

## ERFAHRUNGEN MIT DEM PROGRAMMPAKET HIFI

H. Ebner, München

### Einführung

Der vorliegende Beitrag bezieht sich auf die Generierung eines digitalen Höhen-Modells (DHM) und die Ableitung digitaler Profile sowie digitaler Höhenlinien aus dem DHM.

Ein DHM wird als Beschreibung einer Oberfläche, hier der Geländeoberfläche, durch digitale Daten verstanden. Dabei können heute zwei Konzeptionen unterschieden werden:

- Ein unregelmäßiges DHM, das aus einem Netz ebener oder gekrümmter Dreiecke besteht. Die gegebenen Stützpunkte sind die Knoten dieses Netzes. Auf Filterung der Stützpunkte wird i.a. verzichtet.
- Ein regelmäßiges DHM, dessen Maschen im Grundriß ein Quadratraster bilden. Die Höhen der Rasterpunkte werden aus den Höhen der gegebenen Stützpunkte mit oder ohne Filterung interpoliert.

In der Photogrammetrie haben sich die Rastermodelle bisher stärker durchgesetzt. Ihr Hauptvorteil gegenüber den Dreiecksmodellen ist die deutlich einfachere Datenstruktur, die die weitere Nutzung des DHM vereinfacht.

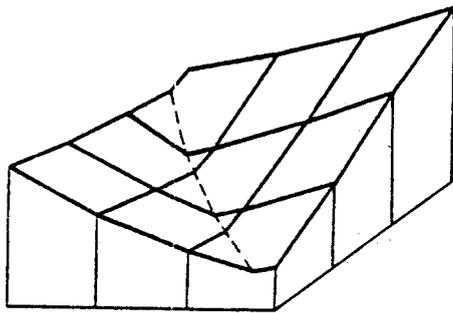
### DHM - Interpolation mit finiten Elementen

Das hier verwendete DHM ist ein Rastermodell, das aus beliebig verteilten Stützpunkten und Punkten entlang von Geländekanten durch Interpolation gewonnen wird. Dazu wird die METHODE DER FINITEN ELEMENTE verwendet, die in der numerischen Mathematik und in den Ingenieurwissenschaften seit mehr als zwei Jahrzehnten sehr erfolgreich eingesetzt wird [1], [2]. Im Gegensatz zu den meisten dieser Anwendungen sind die finiten Elemente der hier beschriebenen DHM-Interpolation aber von sehr einfacher Struktur.

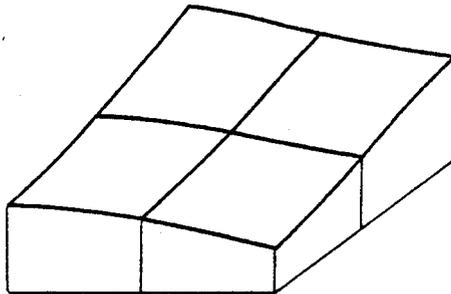
Für die Beschreibung der Geländeoberfläche wird eine Interpolationsfläche definiert, die aus FINITEN ELEMENTEN aufgebaut ist. Als finite Elemente werden bilineare oder bikubische lokale Flächen gewählt, die entsprechend miteinander verknüpft sind.

Wenn die Geländeoberfläche stark gegliedert ist und Geländekanten zu berücksichtigen sind, werden bilineare finite Elemente verwendet. In diesem Fall wird für jede Rastermasche ein bilineares Polynom definiert und Stetigkeit der Funktionswerte entlang der Grenzen benachbarter Elemente gewährleistet. Die Interpolationsfläche wird dann erhalten, indem die gewogene Quadratsumme ihrer Abweichungen von den gegebenen Stützpunkten und der zweiten Differenzen der Höhen benachbarter Rasterpunkte minimiert wird. Bei vorliegenden Geländekanten wird die Minimierung der zweiten Differenzen der Rasterhöhen so abgewandelt, daß keine Verknüpfung über die Kanten hinweg erfolgt. Auf diese Weise wird erreicht, daß die Interpolationsfläche die gegebenen Stützpunkte bei frei wählbarer Filterung approximiert, eine eindeutige und möglichst glatte Form erhält und die vorliegenden Geländekanten wiedergibt (siehe Figur 1).

