

WEITERE ENTWICKLUNGEN UND ANWENDUNGEN DER DIGITALEN HÖHENLINIENKARTIERUNG UND DES DIGITALEN GELÄNDEMDELLES

von Karl Kraus, Wien.

Nach den beiden vorangegangenen Vorträgen, die über den technischen Stand der digitalen Höhenlinienkartierung und des digitalen Geländemodells (DGM) Aufschluß gebracht haben, sind einige zukunftsorientierte Ausführungen angebracht. Vor diesem Ausblick in die Zukunft wird mit einigen allgemein gehaltenen Bemerkungen eine Zwischenbilanz über den gegenwärtigen Stand der Anwendung der Digitaltechnik gezogen.

1. GEGENWÄRTIGER STAND DER ANWENDUNG DER DIGITALTECHNIK

1.1 Tachymetrie

Den größten Zuspruch fand die rechnerische Gewinnung und automatische Kartierung der Höhenlinien in der Tachymetrie. Die von uns und anderen Stellen gemachten Programmentwicklungen haben die Tachymetrie auf eine hohe Automationsstufe gebracht. Grundsätzlich kann man von einem Datenfluß ausgehend von der Aufnahme im Gelände bis zur fertigen Höhenlinienkartierung sprechen.

Unser Programm war bisher für die Bearbeitung tachymetrischer Geländeaufnahmen nicht optimal ausgelegt. In diesem Anwendungsbereich kommt es nämlich sehr auf die Hervorhebung der Geländekanten an. Herr Aßmus (1975) hat eine diesbezügliche, allerdings vorläufige Programmversion vor kurzem fertiggestellt, sodaß wir nun in kleinem Umfang tachymetrische Geländeaufnahmen mit Hervorhebung der Geländekanten bearbeiten können. Die ersten bearbeiteten Beispiele sind vielversprechend: Die Höhenlinien knicken an den Geländekanten scharf ab, so wie es zwar in dieser Prägnanz in der Natur selten vorkommt, aber von einer geomorphologisch interpretierten Kartierung erwartet wird.

Die digitale Höhenlinienkartierung, ausgerichtet auf die Tachymetrie, kann aber infolge der Kleinheit der tachymetrisch aufgenommenen Geländeausschnitte zu keinem tragenden Faktor in der Landesaufnahme werden. Eine großflächige Massenproduktion wird bei der Tachymetrie die Ausnahme bleiben.

Darüberhinaus steht einem Durchbruch der digitalen Kartierung im Zusammenhang mit der Tachymetrie die gegenwärtige gesamtwirtschaftliche Lage entgegen. Die Ingenieurbüros sind zur Zeit wenig geneigt, Rechen- und Zeichenarbeiten außer Haus in ein Rechen- und Zeichenzentrum zu vergeben, sondern man setzt das eigene Personal für die manuelle Bearbeitung ein.

1.2 Photogrammetrie

Neben der Tachymetrie stieß das Programm bei jenen Landesvermessungsämtern auf Interesse, die Höhenlinien für die Grundkarte 1:5 000 in flachen Geländebereichen aufzunehmen haben. Das direkte Abfahren der Höhenlinien im Stereomodell ist bekanntlich unter 2 % Geländeneigung nicht mehr möglich. Man setzt deshalb im photogrammetrischen Auswertegerät viele Einzelpunkte und bestimmt mittels Interpolation die Höhenlinien. Stanger (1975) hat in der Tabelle 1 die technischen Daten solcher Beispiele angeführt.

Die Ergebnisse dieser mit unserem Programm bisher bearbeiteten Beispiele sind befriedigend, sofern das Gelände nicht zu flach war und keine Geländekanten auftraten. In Zukunft wird die Programmversion mit Hervorheben der Geländekanten zu einer wesentlichen Qualitätssteigerung führen, sodaß die Anwendung der digitalen Höhenlinienkartierung für diesen Anwendungsbereich besonders attraktiv sein müßte.

Die zum Teil aufgetretene Unzufriedenheit mit den Ergebnissen im extrem flachen Gelände rührt meines Erachtens weniger von Unzulänglichkeiten der Methode bzw. des Programmes her, sondern von der generellen Fragwürdigkeit einer Höhenliniendarstellung in fast ebenem Gelände. Der manuelle Bearbeiter "erfindet" irgendein Höhenlinienbild; der objektiv arbeitende Computer zeigt bei Mehrfachauswertungen oder an den Kartenrändern die Willkür eines Höhenlinienbildes im sehr flachen Gelände auf.

Bei der Bearbeitung dieser Grundkartenblätter hat sich außerdem herausgestellt, daß eine detaillierte Einführung der Auswerter in die Wirkungsweise der digitalen Höhenliniengewinnung notwendig ist, um bereits bei der Datenerfassung die Voraussetzungen für ein optimales Endergebnis zu schaffen.

Der Anstoß für die Entwicklung unseres Programmes war weder die Tachymetrie noch die Verarbeitung der photogrammetrisch gesetzten Einzelpunkte im flachen Gelände. Unsere Aufgabenstellung war die Ableitung von Höhenlinien aus profilweise erfaßten Daten. Diese Problemstellung hat sich vor einigen Jahren herausgebildet, als die Firmen elektrisch angetriebene Abtasteinrichtungen mit manueller z-Nachführung auf den Markt brachten. Diese Einrichtungen sind einerseits im Zusammenhang mit der Orthophotoproduktion zu sehen und zum anderen haben sie aber eine unabhängige Funktion im Hinblick auf das Schlagwort "Digitales Geländemodell".

