

Von W. Stanger, Stuttgart

1. Einleitung

In dem vorausgehenden Vortrag über ein allgemeines digitales Geländemodell hat Herr K. Kraus verschiedene Möglichkeiten der Verarbeitung digitaler Höheninformationen aufgezeigt. Die größte praktische Bedeutung hat dabei die Berechnung von Höhenlinien aus beliebig verteilten Geländepunkten.

Im Fall einer photogrammetrischen Auswertung fallen die Daten beim profilweisen Abfahren eines Modells zur Orthophotoherstellung als Nebenprodukt ab. Dieses profilweise Abfahren ist ungefähr um den Faktor 2 schneller als das direkte Abfahren der Höhenlinien im Modell [1]. Ferner weisen Profile im flachen Gelände oder im Wald eine höhere Genauigkeit auf als direkt gewonnene Höhenlinien. Mit Hilfe von Korrelatoren können sie auch bereits vollautomatisch abgefahren werden. Grundsätzlich ist heute eine flexible Software-Lösung der Aufgabe möglich, aus beliebig verteilten Geländepunkten Höhenlinien zu berechnen, nachdem sehr schnelle und große Computer verfügbar sind und somit leistungsfähige Datenregistriergeräte und Zeichenautomaten sinnvoll ergänzt werden können.

Vor diesem Hintergrund ergab sich die Zusammenarbeit mit den Firmen Wild, Heerbrugg, und Contraves AG, Zürich. Es wurde ein Gesamtsystem konzipiert, wobei die Daten mit dem Wild EK8 erfaßt, mit dem Stuttgarter Höhenlinienprogramm aufbereitet werden und die Höhenlinienkarte am Coragraph DC2 ausgezeichnet wird. So ist gewährleistet, daß die Systeme an den Nahtstellen aufeinander abgestimmt sind.

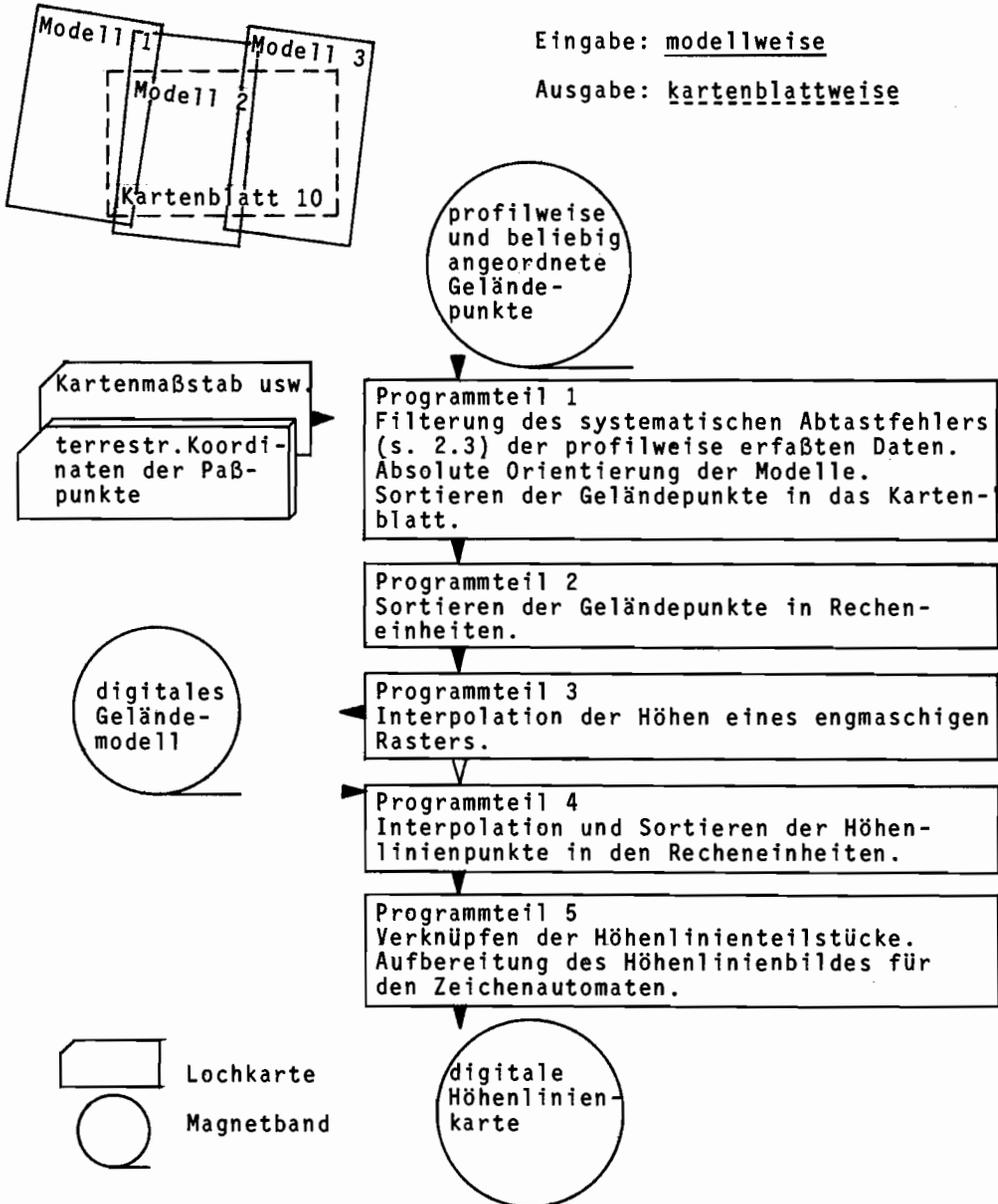
Das Stuttgarter Höhenlinienprogramm ist von der Methode und der Konzeption her jedoch allgemein gehalten und insofern nicht auf eine bestimmte Konfiguration ausgerichtet.

2. Programmbeschreibung

Aufgabe des Programmsystems:

Berechnung von Höhenlinien aus beliebig verteilten Geländepunkten.

2.1 Überblick über das Programmsystem



2.2 INPUT des Programmsystems

Die Eingabe erfolgt modellweise. In den Überlappungszonen der Modelle gehen Geländepunkte aller beteiligter Modelle in die Berechnung ein und verhindern so Sprünge an den Modellrändern. Entsprechend werden einige Geländepunkte außerhalb des Kartenblattrands bei der Berechnung mit verwendet, um Unstetigkeiten am Kartenblattrand zu vermeiden. Die Eingabe teilt sich in Modelldaten und in Kartenblatt-daten auf. Die Modelldaten - in erster Linie die Geländepunkte mit x-, y-, z-Koordinaten -, werden auf Magnetband (z.B. mit dem Wild EK8) registriert. Hinsichtlich Punktdichte oder Punktauswahl bestehen keine Einschränkungen. Das Programm verarbeitet (Bild 1)

- Profilpunkte mit regelmäßigem und unregelmäßigem Abstand
- vom Auswerter ausgewählte Punkte entlang von geomorphologischen Strukturlinien
- einzelne Höhenpunkte von besonderer topographischer Bedeutung (spot heights).

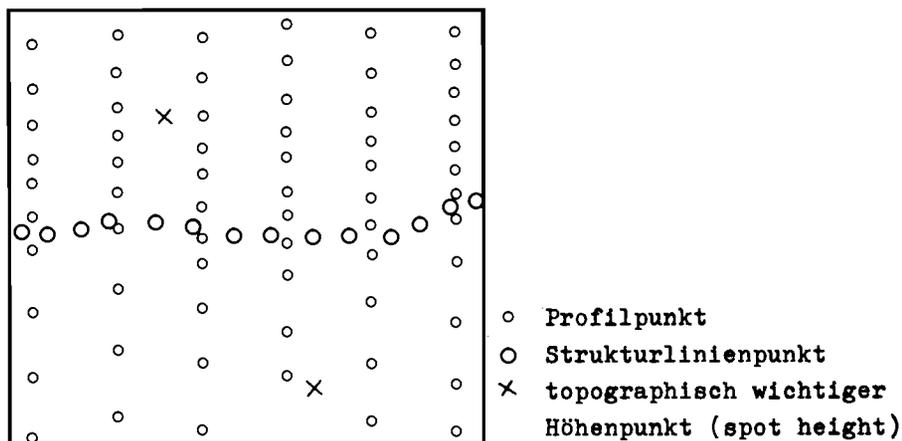


Bild 1

Modelldaten der Eingabe

Die Kartenblattdaten, die von Lochkarten eingelesen werden, umfassen

- Koordinaten der Randlinien und Kartenblattnummer,
- Kartenmaßstab,
- Höhenlinienintervall, Zählhöhenlinienintervall,
- Paßpunktkoordinaten im Landessystem.

2.3 Programmteil 1

Aufgabe: Filterung des systematischen Abtastfehlers bei profilweiser Datenerfassung. Absolute Orientierung der Modelle. Sortieren der Geländepunkte in das Kartenblatt.