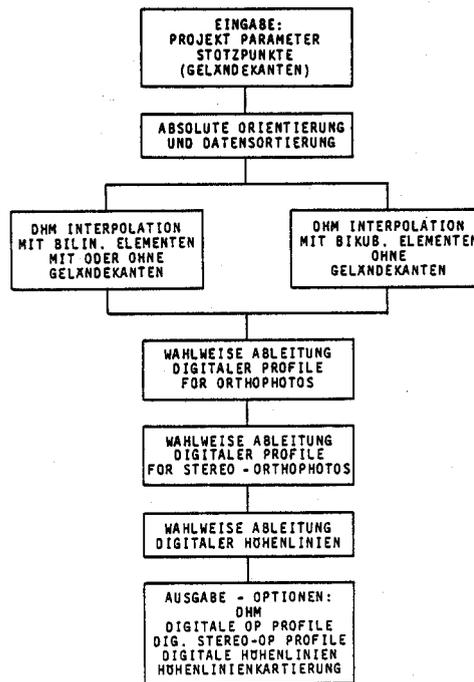
Bikubische finite Elemente werden verwendet, wenn die Geländeoberfläche ruhig ist und keine Geländekanten zu berücksichtigen sind. In diesem Fall wird für jede Rastermasche ein bikubisches Polynom definiert und die Stetigkeit entlang der Grenzen benachbarter Elemente auf die ersten und zweiten Ableitungen ausgedehnt. Die Interpolationsfläche wird jetzt aus einer Minimierung der gewogenen Quadratsumme ihrer Abweichungen zu den Stützpunkten und ihrer zweiten Ableitungen an den Rasterpunkten erhalten (siehe Figur 2).



Figur 1



Figur 2



Figur 3:  
 Blockdiagramm  
 für die  
 Programmversion  
 HIFI-PSC

Die bilineare Variante der Methode der Höheninterpolation mit finiten Elementen wurde 1978 auf der Internationalen Geodätischen Woche in Obergurgl [3] und beim Symposium der Kommission III der IGP in Moskau [4] vorgestellt. Im Anschluß daran erfolgte eine Erweiterung um die bikubische Variante, deren mathematische Formulierung auf eine Anregung von Prof. Meissl, Graz, zurückgeht.

Die Grundzüge der hier behandelten DHM-Interpolation sind nicht neu, sondern entsprechen einer Methode zur flächenhaften Interpolation mit stückweisen Polynomen, die von Kubik bereits 1971 vorgeschlagen wurde [5]. In der Detail-Realisierung zeigen sich allerdings deutliche Unterschiede, die sowohl die Problemformulierung als auch die Lösung betreffen. Darüberhinaus berücksichtigt Kubiks Methode keine Geländekanten.

Schließlich sei auf eine Methode zur Flächenmodellierung mit Hilfe eines elastischen Gitters hingewiesen, die von de Masson d'Autume 1978 vorgeschlagen wurde und der hier beschriebenen DHM-Interpolation mit bilinearen finiten Elementen, abgesehen von der unterschiedlichen Behandlung von Geländekanten, sehr ähnlich ist [6].

### Das Minicomputer Programmpaket HIFI

Aufbauend auf der im vorangegangenen Kapitel beschriebenen Methode, wurde in München ein allgemeines Programmpaket HIFI für HÖHEN-INTERPOLATION MIT FINITEN ELEMENTEN entwickelt und 1980 beim IGP-Kongreß in Hamburg vorgestellt [7]. HIFI interpoliert ein Raster-DHM aus beliebig verteilten Stützpunkten und Punkten entlang von Geländekanten. Aus dem DHM können digitale Profile und digitale Höhenlinien abgeleitet werden.

Das Programmpaket ist in FORTRAN geschrieben und auf Minicomputer ausgelegt. Die Entwicklung wurde von der Firma Carl Zeiss unterstützt. Dementsprechend kann HIFI in Verbindung mit dem analytischen Stereoauswertesystem Zeiss Planicom C 100 [8] und mit dem analytischen Orthoprojektor Zeiss Orthocomp Z2 [9] angewandt werden. In diesen Fällen läuft HIFI auf dem Minicomputer Hewlett-Packard HP 1000, bei einem Kernspeicherbedarf von 128 K Worten à 16 bit. Alternative HIFI-Versionen sind für Prime Computer und Digital Equipment Computer verfügbar.