Die Programmentwicklung für diese Problemstellung hatte für uns höchste Priorität. Die von Stanger (1975) vorgetragene Konzeption ist gekennzeichnet durch die Stichworte:

- Sehr allgemeine Datenorganisation in Bezug auf die modellweise Datenerfassung und die kartenblattweise Höhenlinienausgabe.
- Bearbeitung nahezu beliebig großer Datenmengen.
- Verwertung der erfaßten Daten in Abhängigkeit ihrer Genauigkeit (Profilpunkte, Struktur- und Bruchlinienpunkte, markante Höhenpunkte, singuläre Punkte).
- Elimination des Abtast- und Schleppfehlers und der unregelmäßigen Meßfehler.
- Einbeziehung der kartographischen Ausgestaltung in den automatischen Prozeß.

Die Qualität der erhaltenen Ergebnisse wird heute im allgemeinen akzeptiert. Die erreichten mittleren Höhenfehler der digitalen Auswertung und der konventionellen photogrammetrischen Analogauswertung (nur im Kartenblatt 1:2 500) sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt und aus der Literatur bekannten Richtwerten gegenübergestellt:

	Kartenblatt 1:2 500	Kartenblatt 1:10 000
digitale Auswertung	$\pm (0.15+1.3 \tan \alpha)m$	$\pm (0.6+3.9 \tan \alpha)m$
photogr. Analogauswertung	$\pm (0.19+0.56 \tan \alpha)m$	
Richtwert für photogr. Analogauswertung		
Finsterwalder-Hofmann	$\pm (0.20+0.50 \tan \alpha)m$	$\pm (0.4+2.0 \tan \alpha)m$
Imhof		$\pm (1.0+2.0 \tan \alpha)m$
Richtwert für topogr. Geländeaufn.	$\pm (0.25+1.5 \tan \alpha)m$	

Diese Genauigkeiten wurden inzwischen von R.Finsterwalder (1974) bestätigt. Aus der Tabelle ersieht man, daß der mittlere Höhenfehler der digital auf indirektem Weg gewonnenen Höhenlinien besser ist als der Richtwert für topographische Geländeaufnahmen. Damit erfüllen diese Höhenlinien auf jeden Fall die amtlichen Fehlergrenzen, was auch Genauigkeitsuntersuchungen beim Landesvermessungsamt Stuttgart bestätigt haben. Im Vergleich zu den direkt am photogrammetrischen Auswertegerät eingemessenen Höhenlinien ist der konstante Fehleranteil etwas besser und der von der Geländeneigung abhängige Anteil deutlich schlechter. Zur Herstellung von Karten mit Geländeneigung bis zu ca.20 % eignet sich demnach besonders die digitale Auswertetechnik.

Die angegebenen Genauigkeiten gelten für Beispiele, die wir vor zwei Jahren bearbeitet haben. Infolge einiger Programmverbesserungen im Grundprogramm und der Erweiterung auf Geländekanten sind die heutigen Ergebnisse wahrscheinlich noch etwas genauer.

Neben der Absolutgenauigkeit spielt in der Kartographie vor allem der visuelle Eindruck eine ausschlaggebende Rolle. Es steht der Vergleich im Raum, inwieweit die indirekt gewonnenen Höhenlinien mit den am Analogauswertegerät direkt eingemessenen Höhenlinien konkurrenzieren können. Anhand einiger Beispiele werden folgende Vorteile der mit unserem Programm abgeleiteten Höhenlinien herausgestellt:

- Keine differentiellen Unsicherheiten und somit eine vorzügliche Scharungsplastik (flächenhaftes Entstehungsprinzip).
- Brilliante, ohne manuelle Tätigkeit gewonnene kartographische Ausarbeitung.

Demgegenüber haben unsere Höhenlinien folgende Mängel:

- Die fehlende Wiedergabe geomorphologischer Details, die aber nach der Erweiterung des Programmes auf Geländekanten künftig größtenteils berücksichtigt werden können.
- Die auftretenden Widersprüche mit dem Grundriß (geschlossene Höhenlinien in einem Flußtal), die auf längere Sicht in der Kombination des DGM mit den digitalen Grundrißmodellen ebenfalls behoben werden können.

Obwohl die indirekte Höhenliniengewinnung aus Profilen und zusätzlichen geomorphologisch relevanten Daten diesen hohen technischen Stand erreicht hat, ist doch die bisherige Anwendung verhältnismäßig bescheiden. Die Ursache liegt meines Erachtens zum Teil bei der Hardware. Einerseits halten sich die verkauften elektrisch gesteuerten Abtastsysteme mit Magnetbandregistrierung bisher in Grenzen und andererseits hört man nicht die besten Erfahrungen mit den Magnetbandaufzeichnungen. Da Magnetbandregistriereinrichtungen nicht nur an photogrammetrischen Datenerfassungsgeräte angeschlossen werden, bin ich optimistisch, daß die Industrie in absehbarer Zeit zuverlässigere Registriereinrichtungen anbieten kann. Eine weitere Ursache für die ange deutete geringe Anwendung liegt in dem verhältnismäßig bescheidenen wirtschaftlichen Vorteil dieser Auswertetechnik (Stanger(1975), Tabelle 2). Die wirtschaftliche Attraktivität der Digitaltechnik kann aber wesentlich gesteigert werden, wenn man nicht nur die Höhenlinien als Endergebnis der Auswertung ansieht, sondern die im folgenden angeschnittenen Erweiterungen in die Überlegungen einbezieht.

