

K. Kraus, Wien

Persönliche Vorbemerkung: Eine Festschrift zum 60. Geburtstag von Prof. Ackermann gibt mir die Gelegenheit, seinen großen Einfluß auf meine Berufslaufbahn herauszustellen und auf eine nicht alltägliche Zusammenarbeit in den vergangenen 16 Jahren einzugehen. Begonnen hatte alles mit einem Telefonat von Stuttgart nach München an einem Abend im Frühjahr des Jahres 1969. Herr Ackermann hat mir in diesem Telefonat angeboten, die zu seinem Bereich gehörenden Lehrveranstaltungen in Vermessungskunde eigenverantwortlich zu übernehmen und in der Forschung vor allem die Brücke vom Institut zu den amtlichen Stellen auszubauen. Zuerst war die Forschung auf die Katasterphotogrammetrie ausgelegt; im Jahre 1971 kam das digitale Geländemodell hinzu.

Das von Prof. Ackermann geleitete Institut war und ist ein wissenschaftsträchtiger Boden. Ich habe den mir gewährten Freiraum genossen und auch intensiv für wissenschaftliche Arbeiten genutzt. Prof. Ackermann hat sein Augenmerk darauf gelegt, daß ich den theoretischen Grundlagen genügend Beachtung geschenkt habe und daß meine Aktivitäten in das Arbeitsgebiet des Institutes eingebunden waren.

Ich verdanke Herrn Ackermann aber nicht nur den steilen Beginn meiner wissenschaftlichen Laufbahn sondern auch meine Berufung an die TU Wien. Ich habe nämlich zunächst gezögert, mich an dem Nachfolgespiel um die Lehrkanzel Prof. Dr. K. Neumaiers zu beteiligen. Nach einer längeren Aussprache formulierte Herr Ackermann etwa folgende Sätze: "Das Institut in Wien hat einen vorzüglichen Ruf. Auch wenn Sie als Nichtösterreicher an die dritte Stelle plazierte werden, ist das mit Ihren 33 Jahren ein großer Erfolg, zumal es sehr erfolgreiche österreichische Photogrammeter an mehreren renommierten internationalen Institutionen gibt." Schließlich wurden Ackermanns Erwartungen sogar übertroffen: nach der Ablehnung des Erstplazierten (Prof. H. Jerie) erhielt ich den Ruf an die TU Wien, den ich am 1.4.1974 angenommen habe.

Die Entwicklungen zum digitalen Geländemodell waren zu dieser Zeit noch in den Anfängen. Sowohl Herr Ackermann als auch ich waren an der Weiterentwicklung sehr interessiert. Daraufhin haben wir vereinbart, trotz der großen Distanz Stuttgart-Wien zunächst eine Zusammenarbeit der beiden Institute zu versuchen. Inzwischen dauert diese Zusammenarbeit, die von Großzügigkeit und Vertrauen getragen ist, 16 Jahre, und es ist - erfreulicherweise - kein Ende in Sicht. Insbesondere diese nicht alltägliche Zusammenarbeit haben mich veranlaßt, über Retrospektives und Perspektives zum digitalen Geländemodell zu berichten. In diesem Bericht, der in Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft gegliedert wird, sind die ehemaligen und derzeitigen Mitarbeiter eingeschlossen. An diesem Projekt haben bisher mitgearbeitet: E. ABmus, H. Kager, A. Köstli, W. Stanger, K. Trommelschläger, E. Wild. Zur Zeit arbeiten am digitalen Geländemodell in Stuttgart an der von Herrn Ackermann inzwischen gegründeten Firma INPHO: M. Sigle, O. Hellwich, D. Stebe und J. Peterle, und in Wien am Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung: R. Ecker, F. Hochstätger, L. Molnar und W. Rieger.

1. VERGANGENHEIT

Die Wurzel des digitalen Geländemodelles (DGM) geht auf das Massachusetts Institute of Technology, Boston, USA, zurück. Dort hat man Ende der 50er Jahre für Trassenoptimierungen erstmals ein DGM eingesetzt. Ende der 60er Jahre gingen die Initiativen für die Entwicklung und die Anwendung des DGM vom Straßenbau aus (Linkwitz, 1970). Anschließend kam die generelle Anwendung in der großmaßstäbigen Topographie hinzu. Man registrierte mit photogrammetrischen Analogauswertegeräten, die mit Impulsgebern und einer Magnetbandstation versehen wurden, dreidimensionale Punkthaufen. Aus diesen Daten waren die Höhenlinien zu interpolieren und an den digital gesteuerten Zeichentischen auszugeben. Einen starken Impuls erhielt dieses Verfahren aus der digital gesteuerten Orthophotoherstellung, die Mitte der 70er Jahre eingeführt wurde. Aus dem am Analogauswertegerät digitalisierten Geländeprofilen waren sowohl die Steuerdaten für die Herstellung des Orthophotos als auch für die Höhenlinienkartierung abzuleiten.