Für die Programmentwicklung waren die Herren Dr. Hofmann-Wellenhof, Dipl.-Ing. Reiß und Dr. Steidler zuständig. Derzeit wird HIFI von Dipl.-Ing. Höbner und Dr. Stephani betreut.

Auf eine detaillierte Beschreibung der DHM-Interpolation mit bilinearen und bikubischen finiten Elementen, sowie der Ableitung digitaler Profile und digitaler Höhenlinien wird im vorliegenden Beitrag unter Hinweis auf [7] verzichtet.

Das Programmpaket HIFI ist in vier verschiedenen Ausbaustufen verfügbar. Die Grundversion HIFI-P interpoliert ein DHM frei wählbarer Rasterweite unter Verwendung bilinearer oder bikubischer finiter Elemente. Wenn Stützpunkte und Geländekanten gegeben sind, wird die bilineare Variante verwendet. Sind keine Geländekanten zu berücksichtigen, kann sowohl die bilineare als auch die bikubische Variante angewandt werden. Aus dem DHM können wahlweise digitale Profile abgeleitet werden, die für die Steuerung des analytischen Orthoprojektors Orthocomp Z2 unmittelbar geeignet sind,

HIFI-PS ist eine Erweiterung von HIFI-P, mit der zusätzlich zur Ableitung digitaler Orthophotoprofile digitale Partnerprofile abgeleitet werden können, die für die Herstellung von Stereoorthophotos mit dem Orthocomp Z 2 Verwendung finden können.

HIFI-PC schließt HIFI-P mit ein und bietet die Möglichkeit, aus dem DHM digitale Höhenlinien gewünschter Äquidistanz abzuleiten. Die digitalen Höhenlinien werden so aufbereitet, daß sie an einem Digitalzeichentisch wie z.B. dem Zeiss DZ 7 automatisch kartiert werden können.

Die voll ausgebaute Version HIFI-PSC kombiniert die Leistungen von HIFI-PS und HIFI-PC. Ein Blockdiagramm dieser Version ist in Figur 3 dargestellt.

### Erfahrungen

Die folgenden Beispiele geben einen Überblick über die Erfahrungen, die mit dem Programmpaket HIFI bisher gesammelt wurden. Das erste Beispiel ist ein Genauigkeitstest für die DHM-Interpolation. Die weiteren Beispiele, die von Dipl.-Ing. Eder bearbeitet wurden, demonstrieren den operationellen Einsatz von HIFI.

### Test Donauwörth

Ziel dieses Tests war es, den Einfluß von Art und Dichte der Stützpunkte sowie der Rasterweite des DHM auf die Genauigkeit der Höheninterpolation zu untersuchen. Der Test ist Teil einer umfangreicheren Untersuchung über die Leistungsfähigkeit der DHM-Interpolation mit finiten Elementen, die Gegenstand der Dissertation von Herrn Dipl.-Ing. Reiß ist.

Das Luftbildmaterial wurde vom Landesvermessungsamt München zur Verfügung gestellt. Die Aufnahme erfolgte mit einer Zeiss-Kammer RMK A 15/23 im Bildmaßstab 1:14 400. Das hier behandelte Testgebiet liegt in einem Modell und überdeckt 1 200 x 1 200 m<sup>2</sup>.

Für die Datenaquisition wurde der Planicom C 100 des Lehrstuhls für Photogrammetrie der TU München verwendet. Die folgenden Daten wurden gemessen und registriert:

- Gitterpunkte (10 x 10 m<sup>2</sup>)
- Profilpunkte (Profilabstand 20 m)
- Höhenlinien (Äquidistanz 2.5 m, teilweise 1 m)
- Geländekanten und Einzelpunkte.

Die DHM-Interpolation erfolgte mit der bilinearen Variante von HIFI unter Berücksichtigung der gegebenen Geländekanten. Als Stützpunkte wurden die oben genannten Daten verwendet, die Datendichte wurde entsprechend variiert. Die Rasterweite des DHM war 20 m, 40 m und 60 m. Aus dem berechneten DHM wurden jeweils die Höhen eines 10 x 10 m<sup>2</sup> Rasters interpoliert. Ein Vergleich dieser Höhen mit den direkt gemessenen Gitterhöhen erlaubte sodann eine Abschätzung der Genauigkeit der jeweiligen DHM-Interpolation.

