bei festem  $B$  und  $n$  auf einen einfachen Geraden- ausgleich zur Ermittlung des optimalen  $C$  (Steigung) zurückführt und dieses  $C$  in geschlossener Form darzustellen gestattet:

$$(5) \quad \tilde{v} = B - C \cdot u$$

$$(6) \quad S \equiv \sum_i (v_i - (B - C_W \cdot u_i))^2 + \sum_i (v_i - (B - C_E \cdot u_i))^2 = \text{Min!}$$

(Westteil) (Ostteil)

$$v_i \equiv Y_i \frac{2(n+1)}{n}$$

$$\frac{\partial S}{\partial C_{W,E}} = 0$$

$$(7) \quad C_{W,E} = \frac{B[u] - [uv]}{[uu]}$$

wobei die Summen jeweils über den Westteil bzw. den Ostteil des Profils zu nehmen sind.

Tophöhe [m]	Fehlerquadratsumme [KM <sup>2</sup> ]	Opt.-Exponent Westteil-Profil	Opt.-Exponent Ostteil-Profil	Steigung West (C) ·10 <sup>2</sup>	Steigung Ost (C) ·10 <sup>2</sup>
3174	0.555181	3.7	2.8	0.688763	0.674473
3174.1	0.553240	3.8	2.8	0.703718	0.674846
3174.2	0.551327	3.8	2.8	0.703826	0.675223
3175	0.537990	3.8	2.8	0.704687	0.678230
3176	0.526002	3.8	2.8	0.705764	0.681987
3177	0.519235	3.8	2.8	0.706844	0.685761
3178	0.517516	3.8	2.9	0.707925	0.704078
3179	0.511254	3.9	3.0	0.723460	0.721784
3180	0.506410	3.9	3.1	0.724562	0.738943
3180.4	0.505664	3.9	3.1	0.725001	0.740551
3180.6	0.505599	3.9	3.1	0.725221	0.741358
3180.8	0.505739	3.9	3.1	0.725442	0.742158
3181	0.506056	3.9	3.2	0.725663	0.755598
3181.2	0.506477	3.9	3.3	0.725883	0.756416
3182	0.510188	3.9	3.2	0.726767	0.771765

Tabelle 1

Tabelle 1 läßt den Gang der Gesamtoptimierung mit Variation der Tophöhe H erkennen, Tabelle 2 zeigt im Detail den Optimierungszyklus für n, der der Wahl des Optimums für H zugeordnet ist.

Das Ergebnis der Optimierung liefert als Konstanten der optimalen Haefelikurven:

Tophöhe:  $H = 3180,6$  m

Westseite des Profils:  $n_W = 3.9; C_W = 0.7252 \times 10^{-2}$  [KM<sup>1.256</sup>]

Ostseite des Profils:  $n_E = 3.1; C_E = 0.7414 \times 10^{-2}$  [KM<sup>1.323</sup>]

Bei Haefeli ([7]) findet sich demgegenüber der Wert  $n = 3.5$  (Westseite des Profils). Auf die Diskrepanz zu den hier vorgelegten Werten soll an dieser Stelle nicht eingegangen werden, sie dürfte zusammenhängen mit der Freigabe von H zur Optimierung.

Die Rechnungen wurden durchgeführt in den Rechenzentren der Universität Münster (IBM 360/50) und des Kernforschungszentrums Karlsruhe (IBM 360/65).

In Figur 3 sind die Abweichungen

$$(8) \quad a_i \equiv y_i - \tilde{y}_i$$

aufgetragen.