Für die Wissenschaftler war das zentrale Problem des DGMes der Interpolationsalgorithmus. Sie schlugen verschiedene Interpolationsansätze vor (z.B. Arthur, 1973, Hardy, 1972, Kraus, 1971, Kubik, 1971). Insbesondere sei auf die Zusammenstellung von Schut (1976) verwiesen. Einen gewissen Zusammenhang mit dem Interpolationsalgorithmus hat auch die Frage, ob der zentrale Datenbestand eines DGMes aus einer Dreiecksvermaschung mit den ursprünglichen Stützpunkten oder aus den interpolierten Rasterpunkten bestehen soll. Die Dreiecksvermaschung wurde besonders für terrestrisch erfaßte Daten propagiert während für photogrammetrische Daten das Rastermodell die größere Verbreitung fand (ein Beispiel für diesbezügliche Diskussionen: Steidler, 1986, Kraus, 1986). Das Rastermodell allein würde allerdings die Geomorphologie

nicht zufriedenstellend repräsentieren. Das Rastermodell ist vielmehr um Kanten- und Geripplinien zu erweitern. Die Leistungsfähigkeit verschiedener Interpolations- und Modellansätze wurde auch experimentell getestet (z.B. Ackermann, 1980, Adv 1980, Rüdener, 1980). Die vergleichenden Aussagen blieben aber verhältnismäßig vage.

Die Fortsetzung der DGM-Entwicklung war vor allem von Informatik-Aspekten geprägt. Der mit dem DGM verbundene große numerische Aufwand wurde anfangs nur von Großrechnern bewältigt. Infolge der enormen Leistungssteigerung in der Rechentechnik sind seit einiger Zeit die mittelgroßen EDV-Anlagen und sogar die personal computer (PC) für die Bearbeitung von DGMen prädestiniert.

Der Einfluß der Informatik führte auch zu effizienten Datenstrukturen für einen raschen Zugriff auf das DGM (Köstli, Sigle, 1986) und zu anwenderfreundlichen Benutzeroberflächen für eine interaktive Bearbeitung der DGMen (Molnar, Köstli, 1984). Die Entwicklung der letzten Jahre war geprägt durch die Verbindung der DGM-Programme mit allgemeinen Graphikprogrammen.

Die analytischen photogrammetrischen Auswertegeräte brachten in der Datenerfassung neue Möglichkeiten. Die dynamische Profilierung in den Analogauswertegeräten wurde abgelöst von der computergesteuerten XY-Positionierung und der statischen Messung der Z-Koordinaten. Die höchste Stufe der XY-Positionierung durch einen Computer ist die stufenweise Datenerfassung (progressive sampling, Makarovic, 1973). Diese Datenerfassungsmethode optimiert die Verteilung der zu messenden Punkte entsprechend einer vorgegebenen Genauigkeit für das aus den erfaßten Daten abgeleitete DGM. Die Einspiegelung der erfaßten Geländepunkte in die Betrachtung (z.B. Reinhardt, 1986) erlaubt darüber hinaus noch die wichtige Plausibilitätskontrolle.

Die kurze Genese des DGMes soll mit dem Literaturhinweis (Hofmann, 1986) abgeschlossen werden, der auf vorgegebene die übliche Sprachverwirrung eingeht, die mit dem Entstehen eines neuen Fachgebietes im allgemeinen verbunden ist.

2. GEGENWART

Das DGM ist heute ein wichtiges Betätigungsfeld der Geodäten, Photogrammeter und Kartographen; aber auch andere Disziplinen bedienen sich des DGMes. Die Diskussion über Interpolationsalgorithmen und Datenstrukturen ist verflacht. Das Rastermodell - eventuell mit variabler Rasterweite - , in das Kanten- und Geripplinien sowie markante Höhenpunkte integriert sind, ist als zentraler Datenbestand wohl am weitesten verbreitet.

