

Über digitale Geländemodelle und deren computergestützte kartographische und kartometrische Auswertung

Autor(en): **Yoeli, P.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik : VPK = Mensuration, photogrammétrie, génie rural**

Band (Jahr): **80 (1982)**

Heft 2

PDF erstellt am: **26.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-231152>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Über digitale Geländemodelle und deren computergestützte kartographische und kartometrische Auswertung

P. Yoeli

Der Artikel beschreibt die verschiedenen Typen gemessener digitaler Geländemodelle, welche als Approximationsflächen der Erdoberfläche betrachtet werden und deren Güte durch die Vermessung allein bedingt ist. Sodann wird die Eignung der diversen Modelltypen als Input für computergestützte Kartographie vom Standpunkt eines vermessungstechnisch und geomorphologisch orientierten Reliefkartographen beurteilt. Die mathematisch-analytische Behandlung von digitalen Geländemodellen zwecks Erzeugung von kartographischen und kartometrischen Produkten wird prinzipiell abgelehnt und ein räumlich-geometrisches Vorgehen empfohlen. Weiter wird die Notwendigkeit der Interpolation von sekundären Modellen zwecks Erstellung von primären topographischen Karten bezweifelt und die Ansicht vertreten, dass computergestützte kartographische und kartometrische Auswertungen nur direkt auf Grund der von den vermessenen Punkten aufgespannten Approximationsflächen vollzogen werden sollten.

L'article décrit différents types de modèles digitaux du terrain considérés comme surfaces d'approximation de la surface terrestre et dont la qualité ne dépend que des mesures. On juge ensuite de la pertinence des divers modèles comme (Input) pour la cartographie assistée par ordinateur du point de vue d'un cartographe établissant le relief selon les règles de la mensuration et de la géomorphologie. Le traitement mathématique des modèles digitaux du terrain pour la production de cartes doit en principe être évité; on recommande plutôt un processus spatial géométrique.

La nécessité d'interpoler des modèles secondaires pour produire des cartes topographiques primaires est mise en doute. La restitution cartographique assistée par ordinateur devrait se baser uniquement sur des surfaces d'approximation construites à partir des points mesurés.

1. Das digitale Geländemodell als Ersatz der Erdoberfläche

Eines der schwierigsten kartographischen Probleme ist die Darstellung des Reliefs der Erdoberfläche auf Karten. Da es sich dabei um ein vollkommen regelloses, dreidimensionales Kontinuum handelt, ist es nur durch alle seine Punkte voll bestimmt. Als Ersatz dafür wählt man z. B. in der konventionellen kartographischen Praxis eine diskrete Anzahl von Punktreihen identischer Höhen und projiziert sie in die Kartenebene. Die Verbindung dieser Punkte ergibt dann die bekannten Höhenkurven.

Auch andere Methoden der kartographischen Geländedarstellung, wie z. B. Profilscharen, beruhen immer auf einer diskreten Anzahl von Höhenpunkten und sind daher allesamt nur unvollständige Abbildungen der geomorphologischen Wirklichkeit.

Auch bei der Benützung von Computern zwecks Erzeugung von altimetrischen Darstellungen oder kartometrischen Berechnungen braucht man natürlich Input-Daten, welche aus einer diskreten Anzahl von Höhenpunkten bestehen und das geomorphologische Kontinuum vertreten. Die geometrische Anordnung der gewählten Punkte kann verschiedene Formen annehmen und

hängt hauptsächlich von der angewendeten Vermessungsmethode ab.

Diese Punkthaufen haben in der Fachliteratur die Bezeichnungen (Digital Terrain Models) (DTM), (Digital Elevation Models) (DEM) oder (Digitale Geländemodelle) (DGM) erhalten. Diese (Modelle) sind nichts Neues und keine Erfindung des Computerzeitalters. Seit dem Beginn der modernen Vermessungstechnik und der auf vermessungstechnischen Grundlagen beruhenden Reliefkartographie hat es schon immer (Digitale Geländemodelle) gegeben. Man hat sie nur nicht so genannt.

Auch auf die Terminologie des Vermessungsvorgangs selbst hat die Mode des Computerjargons übergreifen. Für die Vermessung der räumlichen Koordinaten eines Punktes der Erdoberfläche findet man seit einiger Zeit in der zuständigen Fachliteratur häufig den Ausdruck (sampling), als ob es sich um ein statistisches Problem handle und nicht um die Vermessung einer Ersatzfläche des wirklichen Erdreliefs.

2. Übersicht über die Ursprünge digitaler Geländemodelle

Digitale Geländemodelle können im Prinzip aus folgenden Quellen stammen:

1. Terrestrische Messungen
2. Photogrammetrische Messungen
3. Existierende Höhenkurvenkarten.

Im folgenden seien die Charakteristiken dieser verschiedenen Modellgruppen kurz besprochen.

2.1 DGMs der terrestrischen Vermessung

Bezüglich der geometrischen Anordnung gemessener Höhenpunkte kann man bei der terrestrischen Vermessung die folgenden drei Formen unterscheiden:

- a) Tacheometrische Messungen
- b) Ingenieurvermessungen
- c) Flächennivellements.