Tabelle 1 zeigt die quadratischen Mittelwerte der Höhendifferenzen, die jedoch die zufälligen Fehler der als Kontrolldaten dienenden Gitterhöhen noch mitenthalten. Die aus Doppelmessungen abgeleitete Standardabweichung der Gitterhöhen betrug 0.25 m.

Die drei Spalten der Tabelle 1 zeigen für eine bestimmte Rasterweite des DHM, wie die Genauigkeit der Höheninterpolation von der Stützpunkt-Art und -Dichte abhängt.

Art und Dichte der Stützpunkte	Rasterweite des DHM		
	20 m	40 m	60 m
20 m Gitter	0.33 m	0.35 m	0.41 m
40 m Gitter	0.38 m	0.41 m	0.46 m
60 m Gitter	0.46 m	0.49 m	0.55 m
20 m Profile	0.47 m	0.48 m	0.51 m
40 m Profile	0.49 m	0.51 m	0.56 m
60 m Profile	0.52 m	0.55 m	0.59 m
Höhenlinien	0.51 m	0.53 m	0.57 m

Tabelle 1:

Quadrat. Mittelwerte der Differenzen zwischen interpolierten und direkt gemessenen Höhen (10 x 10 m<sup>2</sup> Gitter)

Die "statisch" gemessenen Gitterhöhen führen zu einer deutlich höheren Genauigkeit als die "dynamisch" gewonnenen Profile und Höhenlinien. Bemerkenswert ist, daß schon das relativ dünne 60 m Gitter etwa dieselbe DHM-Genauigkeit ergibt wie 20 m Profile oder Höhenlinien. Da die Messung aber erheblich schneller ist, spricht dieses Ergebnis eindeutig für die Gittermessung und gegen die dynamische Profilmessung. Bestätigt wird dies auch durch die entsprechenden Ergebnisse von Rüdener [10].

Durch Verringerung der Gitterweite auf 40 m und 20 m wird die Genauigkeit deutlich verbessert. Leider ist das volle Ausmaß dieser Genauigkeitssteigerung aber aus Tabelle 1 nicht ersichtlich, da die begrenzte Genauigkeit der Kontrollhöhen von  $\sigma \approx 0.25$  m die quadratischen Mittelwerte umso stärker verzerrt, je kleiner sie sind.

Die Zeilen der Tabelle 1 zeigen den Einfluß der Rasterweite des DHM auf die Genauigkeit der interpolierten Höhen. In allen Fällen ergibt das 20 m Raster die beste Genauigkeit, die größeren DHM-Maschen führen aber zu einer geringeren Genauigkeitseinbuße als man vielleicht annehmen würde. Dabei ist allerdings zu beachten, daß die in Tabelle 1 enthaltenen Werte lediglich die mittlere Genauigkeit der DHM-Interpolation beschreiben und keinen Hinweis auf den Verlust an Detailinformation geben, der durch eine Vergrößerung der Rasterweite eintreten kann.

Diese Detailinformation ist aber besonders dann wichtig, wenn aus dem DHM Höhenlinien abgeleitet werden. Für diesen Fall kann empfohlen werden, die Rasterweite des DHM etwa halb so groß wie die Gitterweite zu wählen.

### Projekt Lohnweiler

Das Beispiel bezieht sich auf die Verwendung von HIFI-P für die Ableitung von Orthocomp Z2-Profilen aus Höhenlinien. Für ein Grundkartenblatt 1:5 000 wurden am Landesvermessungsamt Koblenz Höhenlinien abgefahren und insgesamt 14 907 Punkte registriert. Aus der gewählten Profildbreite von 4 mm für die Orthophotoherstellung ergaben sich 109 zu berechnende Profile mit je 217 Punkten.

Bei Verwendung der bikubischen Variante von HIFI wurde zunächst ein DHM mit 8 mm Rasterweite interpoliert, aus dem anschließend die digitalen Profile abgeleitet wurden. Die gesamte Rechenzeit für 23 653 Profildpunkte betrug 64 min am Mini-computer HP 1000.

Dieses Beispiel kann als extrem angesehen werden, sowohl was die Anzahl der Stützpunkte, als auch was die Profildanzahl betrifft. In vielen praktischen Fällen liegen nur einige tausend Stützpunkte vor, und die Orthophoto-Profildbreite ist 8 mm oder gar 16 mm. Die Rechenzeit reduziert sich dann auf ca. 15 min oder weniger pro Grundkartenblatt.