2. ERWEITERUNG DES DGM AUF THEORETISCHE GENAUIGKEITSANGABEN

In vielen Anwendungsbereichen der Geodäsie ist es selbstverständlich geworden, zusätzlich zum Endresultat auch seine Genauigkeit anzugeben. Daß diese Notwendigkeit auch im Rahmen der Höhen-

Linienkartierung besteht, kann aus den vielfältigen Überlegungen zum Lage- und Höhenfehler sowie zum Richtungs- und Krümmungsfehler der Höhenschichtlinien geschlossen werden. Nach Studium der einschlägigen Literatur hat man den Eindruck, daß die Eignung der verschiedenen Fehlermaße zur Charakterisierung der Güte der Schichtlinien noch nicht ausdiskutiert ist. Auf diese noch nicht abgeschlossene Diskussion soll hier nicht eingegangen werden.

Im Zusammenhang mit diesem Vortrag ist vielmehr von Interesse, daß diese Fehlermaße nur aus dem Vergleich mit Höhenlinienauswertungen übergeordneter Genauigkeit oder aus dem Vergleich von Mehrfachauswertungen gewonnen werden können. Ich möchte nun eine Möglichkeit aufzeigen, wie man ohne Vergleichsgrundlage auf rein theoretischem Weg zu repräsentativen Genauigkeitsangaben der rechnerisch gewonnenen Höhenlinien kommt. Ein solcher Weg hat sich vor allem deshalb eröffnet, weil wir zur Interpolation der Höhenlinien einen Algorithmus einsetzen, der - wie die Ausgleichsrechnung - die Anwendung des Fehlerfortpflanzungsgesetzes bzw. im weiteren Sinne der Statistik erlaubt.

Bei der Interpolation nach kleinsten Quadraten ergibt sich der Interpolationswert u aus der bekannten Gleichung:

$$u = c C^{-1} l.$$

Der dazugehörige mittlere Fehler σ_u des Interpolationswertes beträgt (Kraus, 1974):

$$\sigma_u^2 = V_S - c' C^{-1} c.$$

V_S ist die Varianz des korrelierten Anteiles der zu interpolierenden Kurve oder Fläche. Sie ist mit dem Scheitelwert $C(0)$ der Kovarianzfunktion identisch.

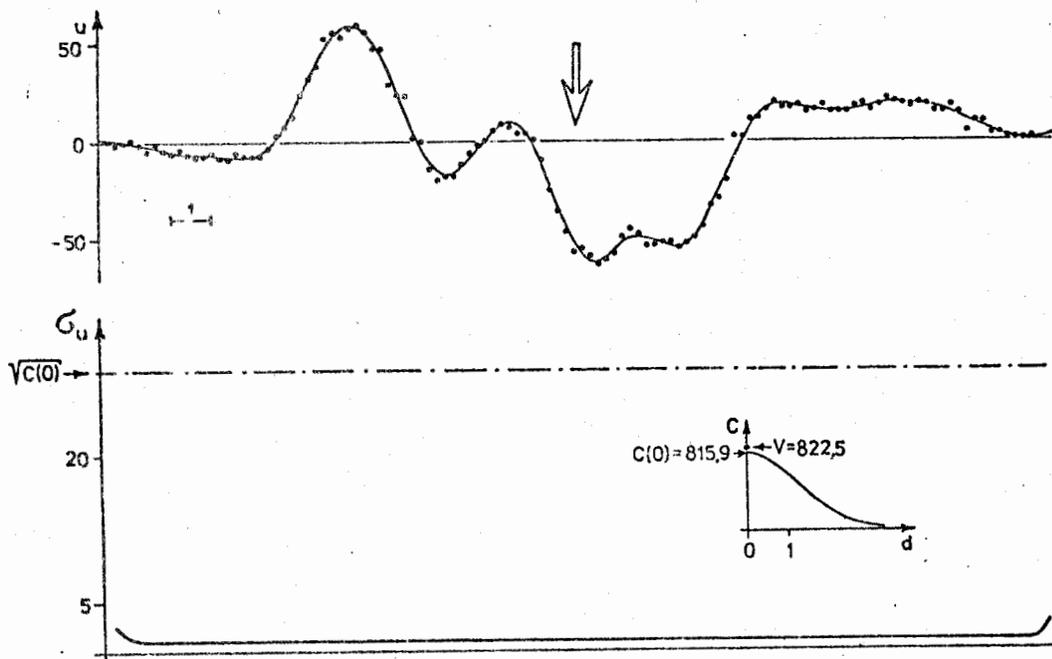


Abb.1 : Ergebnis und Genauigkeit eines Interpolationsbeispielles

Für ein simuliertes Beispiel sind in der Abb.1 in der oberen Hälfte die Stützwerte und die interpolierte Kurve eingetragen. Die untere Hälfte enthält den mittleren Fehler σ_u der

Interpolationswerte, wobei für die Interpolation der einzelnen Punkte jeweils alle 115 Stützpunkte herangezogen wurden. Der mittlere Fehler σ_u beträgt im Inneren des Interpolationsgebietes $\pm 1,14$ und er steigt am Rand des Gebietes an (weitere Beispiele: Aßmus und Kraus, 1974).