Die wohl häufigste Form eines DGMs terrestrischen Ursprungs sind tacheometrisch vermessene Höhenpunkte, die u. a. als Grundlage für die Interpolation von Höhenkurven dienen. Rein geometrisch gesehen, sind die Punkte dabei vollkommen regellos über das Gelände verteilt («Random distribution»). *Aus geomorphologischer Sicht sind sie jedoch sorgfältig ausgewählt.* Ein gut ausgebildeter Topograph wählt die Punkte an charakteristischen Stellen des Reliefs, d. h. an Stellen von Neigungsänderungen und entlang den Strukturlinien («Gerippelinien») des Geländes. Ausserdem wird er die numerische Registrierung seiner Messresultate mit einer Feldskizze ergänzen, aus welcher ersichtlich ist, welche der vermessenen Punkte Strukturlinien des Geländes aufspannen. Basierend auf dieser Punktschar wird dann im allgemeinen ein Dreiecksnetz konstruiert, welches die Projektion einer aus räumlichen Dreiecksflächen zusammengesetzten Fläche ist. Dies ist eine Näherungsfläche der wirklichen Erdoberfläche und dient als deren Ersatz. In dieses Dreiecksnetz können Höhenkurven interpoliert werden, indem die Schnittpunkte der gesuchten Kurven mit den Dreiecksseiten auf Grund linearer Interpolation gefunden werden. Die Verbindung dieser Kurvenstützpunkte mit Kurven ergibt dann die gewünschte Höhenlinienkarte. Auch Volumenberechnungen können relativ leicht und bequem mit dieser Dreiecksstruktur ausgeführt werden. Um eine optimale Anschmiegung der Ersatzfläche an die wirkliche Erdoberfläche zu erreichen, werden die kürzesten möglichen Dreiecksseiten gewählt und die Teilstücke der Strukturlinien des Geländes a priori als Dreiecksseiten gewählt.

Bei einer anderen Methode der tacheometrischen Vermessung wird der Verlauf der Höhenkurven direkt im Gelände gefunden, indem nur solche Punkte gewählt werden, die Stützpunkte von Kurven der gewählten Höhenkurvenskala sind. In diesem Fall gleicht die geometrische Anordnung der Punkte eines solchen DGMs derjenigen, die bei der Digitalisierung von Höhenlinien auf bestehenden Karten oder auf stereoskopischen Modellen von photogrammetrischen Aufnahmen entsteht (s. w. u.).

Andere Formen digitaler Geländemodelle terrestrischen Ursprungs können bei der Vermessung für die Planung und Ausführung von Ingenieurarbeiten entstehen. Eines der bekanntesten Beispiele sind die Messungen von Längs- und Querprofilen im Strassenbau. Die gemessenen Punkte sind in diesen Fällen meistens nicht irregulär verteilt, sondern entlang von Geraden und Kurven angeordnet.

Ein vollkommen reguläres Gitternetz von Punkten entsteht bei sog. Flächennivellements. Dies ist ein relativ zeitaufwendiger Vermessungsvorgang, der im allgemeinen nur für besonders hohe Genauigkeitsansprüche und für Flächen beschränkter Ausmasses angewendet wird.

2.2 DGMs der photogrammetrischen Vermessung

Die Hauptquelle von DGMs sind stereoskopische Modelle von Luftbildaufnahmen. Bei der analogen stereophotogrammetrischen Vermessung wird eine räumlich erscheinende Messmarke auf dem virtuellen stereoskopischen Modell in der Höhe einer Höhenkurve auf dem Gelände geführt. Die Übertragung dieser Bewegung und deren graphische Darstellung auf einem Zeichnungsmedium ergibt dann die gesuchte Höhenkurve.

Würde man die Bewegungen der Messmarke in der x-y-Ebene in diskreten Abständen registrieren, so würde ein DGM von digitalisierten Höhenkurven entstehen (s. w. u.).

Andere Formen von DGMs photogrammetrischen Ursprungs entstehen, wenn die Messmarke das Gelände entlang gleichabständigen Profillinien abtastet und die Koordinaten von Profilpunkten in diskreten Abständen registriert werden. Hierbei kann man wieder zwei verschiedene Formen der Registrierung unterscheiden.

Werden regelmässige Abstände gewählt (distance mode), so entsteht ein vollkommen geordnetes Gitternetz von Punkten. Wird zudem der Abstand zwischen den Profilpunkten in der Profilrichtung gleich dem Abstand zwischen den Profilen gemacht, so besteht dieses Gitternetz aus quadratischen Fazetten, und die von den Punkten

aufgespannte Approximationsfläche aus räumlichen Quadraten. Eine andere Form erhält man, wenn entlang den Profilen nur die Koordinaten der charakteristischen Profilpunkte, d. h. nur Stellen von Neigungsänderungen, registriert werden.

DGMs, welche das Resultat der Abtastung paralleler Vertikalprofile sind, entstehen oft bei der Erzeugung von Orthophotoskopien. Bei diesem Vorgang werden stereoskopische Luftbildaufnahmen mit Hilfe einer zusätzlichen photomechanischen Ausrüstung differentiell rektifiziert, d. h. die Zentralprojektion der Originalaufnahme wird streifenweise in eine Orthogonalprojektion überführt. Dabei wird ebenfalls die räumliche Messmarke des Stereoauswertgerätes entlang parallelen Profillinien auf dem virtuellen stereoskopischen Modell geführt. Registriert man dabei diskrete Punkte der Profile in einer der erwähnten Arten, so entsteht ein DGM als Nebenprodukt des orthophotogrammetrischen Vorgangs. Prinzipiell besteht auch die Möglichkeit, Profilpunkte unter Bewahrung einer konstanten Höhendifferenz zu wählen.

Dadurch entsteht praktisch die selbe Form von Punktanordnung wie bei der Digitalisierung von Höhenkurven existierender Karten, wenn man die Schnittpunkte paralleler Profillinien mit den Höhenkurven registriert (s. w. u.). In der Photogrammetrie erhielt diese inzwischen als veraltet angesehene Punktwahl den Namen «Dropped lines». Die Verbindung von Nachbarpunkten identischer Höhen ergab Höhenkurven als ein weiteres Nebenprodukt der Orthophotokopie. Bei neueren Entwicklungen wird das Orthophotoskop, d. h. das photomechanische Instrument, welches die rektifizierte Luftbildaufnahme streifenweise aufbaut, durch digital gespeicherte Profile «off line» angetrieben. Die Profilinien selber werden den Daten eines vorgehend erzeugten DGMs entnommen.