Allerdings ist die Qualität dieser Integration äußerst unterschiedlich. Bild 1 zeigt zum Beispiel eine solche Integration wie sie weit verbreitet ist. Da die Rasterlinien an den Kreuzungspunkten mit den Kantenlinien nicht abknicken, wurde vermutlich nur eine sehr oberflächliche Verknüpfung des Rastermodells mit den zusätzlichen Linieninformationen erreicht. Im Gegensatz dazu zeigt das Bild 2, daß die Rasterlinien an den Kreuzungspunkten mit den Kantenlinien abknicken. Es sollen hier keineswegs Details der Visualisierung eines DGMes in den Vordergrund gespielt werden; sie können allerdings ein Indikator für die Qualität der dahinterstehenden Datenstruktur sein.

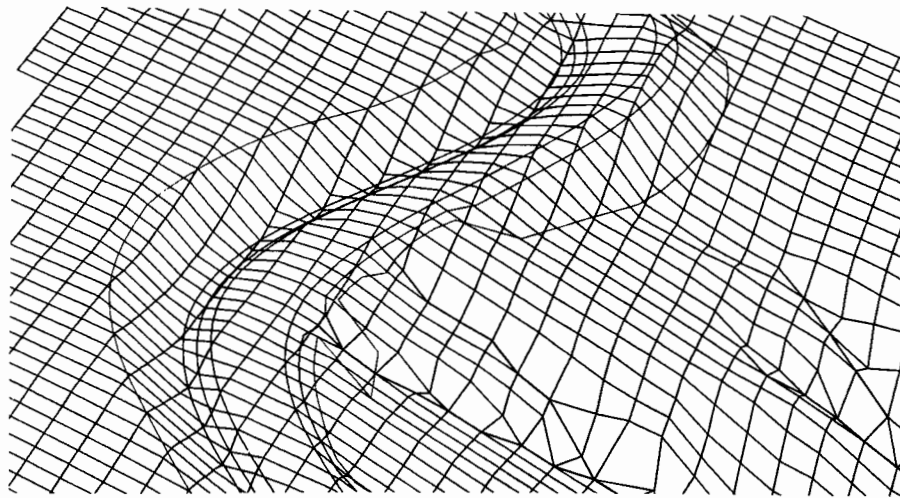


Bild 1: DGM mit schlecht integrierten Kantenlinien

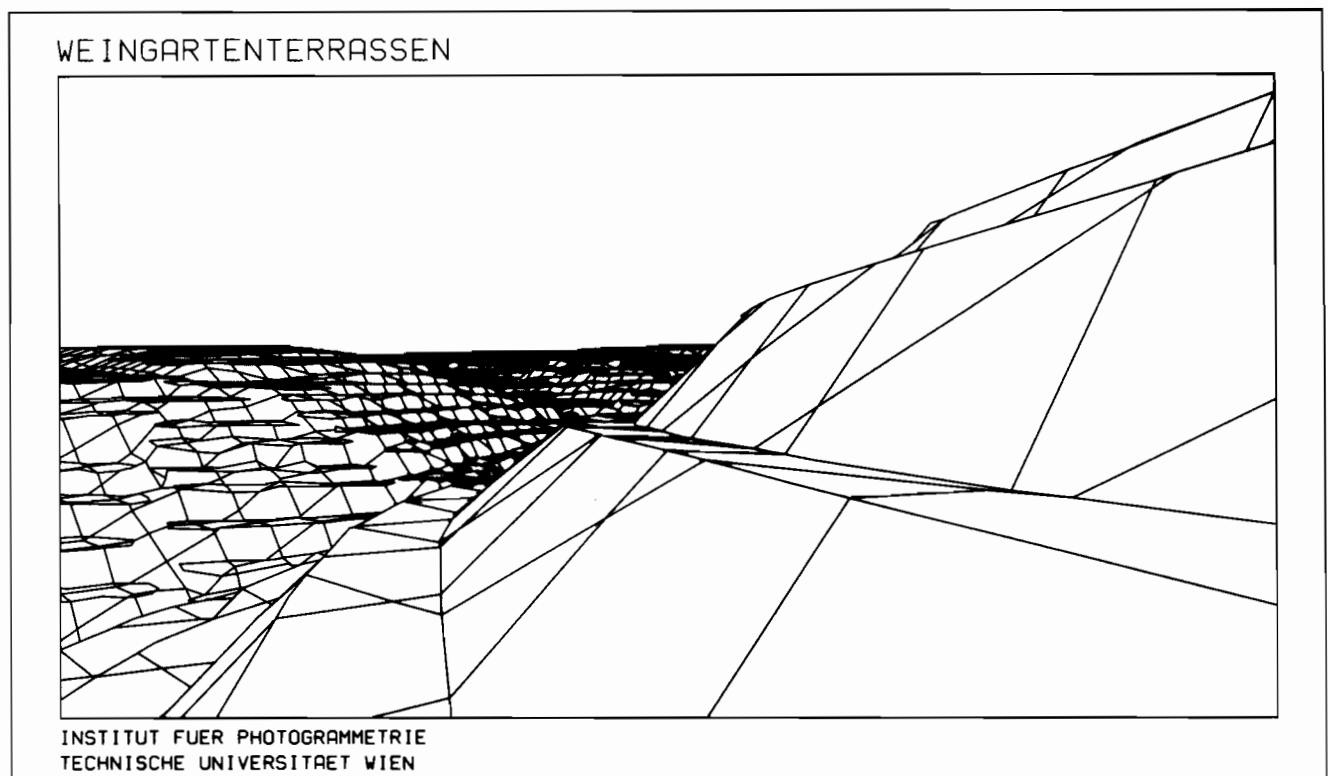


Bild 2: DGM mit gut integrierten Kantenlinien.

Die inzwischen eingetretene starke Verbreitung des Werkzeuges DGM soll anhand des Programmsystemes SCOP (ABmus et al., 1982, Molnar et al., 1982, Wild, 1983), das im Rahmen der in der Einleitung angedeuteten Kooperation entstanden ist und gemeinsam weiter entwickelt wird, dokumentiert werden. SCOP ist zur Zeit auf 22 Großrechnern, 26 mittleren EDV-Anlagen und 20 PCs in 13 Ländern installiert, wobei unter anderem folgende Betriebssysteme abgedeckt sind: Data General AOS/VS, DEC VMS, HP A900, HP UNIX, IBM VM/HPO/CMS, MS-DOS, MS-WINDOWS, OS/2, PRIME