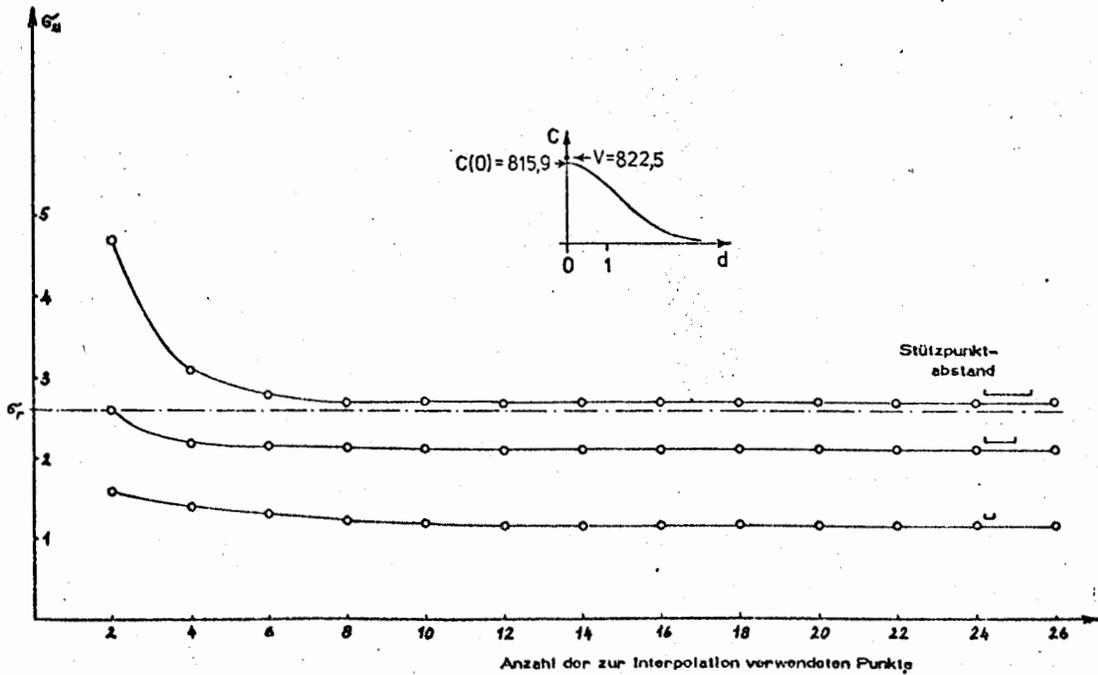


Abb.2 : Interpolationsgenauigkeit in Abhängigkeit der verwendeten Stützpunkte (eindimensional)

In der Abb.2 ist an der in der Abb.1 mit einem Pfeil gekennzeichneten Interpolationsstelle die Interpolationsgenauigkeit σ_u in Abhängigkeit der zur Interpolation verwendeten Stützpunkte aufgetragen. Zieht man z.B. für die Interpolation auf beiden Seiten der Interpolationsstelle 13 Stützpunkte (= 26 verwendete Stützpunkte) heran, erhält man etwa die in der Abb.1 angegebene Genauigkeit von $\sigma_u = \pm 1,14$ (untere Kurve in Abb.2). Verwendet man dagegen nur die beiden benachbarten Stützpunkte beträgt $\sigma_u = \pm 1,6$. Die mittlere Kurve der Abb.2 zeigt die Abhängigkeit der Interpolationsgenauigkeit von der Anzahl der verwendeten Stützpunkte an der gleichen Interpolationsstelle; in diesem Fall wurde aber der Stützpunktabstand vervierfacht. Die obere Kurve in der Abb.2 gilt für den sechsfachen Stützpunktabstand gegenüber dem ursprünglich vorgegebenen Abstand in der Abb.1.

Ein Vergleich der Interpolationsgenauigkeit mit dem ebenfalls in der Abb.2 angegebenen mittleren Fehler $\sigma_r = \sqrt{822,5 - 815,9} = \pm 2,6$ der Stützwerte besagt, daß bei hoher Stützpunktdichte dieser Wert wesentlich unterschritten werden kann (Photogrammetrie). Bei großem Stützpunktabstand (Tachymetrie) werden dagegen die interpolierten Punkte ungenauer als die mittleren Fehler der Stützwerte.

Die Abb.3 veranschaulicht die Interpolationsgenauigkeit für zweidimensional angeordnete Stützpunkte. In diesem Fall wurde der Abstand der in einem Raster angegebenen Stützpunkte beibehalten und statt dessen die Kovarianzfunktion variiert. Der Unterschied zwischen der ausgezogenen und gestrichelten Linie gibt einen Anhaltspunkt, wie sich die Genauigkeit des im Zentrum des Rasters liegenden Interpolationspunktes verschlechtert, wenn man für weiträumiges und differenzierteres