Die Art der Höhenpunktmessung bei der photogrammetrischen Erstellung von DGMs, welche wie beschrieben entweder in vertikalen oder in horizontalen Ebenen geschieht, ist weitgehend durch die Konstruktionsprinzipien der stereophotogrammetrischen Auswertgeräte bedingt. Eine irreguläre Punktanordnung wie bei der terrestrischen Vermessung findet man daher bei DGMs photogrammetrischen Ursprungs selten. Um jedoch etwaige nachteilige Auswirkungen der starren, maschinenbedingten Punktanordnung bei einer nachfolgenden kartographischen Auswertung so weit wie möglich beheben zu können, ist es üblich, auch die Strukturlinien des Geländes zu digitalisieren und sie auf einem zusätzlichen Datenfile zu speichern.

2.3 Erzeugung von DGMs durch Digitalisierung existierender Höhenkurvenkarten

Die Registrierung eines DGMs, basierend auf existierenden Höhenkurvenkarten, kann prinzipiell in jeder der bis jetzt erwähnten Punktanordnungen geschehen. Man kann die Höhenkurven selbst digitalisieren oder sie mit einer Schar von parallelen Profillinien schneiden. Die Registrierung dieser Schnittpunkte ergibt dann die bereits erwähnte Form der «Dropped lines». Man kann die Karte auch mit einem regulären Gitternetz bedecken und die Höhen auf Grund der Höhenlinien interpolieren. Theoretisch ist sogar eine Punktdigitalisierung in vollkommen irregulärer Form wie bei der tacheometrischen Vermessung möglich, wobei auch hier die Punkte an den charakteristischen Stellen des Reliefs gewählt werden. Es sei betont, dass auch hier ein zusätzliches Datenfile der digitalisierten Strukturlinien des Geländes das registrierte DGM begleiten muss.

2.4 Zusammenfassung der möglichen Punktanordnungen gemessener DGMs

Fasst man die bis jetzt erwähnten Möglichkeiten der Vermessung eines DGMs zusammen, so können bezüglich der geometrischen Punktanordnung folgende vier Typen unterschieden werden:

- reguläres Gitternetz
- Punkte in irregulären Abständen auf gleichabständigen parallelen Vertikalprofilen
- vollkommen irreguläre Punktverteilung
- Punktreihen gleicher Höhen.

Ausserdem wurde angenommen, dass jeder der obigen DGM-Typen von einem zusätzlichen Datenfile begleitet ist, welches eine digitale Registrierung der Strukturlinien des Geländes enthält. Die Punkte dieses Liniennetzes sind im Falle des Types c) zwar im allgemeinen im Datensatz des DGMs schon enthalten. Das zusätzliche Strukturlinienfile ist aber auch in diesem Fall notwendig, um die Zusammenhänge der Strukturlinienpunkte zu dokumentieren. In den DGMs der Typen a, b und d sind die Strukturlinienpunkte wegen der starren Punktanordnung im allgemeinen nicht vorhanden.

Hier ist es vielleicht am Platze, einige Überlegungen anzustellen über den Einfluss, den die Einführung computergestützter Auswertungen von DGMs auf die Beziehungen zwischen der terrestrischen Vermessung und der topographischen Photogrammetrie einerseits und der Reliefkartographie andererseits ausgeübt hat.

Solange die graphische Darstellung von Messresultaten – terrestrisch oder photogrammetrisch – noch manuell ge-

schah, begann der kartographische Einsatz bei der terrestrischen Vermessung in dem Augenblick, in dem die im Felde gemessenen tacheometrischen Resultate – entsprechend bereinigt und reduziert – graphisch aufgetragen und in eine Karte umgewandelt wurden. Bei der analogen topographischen Photogrammetrie war das im Stereoauswertegerät entstehende Produkt ein Kartenmanuskript, das als Grundlage für die kartographische Überarbeitung diente.

Bei der terrestrischen Vermessung hat sich mit der Einführung einer nachfolgenden computergestützten Bearbeitung im Grunde nichts geändert, ausser dass die Form der Registrierung der gemessenen Werte evtl. der nachfolgenden Computerbehandlung angepasst werden muss. Tacheometrische Vermessungen haben schon immer digitale Geländemodelle geliefert. Nicht so die Photogrammetrie!

Anstelle des graphischen Manuskripts der analogen Photogrammetrie ist das gemessene digitale Geländemodell getreten, und der Einsatz der computergestützten Kartographie sollte, nach unserer Ansicht, sofort nach der Erzeugung dieses Modells beginnen. Analog zur tacheometrischen Vermessung sollte dem «Computer-Kartographen» ein von den Einflüssen des Vermessungsvorganges bereinigtes DGM geliefert werden. Nicht weniger, aber – im Interesse einer sauberen professionellen Methodologie – auch nicht mehr. Die Probleme der relativen und absoluten Orientierung, die Befreiung der gemessenen Daten von maschinellen und optischen Einflüssen, die Transformation von Maschinenkoordinaten in Landeskoordinaten, die Berücksichtigung des Modellmassstabs usw., all dies sind Probleme der Photogrammetrie. Sie sind jedoch unabhängig von den Zwecken, denen das DGM dienen soll. Kurz gesagt, die Aufgabe der analytischen topographischen Photogrammetrie ist es, nach unserer Ansicht, einen digitalen Ersatz der Erdoberfläche zu vermessen – nicht zu berechnen! Und nicht graphisch auszuwerten! Die kartographische Auswertung und, wenn nötig, eine evtl. Modifikation bzw. Generalisation gemessener DGMs sollten der computergestützten Kartographie überlassen werden.