### 3. Analyse der Abweichungen $a(x)$ von der Grundkurve

Hier interessieren vor allem die in den morphologischen Wellen, also in der Kurve  $a(x)$  vorherrschenden Wellenlängen und zunächst weniger die absoluten Werte ihrer Amplituden. In der Kurve der Abweichungen zeigt sich keine klar erkennbare Grundwellenlänge, deshalb ist der Ansatz einer Fourier-Reihe mit Gliedern, die nach ganzzahligen

AUSGLEICHUNG NR.: 1,H = 0.318060E 01

WESTTEIL DES PROFILS:

EXPONENT: 3.00000	FEHLERQUADRATSUMME: 0.406272E 01	STEIGUNG: -0.574763E-02
EXPONENT: 3.10000	FEHLERQUADRATSUMME: 0.310769E 01	STEIGUNG: -0.593941E-02
EXPONENT: 3.20000	FEHLERQUADRATSUMME: 0.235314E 01	STEIGUNG: -0.612430E-02
EXPONENT: 3.30000	FEHLERQUADRATSUMME: 0.176769E 01	STEIGUNG: -0.630282E-02
EXPONENT: 3.40000	FEHLERQUADRATSUMME: 0.132135E 01	STEIGUNG: -0.647517E-02
EXPONENT: 3.50000	FEHLERQUADRATSUMME: 0.990256E 00	STEIGUNG: -0.664151E-02
EXPONENT: 3.60000	FEHLERQUADRATSUMME: 0.755854E 00	STEIGUNG: -0.680220E-02
EXPONENT: 3.70000	FEHLERQUADRATSUMME: 0.602027E 00	STEIGUNG: -0.695740E-02
EXPONENT: 3.80000	FEHLERQUADRATSUMME: 0.515982E 00	STEIGUNG: -0.710731E-02
EXPONENT: 3.90000	FEHLERQUADRATSUMME: 0.487288E 00	STEIGUNG: -0.725221E-02
EXPONENT: 4.00000	FEHLERQUADRATSUMME: 0.506982E 00	STEIGUNG: -0.739225E-02

OSTTEIL DES PROFILS:

EXPONENT: 3.00000	FEHLERQUADRATSUMME: 0.187765E-01	STEIGUNG: -0.728080E-02
EXPONENT: 3.10000	FEHLERQUADRATSUMME: 0.183109E-01	STEIGUNG: -0.741358E-02
EXPONENT: 3.20000	FEHLERQUADRATSUMME: 0.185383E-01	STEIGUNG: -0.753963E-02
EXPONENT: 3.30000	FEHLERQUADRATSUMME: 0.193486E-01	STEIGUNG: -0.765946E-02
EXPONENT: 3.40000	FEHLERQUADRATSUMME: 0.206463E-01	STEIGUNG: -0.777333E-02
EXPONENT: 3.50000	FEHLERQUADRATSUMME: 0.223494E-01	STEIGUNG: -0.788181E-02
EXPONENT: 3.60000	FEHLERQUADRATSUMME: 0.243931E-01	STEIGUNG: -0.798507E-02
EXPONENT: 3.70000	FEHLERQUADRATSUMME: 0.267159E-01	STEIGUNG: -0.808372E-02
EXPONENT: 3.80000	FEHLERQUADRATSUMME: 0.292690E-01	STEIGUNG: -0.817799E-02
EXPONENT: 3.90000	FEHLERQUADRATSUMME: 0.320195E-01	STEIGUNG: -0.826779E-02
EXPONENT: 4.00000	FEHLERQUADRATSUMME: 0.349161E-01	STEIGUNG: -0.835420E-02

OPTIMUM:

FEHLERQUADRATSUMME: 0.505599E 00

EXPONENTEN FÜR WEST- UND OSTTEIL: 0.390000E 01    0.310000E 01

STEIGUNGEN: -0.725221E-02 BZW. -0.741358E-02

TOPHOHE: 0.318060E 01

Tabelle 2

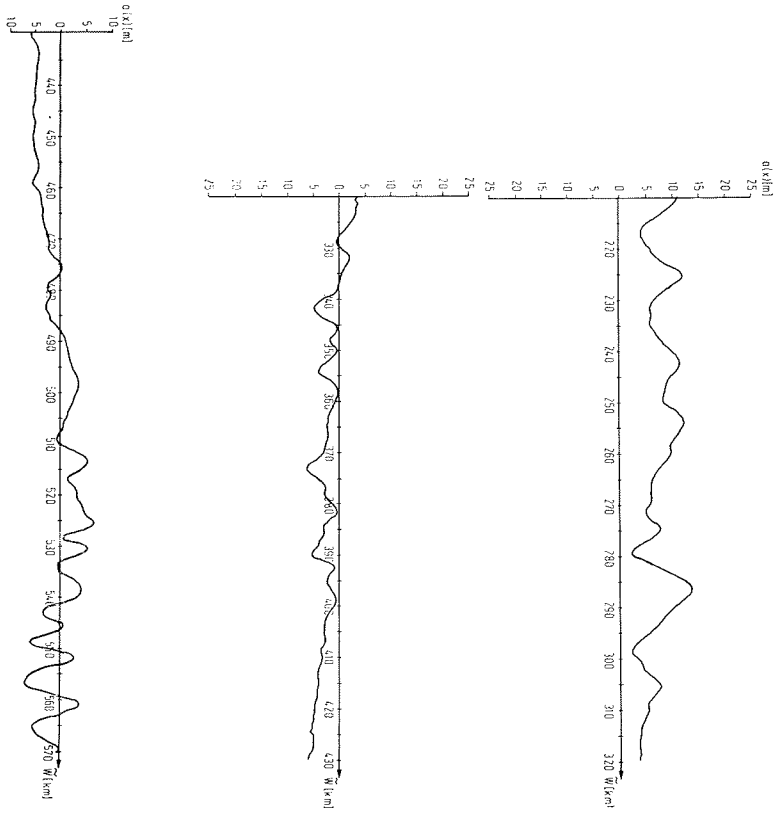
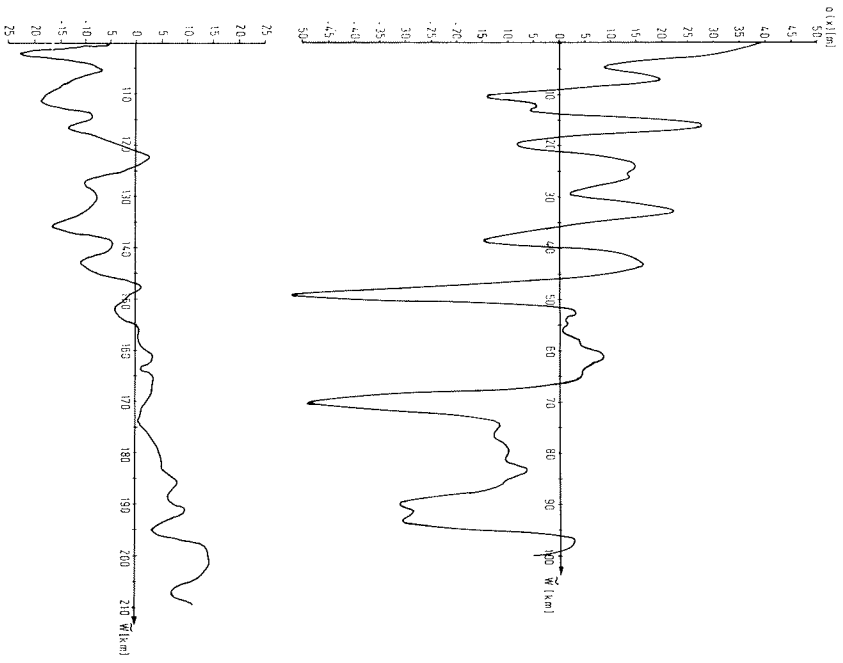
Vielfachen des Reziproken einer solchen Wellenlänge, m. a. W. nach der Wellenzahl fortschreiten, nicht angebracht bzw. nicht möglich.