### Projekt Lower Mkomazi Irrigation

Im Auftrag der Gesellschaft für technische Zusammenarbeit GTZ, Eschborn, führt die Arbeitsgemeinschaft Instrupa-Rodeco-Hydroplan, unter Federführung der Firma Instrupa eine landwirtschaftliche Studie im Mkomazi-Tal, Tanzania, durch. Als Planungsunterlagen waren auch topographische Pläne 1:10 000 zu erstellen. Die Zuständigkeit dafür lag bei Prof. Linkwitz und Dr. Preuß.

Das Projektgebiet von 220 km<sup>2</sup> wird z.T. von Weitwinkelaufnahmen 1:12 000, z.T. von Oberweitwinkelaufnahmen 1:32 000 bis 1:47 000 überdeckt, bei einer Gesamtzahl von 44 Modellen. Die Stereoauswertung erfolgte durch die Firma Photogrammetrie GmbH. Für insgesamt 5 Kartenblätter wurden neben dem Grundriß 5 533 unregelmäßig verteilte topographische Punkte gemessen.

Da das Gelände im Bereich des Mkomazi-Tales sehr ruhig ist und keine Geländekanten berücksichtigt werden mußten, wurde die DHM-Interpolation mit der bikubischen Variante von HIFI durchgeführt. Die gewählte Rasterweite betrug 10 mm bzw. 100 m, und das erhaltene bikubische DHM wurde anschließend auf 50 x 50 m<sup>2</sup> verdichtet, was zu einer gesamten Punktzahl von 113 539 führte. Die dafür erforderliche Rechenzeit am HP 1000 belief sich auf 4h 08min.

Aus den DHM-Punkten wurden digitale Höhenlinien mit einer Äquidistanz von 2 m abgeleitet, wofür 29 min am HP 1000 benötigt wurden. Die Kartierung erfolgte am Digitalzeichentisch DZ 7 (z.T. DZ 6) im Maßstab 1:10 000 und erforderte ca. 10h.

Die Bearbeitung der 5 etwa 60 x 90 m<sup>2</sup> großen Kartenblätter erfolgte getrennt, bei entsprechender Überlappung. An den Blatträndern auftretende geringfügige Diskrepanzen der gravierten Höhenlinien wurden manuell korrigiert.

### Projekt Hinterschmidig

Die Daten dieses Beispiels stammen aus einer Untersuchung über die photogrammetrische Herstellung von Gefällstufenkarten, die im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten durchgeführt wurde [11], [12].

Das Projektgebiet 2 335x2 335 m<sup>2</sup> entspricht einem Blatt der Flurkarte 1:5 000 und wird von zwei Modellen aus RMK A 30/23 Aufnahmen des Bildmaßstabs 1:13 500 überdeckt. Am Planicomp C 100 wurden Gitterpunkte (40 x 40 m<sup>2</sup>) und Punkte entlang von Geländekanten gemessen und registriert. Die Meßzeit betrug 6h, einschließlich der Orientierung der beiden Modelle.

Aus diesen Daten wurde mit der bilinearen Variante von HIFI ein DHM der Rasterweite 20 m gerechnet. Die 14 875 Interpolationspunkte erforderten eine Rechenzeit von 81 min am HP 1000.

Die Ableitung digitaler Höhenlinien der Äquidistanz 5 m erforderte weitere 4 min am HP 1000. Für die Kartierung der Höhenlinien, die mit dem DZ 7 im Maßstab 1:5 000 erfolgte, wurden 29 min benötigt. Figur 4 zeigt den Höhenlinien-Plan einschließlich der berücksichtigten Geländekanten. Der Verkleinerungsfaktor ist 3.0.