3. Eine qualitative Bewertung der verschiedenen DGM-Typen

Bevor man die Vorzüge und Nachteile der verschiedenen DGM-Typen erwägt, sei noch einmal betont, dass es der Alleinzweck eines gemessenen DGMs ist, eine Ersatzfläche für die kontinuierliche Erdoberfläche aufzuspannen. Die Güte eines DGMs ist also zuallererst davon abhängig, wie eng sich die

gemessene Approximationsfläche der wirklichen Erdoberfläche anschmiegt. Da man es hier im Gegensatz zu statistischen oder anderen abstrakten Flächen mit einer vollkommen regellosen, realen, einsichtbaren und meistens auch zugänglichen Fläche zu tun hat, ist das Mass der Approximation durch die Vermessung bedingt – *und durch die Vermessung allein* – und hängt von der a) Genauigkeit der Messung, b) der Punktdichte und c) der Punktwahl ab. Bezüglich der computergestützten Produkte, die von solch einem DGM erzeugt werden, sei noch hinzugefügt, dass deren Qualität zusätzlich von der Methodologie und Logik der entsprechenden Computersoftware beeinflusst ist.

Die Faktoren, welche die Güte gemessener DGMs bestimmen, sind natürlich keine konstanten Grössen und hängen u. a. davon ab, für welche kartographischen und/oder kartometrischen Produkte das DGM verwendet werden soll. Sollen z. B. Höhenkurven mit Hilfe eines Computerprogramms interpoliert werden, so muss sich das gemessene DGM der Erdoberfläche so gut anschmiegen und die Programmlogik so gestaltet sein, dass die Breiten der Fehlerbänder der errechneten Höhenkurven die für das spezifische Gelände und den spezifischen Kartenmassstab erlaubte Toleranz nicht überschreiten.

Hier sollen einige Worte über den prinzipiellen, methodologischen Unterschied zwischen konventioneller und computergestützter Reliefkartographie gesagt werden. Bei der manuellen Kartographie kann man zwischen «Basiskarten» und «Folgekarten» unterscheiden. Die ersteren sind jene Karten, die das direkte Resultat der graphischen Bearbeitung von terrestrischen oder konventionellen photogrammetrischen Vermessungen sind. Dies sind im allgemeinen topographische Karten grösserer Massstäbe. Topographische Karten in kleineren Massstäben beruhen im allgemeinen nicht auf direkten Vermessungsergebnissen, sondern auf generalisierten Basiskarten; sie sind sog. «Folgekarten». Sie sind also Karten, deren Inhalt quantitativ und qualitativ so reduziert und bearbeitet wurde, dass er den Anforderungen des kleineren Massstabs entspricht. Dieser Generalisierungsprozess umfasst natürlich auch das topographische Relief. Kleinere Geländeformen verschwinden mehr und mehr und werden in grössere, dominantere Formen einbezogen, bis bei immer kleiner werdenden Massstäben das Kartenrelief zu einer Fiktion des wirklichen Reliefs degeneriert. Besteht das dem Generalisierungsprozess zugrundeliegende Material aus Höhenkurvenkarten, so wird die Generalisierung am Verlauf der Kurven vorgenommen,

wobei diese natürlich schon selbst das Resultat einer vorhergegangenen Generalisierung sein können.

Im Gegensatz zur Höhenkurvenbasis-karte ist ein gemessenes DGM unabhängig von einem spezifischen Kartenmassstab. Seine Koordinaten sind im allgemeinen Landeskoordinaten, und das primäre DGM kann als Ausgangsmaterial für die Reliefkartographie eines ganzen Spektrums von Kartenmassstäben dienen. Der Generalisierungsprozess des Reliefs spielt sich dabei nicht auf einer Höhenkurvenkarte oder irgend einer anderen graphischen Darstellung ab, sondern stets direkt auf dem gemessenen DGM. *Diese Reduktion und Vereinfachung des Originalmodells muss natürlich ebenfalls den geomorphologischen Prinzipien von Reliefgeneralisierungen unterworfen sein* (Generalisierung mit Hilfe der Mathematik allein trifft daneben!) und hat den Zweck, einen Punkthaufen zu finden, der wieder eine Fläche aufspannt, deren Mass der Approximation an die wirkliche Erdoberfläche den Ansprüchen der kleinmassstäbigeren Reliefdarstellung entspricht. Die Formulierung der Kriterien für eine kartographisch korrekte Generalisierung von DGMs überschreitet den Rahmen dieses Aufsatzes und ist einer separaten Publikation vorbehalten. Es sei jedoch nur soviel gesagt, dass auch auf generalisierten DGMs beruhende Karten nur dann den erforderlichen Genauigkeitsanforderungen entsprechen können, wenn die Abweichungen der generalisierten Approximationsfläche von der wirklichen Erdoberfläche keine grösseren kartographischen Fehler hervorrufen, als die Toleranz erlaubt.

Hier sei auch bemerkt, dass eine Modifizierung der Werte gemessener DGMs bei der Erstellung von Basiskarten nur dann legitim ist, wenn grobe Messfehler entdeckt worden sind. Eine «Glättung» des DGMs nicht im Sinne einer Generalisierung, sondern um «glatte» Höhenkurven zu erzeugen, ist eine am falschen Platz angebrachte Intervention. Wenn man schon «geglättete» Höhenkurven erzeugen will (dies ist ein kartographischer Eingriff und muss mit kartographisch-geomorphologischem Verständnis geschehen. Eine dilettantische Glättung von Höhenkurven ist z. B. imstande, den typischen Höhenkurvenverlauf einer Karstgegend in denjenigen einer glazialen Landschaft zu verwandeln), so sollte man die Kurven glätten, nicht aber das originale DGM.