Input: Profilweise registrierte Geländepunkte mit zusätzlichen Strukturlinien- und Höhenpunkten und Kartenblattdaten,

oder: Einzelpunkte, die nicht gefiltert werden müssen (z.B. photogrammetrisch gemessene Einzelpunkte in flachem Gelände).

Nacheinander werden die Modelle aufgesucht, die das Kartenblatt überdecken und die auf verschiedenen Magnetbändern stehen können. Nachdem die profilweise erfaßten Punkte in Recheneinheiten (siehe 2.4) nach Hin- und Rückprofilen sortiert worden sind, erfolgt eine Filterung des systematischen Anteils des Abtastfehlers, der durch den Umkehreffekt beim Profilieren hervorgerufen wird. Nach der Methode der Filterung nach kleinsten Quadraten wird für jeden Profilpunkt eine Höhenkorrektur bestimmt [2].

Die gefilterten Modellkoordinaten werden durch eine räumliche Helmert-Transformation ins Landessystem transformiert und die Modellpunkte, die im Kartenblatt liegen, abgespeichert.

Bei einer Einzelpunktmessung, wie sie z.B. in Waldgebieten vorliegen kann, wird die Filterung übersprungen. Die Geländepunkte werden gegebenenfalls transformiert und kartenblattweise abgespeichert.

Output (Platte): In der Höhe gefilterte Profilpunkte oder ungefilterte Einzelpunkte, Strukturlinienpunkte und Höhenpunkte des Kartenblattes im Landessystem.

2.4 Programmteil 2

Aufgabe: Sortieren der Geländepunkte in Recheneinheiten.

Input: Output von Programmteil 1.

Da in einem Kartenblatt 6500 Stützpunkte oder mehr vorliegen können und nur Stützpunkte der näheren Umgebung sinnvollerweise zur Prädiktion einer gesuchten Höhe herangezogen werden, erfolgt eine Aufteilung des Kartenblattes in kleinere Teilgebiete, sogenannte Recheneinheiten (RE). Sie enthalten im Durchschnitt 70 Stützpunkte, so daß der weitere Rechengang numerisch erst durchführbar wird. Die RE überlappen sich gegenseitig, um den Anschluß an benachbarte RE zu gewährleisten (Bild 2).

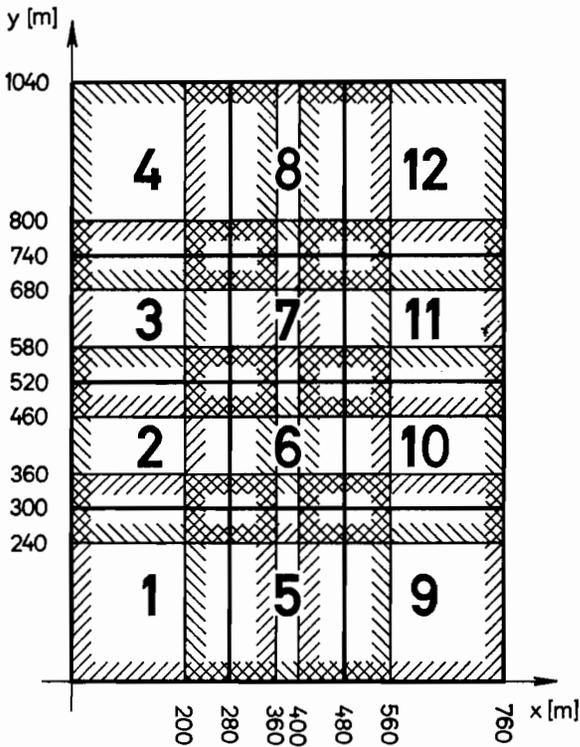


Bild 2

Einteilung des Kartenblattes in überlappende Recheneinheiten

Die RE ohne Überlappungsbereich wird im folgenden Netto-RE, die RE mit ihrem Überlappungsbereich Brutto-RE genannt.

Die Größe einer RE ergibt sich aus dem Profilabstand und der mittleren Punktdichte im Profil. Sie bleibt über das gesamte Kartenblatt hinweg gleich. Die Punktfelder dieser RE sind so dimensioniert, daß sehr unterschiedliche Registrierdichten und viele Bruchlinien verarbeitet werden können. Sollte trotzdem einmal die Punktdichte außergewöhnlich ansteigen, so führt das Programm selbständig eine Datenreduzierung durch Mittelbildung durch. So ist gewährleistet, daß der Auswerter beim Profilabfahren die Abfahrgeschwindigkeit voll an das Gelände anpassen kann.

Die gemessenen Geländepunkte werden in die Felder der einzelnen Recheneinheiten als Stützpunkte eingespeichert, wobei die RE streifenweise zu Blöcken zusammengefaßt und gemeinsam bearbeitet werden. Das Kartenblatt kann somit beliebig viele RE enthalten. Die einzelnen RE-Blöcke werden auf Platte abgelegt.

Output (Platte): Stützpunkte, in überlappenden RE blockweise zusammengefaßt.

2.5 Programmteil 3

Aufgabe: Interpolation der Höhen eines regelmäßigen, engmaschigen Rasters über das ganze Kartenblatt.

Input: Output von Programmteil 2.

Die Berechnung der Rasterhöhen erfolgt recheneinheitenweise, d.h. immer nur die Stützpunkte einer RE müssen im Kernspeicher des Rechners sein. Vorweg wird für jede RE ein einheitlicher Trend (Zentrierung) bestimmt, ohne jedoch die Güte der Zentrierungen mit der Dreipunktkorrelation zu überprüfen. Die Zentrierung erfolgt mit einem Flächenpolynom 0., 1. oder 2. Grades. Der gewünschte Polynomgrad wird über Eingabeparameter gesteuert; erfüllt die damit berechnete Kovarianzfunktion bestimmte Kriterien nicht, so reduziert das Programm den Polynomgrad und wiederholt diesen Abschnitt. Das

Polynom wird in einer Ausgleichung nach vermittelnden Beobachtungen durch alle Stützpunkte gelegt. Die Reduktion aller Stützpunkthöhen in der RE um dieses Polynom ergibt die zentrierten Stützpunkthöhen h (Bild 3).

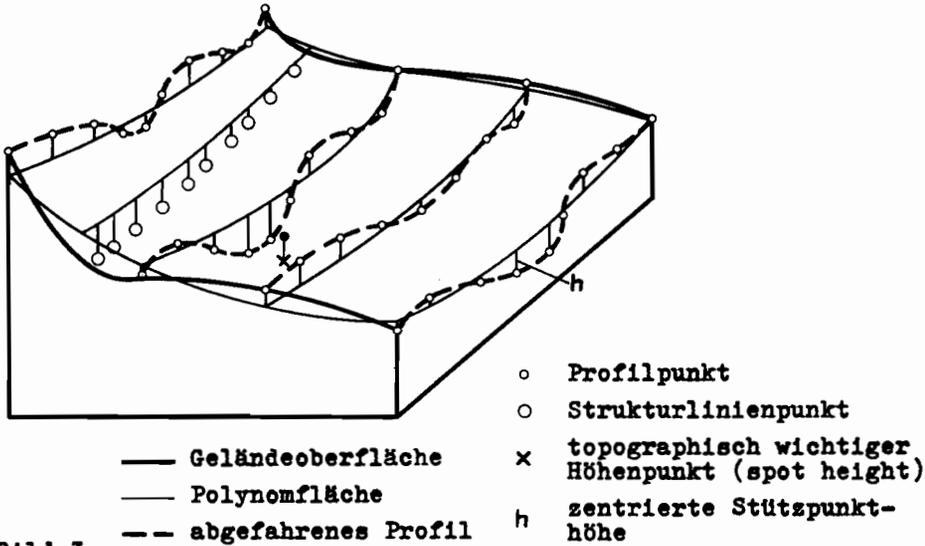


Bild 3

Bestimmung einer Polynomfläche durch die Stützpunkte in der RE

Es folgt die empirische Bestimmung einer Kovarianzfunktion als Glockenkurve für die jeweilige RE mit den zentrierten Höhen der Stützpunkte durch Berechnung der Varianz und der Kovarianzen für einige wenige Entfernungsintervalle (Bild 4).