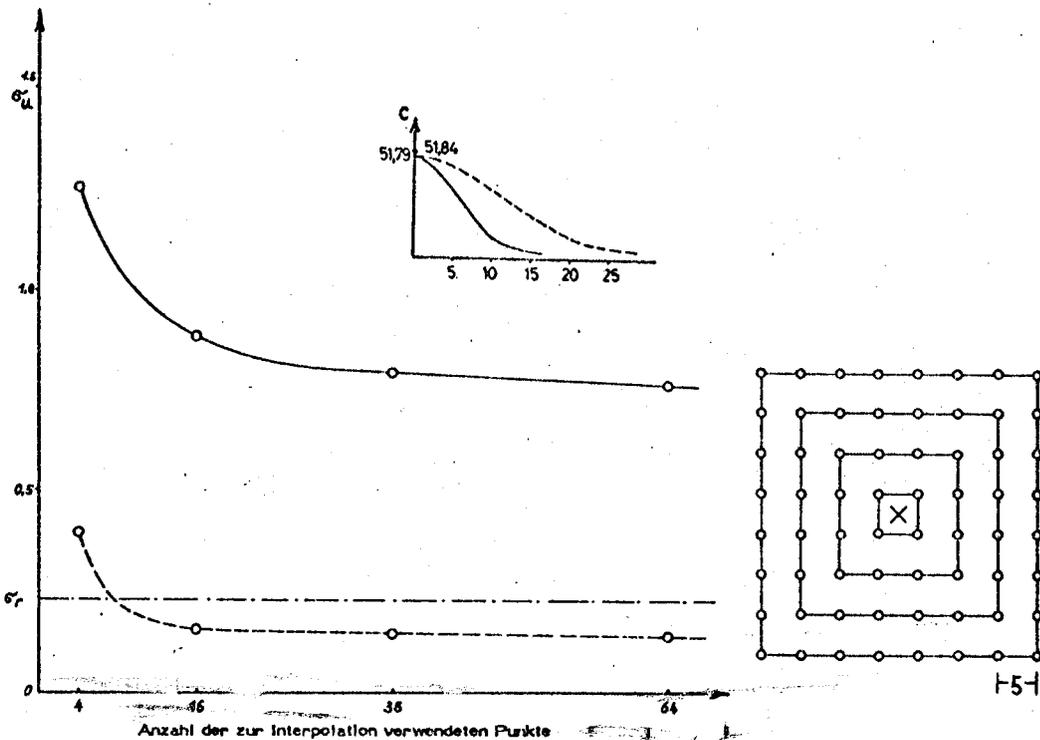


Abb.3 : Interpolationsgenauigkeit in Abhängigkeit der verwendeten Stützpunkte (zweidimensional)

Gelände die gleiche Stützpunktdichte verwendet.

Insgesamt zeigen die Ergebnisse, daß man für eine umfassende Ausschöpfung der in den Stützwerten enthaltenen Informationen nicht nur die unmittelbar benachbarten Stützpunkte für die Interpolation heranziehen sollte.

Erstmals hat Wolf (1974) diese Formeln auf die Genauigkeit eines mit unserem Programm interpolierten regelmäßigen Rasters für das praktische Beispiel "Güstener Hof" (Stanger, 1975, Tabelle 1) angewendet. Obwohl grundsätzlich für jeden interpolierten Rasterpunkt eine individuelle Genauigkeit berechnet werden kann, genügt es im allgemeinen, für jede Recheneinheit einen repräsentativen Wert anzugeben. Aus diesen Werten wird schließlich ein für das ganze Kartenblatt repräsentativer Wert gebildet. Wolf (1974) erhielt für dieses Kartenblatt den Wert $\pm 0,12$ m.

Mit diesen Genauigkeitsbeziehungen, die noch um den bei der linearen Interpolation der Höhenlinienpunkte im regelmäßigen Raster hinzukommenden Interpolationsfehler und um den Fehler der Trendbestimmung zu erweitern sind, können umfassende Untersuchungen angestellt werden. U.a. ist damit eine Untersuchung über die notwendige Stützpunktdichte in Abhängigkeit der Geländecharakteristik bei der Datenerfassung möglich. Als weiterer Parameter kann in diese Überlegungen die Genauigkeit der Stützwertbestimmung eingeführt werden.

3. EINBEZIEHUNG VON SONDERANWENDUNGEN

Die ursprünglich für geodätische Problemstellungen entwickelten Programme sind häufig übertragbar auf die Problemstellungen anderer Disziplinen. Solche Querverbindungen sind aus berufs-

politischen Gründen besonders wichtig und sie sollten besonders gefördert werden. Darüberhinaus können Sonderanwendungen für die Wirtschaftlichkeit einer Programmentwicklung ausschlaggebend sein.

Eine solche Querverbindung kam mit Herrn Prof. Engel, Institut für Eisenbahnwesen, Spezialbahnen und Verkehrswirtschaft an der Technischen Universität Wien, zur Lösung folgender Aufgabe zustande: Er legt über das auf sein Verkehrsverhalten zu untersuchende Gebiet beliebig verteilte Beobachtungsstationen, von denen die durchschnittlichen Kosten des jeweiligen Verkehrsteilnehmers für den Berufs- und Privatverkehr bestimmt werden. Das Ergebnis ist zunächst ein kotierter Plan. Erst die Interpolation von Linien gleicher Kosten erlaubt eine flächenhafte Betrachtung des Verkehrsverhaltens in dem zu analysierenden Gebiet.

4. DER AUSBAU ZU EINER GELÄNDEDATENBANK

Die Wirtschaftlichkeit der digitalen Arbeitsweise kann erst dann voll zum Tragen kommen, wenn man die Flexibilität der digitalen Datenspeicherung und den schnellen Zugriff zu diesen Daten ausschöpft. Diese Vorteile der Digitaltechnik treten umso mehr hervor, desto mehr verwandte Aufgaben zu einem Problemkreis zusammengefaßt und mit einem Programmsystem gelöst werden.