Auch an eine Verbesserung eines gemessenen DGMs im Sinne einer Ausgleichung, z. B. nach der Methode der kleinsten Quadrate, ist nicht zu denken, da jede Ausgleichung auf der Existenz von überschüssigen Messungen ba-

siert. Dies ist hier nicht der Fall. So dicht ein DGM auch immer gemessen sein mag, es enthält nie überschüssige Punkte im Sinne der Ausgleichsrechnung, es sei denn, die selben Punkte wurden wiederholt gemessen. Das und noch mehr. Da es sich, wie schon erwähnt, bei der Erdoberfläche um eine völlig irreguläre Fläche handelt, der prima-facie jede mathematische Gesetzmässigkeit abgeht, ist es auch höchst fragwürdig, Werte von nicht vermessenen Punkten auf Grund einer Interpolation von mathematischen Flächen höheren Grades zu ermitteln. *Die graphische und numerische Behandlung des Punkthaufens eines vermessenen DGMs der Erdoberfläche muss auf der Annahme beruhen, dass die Punktgenauigkeit, Punktdichte und Punktauswahl vom Vermessungstechnischen her so gewählt wurden, dass mit genügender Sicherheit angenommen werden darf, dass die Neigung zwischen zwei Nachbarpunkten – unter Berücksichtigung der Strukturlinien des Geländes – linear ist.* Wenn diese Annahme nicht zutrifft, hilft auch keine Interpolation von mathematischen Flächen höheren Grades – mag sie noch so geistreich sein. Trifft sie jedoch zu, so genügt eine lineare Interpolation, um im Rahmen der klassischen kartographischen/kartometrischen Toleranzen zu bleiben. Handelt es sich z. B. um die Interpolation von Höhenkurven, so können die Kurvenstützpunkte durch lineare Interpolation auf den Verbindungsstrecken der Punkte gesucht werden, sowohl bei der Dreiecksvermaschung der DGM-Typen b und c, als auch bei der regulären Gitternetzordnung des Typus a. Wenn die von den gemessenen Punkten eines DGMs aufgespannten Approximationsflächen vermessungstechnisch genügend genau bestimmt wurden – und nur solche sollten bearbeitet werden –, so taucht die Notwendigkeit, zusätzliche, nicht gemessene Punkte zu interpolieren, bei den meisten graphischen und numerischen Auswertungen nicht auf. Der Kartenbenützer wird Höhen von Punkten, die nicht auf Höhenkurven liegen, weiter linear interpolieren, ungeachtet dessen, ob die Karte konventionell oder computergestützt erschaffen wurde, und numerische Bearbeitungen, wie z. B. Volumenberechnungen, werden durch eine zusätzliche Punktinterpolation kaum besser. Eine bestimmte Berechtigung mag die Interpolation eines sekundären regulären Netzes haben, wenn eine zusammenhängende Gruppe digitalisierter regulärer Netze verschiedener Gitterrichtungen in ein übergeordnetes Netz eingepasst werden soll. Diese Notwendigkeit ist jedoch auf einige wenige kartographische Auswertungen beschränkt. Für die

Interpolation von Höhenkurven eines Kartenblatts, das mehr als ein stereoskopisches Modell umfasst, ist die Interpolation eines einheitlichen Netzes für die ganze Kartenfläche auf jeden Fall unnötig. Ähnlich wie bei den analogen photogrammetrischen Kartierungen, kann das Kartenblatt aus dem Mosaik der einzelnen Modelle zusammengesetzt werden. Das einzige Problem ist dann der kontinuierliche Verlauf der Höhenkurven zwischen Nachbarmodellen. Dies ist jedoch ein graphisch-kosmetisches Problem, das leicht durch eine entsprechende Programmierlogik oder sogar, mit relativ geringer Mühe, manuell behoben werden kann, so wie es bei der analogen photogrammetrischen Kartierung üblich ist. Deshalb auf die Qualität primärer DGMs zu verzichten, scheint uns nicht sinnvoll. Ein einheitliches Punktnetz von grösseren Landflächen braucht man gelegentlich bei der Erstellung perspektivischer Ansichten von Geländeprofilen (Blockdiagramme) oder bei der Berechnung analytischer Reliefschattierungen. Dabei handelt es sich jedoch um visuelle-didaktische Erzeugnisse, bei denen die durch Interpolationen sekundärer DGMs verminderte Genauigkeit eine zweitrangige Bedeutung hat.

3.1 Reguläre Gitternetze

DGMs dieses Typs können durch terrestrische oder photogrammetrische Messungen gebildet werden oder die Folge der Interpolation eines regulär angeordneten Punkthaufens auf einer Höhenkurvenkarte sein. Von diesen drei Möglichkeiten ist die letztere mit grösster Vorsicht zu handhaben. In Höhenkurvenkarten interpolierte Punkthaufen sind sekundäre DGMs, deren Qualität von der Genauigkeit der Kurven, dem geomorphologischen Charakter des kartierten Geländes, der Kurvenäquidistanz, dem Massstab, dem Mass der Generalisierung und der Genauigkeit der Interpolation abhängt. Bevor ein solches DGM interpoliert wird, muss sehr sorgfältig abgeklärt werden, ob die darauf fundierenden nachfolgenden Auswertungen die erwünschte Qualität erzielen können. Nur zu oft wird die Aussagekraft von Höhenkurvendarstellungen auf Karten überschätzt! Die Güte eines photogrammetrisch gemessenen regulären DGMs ist, abgesehen vom Modellmassstab, durch den Abstand zwischen den Punkten auf den Profilen und dem Abstand zwischen den Profilen bedingt. Sie werden im allgemeinen gleich gross gemacht und sollten unter Berücksichtigung des Modellmassstabs und des geomorphologischen Charakters des Geländes gewählt werden. Wegen der gitterförmigen Anordnung der Punkte sind die Punkte der Gerippelinien des Geländes