Eine andere Darstellung der Abweichungen als Überlagerung einzelner harmonischer Komponenten mit inkommensurablen Wellenzahlen

$$k_j \equiv 1/\lambda_j :$$

$$(9) \ a(x) = \sum_{j=1}^M A_j \cos(2\pi k_j x + W_j)$$

wurde ins Auge gefaßt, das damit verbundene "search for hidden periodicities" ([9]) jedoch zunächst zurückgestellt zugunsten der hier wiedergegebenen Darstellung durch ein Fourier-Integral.



Für die Kurve der Abweichungen bzw. ausgewählte Abschnitte davon wurde also eine Darstellung der Form

$$(10) a(x) = \int_0^{\infty} dk c(k) \cos 2\pi k x + \int_0^{\infty} dk S(k) \sin 2\pi k x \\ = \int_0^{\infty} dk D(k) \cos(2\pi k x - W(k))$$

gesucht. Für die spektralen Größen  $C(k)$ ,  $S(k)$  und  $D(k)$  gilt:

$$(11) (a) C(k) = D(k) \cdot \cos W(k)$$

$$(b) S(k) = D(k) \cdot \sin W(k)$$

$$(c) \operatorname{tg} W(k) = \frac{S(k)}{C(k)}$$

$$(12) (a) D(k) = \sqrt{S(k)^2 + C(k)^2}$$

$$(b) C(k) = 2 \int_0^{\infty} dx a(x) \cos 2\pi k x = \int_{x_1}^{x_2} dx a(x) \cos 2\pi k x$$

$$(c) S(k) = 2 \int_0^{\infty} dx a(x) \sin 2\pi k x = \int_{x_1}^{x_2} dx a(x) \sin 2\pi k x$$

Abb. 3: Die Abweichungen von der optimalen Haefeli-Kurve (8). Als Abszissen sind aufgetragen  $\tilde{w} = w - 1,42$  km,  $w$ : Horizontalabstand von Camp VI. Für den Zusammenhang zwischen  $w$  und dem Horizontalabstand  $x$  vom Top bei Crête gilt:

$w = 431,42 - x$  [km], Westteil des Profils  
 $w = 431,42 + x$  [km], Ostteil des Profils, also  
 $\tilde{w} = 430 - x$  [km], Westteil des Profils  
 $\tilde{w} = 430 + x$  [km], Ostteil des Profils

Fig. 3: Deviations  $a(x)$  from the optimal Haefeli-function following (8). For abscissas are taken the quantities  $\tilde{w} = w - 1.42$  km. The relation between  $w$  and  $x$ , the horizontal distance from the top near Crête, is:

$w = 431.42 - x$  [km], east part of profile  
 $w = 431.42 + x$  [km], west part of profile, therefore  
 $\tilde{w} = 430 - x$  [km], east part of profile  
 $\tilde{w} = 430 + x$  [km], west part of profile

wobei  $x_1$  und  $x_2$  die in jedem Fall endlichen Abszissen des Anfangs- und Endpunktes von  $a(x)$  sind. Mit den angegebenen Formeln erhält man also genauer das Spektrum einer unendlich langen Kurve

$$(13) Z(x) = \begin{cases} a(x), & x_1 \leq x \leq x_2 \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

Zur Interpretation endlicher Fouriertransformationen, wie sie sich im Zusammenhang mit (12) und (13) ergeben, den Zusammenhang mit Fourierreihen und deren Koeffizienten sowie auch den Einfluß des Digitalisierungsabstandes  $s$ . [1], insb. Kap. 10 "Sampling and Series". Die möglichen Einwände werden nicht verkannt, sie könnten sich u. a. unter dem Aspekt: Formale Darstellung  $\longleftrightarrow$  Physikalische Deutung ergeben. (11) und (12) lösen sicher zunächst nur eine mathematische Darstellungsaufgabe.