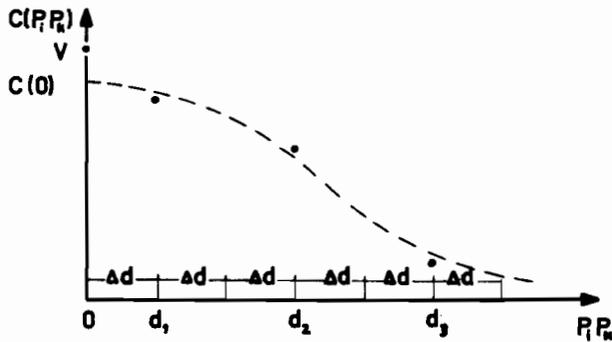


Bild 4

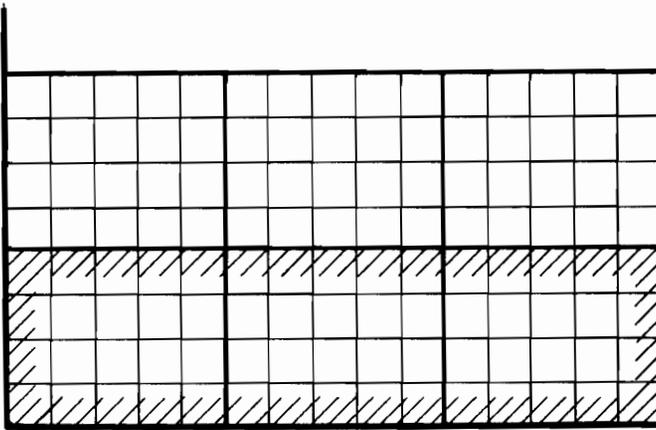
Empirische Bestimmung der Kovarianzfunktion

Bei einer RE mit geringer Stützpunktdichte ist als Kovarianzfunktion eine Gerade vorgesehen. Daran schließt sich der rechenstechnisch aufwendigste Teil an, nämlich die Interpolation der Höhen eines regelmäßigen Rasters in der RE nach der Interpolation nach kleinsten Quadraten. Das Raster verläuft parallel zum Kartenblattrand. Hat man n beliebig verteilte Stützpunkte P_i mit den Stützwerten h_i , so ergibt sich der Interpolationswert h' für einen beliebigen Punkt P aus Gleichung (1) (Gleichung (8) des vorausgehenden Vortrages, wobei s_i mit h' bezeichnet wurde):

$$h' = (C(\overline{PP_1}) \dots C(\overline{PP_n})) \begin{pmatrix} V & C(\overline{P_1P_2}) \dots C(\overline{P_1P_n}) \\ C(\overline{P_1P_2}) & V & C(\overline{P_2P_n}) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ C(\overline{P_1P_n}) & C(\overline{P_2P_n}) \dots & V \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} h_1 \\ h_2 \\ \vdots \\ h_n \end{pmatrix} = \mathbf{c} \cdot \mathbf{C}^{-1} \mathbf{h} \quad (1)$$

Der Zeilenvektor \mathbf{c}' enthält die Kovarianzen $C(\overline{PP_i})$ zwischen dem Interpolationspunkt P und den n Stützpunkten P_i , die \mathbf{C} -Matrix alle Kovarianzen $C(\overline{P_iP_k})$ zwischen den Stützpunkten und entlang der Hauptdiagonalen die Varianz V . Die Kovarianzen in \mathbf{c} und \mathbf{C} werden mit Hilfe der Punktentfernungen $\overline{P_iP_k}$ berechnet, mit denen in die Kovarianzfunktion eingegangen wird. Im Spaltenvektor \mathbf{h} stehen die zentrierten Stützpunkthöhen.

Nachdem für jeden Rasterpunkt durch die Lösung dieser Grundgleichung die zentrierte Höhe berechnet und der Polynomwert addiert worden ist, werden die Höhen der RE-Randlinien Rechts = Konstant mit den Höhen der identischen Randlinie der folgenden RE gemittelt (Bild 5).



- Kartenblattrand
- Randlinien der RE
- Rasterlinien
- //// RE-Streifen

Bild 5

Mittelung der Rasterhöhen an den Randlinien der RE

Ist ein ganzer RE-Streifen fertig berechnet, so werden die Rasterhöhen profilweise als digitales Geländemodell auf Platte abgespeichert. Das obere Randprofil des RE-Streifens wird allerdings erst abgespeichert, wenn es mit dem unteren Randprofil des folgenden RE-Streifens gemittelt worden ist.

Zum Schluß werden die Höhenpunkte trotz ihrer im Programm berücksichtigten höheren Genauigkeit gefiltert, so daß sie in der Höhe mit dem Geländemodell und damit mit den Höhenlinien übereinstimmen.

Output (Magnetband): - Rasterhöhen in Profilen (digitales Geländemodell)
 - in der Höhe gefilterte Höhenpunkte.

2.6 Programmteil 4

Aufgabe: Interpolation von Höhenlinienpunkten im regelmäßigen Raster und Sortieren dieser Punkte zu plausiblen Höhenlinienteilstücken in der RE.

Input: Output von Programmteil 3,

oder: Geländepunkte, die direkt in einem genügend dichten Raster registriert wurden.

Sämtliche erforderlichen Profile für einen RE-Streifen werden eingelesen. Aus diesen Profilen werden die Rasterhöhen entnommen, die die gerade zu bearbeitende RE bilden.

Wegen der hohen Dichte der Rasterhöhen kann die Interpolation sämtlicher Höhenlinienpunkte in der RE entlang der Rasterlinien linear erfolgen (Bild 6).

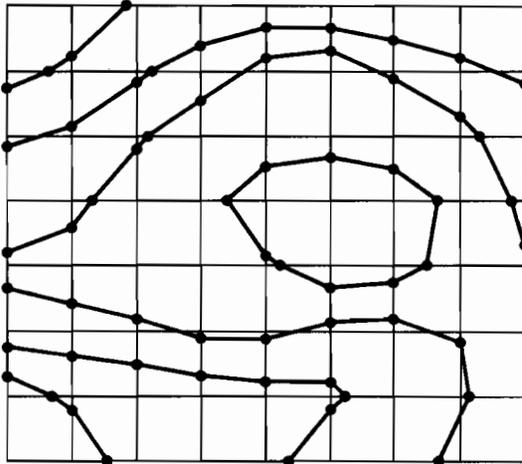


Bild 6

Interpolation diskreter Höhenlinienpunkte im engmaschigen Höhenraster

Im Prinzip wird im Raster in Richtung des größeren Höhenunterschiedes interpoliert, was einer Interpolation in Fallrichtung nahekommt. Stimmt jedoch der Höhenunterschied Rechts und Hoch bis zu einem festgelegten Prozentsatz überein, so wird in beiden Rasterrichtungen interpoliert, um die Informationsdichte entlang der Höhenlinie zu vergrößern.

Zum Zusammensetzen dieser Höhenlinienpunkte zu Höhenlinienteilstücken in der RE sind folgende Kriterien denkbar:

- ausgehend von einem Punkt der Punkt mit der kürzesten Entfernung
- ausgehend von zwei Punkten der Punkt mit der geringsten Richtungsänderung und einer kurzen Entfernung

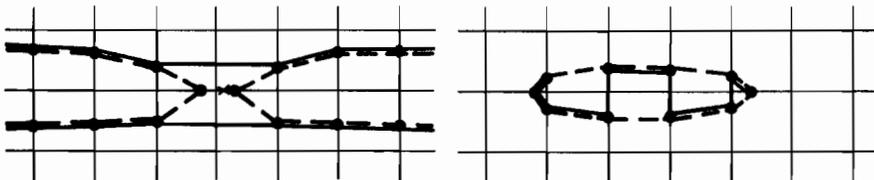
Beide Kriterien allein führen in gewissen Fällen zu keinen plausiblen Lösungen (Bild 7).

Bild 7

Zusammensetzen der Höhenlinienpunkte zu plausiblen Höhenlinienteilstücken

a) Richtungskriterium

b) Entfernungskriterium



- Sollverlauf der Höhenlinie
- Höhenlinienverlauf nach dem Kriterium
- * spot height

Um die Rechenzeit so kurz wie möglich zu halten, stützt sich unser Programm hauptsächlich auf das Streckenkriterium, wobei aber eine vom Rasterabstand abhängige obere Grenzent-

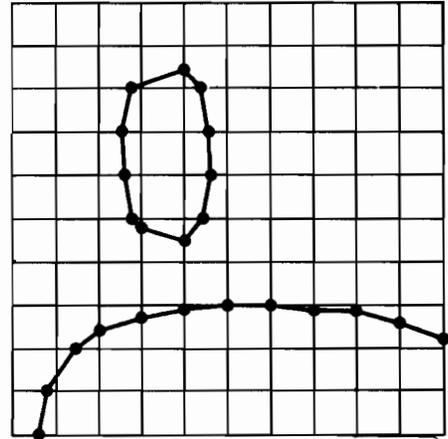
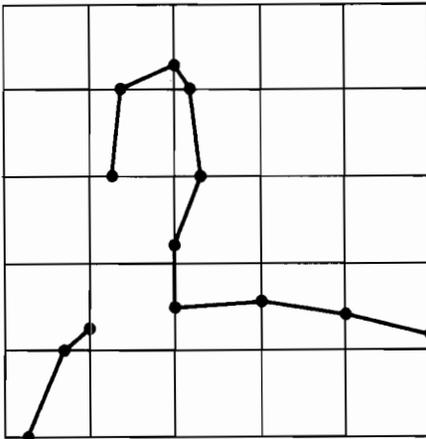
fernung zwischen benachbarten Punkten nicht überschritten werden darf. Zusätzlich sind wichtige Sonderfälle im Programm eingebaut. Gelingt es nicht, die diskreten Punkte zu plausiblen Höhenlinienteilstücken in der RE zusammenzusetzen, so muß die Informationsdichte in der RE durch eine Rasterhalbierung vergrößert werden, was zu entsprechend mehr diskreten Höhenlinienpunkten nach nochmaliger linearer Interpolation im halbierten Raster führt (Bild 8).