im besten Fall nur sporadisch im Datensatz enthalten. Höhenkurven, die in ein solches DGM interpoliert werden, würden daher nicht genau auf den Geländekanten umbiegen. Daher müssen DGMs, wie schon mehrfach erwähnt, von einem digitalisierten, von der Geometrie des regulären Netzes unabhängigen Liniennetz, den Gerippelinien, begleitet werden. Auch die höchsten Punkte von Berggipfeln, die tiefsten Punkte von Mulden und die Höhen von Sattelpunkten sind nicht unbedingt im Gittersatz enthalten und müssen zusätzlich digitalisiert werden. Sie haben zwar nur beschränkten Einfluss auf den Verlauf der interpolierten Höhenkurven, können aber dazu dienen, die Kurvenkarte mit der Kotierung von Extrempunkten zu ergänzen.

Ein weiterer Nachteil DGMs dieser Art ist die grosse Menge von Höhendaten. Wählt man z. B. eine Punkt- und Profildistanz von 10 m, enthält bereits 1 km² 10 000 Punkte. Neuere Entwicklungen auf dem Gebiet der Computertechnologie haben jedoch die Problematik, die mit der Speicherung und Bearbeitung grosser Datenmengen verbunden war, drastisch vereinfacht. Eine weitere Erleichterung besteht darin, dass nur die Höhen der Punkte gespeichert werden müssen, da die planimetrischen Koordinaten für jeden Punkt aus den Gitterkonstanten berechnet werden können. Die Gitteranordnung der Punkte wirkt sich sehr günstig auf die Formulierung der entsprechenden kartographischen und kartometrischen Computerprogramme aus. Dieser Vorteil hat manche dazu verleitet, derartige Programmierlösungen auch für DGMs anderer Punktanordnung zu suchen, indem sie in primär nicht reguläre DGMs geordnete Gitternetze interpolieren und die kartographische Auswertung mit diesen sekundären DGMs vornehmen. Solche Lösungen sind anfechtbar. Man sollte nach unserer Meinung nicht auf die primäre Qualität gemessener Werte nur aus Gründen kartographischer Programmierbequemlichkeit verzichten.

3.2 Punkte in irregulären Abständen auf gleichabständigen parallelen Vertikalprofilen

Die Punktanordnung dieser typisch photogrammetrischen DGMs ist sehr vorteilhaft. Zunächst ist sie sparsamer als ein reguläres Gitternetz, da die Punkte nur an Stellen von Neigungsänderungen gewählt werden, d. h. dass auch die Extrempunkte der Profile a priori im Datensatz enthalten sind, inklusive der Schnittpunkte der Profile mit den Gerippelinien. Eine besondere Kodierung dieser Punkte auf dem Datenfile kann daher die Notwendigkeit

eines separaten Gerippelinienfiles evtl. überflüssig machen.

Die Schnelligkeit, mit der die Profile bei einer solchen Punktregistrierung abgetastet werden können, hängt vom verfügbaren Instrumentarium ab. Ist eine dynamische Registrierung in «time mode» möglich, so ist die Punktverteilung eine Funktion der Geschwindigkeit, mit der die räumliche Messmarke geführt wird. An Stellen von Neigungsänderungen und insbesondere an Extremalstellen tritt wegen der notwendigen Verlangsamung der Bewegung eine Punkthäufung auf. Insgesamt wird das abgetastete Profil in der Regel mehr Punkte als notwendig enthalten. Oft sind die registrierten Werte auch mit Messfehlern behaftet, die eine Folge der Dynamik des Abtastens sind. Nach einem Durchgang durch ein Profilminimum «gräbt» sich die Messmarke quasi für eine kurze Zeit in den Fuss des gegenüberliegenden Abhangs ein, während sie nach dem Durchgang durch ein Maximum für eine kurze Strecke in die Luft austritt. Eine Reduktion bzw. ein Edieren der gemessenen Daten ist dann notwendig und widerspricht nicht dem Prinzip, gemessene Werte nicht zu modifizieren. Es handelt sich dabei lediglich um die Befreiung der gemessenen Daten von Fehlern, die vom Messvorgang herrühren, und darum, unter den registrierten Punkten eine Auswahl so zu treffen, dass die von der reduzierten Anzahl von Punkten aufgespannten Profile den Anforderungen der gewünschten Approximationsfläche genügen.

Steht solch ein Instrumentarium nicht zur Verfügung, so muss man «statisch» digitalisieren, d. h. der Operateur wählt die charakteristischen Stellen des Profils punktweise und registriert sie («Point digitizing»). Dies ist ein langsamer und recht mühevoller Messvorgang, der sich aber doch lohnen kann, wenn man bedenkt, dass es sich hier um die einmalige Schaffung der Grundlagen einer topographischen Datenbank handelt. Ausserdem erübrigt sich bei solch einer Punktaufnahme die Reduktion der Anzahl der gemessenen Punkte, und auch die oben erwähnten Messfehler werden vermieden.

Die Formulierung von kartographischen Computerprogrammen ist für diese Punktanordnung etwas schwieriger als für reguläre Gitternetze. Die naheliegendste und, nach eigener Erfahrung, bestmögliche Lösung besteht in der streifenweisen Berechnung eines räumlichen Dreiecksnetzes, d. h. zwischen je zwei Nachbarprofilen wird eine aus Dreiecksflächen aufgespannte Approximationsfläche gefunden, wobei die Dreiecksseiten natürlich die gemessenen Profilkurve sind. Die Logik des Computerprogramms muss diejenigen

Flächen finden, die eine maximale Anschmiegung an das Gelände gewährleisten. Die wichtigste Vorbedingung dafür ist, dass das Programm erkennen kann, welche der theoretisch möglichen Dreiecksseiten Teile des Strukturliniennetzes des Geländes sind. Diese Verbindungen werden a priori als Dreiecksseiten gespeichert, und es wird Sorge getragen, dass keine der weiteren Seiten irgend eine der bereits gespeicherten schneidet.