Die Spektren der Abweichungskurve  $a(x)$  und ihrer Abschnitte wurden nach (12a) über (12b) und (12c) berechnet. Dabei wurden die Fourier-Cosinus- bzw. -Sinusintegrale nach einem Verfahren von Filon ([8], [13]) ermittelt, um hinreichende Genauigkeit auch bei teilweise schnell oszillierendem Integranden in (12) zu gewährleisten.



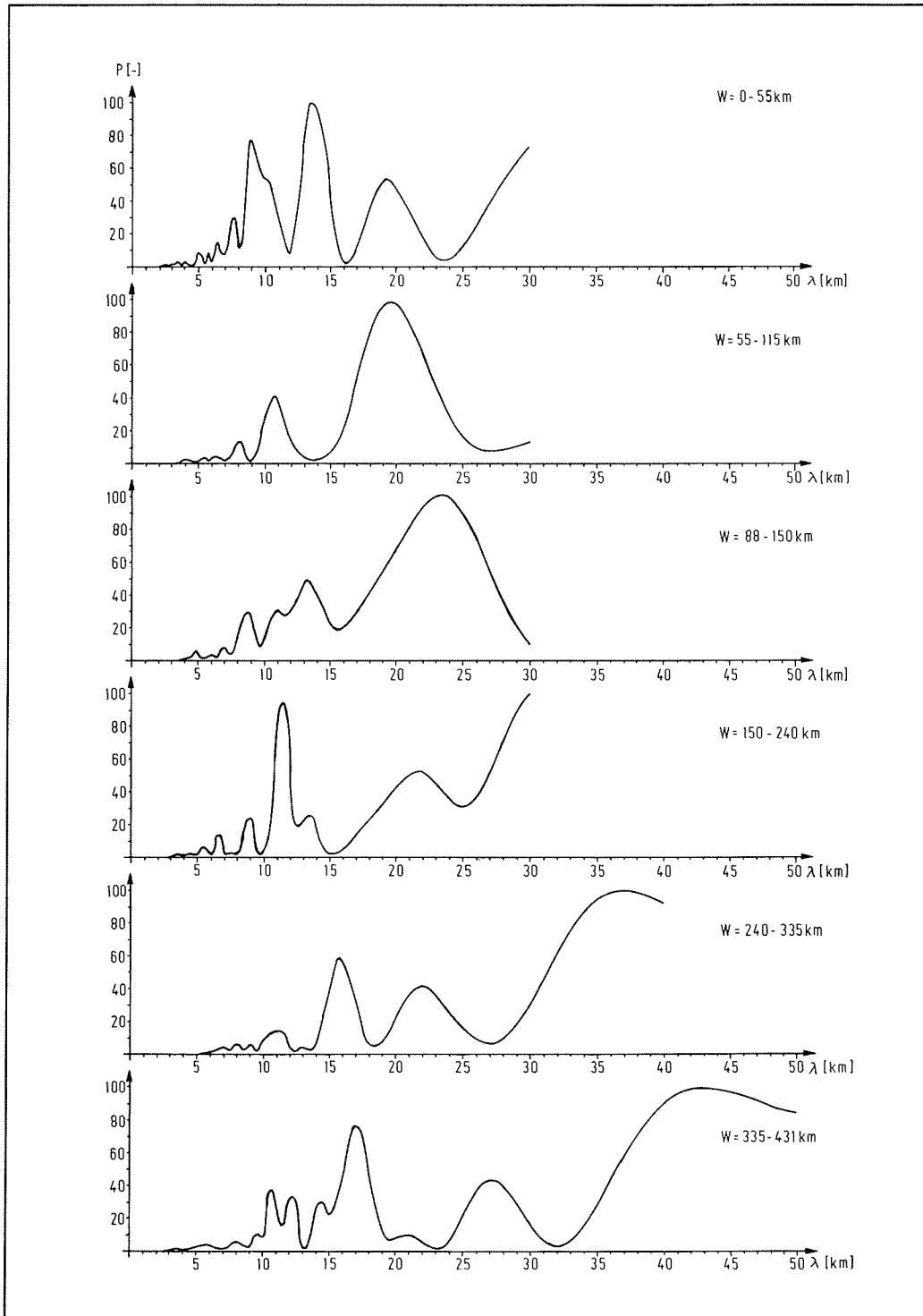


Abb. 4: Spektren für kürzere Abschnitte des Profils.  $\lambda$ : Wellenlänge. p: Nach (14) normiertes Amplitudenquadrat.