Bild 8

Vergrößerung der Informationsdichte durch Halbierung des Rasterabstandes

a) kein plausibler Linienvverlauf im ursprünglichen Raster

b) plausibler Linienvverlauf im halbierten Raster



Auf diese Weise wird der Rechenaufwand an die Schwierigkeit des Geländes angepaßt. Erforderlichenfalls kann das Raster ein zweitesmal halbiert werden, sodaß die Höheninformation des Rasters auf das 16-fache ansteigt.

Welche Kriterien werden nun für ein plausibles Zusammen-
setzen der Punkte zu Höhenlinienteilstücken herangezogen?
Ganz allgemein werden die Höhenlinien in der RE in offene
und geschlossene Höhenlinien eingeteilt.

Die offene Höhenlinie beginnt mit einem Schnittpunkt mit
einer RE-Randlinie und endet wieder mit einem Schnittpunkt.
Sind alle offenen Höhenlinien zusammengesetzt, so müssen
die restlichen Punkte zu geschlossenen Höhenlinien gehören.
Diese beginnen frei in der RE und kehren wieder an diesen
Ausgangspunkt zurück.

Endet nun eine offene Höhenlinie nicht auf einer RE-Rand-
linie oder überschreitet bei einer geschlossenen Höhen-
linie die Entfernung zwischen dem ersten und letzten Punkt
die oben erwähnte Grenzentfernung, so wurden keine plau-
siblen Höhenlinienteilstücke gefunden und der Rasterbestand
wird, wie in Bild 8 gezeigt, halbiert und der Programmab-
schnitt wiederholt.

Beim Abspeichern der Höhenlinienteilstücke auf Platte er-
folgt eine Vorsortierung nach der Höhe des Teilstückes, so
daß Teilstücke derselben Höhe zusammengefaßt werden.

Output (Platte): Höhenlinienteilstücke, nach der Höhe vor-
sortiert.

2.7 Programmteil 5

Aufgabe: Verknüpfen der Höhenlinienteilstücke aus den RE
zu zusammenhängenden Höhenlinien im Kartenblatt.
Ergänzung und Aufbereitung des Höhenlinienbildes
für den Zeichenautomaten.

Input: Output von Programmteil 3 und 4.

Die im Programmteil 4 vorsortierten Höhenlinienteilstücke
werden nach aufsteigenden Höhenwerten zusammengesetzt, be-
ginnend mit der tiefsten Höhenlinie im Kartenblatt. Alle
Anfangs- und Endpunkte der Teilstücke liegen dabei auf
RE-Randlinien mit Ausnahme der in den RE geschlossenen
Höhenlinien. Die Einteilung der Höhenlinien in offene und

geschlossene, jetzt auf das Kartenblatt bezogen, entspricht derjenigen in der RE. Deshalb sind auch die Kriterien für ein erfolgreiches Zusammensetzen ähnlich.

In die Zählhöhenlinien können die Höhenwerte im vorprogrammierten oder über Lochkarte eingelesenen Abstand eingefügt werden. Dabei wird vom Programm her die Krümmung der Höhenlinie an der vorgesehenen Stelle geprüft. Obersteigt sie eine festgelegte Grenze, so wird der Höhenwert verschoben und die Prüfung erneut durchgeführt. Vier Verschiebungen sind vorgesehen. Um die topographisch richtige Schreibrichtung zu gewährleisten, erfolgt ein Rückgriff auf das digitale Geländemodell am Höhenwert, das vom Programmteil 3 noch auf Platte steht. Die Höhenwerte selbst werden entsprechend der Kurvenkrümmung auf Kreisbogen geschrieben. Höhenlinien und Höhenwerte werden mit Steuersignalen für den Zeichenautomat versehen und auf Magnetband geschrieben. Der Zeichenautomat verbindet die Höhenlinienpunkte entsprechend den Steuersignalen z.B. durch eine Kurve 3. Ordnung durch benachbarte Punkte.

Ober Eingabeparameter besteht die Möglichkeit, Zählhöhenlinien verstärkt auszeichnen zu lassen.

Nach der Bearbeitung der höchsten Höhenlinie im Kartenblatt erfolgt die Aufbereitung der Höhenpunkte. Sie werden auf ihre Lage zueinander und zum Blattrand geprüft, um Überschneidungen zu verhindern. Liegen Höhenpunkte eng beieinander, so wird die eine Kote links, die zweite rechts des Punktes geschrieben.

Ist das Höhenlinienbild als Ergänzung zum Orthophoto vorgesehen, so werden für die Zusammenkopie die Paßpunkte aufbereitet und auf Magnetband ausgegeben.

Den Abschluß bildet die Bearbeitung und Ausgabe des Kartenrahmens, der folgende Teil enthält:

- Berechnung des Koordinatengitters im Blattinnern,
- Gitteranriß am Blattrand mit Koordinatenbeschriftung,
- Blattrand,
- Überschrift, Maßstab, Blattnummer.

2.8 OUTPUT des Programmsystems

Als Endergebnis der Berechnungen erhalten wir ein für den Zeichenautomat aufbereitetes Magnetband, das die gesamte Zeichnung des Kartenblattes enthält. Im Augenblick ist dieser Output auf den Zeichenautomat Coragraph DC2 der Firma Contraves AG, Zürich, abgestimmt.

3. Beispiele

Modell-Nr.	121/122 ¹⁾	2107/2106
Bildmaßstab	1 : 7500	1 : 32000
Modellmaßstab	1 : 3750	1 : 13333
Zeichenmaßstab	1 : 2500	1 : 10000
<u>Registrierung:</u>		
Profilrichtung	x (Rechts)	y (Hoch)
Profilabstand	15 m	50 m
konst. Registrierintervall	Zeitintervall 1 sec ($\hat{=}$ 15 m)	Zeitintervall 1 sec ($\hat{=}$ 53 m)
Anzahl der Stützpunkte	6 600	6 400
Rasterweite	5 m	20 m
Anzahl der interpolierten Rasterpunkte	44 500	39 040
Größe der Netto-RE	50x50 m ²	200x200 m ²
Oberlappung der Brutto-Netto-RE	30 m	75 m
Anzahl der RE im Kartenblatt	16 x 27 = 432	14 x 27 = 378
Mittl. Stützpunktanzahl pro Brutto-RE	ca. 70	ca. 50
<u>Rechenzeit (CDC 6600)</u>		
Programmteil 1	--	--
Programmteil 2	69 SS	72 SS (Systemsekunden)
Programmteil 3	401	230
Programmteil 4	103	71
Programmteil 5	67	48
Summe	640	421

1) Anlage 1 enthält einen Ausschnitt dieses Modells

Im Modell Nr. 121/122 ist die Überlappung der Brutto-RE gegenüber der Netto-RE mit zwei Profilbreiten sehr groß gewählt. Wegen der daraus folgenden hohen mittleren Stützpunktzahl in der Brutto-RE steigt die Rechenzeit im Programmteil 3 stark an. Verkleinert man diese Überlappung und zieht die Zeit für die hier enthaltenen umfangreichen Protokolle ab, so ergibt sich für ein Blatt der Deutschen Grundkarte 1:5000 mit ca. 6000 Stützpunkten eine Rechenzeit von ca. 400 SS.

4. Programmbesonderheiten

4.1 Freiheit bei der Datenerfassung

Entsprechend der geforderten Qualität des Endprodukts kann der Auswerter den Profilabstand frei wählen und entweder nach konstantem Zeit- oder Wegintervall Punkte registrieren. Zusätzlich wird er so viele geomorphologisch wichtige Strukturlinien und spot-heights messen, wie er aus Qualitätsgründen für erforderlich hält.

Die Lage der Modelle ist unabhängig vom Kartenblatt. Das Kartenblatt muß jedoch vollständig von Modellen bedeckt sein.

4.2 Anpassen des Rechen- und Zeichenaufwandes an Umfang und Auswahl der Daten

Da mit zunehmender Stützpunktdichte neben der Qualität auch der Rechenaufwand ansteigt, muß die Wirtschaftlichkeit im Einzelfall an der geforderten Qualität des Endproduktes gemessen werden. Zur Steigerung der Wirtschaftlichkeit können folgende Maßnahmen dienen:

- Registrierung der Modellkoordinaten im Landessystem
- Direkte rasterförmige Registrierung der Geländepunkte
- Vergrößerung des Rasterabstandes

Zu einer erheblichen Verkürzung der Rechenzeit, insbesondere durch den 2. Vorschlag, bringt der 3. Vorschlag noch eine Verkürzung der Zeichenzeit.