PRIMOS, SIEMENS BS2000, SIEMENS SINIX, XENIX. Etwa 70 zusätzliche PC-Installationen sind in der Endphase der Verhandlungen: Dabei sind für die Berechnung der zentralen Datenbestände (Raster mit verketteten Linieninformationen) vorwiegend Mittel- und Großrechner vorgesehen; der zentrale Datenbestand wird dann auf PCs übertragen und mit verschiedenen Anwendungsprogrammen ausgewertet.

SCOP ist aber nicht nur als eigenständiges Programmsystem mit Ausgabemöglichkeiten für verschiedene Graphikgeräte verfügbar, sondern über zusätzliche Schnittstellen mit interaktiven graphischen Systemen verbunden:

- FLACHBETT- UND TROMMELPLOTTER (Vektorgraphik)
- WILD TA2, TA10
 - ZEISS TAB2, TAB10, DZ6, DZ7
 - CONTRAVES-DC2
 - BENSON 220
 - KONGSBERG
 - CALCOMP MIT UND OHNE HCBS
 - ARISTO-8340
 - HPGL HP7586/85, HP7475...
- GRAPHISCHE BILDSCHIRME (angesteuert mit Vektorgraphik)
- TEKTRONIX 4010
 - HP23(48)A2627A...
 - IBM-GAS,GDDM(5080, 32277, 3179G...)
 - SYNGRAPH (SIEMENS)

PC-GRAPHIK (EGA, CGA, HERCULES...) mit dem in Lizenz erworbenen Graphikpaket HALO von Media Cybernetics.

- INTERAKTIVE GRAPHISCHE SYSTEME
- AUTOCAD
 - EZS
 - GPG (IBM)
 - InterMap (INTERGRAPH)
 - MAPS200, MAPS300 (KERN)
 - PHOCUS (ZEISS)
 - SICAD (SIEMENS)
 - ZWISCHENFILE (SCOP-METAFIELD)

Ein DGM-Programmsystem wird heute vom Anwender vor allem im Hinblick auf die Palette der Folgeprogramme beurteilt. SCOP hat folgende Anwendermodule:

- SCOP.ISOLINES zur Interpolation von Isolinien mit Zwischenlinien und Optimierung der Punktfolge mit einer AKIMA-Interpolation für die graphische Ausgabe.
- SCOP.PROFILES zur Interpolation von Längsprofilen entlang von Klotoiden, Kreisen und Polygonen und den dazugehörigen Querprofilen, weiters von parallelen Profilen für die digital gesteuerte Orthophotoherstellung; dieses Modul berechnet auch für beliebige XY-Koordinaten die dazugehörigen Z-Werte und - falls bei Kontrollpunkten die Z-Werte bekannt sind - die Diskrepanzen sowie statistische Genauigkeitsmaße (DGM-Kontrolle I).
- SCOP.SLOPE für die Ableitung von Gefällstufenkarten und eines Vektorfeldes entlang der Falllinien sowie verschiedener statistischer Angaben.
- SCOP.PERSPECTIVES für die Ermittlung von Perspektiven in Zentral- und Parallelprojektion unter Berücksichtigung verdeckter Linien (Bild 2 zeigt ein Beispiel) und von (Un-)Sichtbarkeitskarten, die die sichtbaren und unsichtbaren Teile des Geländes von einem Standpunkt aus zeigen (Kager, 1984, Hochstöger 1989).
- SCOP.INTERSECT zur Ableitung der Differenzen zweier DGM-Berechnungen mit Unterscheidung des Ab- und Auftrages. Dieses Modul erlaubt auch die Verschneidung eines DGMs mit einem in Vektorform gegebenen Liniennetz (z.B. Katasterkarte) und die Verschneidung von zwei in Vektorform gegebenen Liniennetzen (z.B. Katasterkarte mit photogrammetrisch ausgewerteten Grenzlinien der Nutzungsarten) (Köstli, Sigle, 1986).

Mit diesen Modulen lösen Anwender sehr vielfältige Aufgaben. Typische Beispiele für einen solchen innovativen Einsatz des Programmsystemes sind die Herstellung von Bodenerosionsgefährdungskarten (Ehgartner et al., 1988) und andere Anwendungen in der Flurbereinigung (Stanger, 1982).

Die Präsenz des DGMe in der Praxis sieht man am besten aus den inzwischen angesammelten Datenbeständen. Es sollen beispielhaft nur einige Stellen herausgegriffen werden, die mit SCOP und/oder TOPIAS (Loitsch, Kraus, 1986) landesweite Geländemodelle aufbauen und verwalten:

- Von 1976 bis 1988 wurden vom Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen in Wien ca. 71 Millionen Geländepunkte mit einem Punktabstand von 30 m - 160 m und einer Genauigkeit von $\pm 2-5$ m, abhängig von der Geländeform, erfaßt. Die Datenverwaltungssoftware TOPIAS ist auf einem IBM-Großrechner installiert (Franzen, 1989).
- In Bayern wird man im Jahre 1989 mit dem Aufbau eines DGMe mit einem Abstand der photogrammetrisch in Profilen gemessenen Punkten von 40 - 80 m und einer Genauigkeit von $\pm 1-2$ m fertig. Zur Speicherung dieser Daten benötigt man ca. 3.5 GByte. TOPIAS ist auf einer HP 1000 installiert (Reiß, 1988).
- In Baden-Württemberg hat man für das ganze Land mit SCOP ein Rastermodell mit 50 m Rasterweite (ca. 14 Millionen Punkte) aus digitalisierten Geländeprofilen, die aus der Orthophotoherstellung vorlagen, berechnet (Eisele, 1989).
- In Alberta, Canada, hat man für das ganze Land (650000 km^2) von 1983 bis 1990 mit SCOP ein DGM mit einer Rasterweite zwischen 25 und 100 m aus einem Bildmaßstab 1:60000 aufgebaut (Toomey, 1988).

Inwieweit sich die Investitionen in DGMe lohnen, kann man unter anderem aus Verkäufen von Datensätzen ablesen. Aus dem Jahresbericht des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen in Wien für das Jahr 1988 geht z.B. hervor, daß in dieser Zeitspanne interpolierte Rasterdaten für außeramtliche Besteller in einem Ausmaß von 30800 km^2 verkauft wurden.

3. ZUKUNFT

Die in den letzten Jahren eingetretene starke Verbreitung der DGMe ist nur der Beginn einer rasanten Weiterentwicklung dieses Aufgabenbereiches. Zunächst sollen die gegenwärtigen Entwicklungen zu SCOP angesprochen werden:

- SCOP.PIXEL für die Ausgabe einer Höhen- und Gefällstufencodierung sowie einer Schummerung in Rastergraphik sowohl in Parallel- als auch Zentralprojektion (Ecker, Jansa, 1989).
- SCOP.MONOPLOT für die Auswertung von Einzelbildern, wobei das durch die innere und äußere Orientierung festgelegte Strahlenbündel mit dem DGM zu verschneiden ist. Das Ergebnis sind XYZ-Koordinaten von Einzelpunkten oder Punktfolgen.
- SCOP.DTM-X als Drehscheibe für große DGMe, wobei ein System von Zugriffsroutinen und Schnittstellen entsteht, die der Benutzer in seinen Anwendungsprogrammen ansprechen kann. Die Routinen greifen nicht nur auf Höhenwerte sondern auch auf Höhendifferenzen, Neigungs- und Expositionswerte, Sichtbarkeitsangaben, Bodenqualitätsmerkmale etc. zu.