### Projekt Spitze

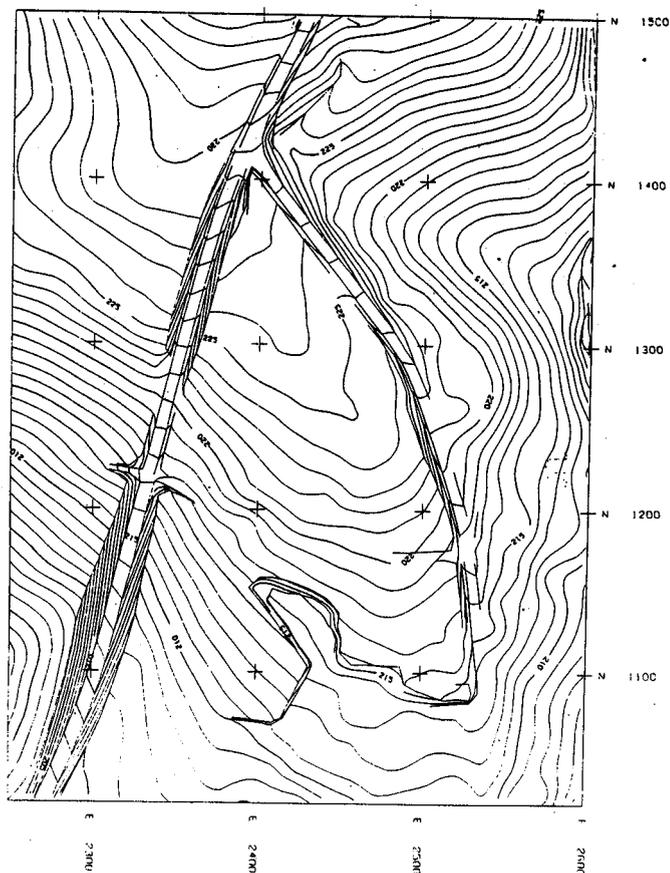
Spitze ist ein Beispiel für den DHM-Einsatz im Straßenbau. Das Projektgebiet von ca. 0.7 x 0.7 km<sup>2</sup> wird von zwei Modellen aus RMK A 15/23 Aufnahmen des Bildmaßstabs 1:4 000 überdeckt. Die Datenaquisition erfolgte am Institut für Photogrammetrie und Ingenieurvermessungen der Universität Hannover mit dem analytischen Plotter O.M.I. AP/C-3. Gemessen und registriert wurden Gitterpunkte (8 x 8 m<sup>2</sup>) und Punkte entlang von Geländekanten. Prof. Konecny und Dr. Rüdener stellten die Daten zur Verfügung. Bezüglich näherer Angaben sei auf [10] verwiesen.

Die registrierten Stützpunkte wurden zu Testzwecken ausgedünnt (16 x 16 m<sup>2</sup>). Aus diesen Daten und den gegebenen Geländekanten wurde mit der bilinearen Variante von HIFI ein DHM der Rasterweite 8 m interpoliert. Die Rechenzeit für die 7 480 Interpolationspunkte betrug 44 min am HP 1000.

Die Ableitung digitaler Höhenlinien der Äquidistanz 1 m aus dem DHM erforderte weitere 5 min am HP 1000. Figur 5 zeigt für einen Ausschnitt von 350 x 480 m<sup>2</sup> eine Kartierung dieser Höhenlinien im Maßstab 1:2 000, die wieder mit dem Digitalzeichentisch DZ 7 erfolgte. Die Kartierzeit betrug 20 min.



Figur 4



Figur 5

### Schluß

Die behandelten Beispiele demonstrieren die Leistungsfähigkeit der Höhen-Interpolation mit finiten Elementen und des Minicomputer-Programmpakets HIFI. Die erforderlichen Rechenzeiten sind vertretbar und führen zu relativ niedrigen Rechenkosten.

In Verbindung mit dem Minicomputer HP 1000 erfordert die DHM Interpolation mit bilinearen Elementen, die auf gegebene Höhendaten jeder Art, einschließlich Geländekanten, angewandt werden kann, eine Rechenzeit von ca. 0.3 sec pro Rasterpunkt. Das bedeutet, daß ein DHM aus 10 000 Punkten in weniger als einer Stunde interpoliert werden kann. Bei Verwendung bikubischer Elemente liegt die Rechenzeit bei ca. 0.6 sec pro Rasterpunkt.

Die Ableitung digitaler Orthophotoprofile aus dem DHM erfordert weniger als 0.01 sec pro Punkt am HP 1000. Für die Ableitung digitaler Profile für Stereo-Orthophotos werden ca. 0.07 sec pro Punkt benötigt.

Die Rechenzeit für die Ableitung digitaler Höhenlinien aus dem DHM hängt naturgemäß von der Geländeform, der Größe des Kartenblatts, sowie der gewählten Äquidistanz ab. Sie liegt i.a. bei 10 % der Rechenzeit für die vorangegangene DHM-Interpolation, oder darunter.