4.3 Grundlage für weitergehende Berechnungen

Das Programmsystem liefert als Nebenprodukt die Höhen eines regelmäßigen, dichten Rasters, die auf Magnetband abgelegt und als Grundlage z.B. für Massenberechnungen und zur Profilgewinnung dienen können.

Auch die Höhenlinien liegen in digitaler Form vor und können so mit einem digitalisierten Grundriß rechnerisch und zeichnerisch kombiniert werden.

4.4 Laufende Anpassung an das Gelände

Entscheidenden Einfluß auf die Qualität des Höhenlinienplanes haben die mehrfachen Anpassungsmöglichkeiten des Programmsystems an das jeweilige Gelände bzw. den Geländeabschnitt durch

- die Verschlüsselung des Geländetyps durch den Auswerter, die den Rasterabstand im Kartenblatt festlegt und damit die Güte der Annäherung des Rasters an die Geländeoberfläche,
- die erneute Bestimmung der Kovarianzfunktion für jede RE,
- die automatische Halbierung des Rasterabstandes in der RE, in der keine plausiblen Höhenlinien gefunden werden.

Zu betonen ist, daß auf diese Weise nur an geomorphologisch schwierigen Stellen der Rechenaufwand bis zu dem Maß gesteigert wird, daß eine gleichbleibende Qualität über das gesamte Kartenblatt gewährleistet ist.

5. Computer

5.1 Programmsprache

Das Programm ist in Standard FORTRAN IV geschrieben. Es ist jedoch denkbar, Assembler-Unterprogramme einzubauen, die allgemein verfügbar sind, um Rechenzeit soweit als möglich einzusparen.

5.2 Computerausstattung

Kernspeicher ca. 56 K Worte à 60 bit oder
ca. 256 K bytes à 8 bit (zusätzlich Betriebssystem)

2 Magnetbandstationen

1 Platten- oder Trommelspeicher

Die Zeit für die Ausführung einer Gleitkommamultiplikation sollte unter 10 μ sec liegen.

Beispiele: IBM 360/50 aufwärts
IBM 370/155 "
CDC 6400 "

6. Genauigkeit der Höhenlinien

6.1 Geometrische Genauigkeit

Es werden nur erste Ergebnisse mitgeteilt, da die Untersuchungen noch nicht abgeschlossen sind.

6.1.1 Modell 121/122

Für dieses Modell liegen die Analogauswertungen von zwei Auswertern vor.

Imhof gibt für eine topographische Aufnahme im Maßstab 1:2500 den mittleren Fehler der Höhenlinien mit

$$m_h = \pm (0.25 + 1.5 \cdot \tan \alpha) \text{ [m] } , \quad (2)$$

Finsterwalder-Hofmann für eine photogrammetrische Höhenlinienauswertung mit

$$m_h = \pm (0.2 + 0.4 \cdot \tan \alpha) \quad [m] \quad (3)$$

an. α ist dabei die Geländeneigung.

Um die relative Genauigkeit einer vorliegenden Analogauswertung zu bestimmen, wird über die Lageabweichung identischer Punkte in einem Zusammendruck der beiden Analogauswertungen der mittlere Fehler der Höhenlinien einer konventionellen Auswertung bestimmt zu

$$m_h = \pm (0.18 + 0.7 \cdot \tan \alpha) \quad [m] \quad (4)$$

was im Rahmen der in (3) angegebenen Genauigkeit liegt.

Die automatische Auswertung wurde mit einer der beiden Analogauswertungen zusammenkopiert. Für die Differenz konventionelle - automatische Auswertung ergibt sich folgender mittlerer Fehler für die Höhenlinien:

$$m_h = \pm (0.23 + 1.4 \cdot \tan \alpha) \quad [m] \quad (5)$$

Den mittleren Fehler der Höhenlinien einer automatischen Auswertung erhalten wir aus (4) und (5) zu

$$m_h = \pm (0.14 + 1.2 \cdot \tan \alpha) \quad [m] \quad (6)$$

Ein Vergleich von (4) und (6) ergibt, daß die automatisch gewonnenen Höhenlinien im flachen Gelände etwas genauer, im steilen Gelände etwas ungenauer als die vorliegenden konventionell gewonnenen Höhenlinien sind.

Angefügt sei noch die Fehlergrenze für den mittleren Fehler der Höhenlinien für die Deutsche Grundkarte 1:5000

$$m_h = \pm (0.4 + 5 \cdot \tan \alpha) \quad [m] \quad (7)$$

6.1.2 Modell 2107/2106

Für den hier vorliegenden Maßstab 1:10 000 gibt Imhof einen mittleren Fehler der Höhenlinien von

$$m_h = \pm (0.6 + 1 \cdot \tan \alpha) \quad [\bar{m}] \quad (8)$$

und Finsterwalder-Hofmann von

$$m_h = \pm (0.4 + 2.0 \cdot \tan \alpha) \quad [\bar{m}] \quad (9)$$

an.

Da auch hier eine konventionelle Auswertung vorliegt, kann ein direkter Vergleich stattfinden. Ober die Differenzen konventionelle - automatische Auswertung wird der mittlere Fehler der Höhenlinien zu

$$m_h = \pm (1.1 + 1.6 \cdot \tan \alpha) \quad [\bar{m}] \quad (10)$$

bestimmt. Wird von dem in (10) angegebenen mittleren Fehler derjenige einer konventionellen Auswertung (8) oder (9) quadratisch abgezogen, so ergibt sich der mittlere Fehler der automatisch gewonnenen Höhenlinien zu

$$m_h = \pm (1.0 + 0.6 \cdot \tan \alpha) \quad [\bar{m}] \quad (11)$$

6.2 Beurteilung der kartographischen Qualität

Entscheidend für die Qualität der Wiedergabe der Geländeformen ist die Dichte der Stützpunkte.

In sehr flachem Gelände pendelt die konventionell gewonnene Höhenlinie teilweise um die automatisch gewonnene. Dies ist auf eine zunehmende Lageunsicherheit der Analogauswertung bei geringer werdender Geländeneigung zurückzuführen. Die automatische Auswertung ist hier genauer, weil die Profile im flachen Gelände recht genau gemessen werden können.

In steilerem Gelände fallen einige Lageabweichungen zwischen konventioneller und automatischer Auswertung an charakteristischen Geländeformen wie Bergrücken, Mulden und Einschnitten

auf. Ein guter Auswerter wird in solchen Fällen immer eine charakterisierende Interpretation in seine Analogauswertung mit einfließen lassen und eine Erosionsrinne z.B. durch spitz zulaufende Höhenlinien kennzeichnen, an Böschungen scharf abknicken oder Straßen genähert senkrecht überqueren. Die automatische Auswertung hingegen ist ganz besonders darauf angewiesen, daß außer Bruchlinien wie z.B. Böschungskanten auch alle anderen charakteristischen Geländeformen, wie z.B. Bergrücken, durch Strukturlinien mit zusätzlichen Punkten in genügend dichter Folge erfaßt werden. Diese zusätzliche Information erfordert eine Interpretation des Auswerter bei der Datenerfassung.

Die kartographischen Vorzüge der automatischen Auswertung fallen besonders an steilen Berghängen auf: Durch die sehr gute Scharungsplastik vermittelt sie einen wesentlich besseren Höheneindruck als die konventionelle Auswertung mit ihrer differentiellen Unsicherheit im Linienverlauf.

Während auf die konventionelle Auswertung im Regelfall eine kartographische Oberarbeitung zur Glättung dieser Unsicherheiten folgt, stellt die Gravur der automatischen Auswertung in den meisten Fällen das Endprodukt dar.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß die hier in den Beispielen verwendete Registrierdichte mit 4 mm Profilabstand im Modell und einer durchschnittlichen Registrierweite von 3 - 4 mm im Profil ausreicht, um die Genauigkeit einer konventionellen Auswertung zu erreichen. Gleichzeitig kann der Höhenlinienplan ohne weitere kartographische Oberarbeitung für die meisten Zwecke, z.B. für Ingenieur- und Planungsaufgaben, als Endprodukt dienen.

In einigen wenigen Fällen, in denen noch höhere kartographische Qualität gefordert wird, kann dies durch eine noch dichtere Punkterfassung, ein engeres Raster oder durch kleine Korrekturen an den Daten des für den Zeichenautomaten beschriebenen Magnetbandes erfolgen, indem über ein Digitalisiergerät oder einen Bildschirm Änderungen am Höhenlinienverlauf auf das Magnetband übertragen werden.

7. Programmerweiterungen

7.1 Programmversion für die Auswertung von tachymetrischen Aufnahmen

Die Ausgangsdaten können hier z.B. von einem selbstregistrierenden Tachymeter stammen. Im allgemeinen sind die Stützpunkte unregelmäßig im Gelände verteilt, so daß stark unterschiedliche Punktdichten auftreten können. Diese wechselnden Punktdichten haben dazu geführt, größtenteils eine Gerade als Kovarianzfunktion zu verwenden.