Mittelfristig werden die DGM-Programmsysteme noch stärker in die Geo-Informationssysteme integriert werden. Zur Zeit beschränkt man sich überwiegend auf einen Austausch von Dateien (files) über genormte Schnittstellen. In Zukunft wird eine Integration kommen, die einen wesentlich schnelleren Datenaustausch und sehr vielschichtige Verknüpfungen mit anderen Daten der Geo-Informationssysteme erlaubt. Zu diesem Zweck und auch aus anderen Gründen werden die zur Zeit auf Vektorverarbeitung ausgelegten DGM-Programme auch die (engmaschige) Rasterverarbeitung im Sinne der digitalen Bildverarbeitung erlauben. Ob in Zukunft die DGMe vollständig mit den Methoden der Rastergeometrie behandelt werden, wird allerdings bezweifelt.

Die Datenerfassung wird vermutlich mit dem Auswerteprozess in Zukunft noch stärker verzahnt werden. Damit könnte auch das offene Problem der Kontrolle der DGME gelöst werden. Einerseits wird voraussichtlich vom Computer des analytischen Auswertegerätes laufend die absolute Genauigkeit überprüft und andererseits wird das abgeleitete Höhenlinienbild - eventuell sogar stereoskopisch - in das Gesichtsfeld des Auswerters mehr oder weniger in Echtzeit eingeblendet werden. Dieser On-line-Prozess erfordert allerdings eine sehr große Rechnerleistung, die in Form massiver verteilter (Parallel-)Verarbeitung und/oder anwendungsspezifischer Zusatzprozessoren durchaus am EDV-Horizont zu erkennen ist. Bei der Datenerfassung mit kleinmaßstäbigen Bildern wird auch die automatische Korrelation den Operateur in einem hohen Maße entlasten, aber nicht ersetzen.

Die Anwendung des DGMEs wird in Zukunft noch vielseitiger werden. Dafür ist die Verbindung des DGMEs mit CAD-Modulen (computer aided design) erforderlich. Man kann dann mit der CAD-Technik neues Gelände entwerfen und mit den vorhandenen DGMEs verschneiden. Außerdem ist das DGM mit dem digitalen Gebäudemodell zu verknüpfen. Bild 3 zeigt bereits ein einschlägiges Beispiel der Fa. Skanska, Schweden. (Mit SCOP wurde das Geländemodell bearbeitet, mit einem CAD-Programm die Gebäude und die Zusammenführung der beiden Perspektivbilder). Das angeschnittene Problem läuft auf ein umfassendes digitales Stadtmodell hinaus. An unserem Institut wurden dafür bereits wertvolle Vorarbeiten geleistet (Kager, Loidolt, 1989).

Schließlich sind die Entwicklungen auf dem Gebiet der Mathematik, Informatik und Elektrotechnik sehr aufmerksam zu verfolgen und die dort - in der Regel sehr preisgünstigen - allgemein konzipierten Software- und Hardware-Werkzeuge für das DGM nutzbar zu machen. Die in der Zukunft im Zusammenhang mit dem DGM zu lösenden Aufgaben und Probleme sind umfangreich und interessant.

Schlußwort: Die in der persönlichen Vorbemerkung skizzierte Kooperation Stuttgart-Wien ist tragfähig genug, sodaß die Mitarbeiter mit Ideenreichtum und Engagement diese Herausforderung annehmen können. Der bisher in dieser Kooperation erreichte Erfolg ist ein Geschenk aller ehemaligen und gegenwärtigen SCOP-Mitarbeiter für Herrn Prof. Ackermann zu seinem 60. Geburtstag.