Übertragen auf das Thema dieses Vortrages steht ein Programmsystem zur Diskussion, das die bisher an eine konventionelle Höhenlinienkarte herangetragenen Aufgaben mit Hilfe der elektronischen Datenverarbeitung löst. In diesem System ist der Basisspeicher der Höheninformation des Geländes nicht mehr die in analoger Form vorliegende Höhenlinienkarte, sondern die auf einem Magnetband oder einer Magnetplatte gespeicherten Geländehöhen.

Für die Geländedatenbank eignet sich besonders das in unserem Programm ausgegebene regelmäßige Raster, erweitert um die Schnittpunkte der Geländekanten mit den Rasterlinien. Dieses digitale Höhenmodell ist im Landeskoordinatensystem zu orientieren. Die Grundeinheit für die Speicherung sollte mit dem Blattschnitt des in der Regel bereits vorhandenen topographischen Grundkartenwerkes identisch sein. Auf diese Weise kann sukzessive die Geländedatenbank aufgebaut werden.

Bevor ich auf die verwaltungsmäßige Organisation und auf die Chancen der Realisierung zu sprechen komme, sollen die verschiedenen Anwendungsmöglichkeiten einer Geländedatenbank angesprochen werden. Jene Komponenten, die schon früher aufgezeigt wurden (Kraus, 1973), werden nur stichwortartig behandelt; dagegen wird auf die Anwendungsmöglichkeiten, die in letzter Zeit hinzugekommen sind und in dem Vortrag (Kraus, 1975) bereits angesprochen wurden, etwas ausführlicher eingegangen.

Es kann bereits vorweg gesagt werden, daß eine Geländedatenbank wesentlich vielfältiger eingesetzt werden kann als die konventionelle Höhenlinienkarte. Bestimmte Anwendungen, die für die Analogtechnik unlösbar sind, können mit der Digitaltechnik ohne weiteres bewältigt werden.

4.1 Am häufigsten wird man das DGM in der Form von Höhenlinienkarten ausgeben, wobei verschiedene Kartenausschnitte und verschiedene Höhenlinienintervalle gewählt werden können.

4.2 Beim Übergang auf kleinere Kartenmaßstäbe ist eine automatische Generalisierung erforderlich

4.3 Neben den Höhenlinien sind vor allem Geländeprofile gefragt. In diesem Fall sind der Anfangs- und Endpunkt, und bei gekrümmten Profilen noch zusätzlich die Kurvenelemente, in den Computer einzugeben. Die Profilhöhen können dann mittels linearer Interpolation im digitalen Höhenraster berechnet und für den Zeichenautomaten ausgegeben werden. Solche Profile sind besonders für den Straßenbau, aber auch für andere Planungsmaßnahmen und Geländestudium von Bedeutung.

4.4 Eine interessante Variante hat Stanger (1975) in das Gesamtsystem eingebracht. Aus dem digitalen Höhenmodell kann nämlich verhältnismäßig einfach ein digitales Neigungsmodell abgeleitet und in der Form von Linien gleicher Geländeneigung auf dem Zeichenautomaten ausgegeben werden. An einem vor kurzem veröffentlichten Beispiel (Stanger, 1975) läßt sich die Wirtschaftlichkeit einer Geländedatenbank demonstrieren. Für ein Flurbereinigungsgebiet in Baden-Württemberg waren allein 4 Manntage Außendienst notwendig, um mit einem Freihand-Gefällsmesser die notwendigen Werte für eine manuelle Konstruktion der Gefällstufenkarte zu gewinnen. Demgegenüber konnte aus dem digitalen Höhenmodell die Gefällstufenkarte in 75 Systemsekunden (= 100 DM) im Computer berechnet werden. Die aus der Höhenlinienkarte manuell abgeleitete Gefällstufenkarte war übrigens so ungenau, daß sie für die Problemstellung der Flurbereinigung nicht verwendbar war.

4.5 Bei Flurbereinigungen und vor allem bei Weinbergsbereinigungen, aber auch bei anderen landschaftsgestalterischen Maßnahmen sind häufig größere flächenhafte Erdmassenbewegungen erforderlich. Aus dem bestehenden digitalen Höhenraster einer Geländedatenbank kann die neue Oberfläche - in Abhängigkeit verschiedener Parameter - rechnerisch abgeleitet werden. Die wichtigsten Parameter sind:

- Möglichst kleine Differenzen der bestehenden und der geplanten Oberfläche (geringe Erdmassenbewegung).
- Ausgleich der zu bewegenden Erdmassen.
- Festhalten einiger Zwangspunkte.
- Möglichst kleine Geländeneigungen der neuen Oberfläche und/oder Abflachen der Bereiche mit großen Neigungen auf einen vorgegebenen Richtwert.

Die Gleichung für die Neigung des geglätteten Geländes $\alpha_{i,k}$ zwischen zwei Rasterpunkten P_i und P_k lautet:

$$\alpha_{i,k} = \frac{(H_i + h_i) - (H_k + h_k)}{s} \quad (1)$$

H = Höhen des gegebenen Rasters

h = Höhendifferenzen zwischen dem alten und neuen Raster

s = Rasterweite

Die Gleichung (1) kann als "Fehlergleichung" im Sinne einer Ausgleichung nach vermittelnden Beobachtungen für die Unbekannte h_i und h_k gedeutet werden:

$$v_{\alpha_{i,k}} = \frac{1}{s}h_i - \frac{1}{s}h_k - \underbrace{(\alpha_R - (H_i - H_k)/s)}_1 \quad (2)$$

Der Richtwert für die Neigung des geplanten Geländes α_R wird Null gesetzt, wenn die geringstmöglichen Geländeneigungen angestrebt werden. Die "Fehlergleichungen" (2) sind für alle benachbarten Punkte entlang der Rasterlinien anzusetzen.