Ein wichtiges Unterscheidungsmerkmal zur Normalversion liegt darin, daß hier eine unregelmäßige Blattrandbegrenzung vorgesehen ist. Ebenso sind im Gebietsinneren Inseln ohne Stützpunkte möglich.

Geländebruchlinien erhalten bei der tachymetrischen Aufnahme eine übergeordnete Bedeutung. Im Programm erfolgt deshalb eine Verdichtung der Stützpunkte entlang der gekennzeichneten Bruchlinien. Zusätzlich werden Kovarianzen zwischen Stützpunkten auf verschiedenen Seiten einer Bruchlinie in der Interpolationsgleichung (1) Null gesetzt.

7.2 Programmversion zur Gewinnung von Gefällstufen

Die Flurbereinigungsverwaltung benötigt im Zuge der Bodenschätzung und der Zuteilung der neuen Grundstücke in Gebieten mit bewegtem Gelände Karten, in denen Flächen verschiedener Geländeneigungen gegeneinander abgegrenzt sind. So werden beispielsweise in Baden-Württemberg die Flächen mit einem Gefälle von 0 bis 6 Prozent als eben behandelt und erhalten bei der Schätzung keinen Abzug, während Flächen mit einem Gefälle über 6 Prozent mit Abzügen versehen werden können.

Soll z.B. die Stufe 0 - 6 Prozent gegen die folgende Stufe 6 - 10 Prozent abgegrenzt werden, so stellt sich die Aufgabe, viele eng benachbarte Einzelpunkte mit dem Gefälle 6 Prozent aufzufinden. Da auch hier Linien als Ergebnis

gesucht werden, entspricht diese Aufgabe der unter 2 beschriebenen Höhenlinieninterpolation mit dem Unterschied, daß das digitale Geländemodell durch ein Raster zu ersetzen ist, in dem statt der Geländehöhen das Geländegefälle abgespeichert ist. In dieses Raster mit den Gefällwerten werden, analog zu Linien konstanter Höhe, Linien konstanten Gefälles interpoliert.

Die Berechnung des Gefälles in einem Rasterpunkt erfolgt über die Höheninformation des digitalen Geländemodells. Dazu ist zunächst der Fallwinkel α_E einer Ebene (Neigungswinkel einer Ebene) zu bestimmen. Aus Gleichung (23) und (22) in ([3], S. 163) ergibt sich in unserem Sonderfall mit zwei aufeinander senkrecht stehenden Rasterrichtungen mit den Neigungen α_2 und α_3 :

$$\tan \alpha_E = \sqrt{\tan^2 \alpha_2 + \tan^2 \alpha_3} \quad (12)$$

Der Übergang auf ein prozentuales Gefälle ergibt mit den Bezeichnungen des Bildes 9:

$$\alpha_{EP} = \sqrt{\left(\frac{(H(I+1,k) - H(I,k)) \cdot 100}{RR} \right)^2 + \left(\frac{(H(I,k+1) - H(I,k)) \cdot 100}{RH} \right)^2}$$

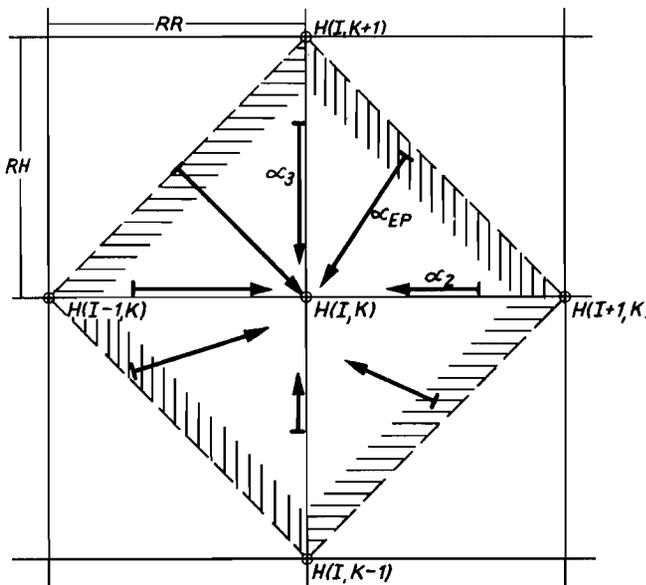


Bild 9

Fallwinkel einer Ebene

$H(I, K)$ Rasterhöhe im Punkt (I, K)

RR Rasterintervall Rechts

RH Rasterintervall Hoch

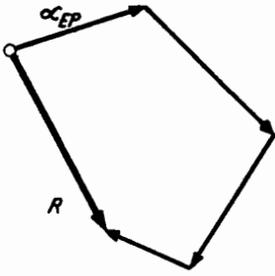


Bild 10

**Vektorielle Addition der
Gefälle der 4 Ebenen**

Das Gefälle im Rasterpunkt (I,k) wird als Mittel der Gefälle der in Bild 9 schraffierten Ebenen berechnet, wobei die bekannten prozentualen Gefälle dieser 4 Ebenen vektoriell addiert werden (Bild 10). Der Betrag des resultierenden Vektors R wird durch 4 geteilt und ergibt den Betrag des Gefälles G (I,k). Dies stellt das Gefälle der Tangentialebene an das digitale Geländemodell im Rasterpunkt (I,k) dar.

$$G(I,k) = \sqrt{\frac{((H(I+1,k)-H(I-1,k))(100/RR))^2 + ((H(I,k+1)-H(I,k-1))(100/RH))^2}{4}} \quad (12)$$

Die gewünschten Grenzen der Gefällstufen werden über Lochkarten eingelesen.

Für die Berechnung der Gefällstufen vom digitalen Geländemodell ab sind für das Beispiel des Modelles 121/122²⁾ auf der CDC 6600 im Programmteil 4 78 SS erforderlich, im Programmteil 5 56 SS, insgesamt also 134 SS zusätzliche Rechenzeit, wobei wiederum umfangreiche Protokolle enthalten sind.

²⁾Anlage 2 zeigt einen Ausschnitt der Gefällstufenkarte, der mit dem der Höhenliniendarstellung in Aml.1 übereinstimmt. Das digitale Geländemodell zur Ableitung der Gefällstufenkarte ist etwas stärker gefiltert als das zur Höhenliniengewinnung.

Genauigkeitsuntersuchungen konnten bis jetzt noch nicht durchgeführt, sondern lediglich die Gefällstufenkarte mit der Höhenlinienkarte zur Deckung gebracht und verglichen werden. Dabei fällt insbesondere die Fülle an Kleinformen bei den Gefällstufen auf, die im digitalen Geländemodell enthalten, aber aus den Höhenlinien bereits nicht mehr ersichtlich sind. Neben der Feststellung, daß die Gefällstufen plausibel erscheinen, kann bereits vorweg gesagt werden, daß die aus dem digitalen Geländemodell direkt abgeleiteten Gefällstufen im allgemeinen solchen, die aus Höhenlinien abgeleitet werden, hinsichtlich Genauigkeit und Vollständigkeit überlegen sein werden.

8. Ausblick

Nachdem die unter 2. beschriebene Grundversion des Höhenlinienprogramms zu einem Abschluß gebracht worden ist, sollen die folgenden, auf der Grundversion aufbauenden Programmversionen bearbeitet werden:

8.1 Generalisierungsprogramm

Durch eine gezielte Filterung der Höheninformation in den Stützpunkten ist es möglich, ein generalisiertes Geländemodell zu berechnen, in dem anschließend generalisierte Höhenlinien interpoliert werden.

8.2 Programmversion zur geomorphologischen Überarbeitung

Hier soll der Einfluß von Geländebruchlinien auf das digitale Geländemodell, wie in 7.1 beschrieben, erfaßt und durch weitere Maßnahmen eine möglichst gute Wiedergabe von geomorphologischen Feinheiten des Geländes im Höhenlinienbild erreicht werden.