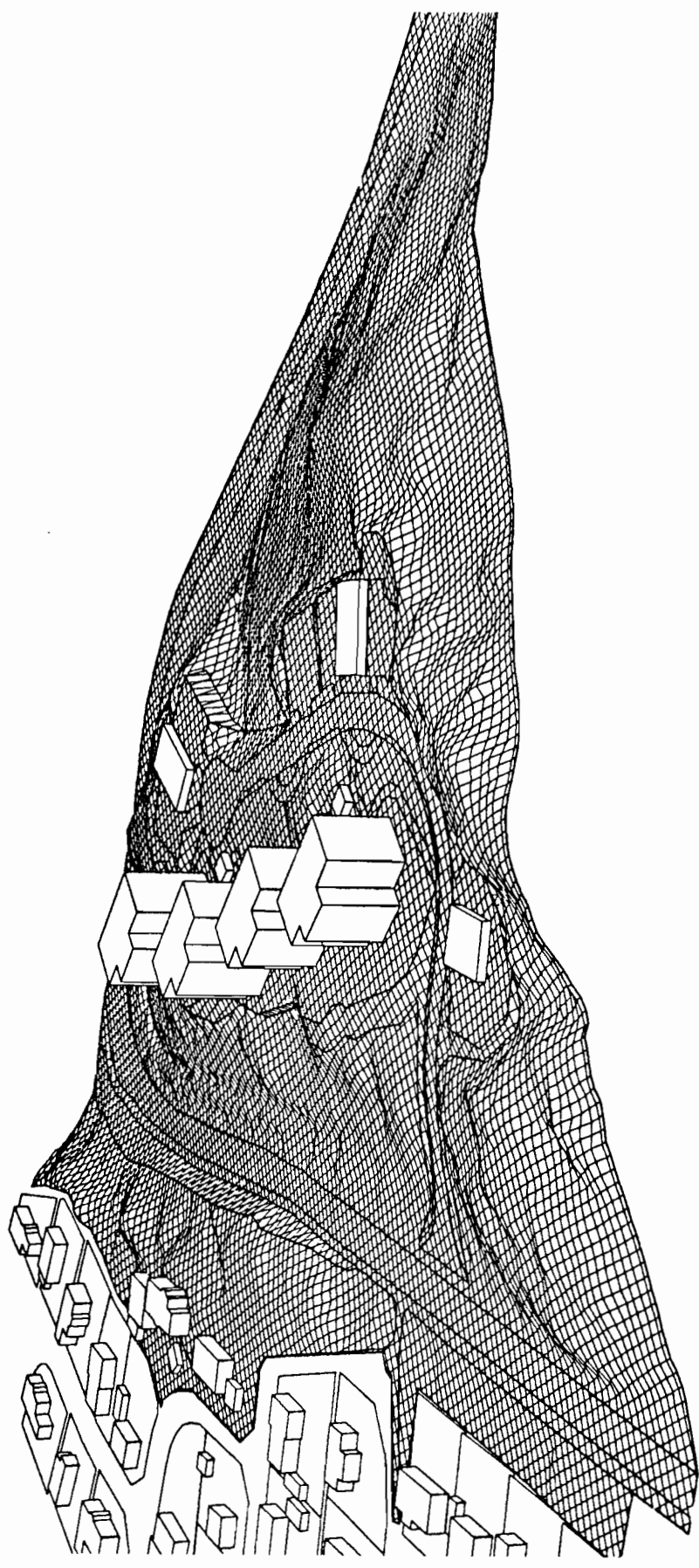


Bild 3: Kombination eines DGMes mit einem digitalen Gebäudemodell

Schrifttum

- ACKERMANN, F.: The Accuracy of Digital Height Models. Schriftenr. des Inst. für Photogr. der Uni Stuttgart, Heft 6, 133-144, 1980.
- AdV (Arbeitsgruppe "Digitales Geländemodell" der Vermessungsverwaltungen der BRD): Erprobung von Höhenlinieninterpolationsprogrammen. Schlußbericht, Bonn, 1980.
- ARTHUR, D.W.G.: Interpolation of a Function of Many Variables. Photogr. Eng. 39, 261-266, 1973.
- ASSMUS, E., KÖSTLI, A., KRAUS, K., MOLNAR, L., WILD, E.: Anforderungen an das digitale Höhenmodell aus der Sicht des Anwenders. AVN 89, 330-344, 1982.
- Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen: Jahresbericht 1988. Eich- und Vermessungsmagazin, Nr. 58, 17-22, Wien, 1989.
- ECKER, R., JANSA, J.: Digital Terrain Models and Digital Image Processing. In: Schilcher/Fritsch: Geo-Informationssysteme, 343-350, Wichmann Verlag, Karlsruhe, 1989.
- EHGARTNER, M., KALLIANY, R., STECHAUNER, A.: Bodenerosionsgefährdungskarten als Planungsgrundlage in der Flurbereinigung. Verm., Photogr. Kulturt., Heft 1, 3-7, Zürich, 1988.
- EISELE, V.: Digitale Daten der Vermessungsverwaltung als Grundlage für raumbezogene Informationssysteme. ZfV 114, 392-389, 1989.
- FRANZEN, M.: Die Geländehöhendatenbank des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen. Geow. Mitt. der Studienrichtung Vermessungswesen der TU Wien, Heft 33 (Herausgeber: G. Gerstbach), 44-50, 1989.
- HARDY, R.L.: Geodetic Applications of Multiquadratic Analysis. AVN 79, 398-406, 1972.
- HOCHSTÖGER, F.: Ein Beitrag zur Anwendung und Visualisierung Digitaler Geländemodelle. Geow. Mitt. der Studienrichtung Vermessungswesen der TU Wien, Heft 34, 1989.
- HOFMANN, W.: Wieder einmal: Das Digitale Gelände-/Höhen-Modell. BuL 54, S.31, 1986.
- KAGER, H.: DTM displayed perspectively. Int. Arch. of Photogr. and RS XXV/A3a, 513-522, Rio de Janeiro, 1989.
- KAGER, H., LOIDOLT, P.: Photomontagen im Hochbau. Verm., Photogr. Kulturt., Heft 3, 169-173, Zürich, 1989.
- KÖSTLI, A., SIGLE, M.: Die SCOP Datenstruktur zur Verschneidung und Korrektur von Geländemodellen. BuL 54, 122-129, 1986.