Eine zweite Gruppe von "Fehlergleichungen", die möglichst geringe Höhendifferenzen h bewirken, haben die Form:

$$v_{h_i} = h_i \quad (3)$$

Für Zwangspunkte wird das dazugehörige Gewicht p_{h_i} sehr groß gewählt. Schließlich sorgt für den Massenausgleich die Bedingungsgleichung:

$$\sum_{i=1}^n c_i h_i = 0 \quad (4)$$

n = Anzahl der Rasterpunkte

$c_i = 4$ Rasterinnenpunkt; $c_i = 2$ Rasterrandpunkt; $c_i = 1$ Rastereckpunkt

Die Abb.4 (gegebenes Gelände) und die Abb.5 (planiertes Gelände) zeigen an einem kleinen Testbeispiel die Wirkungsweise des mathematischen Ansatzes. Dabei wurden die Rasterrandpunkte festgehalten und der Richtwert α_R Null gesetzt.

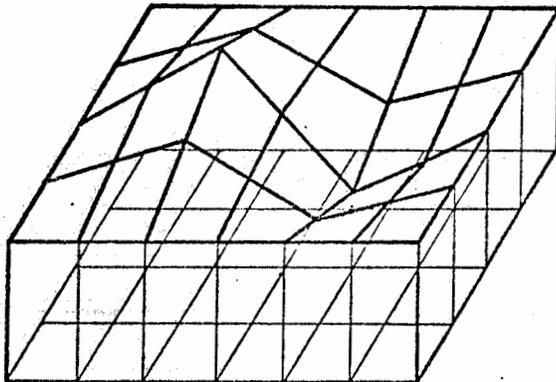


Abb.4: gegebenes Gelände

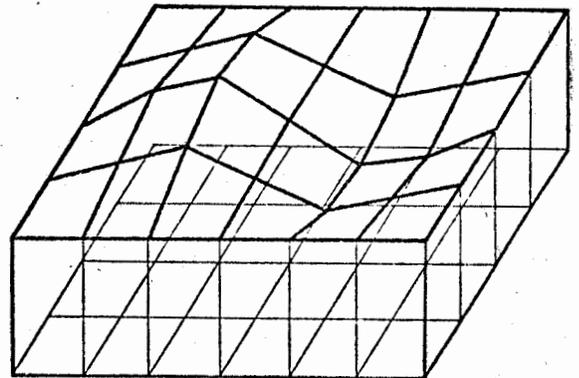


Abb.5: planiertes Gelände

Der skizzierte Ansatz kann in folgender Weise erweitert werden:

- Berücksichtigung verschiedener Härtegrade des Bodens beim Abtrag.
- Einführung der Neigung in der Falllinie des Geländes und nicht - wie bisher - entlang der Rasterlinien.
- Zwangsbedingungen für die Geländeneigung entlang beliebiger Linien (Wasserläufe usw.).
- Einführung eines vorgegebenen Massenüberschusses bzw. Massendefizits.

Die angeschnittenen Fragen behandelt zur Zeit Herr Dipl.Ing.G. Windholz im Rahmen seiner Diplomarbeit an der Technischen Universität Wien. Die Zwischenergebnisse sind vielversprechend, sodaß diese spezielle Anwendung einer Geländedatenbank für die Praxis in einiger Zeit von Interesse sein könnte.

4.6 Bisher wurden aus der Geländedatenbank die Geländeoberfläche in der Form von Höhenlinien, Profilen, Gefällstufenkarten usw. abgerufen. Zusätzlich zu diesen linienhaften und zahlenmäßigen Informationen kann in Zukunft eine Geländedatenbank auch zur Wiedergabe eines photographischen, verzerrungsfreien Bildes des jeweiligen Geländeausschnittes eingesetzt werden. In diesem Fall ist die Geländedatenbank mit einem digital gesteuerten Orthoprojektor zu kombinieren.

Der neue, von der Firma Wild vorgestellte Orthophotoprojektor (Stewardson, 1974, Pölzleitner, 1975) eignet sich besonders für die eben angesprochene Peripherieeinheit einer Geländedatenbank. Es kann entweder das digitale Höhenraster direkt verwendet werden oder es sind vorher aus dem ursprünglichen Raster - je nach Lage des umzubildenden Photos - eine Schar gedrehter paralleler Profile zu berechnen. In der Fortsetzung sind die Modell- oder Landeskoordinaten der Rasterpunkte rechnerisch in das Bildkoordinatensystem zu transformieren und auf einem Magnetband, das dann in den Orthoprojektor eingelegt werden kann, auszugeben.

Auf diese Weise können mit Wiederholungsflügen jeweils vom gleichen Höhenraster völlig automatisch Orthophotos hergestellt werden. In unserer umweltbewußten Zeit gewinnen solche Zeitreihen von Orthophotos immer größere Bedeutung. Mit Hilfe der automatischen Orthophotoproduktion aus Luftbildern verschiedenen Datums können voraussichtlich Strich- und Orthophotokarten sehr rationell fortgeführt werden.