8.3 Programmversion zur Gewinnung von Gefällstufen

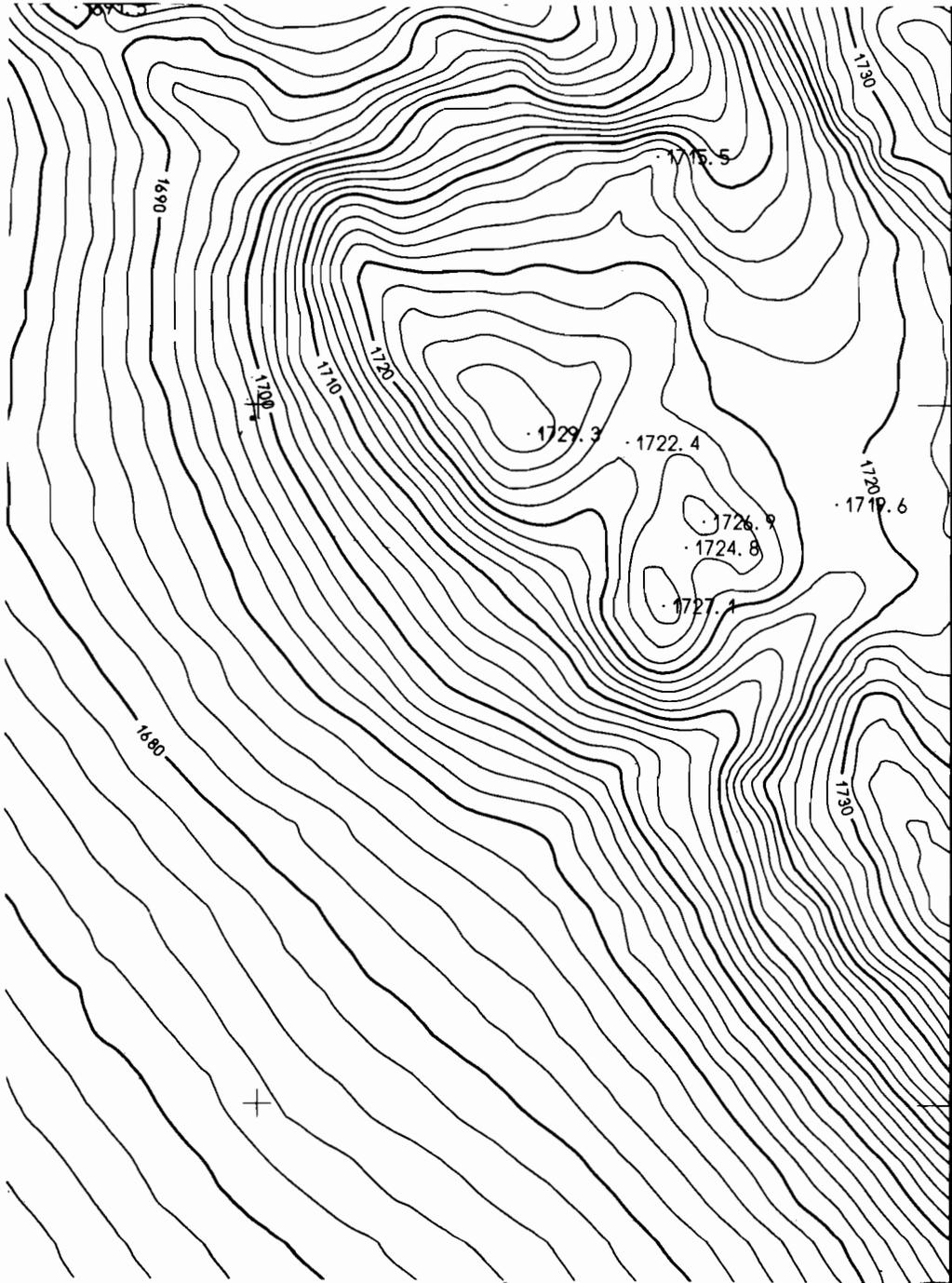
Diese Programmversion ist noch weiter auszutesten und es sind Genauigkeitsuntersuchungen durchzuführen.

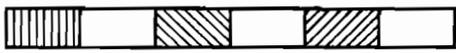
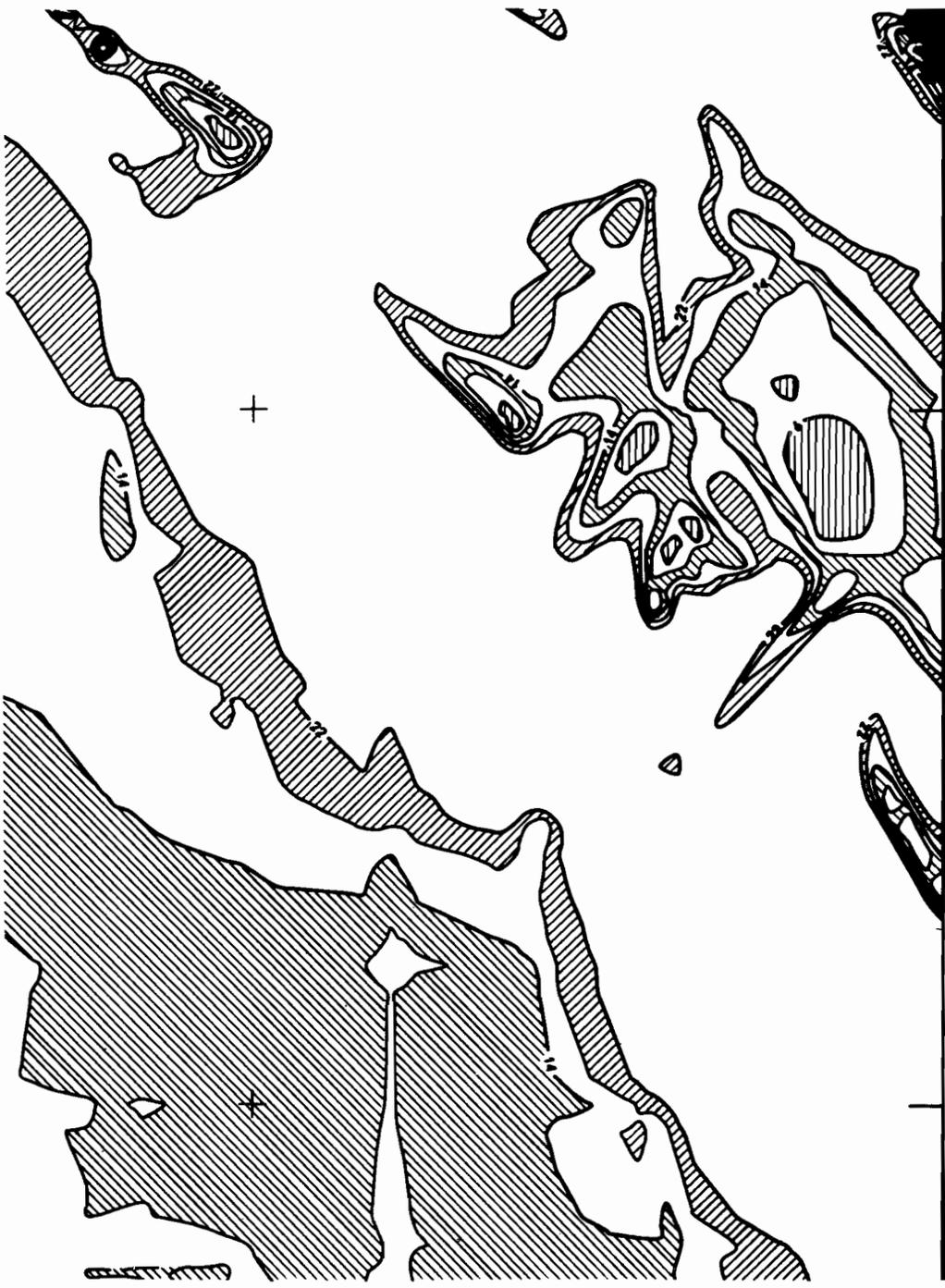
8.4 Das Programm zur Gewinnung von Profilen aus dem digitalen Geländemodell ist noch zu verfeinern und in diesem Zusammenhang sind noch Ergänzungen einzuführen, um aus Höhenlinien Profile ableiten zu können.

Als abschließende Entwicklungen sind eine Ab- und Auftragskarte bei Massenbewegungen, Massenberechnungen und die Ableitung von Falllinien aus dem digitalen Geländemodell denkbar.

- [1] Finsterwalder, R.: Zur Gewinnung von Profilen aus Schichtlinien zum Zwecke der Differentialentzerrung, ZfV 5, S. 193, 1972.
- [2] Kraus, K.: Prädiktion und Filterung mit zwei verschiedenen Stützpunkt-Gruppen, ZfV 4, S. 146, 1973.
- [3] Kraus, K.: Zur Auswertung nicht orientierter Luftbilder, BuL 4, S. 163, 1971.

Anlage 1: Automatisch gewonnene Höhenlinien-
Karte 1:2 500





GEFAELLSTUFEN 0 6 10 14 18 22 PROZENT



Sammlung Wichmann

NF – Buchreihe

Herausgeber: Prof. Dr.-Ing. Heinz Draheim, Universität Karlsruhe

Grundstücks-Abmarkung

Rechtsgrundlagen und Verfahren. Band 1. Von Dipl.-Ing. **Otto Kriegel**, Ministerialrat. Groß-Oktav. XII, 146 Seiten. 1964. Kartoniert DM 19,80. ISBN 3-87907-010-5.

Der Autor behandelt — für das gesamte Gebiet der Bundesrepublik Deutschland — die Grundstücksabmarkung, genauer gesagt: die Abmarkung der rechtmäßigen Grundstücke, in umfassender Form, erläutert den genannten Fragenkomplex und gibt den Grundstückseigentümern Aufschluß über ihre Beziehung zur Grundstückeabmarkung. Einleitend wird eine Begriffsbestimmung gegeben und die Abmarkung von Vermessungspunkten erläutert.