Seit Ende 1980 hat die Firma Carl Zeiss in Verbindung mit dem Orthocomp Z 2 bzw. Planicom C 100 und dem Minicomputer HP 1000 eine Reihe von Programmen HIFI ausgeliefert. Darüberhinaus wurde HIFI-PC von München auf Rechner der Firmen Prime und Digital Equipment übertragen.

### Literaturhinweise

- [1] Strang, G. and Fix, G.J.: An Analysis of the Finite Element Method. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1973.
- [2] Zienkiewicz, O.C.: The finite Element Method. Third Edition. McGraw-Hill Book Company, London, 1977.
- [3] Ebner, H.: Zwei neue Interpolationsverfahren und Beispiele für ihre Anwendung. Internationale Geodätische Woche, Obergurgl, 1978. Bildmessung und Luftbildwesen, 15-27, 1979.
- [4] Ebner, H. and Reiss, P.: Height Interpolation by the Method of Finite Elements. Presented Paper, ISP-Commission III-Symposium, Moscow, 1978. Nachrichten aus dem Karten- und Vermessungswesen, Reihe II, Heft 36, 79-94, 1978.
- [5] Kubik, K.: The Application of Piecewise Polynomials to Problems of Curve and Surface Approximation. Rijkswaterstaat Communications 12, The Hague, 1971.
- [6] De Masson d'Autume, G.: Surface Modelling by Means of an Elastic Grid. Presented Paper, ISP-Commission III-Symposium, Moscow, 1978. Photogrammetria, 65-74, 1979.
- [7] Ebner, H., Hofmann-Wellenhof, B., Reiss, P. and Steidler, F.: HIFI - A Minicomputer Program Package for Height Interpolation by Finite Elements. Presented Paper, Commission IV, ISP-Congress, Hamburg, 1980. International Archives of Photogrammetry, XXIII, B4, 202-215, 1980.
- [8] Hobbie, D.: Planicomp, the Analytical Stereoplotting System from Carl Zeiss of Oberkochen. Presented Paper, Commission II, ISP-Congress, Helsinki, 1976.
- [9] Faust, H.W.: Orthocomp Z2, der analytische Orthoprojektor von Carl Zeiss. Presented Paper, Commission II, ISP-Congress, Hamburg, 1980.
- [10] Rüdener, H.: Zur photogrammetrischen Erfassung von Geländedaten und deren digitaler Verarbeitung unter Berücksichtigung straßenbaulicher Forderungen. Wissenschaftliche Arbeiten der Fachrichtung Vermessungswesen der Universität Hannover, Nr. 101, 1980.
- [11] Ebner, H. und Reiß, P.: Photogrammetrische Herstellung von Gefällstufenkarten. Schriftenreihe der Arge Flurb., Heft 3, 17-27, 1980.
- [12] Zippelius, K.: Neue Anwendungen analytischer Auswertegeräte in der Flurbereinigung. 37. Photogrammetrische Woche, Stuttgart, 1979. Schriftenreihe des Instituts für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, Heft 6, 85-98, 1980.

### Zusammenfassung

Die Methode der Höheninterpolation mit finiten Elementen wurde vom Autor 1978 vorgeschlagen. Aufbauend darauf wurde in München ein allgemeines Minicomputer-Programmsystem "HIFI" entwickelt und 1980 beim IGP-Kongreß in Hamburg vorgestellt. HIFI interpoliert ein regelmäßiges Digitales Höhen-Modell (DHM) aus beliebig verteilten Stützpunkten und Punkten entlang von Geländekanten. Aus diesem DHM können digitale Profile und digitale Höhenlinien abgeleitet werden. Das Programmpaket ist in Fortran geschrieben und auf dem Hewlett-Packard Minicomputer HP 1000 implementiert. Alternative Versionen sind für Prime Computer und Digital Equipment Computer verfügbar.