4.7 Schließlich kann eine Geländedatenbank auch von großem Nutzen für die Entzerrung multispektraler Scanneraufnahmen sein. Die Verzerrungen im multispektralen Scannerbild werden nämlich in hohem Maße von den Höhenunterschieden des Geländes verursacht. Unabhängig von den zur Zeit noch in Diskussion befindlichen verschiedenen Varianten der Auswertung von Scanneraufnahmen wird in jedem Fall die Höheninformation des Geländes eine wertvolle Hilfe für die zu lösende Aufgabe sein.

Damit eröffnet sich ein Weg, die vielfältigen Informationen der multispektralen Scanneraufnahmen in vorhandene Karten und Orthophotos zu übernehmen und die multispektralen Scannerstreifen zu flächenhaften Verbänden zusammenzufügen.

5. SCHLUSSBEMERKUNGEN

Am Ende des Vortrages soll auf die Chancen der Realisierung der angestellten Überlegungen eingegangen werden. Infolge der Vielschichtigkeit des Gesamtsystemes kann die Realisierung nur in einer Zusammenarbeit mit der Praxis erfolgen. Als Partner kommen Landesvermessungsämter, die gerätebauende Industrie, Ingenieurbüros und andere Hochschulinstitute in Frage.

Für die Zukunft schwebt mir als Organisationsform für die Geländedatenbank eine zentrale Datenverarbeitung und zentrale Archivierung vor. Die Datenerfassung und zum Teil auch die Ausgabe in der Form von Zahlen, Karten, sonstigen graphischen Darstellungen usw. kann meines Erachtens dagegen an dezentralen staatlichen Stellen und bei Ingenieurbüros liegen. Die zentrale Archivierung ist deshalb von besonderer Wichtigkeit, weil nur auf diese Weise die zur Zeit häufig anzutreffende Mehrfachdigitalisierung vermieden werden kann.

Obwohl die gerätetechnischen Voraussetzungen für eine Geländedatenbank zum Teil bereits gegeben sind, kommt man ohne gewisse öffentliche und private Investitionen nicht aus. Datenbanken und Informationssysteme sind aber gegenwärtig nicht mehr die Lieblingkinder der Politiker. Darüber hinaus wird die öffentliche Meinung im Hinblick auf den hier zur Diskussion stehenden Fragenkomplex unbewußt negativ beeinflusst. Man findet nämlich gegenwärtig in populärwissenschaftlichen Zeitschriften und in Tageszeitungen Aufsätze, die einen engen Zusammenhang zwischen Datenbanken und "Dem abgelochten Menschen" bzw. "Die durchlöchernte Privatsphäre" bzw. "Den durchleuchteten Bürger" herstellen. In Anbetracht dieser Schlagzeilen fühlt der Bürger mit Recht eine Bedrohung seiner Würde und Freiheit.

Es liegt an uns, den Politikern und der Öffentlichkeit klarzumachen, daß die hier angesprochene Datenbank nicht den Menschen, sondern das Gelände als Bezugselement hat. Im Gegensatz zu dem personenbezogenen Daten enthalten die geländebezogenen Daten objektive Informationen, die zur Gestaltung und zur Erhaltung unserer Umwelt von großem Nutzen sind.

LITERATUR

- ASSMUS, E.: Die Behandlung geomorphologischer Strukturen im Stuttgarter Höhenlinienprogramm, Vortrag an der Techn.Akademie Eßlingen, 1975.
- ASSMUS, E. und KRAUS, K.: Die Interpolations nach kleinsten Quadraten - Prädiktionswerte simulierter Beispiele und ihre Genauigkeiten, DGK Reihe A, Heft 65, 1974.
- FINSTERWALDER, R.: Zur Beurteilung der Geländedarstellung in topographischen Karten, presented paper, Commission IV der ISP, Paris, 1974.
- KRAUS, K.: Ein allgemeines digitales Geländemodell - Theorie und Anwendungsmöglichkeiten, Beitrag in "Numerische Photogrammetrie" von F.Ackermann, Sammlung Wichmann, Neue Folge, Buchreihe Band 5, S.225-254, 1973.
- KRAUS, K.: Untersuchung zur Genauigkeit der Interpolation nach kleinsten Quadraten, ZfV 99, S.198-205, 1974.
- KRAUS, K.: Erfahrungen mit einem digitalen Geländemodell, Mitteilungen der geodätischen Institute der TH Graz, Folge 18, S.177-186, 1975.
- PÜLZLEITNER, F.: Orthophotoherstellung mittels Bildkoordinaten im Universalorthophotosystem, ZfV 100, S.42-47, 1975.
- STANGER, W.: Das Stuttgarter Höhenlinienprogramm - Beschreibung und Ergebnisse, Beitrag in "Numerische Photogrammetrie" von F.Ackermann, Sammlung Wichmann, Neue Folge, Buchreihe Band 5, S.255-284, 1973.
- STANGER, W.: Automatische Herstellung einer Gefällstufenkarte, presented paper, Kommission IV der ISP, Paris, 1974.
- STANGER, W.: Erfahrungen mit dem Stuttgarter Höhenlinienprogramm, Vortrag an der Techn.Akademie Eßlingen, 1975.
- STEWARTSON, P.: Ein neues universelles Orthophotosystem, presented paper, ASP-march-meeting, 1974.
- WOLF, P.: Selbständige Arbeit an der Universität Stuttgart, Fachbereich Geodäsie, 1974.