Fig. 4: Spectra of smaller sections of the profile.  $\lambda$ : Wave length. p: normed square of amplitude, see (14).

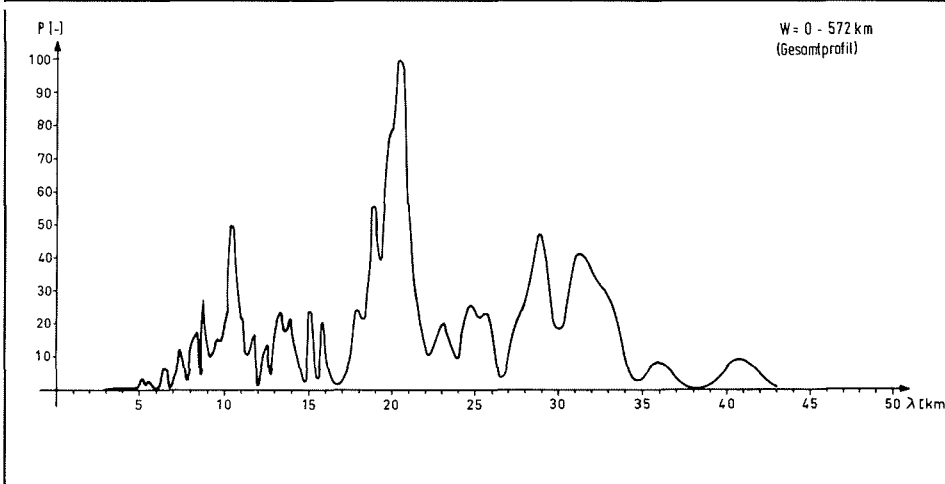
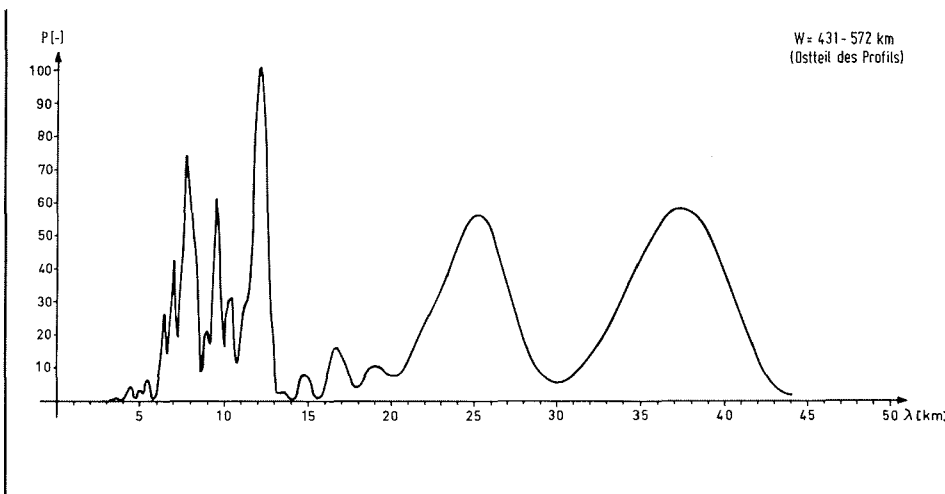
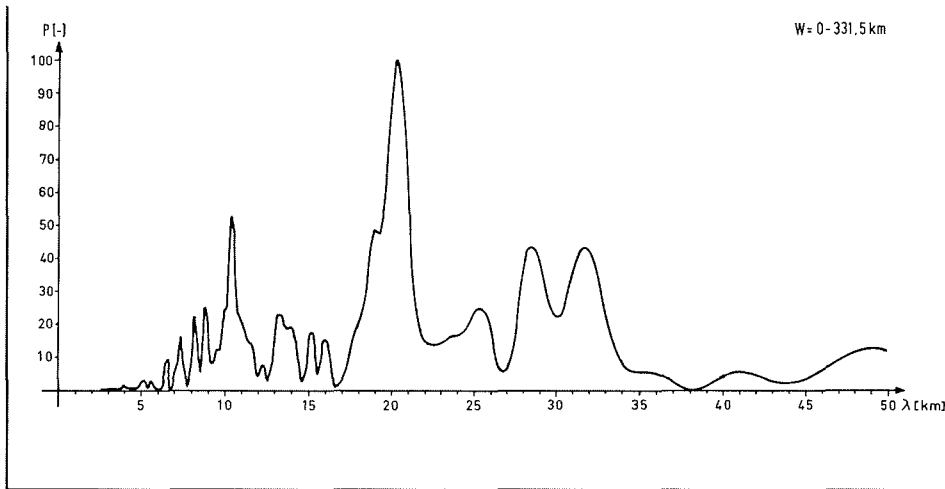