Zimmermann-Quadrattafeln

Vollständige Tafeln der Quadrate aller Zahlen bis 100 000. Band 2. Berechnet von **Ludwig Zimmermann** f. 6., von Professor Dr.-Ing. **Heinz Draheim** mit einer neuen Gebrauchsanweisung herausgegebene Auflage. Groß-Oktav. XX, 188 Seiten. 1966. Leinen DM 24,—. ISBN 3-87907-011-3.

Die 6., jetzt vorliegende Auflage erscheint im Zeitalter der elektronischen Rechenautomaten. Das Tafelwerk hat in den dazwischen liegenden einigen Jahrzehnten nicht an Bedeutung eingebüßt, denn zu den in diesen Jahrzehnten gebräuchlichen Rechenmaschinen mit Hand- oder elektrischem Antrieb, mit einfachen oder mehrfachen Rechenwerken, schreibend oder nichtschreibend, erschienen Lehrbücher auf dem Markt mit Anweisungen für die Bedienung dieser Rechenmaschinen. In diesen Lehrbüchern wurde darauf verwiesen, daß für das Wurzelziehen zweckmäßig eine Quadrattafel zu verwenden sei.

Einführung in die Ausgleichsrechnung

Band 3. Von Professor Dr.-Ing. habil. **Ernst Gotthardt**, Universität München. Groß-Oktav. VIII, 273 Seiten mit 7 Tafeln, 16 Rechenbeispielen und 87 Abbildungen. 1968. Balacron DM 49,50. ISBN 3-87907-012-1.

„Das vorliegende Lehrbuch vermittelt eine ausgezeichnete Einführung in die Ausgleichsrechnung, die in den letzten Jahrzehnten eine bedeutsame Weiterentwicklung erfahren hat. Neben den klassischen Verfahren werden auch die statistischen Methoden gebührend behandelt. Das Buch schließt eine Lücke zwischen den traditionellen und modernen Darstellungen. Die Aussagen über die Fehler und ihre Wahrscheinlichkeit erfahren eine wesentliche Präzisierung.“

„Mitteilungen des Deutschen Vereins für Vermessungswesen, Landesverein Baden-Württemberg.“

Einführung in die Potentialtheorie

Band 4. Von Professor Dr.-Ing. **Rudolf Sigi**, Universität München. Groß-Oktav. 231 Seiten mit 101 Abbildungen. 1973.

Kartoniert DM 38,—. ISBN 3-87907-031-8



Sammlung Wichmann

NF – Schriftenreihe

Herausgeber: Prof. Dr.-Ing. Heinz Draheim, Universität Karlsruhe

Die amtlichen topographischen Kartenwerke der Bundesrepublik Deutschland

Heft 10. Groß-Oktav. VI, 51 Seiten und 17 Karten im Anhang. 1969. Kartonierte DM 12,80. ISBN 3-87907-009-1.

Inhalt: Krauß, Die Topographische Karte 1 : 25 000 — Beck, Die Topographische Karte 1 : 50 000 — Appelt, Die Topographische Karte 1 : 100 000 — Knorr, Die Topographische Karte 1 : 200 000.

„Die Verfasser der Beiträge waren maßgeblich an der Neugestaltung dieser Kartenwerke beteiligt. Ihnen gebührt Dank und Anerkennung auch dafür, daß sie mit der vorliegenden Veröffentlichung die geschichtliche Entwicklung, die technischen Grundlagen, die Gegenwartsprobleme und auch die Entwicklungstendenzen der einzelnen Kartenwerke aufgezeichnet und somit einem größeren Kreis zugänglich gemacht haben.“

„Der Vermessungsingenieur“

Grundsätzliches zur Fehlertheorie und zur Ausgleichung von Polygonzügen und Polygonnetzen

Heft 12. Von Professor Dr.-Ing. habil. Ernst Gotthardt, Universität München. Groß-Oktav. VIII, 46 Seiten mit 29 Abbildungen. 1971. Kartonierte DM 22,50. ISBN 3-87907-021-0.

Im vorliegenden Heft werden in kurzer Form die wesentlichsten theoretischen Grundlagen für die Berechnung und Ausgleichung von Polygonzügen und Polygonnetzen mitgeteilt und die zahlreichen bekannten Rechenverfahren erläutert sowie kritisch gewertet. Dabei wird bewußt auf die Angabe von Zahlenbeispielen oder Rechenprogrammen verzichtet.

Chorographische Kartographie

Heft 14. Groß-Oktav. 45 Seiten mit 11 Kartenbeilagen. 1971. Kartonierte DM 12,80. ISBN 3-87907-023-7.

Inhalt: R. Böhme, Die Internationale Weltkarte 1 : 1 Mill. — K. H. Meine, KAPTA MNPA — World Map — Weltkarte 1 : 2,5 Mill. — A. Hanle, Die Deutsche Weltkarte 1 : 5 Mill.

Elektronische Tachymetrie

12 Vorträge zum Oberkochener Geo-Instrumenten-Kursus. Heft 15. Groß-Oktav. 131 Seiten mit 90 Abbildungen. 1971. Kartonierte DM 19,80. ISBN 3-87907-024-5.

„Der Band enthält 12 Vorträge zum Thema „Theorie und Praxis der elektronischen Tachymetrie“. Sie vermitteln einen Einblick in aktuelle geodätische Probleme, die im letzten Jahrzehnt mit der Entwicklung elektronischer Tachymeter entstanden, und regen den Leser an, sich mit ihnen zu befassen... Wegen der Bedeutung und Aktualität der Thematik wird dieser Band großes Interesse und gute Aufnahme bei der Fachwelt finden.“

„Vermessungstechnik“



Atlaskartographie

Heft 18. Groß-Oktav. 56 Seiten. Mit 20 Kartenbeilagen. 1973. Kartoniert DM 12,80. ISBN 3-87907-028-8.

Inhalt: **W. Bormann**, Erdatlanten — **A. Hanle**, Meyers Großer Physischer Weltatlas — **H. Schaub**, The International Atlas von Rand McNally — **W. Witt**, Regional- und Planungsatlanten — **F. Mayer**, Schulkartographie.

Technik der elektro-optischen Tachymetrie

11 Vorträge des Oberkochener Instrumenten-Kursus 1972. Heft 19 Herausgegeben von Professor Dr.-Ing. Heinz Draheim. Ca. 240 Seiten mit zahlreichen Abbildungen. 1973. Ca. DM 21,—. ISBN 3-87907-029-6.

Weitere Wichmann-Fachbücher

Katasterkunde in Einzeldarstellungen

Eine Schriftenreihe, bearbeitet von Dipl.-Ing. **Otto Kriegel**. Das vom gleichen Verfaasser erschienene und seit langem vergriffene „ABC des Katasterwesens“ soll mit diesem, auf 12 Hefte angelegten Werk in neuer und erweiterter Form wieder herausgebracht werden.

Folgende Hefte erscheinen 1973:

1. Vorwort, Vorschriftenübersicht, Gesetzestexte
2. Zweck und Aufbau des Liegenschaftskatasters, Bezirkselntelung, das Flurstück (Begriff und Bezeichnung)
3. Katastermäßige Beschreibung der Flurstücke (Fläche, Lagebezeichnung, Nutzungsart, Schätzungsmerkmale, sonstige Angaben)
4. Veränderungen im Bestand und in der Begrenzung der Flurstücke (unter Einbeziehung der Bestandeveränderungen grundbuchrechtlicher Natur)

Photogrammetrisches Taschenbuch

Photogrammetric Guide — Guide Photogrammétrique — Manual Fotogramétrico de Bolsillo. Bearbeitet von Dr.-Ing. **Jörg Albertz** unter Mitwirkung von Dipl.-Ing. **Walter Kreiling**. 11,5 x 17 cm. 209 Seiten mit zahlreichen Tabellen, Formeln und Abbildungen. 1972. Plastikeinband DM 28,50. ISBN 3-87907-026-1.

Dieses Werk erschien 1956—61 bereits als Firmenveröffentlichung der Firma Zeiss. Mit dem vorliegenden Photogrammetrischen Taschenbuch wird den seit langem geäußerten Wünschen nach einer Neuauflage Rechnung getragen. Der Inhalt des Buches wurde grundlegend neu bearbeitet und wesentlich erweitert. Wie bisher wurde angestrebt, sowohl dem praktisch arbeitenden Photogrammeter als auch dem Studenten ein Nachschlagewerk in die Hand zu geben. Es soll nicht ein photogrammetrisches Lehrbuch ersetzen, sondern die Arbeit durch Tabellen, Nomogramme und Formelsammlungen erleichtern. Auch die mathematischen, optischen und photographischen Grundlagen der Photogrammetrie wurden berücksichtigt.