Ist das vollständige Dreiecksnetz einmal gefunden und gespeichert, können Höhenkurven analog zur manuellen Handhabung auf Grund linearer Interpolation in das Netz eingewoben werden.

3.3 Irreguläre Punktverteilung

Dies ist die sparsamste Form der Digitalisierung eines Geländes und erlaubt die zwangloseste Punktwahl. Sie entsteht, wie schon erwähnt, hauptsächlich bei tacheometrischen Messungen. Die Formulierung von entsprechenden kartographischen und kartometrischen Computerprogrammen ist für diese Punktverteilung bedeutend schwieriger als bei anderen DGMs, kann aber, wieder aus eigener Erfahrung, zufriedenstellend bewältigt werden, auch wenn man die originellen Daten beibehält und das gemessene DGM nicht durch ein interpoliertes, reguläres Punktnetz ersetzt. Analog zur manuellen Technik kann man den Vorgang der Bildung eines räumlichen Dreiecksnetzes computergestützt nachahmen – natürlich unter Berücksichtigung der Gerippelinien. Ohne diese zusätzliche Information bestehen geringe Aussichten, gute Resultate zu erzielen – weder mit einem noch so intelligenten Computerprogramm noch auf manuellem Weg.

3.4 Punktreihen gleicher Höhen

Dies sind DGMs von digitalisierten Höhenkurven. Sie entstehen entweder durch Digitalisierung der Kurven auf existierenden Karten oder durch horizontale Abtastung von stereoskopischen Luftbildaufnahmen. Gegen beide Quellen bestehen ernste Vorbehalte. Digitalisiert man die Kurven von topographischen Karten oder Manuskripten zwecks digitaler Dokumentation allein, um sie nachher computergestützt mit einem Plotter reinzuzeichnen – evtl. sogar in einem anderen Massstab –, so ist dies eine höchst verschwenderische Anwendung der Computerautomatik. Das Hauptcharakteristikum des Computers – die Möglichkeit, logische Entscheidungen zu treffen – bleibt dabei ungenützt. Der Einsatz eines guten manuellen Zeichners oder einer Reproduktionskamera ist in einem solchen Falle sicher einfacher und wirtschaftlicher.

Ist jedoch der Zweck der digitalisierten Kurven als Grundlage für eine nachfolgende Auswertung zu dienen, wie z. B. die Berechnung einer neuen Kurvenschar anderer Äquidistanz oder anderen Generalisierungsgrades, Berechnung von Profilen, Volumenberechnungen usw., so ist die Formulierung entsprechender Programmlogiken für manche dieser Berechnungen sehr erschwert. Man könnte zwar prinzipiell die Logiken der irregulären Punktanordnung anwenden und ein räumliches Dreiecksnetz errechnen. Dagegen spricht aber, dass die logischen Lösungen für die erwähnte irreguläre Punktverteilung ein relativ sparsames DGM voraussetzen, während die Digitalisierung von Höhenkurven in der Regel grosse Datenmengen erzeugt. Um diese Schwierigkeiten zu umgehen, kann man natürlich ein reguläres Netz interpolieren mit all den Nachteilen, die der Ersatz eines primären DGMs durch ein sekundäres mit sich bringt. Dazu muss noch hinzugefügt werden, dass Höhenkurven auf Karten oft selbst schon das abgeleitete Produkt primärer Daten sind. Das interpolierte, reguläre Netz wäre also in diesem Falle ein DGM dritten Genauigkeitsgrades.

Auch die photogrammetrische Abtastung und Registrierung von Horizontalkurven bietet keine Vorteile gegenüber der Vermessung paralleler Vertikalprofile. Um sich zu vergewissern, dass die Annahme einer linearen Neigung zwischen zwei Nachbarpunkten gerechtfertigt ist, muss im allgemeinen eine sehr kleine Äquidistanz gewählt werden. Werden dann die Horizontalkurven in «time mode» oder in «distance mode» digitalisiert, entsteht eine sehr grosse Datenmenge. Zudem müssen für jeden Kurvenpunkt einer bestimmten Höhe zwei Koordinaten registriert werden (x und y), während im «distance mode» bei Profilabtastung die Registrierung der Punkthöhe genügt. Um das Entstehen der grossen Datenmenge zu umgehen, kann man evtl. nur die charakteristischen Punkte der Kurve registrieren («Point digitizing») und die ganze Kurve, sobald nötig, rechnerisch interpolieren. Eine nachfolgende Berechnung eines regulären Netzes wäre dann eine weitere Interpolation. All dies sind Vorgänge, welche das endgültige kartographische Produkt nachteilig beeinflussen. Es sei auch bemerkt, dass Extremalpunkte des Geländes in dem Datensatz nie enthalten sind und Stellen von Neigungsänderungen nur zufällig.

4. Schlussbemerkungen

In manchen Berufskreisen ist es üblich geworden, den Begriff des «DGMs» nur auf Punktanordnungen in regulären Gitternetzen anzuwenden. Uns scheint, dass kein Grund dafür besteht, diesem

Einzelfall ein semantisches Monopol einzuräumen. Vielleicht ist es diese vorbehaltlose Identifizierung des Begriffs des DGMs mit einem regulären Gitternetz, die oft zu dem anfechtbaren Entschluss geführt hat, jede computergestützte, graphische oder numerische Auswertung eines vermessenen DGMs mit der Interpolation von einem regulären Punktgitternetz zu beginnen, wie immer auch die primäre Punktanordnung des gemessenen DGMs sei. Die Interpolation des regulären Netzes wurde fast zu einem Selbstzweck!