Abb. 5: Spektren für größere Abschnitte des Profils und das Gesamtprofil.  $\lambda$ : Wellenlänge. p: Nach (14) normiertes Amplitudenquadrat.

Fig. 5: Spectra of larger sections of the profile and the whole profile.  $\lambda$ : Wellenlänge. p: normed square of amplitude according to (14).

In Fig. 4 und 5 sind normierte Amplitudenquadrate wiedergegeben, d. h. die Größen

$$(14) \quad P(\lambda) \equiv 100 \cdot \frac{D^2(1/\lambda)}{D_{\max}^2}$$

$D_{\max}^2$ : Maximalwert der Amplitude im überstrichenen  $\lambda$ -Intervall. Die ebenfalls vorliegenden Phasenkurven  $w(k) = w(1/\lambda)$  sind hier nicht dargestellt.

Da der Digitalisierungsabstand des Höhenprofils bzw. der Kurve  $a(x) \Delta x = 100$  m beträgt, ist nach dem Abtasttheorem die Ermittlung des Spektrums nur unterhalb der Wellenzahl  $k_c = 1/(2\Delta x) = 1/200 \text{ m}^{-1}$ , d. h. erst oberhalb der Wellenlänge  $\lambda_{\min} = 200$  m möglich, genauer: spektrale Anteile mit  $\lambda < \lambda_{\min}$  würden, falls vorhanden, das Spektrum oberhalb  $\lambda_{\min}$  verfälschen ("Aliasing"). Der Gehalt von  $a(x)$  an Wellen solcher Länge wurde als vernachlässigbar angesehen.

Die ausgewählten Ausschnitte der  $a(x)$ -Kurve sind in den Fig. 4 und 5 angegeben. Diese — nach Augenschein getroffene — Auswahl ist natürlich recht willkürlich. — Eine ähnliche, abschnittsweise Betrachtung findet sich auch bei Brockamp ([3]).

Bei den über größere Profilstücke gerechneten Spektren (Fig. 5) zeigen sich vorherrschende Wellenlängen, d. h. besonders große Amplituden in der Umgebung von  $\lambda = 10$  km (mit stärkerer Aufspaltung im Ostteil des Profils) und  $\lambda = 20$  km sowie zwei breite, etwa gleichhohe Maxima, die sich fast symmetrisch um ein lokales Minimum bei  $\lambda \approx 30$  km gruppieren. Demgegenüber weisen die Spektren für die ausgewählten, kleineren Profilabschnitte — wie von vornherein zu vermuten — weniger Gemeinsamkeiten, aber auch keine sehr ausgeprägten Tendenzen auf; es scheint eine Verschiebung zu größeren Wellenlängen hin beim Fortschreiten von der küstennahen Seite auf den Top hin vorzuliegen.