Nach einer kurzen Beschreibung von HIFI wird ein Überblick über die Erfahrungen mit der Höheninterpolation mit finiten Elementen gegeben. Diese Erfahrungen beziehen sich sowohl auf die Genauigkeit der DHM-Interpolation, als auch auf den operationellen Einsatz von HIFI. Hauptanwendungen sind die Ableitung digitaler Profile für die Orthophotoherstellung mit dem analytischen Orthoprojektor Zeiss Orthocomp Z2, sowie die Berechnung und automatische Kartierung digitaler Höhenlinien aus gemessenen Einzelpunkten und Geländekanten. Die erforderlichen Rechenzeiten sind vertretbar und führen zu relativ niedrigen Rechenkosten.

## Experiences with the HIFI program package

### Abstract

The method of height interpolation by finite elements was suggested by the author in 1978. Based on this concept a general minicomputer program package "HIFI" was developed in Munich and presented at the 1980 ISP Congress in Hamburg. HIFI interpolates a regular Digital Elevation Model (DEM) from arbitrarily distributed reference points and points along break lines. From the DEM digital profiles and digital contours can be derived. The program package is written in Fortran and implemented on a Hewlett-Packard minicomputer HP 1000. Alternative versions are available for Prime computers and Digital Equipment computers.

After a brief description of HIFI the paper gives a review on the experiences gained with height interpolation by finite elements. They refer to the accuracy of DEM interpolation and to the operational use of HIFI. Main applications are derivation of digital profiles for orthophoto production with the analytical orthoprojector Zeiss Orthocomp Z2 and derivation of digital contours for automatic plotting. The required computing times are reasonable and the resulting computing costs are low.

### Enseignements tirés du programme HIFI

#### Résumé

La méthode de l'interpolation en altitude avec des éléments finits a été proposée par l'auteur en 1978. On a mis au point à partir de là un système de programmes général pour mini-ordinateurs HIFI présenté à la SIP à Hambourg en 1980. HIFI interpole un modèle régulier de terrain numérique (DHM) à partir de points d'appui quelconques et de points le long des accidents de terrain. Des profils numériques et des courbes de niveau numériques peuvent être dérivés de ce DHM. Le groupe de programmes est écrit en Fortran et programmé sur le mini-ordinateur Hewlett-Packard HP 1000. Des versions au choix sont disponibles pour Prime computer et Digital Equipment computer.

Après une courte description de HIFI, l'auteur fait un résumé des enseignements tirés de l'interpolation en altitude avec des éléments finits. Ces enseignements se réfèrent non seulement à la précision de l'interpolation DHM mais encore à la mise en service opérationnelle de HIFI. Les principaux domaines d'application sont la réalisation de profils numériques pour la production d'orthophotos au moyen de l'orthoprojecteur analytique Zeiss Orthocomp Z2 ainsi que le calcul et la restitution automatique de courbes de niveau numériques à partir de points isolés mesurés et d'accidents de terrain. Les temps de calcul nécessaires ne sont pas excessifs et les frais de calcul sont relativement minimes.

### Experiencias adquiridas con el programa HIFI

#### Resumen

El método de la interpolación de alturas con ayuda de elementos finitos había sido propuesto por el autor en 1978. A base de este concepto se ha desarrollado en Munich un sistema general de programa de mini-computador "HIFI" el cual se ha presentado en 1980 con motivo del Congreso ISP, celebrado en Hamburgo. A partir de puntos de apoyo distribuidos de manera arbitraria y de puntos situados a lo largo de cantos de terreno, HIFI interpola un modelo digital de alturas (MDA) regular, del cual es factible derivar perfiles y curvas de nivel digitales. El paquete de programas está escrito en Fortran y puesto en ejecución en el mini-computador Hewlett-Packard HP 1000. Están disponibles versiones utilizables en Prime Computer y Digital Equipment Computer.

Tras una breve descripción de HIFI, se ofrece un resumen de las experiencias adquiridas con la interpolación de alturas por elementos finitos. Dichas experiencias conciernen tanto la exactitud de la interpolación del MDA como el empleo operativo de HIFI. Se lo aplica principalmente para derivar perfiles digitales con destino a la confección de ortofotos con ayuda del ortoprojector analítico Zeiss Orthocomp Z2, así como para calcular y trazar automáticamente curvas digitales de nivel a base de puntos sueltos medidos y cantos del terreno. Los tiempos de cálculo necesarios son aceptables y originan costos de cálculo relativamente bajos.

Prof. Dr.-Ing. Heinrich Ebner,  
Lehrstuhl für Photogrammetrie, Technische Universität München,  
D-8000 München 2, Arcisstr. 21