Nach unserer Ansicht sollte der methodologische Grundsatz gelten, dass gemessene Werte, sobald sie einmal von den Fehlern, die vom Vermessungsvorgang herrühren, befreit sind, als direkte Grundlage der graphischen und numerischen Auswertung dienen sollen. So

hat man es immer gehandhabt, und es besteht kein zwingender Grund dafür, dass die Einführung von Computerunterstützung dies ändern soll. Solange die Formulierung von vernünftigen Computerprogrammen, fundierend auf den Originalmessungen, möglich ist, sollten diese unangetastet bleiben. Primäre DGMs sollten nur dann geändert werden oder durch sekundäre ersetzt werden, wenn es sich bei der Änderung selbst um das kartographische Problem handelt – also bei dem Prozess der computergestützten Reliefgeneralisierung. Auch dann muss die Modifikation der originellen DGMs unter Berücksichtigung von kartographischen-geomorphologischen Gesichtspunkten geschehen und nicht auf Grund wirklichkeitsfremder Abstraktionen mathematischer Analyse. Es sei bemerkt, dass unsere

Kritik an einer mathematisch-analytischen – im Gegensatz zu einer räumlich-geometrischen – Behandlung von DGMs sich nur auf die kartographische und kartometrische Auswertung bezieht. Es ist durchaus legitim, evtl. nach grösseren geomorphologischen Zusammenhängen des Geländes mit Hilfe mathematischer Analyse suchen zu wollen. Dies gehört jedoch ins Gebiet der analytischen Geomorphologie und sollte – wieder im Interesse einer sauberen professionellen Methodologie – dem geschulten Geomorphologen überlassen bleiben.

Adresse des Verfassers:
Prof. P. Yoeli
Tel Aviv University
Department of Geography
Tel Aviv, Israel

SVVK / SSMAF

Schweizerischer Verein für Vermessungswesen und Kulturtechnik
Société suisse des mensurations et améliorations foncières

Interessengemeinschaft EDV im Vermessungswesen

Auf unseren Aufruf in der VPK Nr. 12/81 haben bereits über 100 Personen ihre Beitrittsbereitschaft erklärt. Gestützt auf dieses positive Echo, hat das Gründungskomitee weitere Vorarbeiten geleistet. Die Gründungsversammlung ist auf

Donnerstag, 25. März 1982, 10.00 Uhr, im Restaurant Bürgerhaus, Neuengasse 20, 3000 Bern,

angesetzt. Alle SVVK-Mitglieder sowie die Amtsstellen erhalten eine persönliche Einladung. Eine grosse Teilnehmerzahl würde uns freuen. Detaillierte Unterlagen und Beitritts-erklärungen können angefordert werden beim Sekretariat der GF SVVK, c/o VISURA Treuhand-Gesellschaft, Postfach 104, 4501 Solothurn (Tel. 065/22 34 51).

Communauté d'intérêts pour le traitement automatique de l'information en mensuration

Suite à l'article paru dans la revue MPG no 12/81, plus de 100 personnes ont déjà fait

parvenir leur demande d'adhésion à la société coopérative. Fort de ce soutien efficace, le comité de fondation a poursuivi ses travaux. Ainsi, l'assemblée de fondation aura lieu

le jeudi, 25 mars 1982 à 10.00 au Restaurant Bürgerhaus, Neuengasse 20, à Berne.

Tous les membres de la SSMAF, ainsi que les offices publics recevront une invitation personnelle. Nous espérons pouvoir compter sur une très forte participation. Les formules de demande d'adhésion et les documents concernant la communauté d'intérêts peuvent être demandés au secrétariat du GP SSMAF, c/o VISURA Société Fiduciaire, case postale 104, 4501 Soleure (tél. 065/22 34 51).

VSVT/ASTG/ASTC

Verband Schweizerischer Vermessungstechniker
Association suisse des techniciens-géomètres
Associazione svizzera dei tecnici-catastali

52. Generalversammlung 1982 52e assemblée générale 1982 52a assemblea generale 1982

à Fribourg, 2 et 3 avril 1982

La section fribourgeoise a le plaisir de vous informer que notre 52e assemblée générale se tiendra au restaurant de la Grenette à

Fribourg, les 2 et 3 avril 1982. Les organisateurs comptent sur une nombreuse participation et ils vous souhaitent d'ores et déjà la bienvenue à Fribourg.

Die Sektion Freiburg möchte Sie schon frühzeitig über das Programm der 52. Generalversammlung vom 2. und 3. April 1982 orientieren. Die Sektion freut sich, Sie in Freiburg begrüssen zu dürfen.

Programme

Vendredi 2.4.1982

- 10.00 Ouverture de la session du comité central élargi au restaurant de la Grenette
- 12.00 Déjeuner
- 14.00 Ouverture de l'exposition professionnelle
- 14.30 Programme pour les dames
- 18.45 Apéritif – soirée

Samedi 3.4.1982

- 10.00 Exposition professionnelle
- 14.00 Ouverture de la 52e assemblée générale au restaurant de la Grenette
- 14.05 Programme pour les dames
- 19.30 Apéritif
- 20.00 Banquet au restaurant de la Grenette

Programm

Freitag, 2.4.1982

- 10.00 Eröffnung der erweiterten Vorstandssitzung im Restaurant Grenette
- 12.00 Mittagessen
- 14.00 Eröffnung der Fachausstellung
- 14.30 Damenprogramm
- 18.45 Aperitif – gemütlicher Abend