- KRAUS, K.: Automatische Berechnung digitaler Höhenlinien. ZfV 96, 233-239, 1971.
- KRAUS, K.: Anmerkung zum Aufsatz von F. Steidler über DGM-Interpolation. BuL 54, 129-131, 1986.
- KUBIK, K.: The Application of Piecewise Polynomials to Problems of Curve and Surface Approximation. Rijkswaterstaat Communications 12, The Hague, 1971.
- LINKWITZ, K.: Digitale Geländemodelle. BuL 38, 76-84, 1970.
- LOITSCH, J., KRAUS, K.: Topographische Informations- und Archivierungssoftware. Geow. Mitt. der Studienrichtung Vermessungswesen der TU Wien, Heft 27 (Herausgeber: G. Gerstbach), 178-189, 1986.
- MAKAROVICH, B.: Progressive Sampling for Digital Terrain Models. ITC Journal 1973, S. 397-416.
- MOLNAR, L., ASSMUS, E., KÖSTLI, A., WILD, E.: Digital Elevation Models: Informatic's Aspects. Int. Arch. of Photogr. and RS XIV/III/1, 369-378, Helsinki, 1982.
- MOLNAR, L., KÖSTLI, A.: User interface module comprising both menu and command language techniques - as applied in photogrammetric program systems. Int. Arch. of Photogr. and RS XXV/A4, 299-307, Rio de Janeiro, 1984.
- REINHARDT, W.: Optical Superimposition as a Tool for DEM Quality Control. Int. Arch. of Photogr. and RS, Volume 26, Part 4, 207-215, Edinburgh, 1986.
- REISS, P.: Digitale Geländemodelle in der Bayerischen Landesvermessung. Mitblatt DVW-Bayern 40, 11-35, 1988.
- RÜDENAUER, H.: Experimentelle Genauigkeitsanalyse digitaler Höhenmodelle. Presented Paper, Kommission IV, 14. ISP-Kongreß, Hamburg, 1980.
- SCHUT, G., H.: Review of Interpolation Methods for Digital Terrain Models. Int. Arch. of Photogr. 21, part 3, Helsinki, 1976.
- STANGER, W.: Ein digitales Geländemodell und einige Anwendungsmöglichkeiten im Bereich der Flurbereinigung. DGK, Reihe C, Heft 273, München, 1982.
- STEIDLER, F.: CIP - Ein allgemeines Programmpaket zur DGM-Interpolation unter Verwendung der Dreiecksvermaschung. BuL 54, 5-16, 1986.
- TOOMEY, M.A.G.: The Alberta Digital Elevation Model. Int. Arch. of Photogr. and RS 27, Part B3, 775-783, Kyoto, 1988.
- WILD, E.: Die Prädiktion mit Gewichtsfunktionen und deren Anwendung zur Beschreibung von Geländeflächen bei topographischen Geländeaufnahmen. DGK, Reihe C, Heft 277, München, 1983.