#### 4. Danksagung

Die Anregung zu der vorliegenden Arbeit — eine Diskussion des Vorgehens und der Ergebnisse ist durch seinen frühen Tod leider nicht mehr möglich gewesen — verdanke ich Herrn Prof. Dr. B. Brockamp. Frühe Diskussionen habe ich geführt mit den Herren Prof. Dr. F. Thyssen und Dr. H. Kohnen. Lochkarten mit den Ergebnissen des Nivellements wurden mir aus dem geodätischen Institut der Technischen Hochschule Karlsruhe (Prof. Dr. H. Lichte, Dr. H. Mälzer) zur Verfügung gestellt. Während der Durchführung eines größeren Teiles der Rechnungen im Rechenzentrum des Kernforschungszentrums Karlsruhe wurde mir die Hilfe von Herrn cand. math. D. Rusch zuteil. Bei der endgültigen Abfassung dieser Arbeit konnte ich mich der Diskussion und freundlichen Beratung von Herrn Dr. H. Kohnen erfreuen. Die Zeichenarbeiten wurden übernommen von Frau Ing. (grad.) I. Torkler sowie dem Techniker Herrn E. Dwornicki.

Ihnen allen sei an dieser Stelle freundlichst gedankt.

#### Literatur

- [1] Bracwell, R.: The Fourier Transform and its Applications. McGraw Hill, New York usw. 1965.
- [2] Brockamp, B.: Die barometrische Höhenrechnung auf der letzten deutschen Grönlandexpedition Alfred Wegener; Oberflächenform des Inlandeises und des Felsuntergrundes. Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Monatsh. Jg. 1951, H. 2, S. 53—55.
- [3] Brockamp, B.: Erweiterter Nachtrag zu den wissenschaftlichen Ergebnissen der Deutschen Grönlandexpedition Alfred Wegener. Deutsche Geodätische Kommission, Reihe B, Heft Nr. 48 (1959).
- [4] Brockamp, B.: Überlegungen und Programmpunkte für eine Grönlandexpedition. Deutsche Geodätische Kommission, Reihe B, Heft Nr. 53 (1959).
- [5] Brockamp, B.: Über einige geophysikalische Ergebnisse der internationalen Grönlandexpedition (EGIG) 1959. Polarforschung 35 (1965), S. 42—66.
- [6] Häfeli, R.: Zur Rheologie von Eisschildern der Arktis und Antarktis. Assemblée Générale de Helsinki 25. 7. — 6. 8. 1960, S. 547—561.

- [7] Haefeli, R. u. Brandenberger, F.: Rheologisch-Glaziologische Untersuchungen im Firngebiet des Grönländischen Inlandeises. Meddelelser om Gronland, Bd. 177, Nr. 1 (1968).
- [8] Hamming, R. W.: Numerical Methods for Scientists and Engineers. McGraw Hill, New York usw. 1962.
- [9] Lanczos, C.: Applied Analysis. Prentice Hall, Englewood Cliffs, N. J. (ohne Jahresangabe).
- [10] Mälzer, H.: Das Nivellement über das grönländische Inlandeis der Internationalen Glaziologischen Grönlandexpedition (EGIG) 1959. Meddelelser om Gronland, Bd. 173, Nr. 7, (1968).
- [11] Mohn, H. u. Nansen, F.: Durchquerung von Grönland, Abschn.: Grönlands Inlandeis. Petermanns Mitt., Erg. Bd. 23, (1893), Heft 105, S. 68—89.
- [12] Seckel, H. u. Stober, M.: Höhenänderung des grönländischen Inlandeises 1959—1968. Polarforschung, Bd. VI, Jg. 38, 1968, Nr. 1/2, S. 215—221.
- [13] Tranter, C. J.: Integral Transforms in Mathematical Physics. Methuen, London — New York. Third edition 1966.