

# VERGLEICH DIGITALER GELÄNDEMDELLE

Von Dr.-Ing. Robert Winter

Niedersächsisches Landesverwaltungsamt - Landesvermessung, Hannover

## 1 EINLEITUNG

Es wird über Ansatz und Ergebnis eines eingehenden Vergleichs von Programmen zur Berechnung digitaler Geländemodelle und Höhenlinienzeichnungen berichtet, der von der Arbeitsgruppe "Digitales Geländemodell" im Auftrage der Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV) in den Jahren 1977 - 79 durchgeführt wurde.

Der Vergleich umfaßt sechs an verschiedenen Stellen installierte Programme, mit denen jeweils fünf unterschiedlich strukturierte Testgebiete im Blattschnitt der Deutschen Grundkarte 1 : 5 000 (DGK 5) aus photogrammetrischen Messungen gerechnet und gezeichnet wurden.

Der Arbeitsgruppe "Digitales Geländemodell" gehörten Vertreter der Landesvermessungsämter Baden-Württemberg, Hessen, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen und Rheinlandpfalz, des Instituts für Angewandte Geodäsie in Frankfurt und zwei Hochschulinstitute an.

## 2 ANFORDERUNGEN AN EIN DIGITALES GELÄNDEMDELLE

Die Arbeitsgruppe "Digitales Geländemodell" hat bei dem Vergleich insbesondere die Anforderungen berücksichtigt, die aus topographischer Sicht an ein für diese Aufgabe geeignetes Programm zu stellen sind:

### o Topographische Forderungen

- Freie Stützpunktverteilung
- Topographisch richtige Verarbeitung von markanten Geländepunkten, Bruchkanten, Geripplinen und Aussparungsflächen

- Wählbare Äquidistanz, automatischer Äquidistanzwechsel
  - Generalisierung des Höhenlinienbildes für kleinere Maßstäbe
  - Ausgabe eines digitalen Geländemodells mit wählbarem Gitterabstand
  - Ausgabe einer Kotenpause
  - Ausgabe morphologisch richtiger Höhenlinien
- o EDV-technische Forderungen
    - Leichte Handhabung
    - Fehleranzeigen mit Korrekturmöglichkeiten
    - Schnittstellen für Vorprogramme, insbesondere zur Aufbereitung der Meßdaten
    - Schnittstellen für Nachprogramme, insbesondere zur Anwendung verschiedener Plotter und Folgeprogramme
    - Schnittstellen zur Korrespondenz mit Datenbanken
    - Wirtschaftliche Rechenzeiten
  - o Kartographische Forderungen
    - Bearbeitung beliebiger Kartenblattabschnitte
    - Musterblattgerechte Auszeichnung der Höhenlinien
    - Zeichnerische Ausgestaltung mit Randlinie, Blattbezeichnung, Höhenlinienbeschriftung, Darstellung der Muldenpfeile

### 3 AUSWAHL DER TESTGEBIETE

Durch die Auswahl der fünf verschieden strukturierten Testgebiete sollten die in Deutschland vorkommenden Geländebeziehungen repräsentativ erfaßt werden:

- o Gelände mit Höhenunterschieden bis 5 m
  - Rostartige Anordnung der Aufnahmepunkte unter Beachtung topographisch wichtiger Punkte
- o Gelände mit Höhenunterschieden bis 20 m
  - Auswahl der Aufnahmepunkte nach topographischen Gesichtspunkten

- o Gelände mit Höhenunterschieden bis 100 m
  - Auswahl der Aufnahmepunkte nach topographischen Gesichtspunkten
- o Gelände mit Höhenunterschieden von mehr als 100 m
  - Auswahl der Aufnahmepunkte nach topographischen Gesichtspunkten
- o Gelände mit wechselnden Höhenunterschieden
  - Erfassung der Daten in Abhängigkeit von der Geländeneigung teils punktweise und teils durch Höhenlinienmessung

#### 4 AUSWAHL DER PROGRAMME

In den Vergleich wurden sechs Programme einbezogen, deren Entwicklungsstand gute Ergebnisse erwarten ließ und mit denen die erforderlichen Rechenarbeiten praktisch durchführbar waren:

- o SCOP-B (Stuttgart Contour Program)
  - Forschungsinstitut Photogrammetrie bei der Institutsgemeinschaft Stuttgart e.V.
  - Institut für Photogrammetrie an der Technischen Universität Wien
- o WITZ (Wiesbadener Topographisches Zeichenprogramm)
  - Hessische Zentrale für Datenverarbeitung in Wiesbaden
- o GEOMESS
  - Geomess-Ingenieurgesellschaft m.b.H. in Essen
- o NLVA
  - Niedersächsisches Landesverwaltungsamt- Landesvermessung in Hannover
- o TASH (Topographisches Aufnahme- und Auswertesystem der Universität Hannover)
  - Lehrstuhl für Topographie und Kartographie der Universität Hannover
- o MBB
  - Messerschnitt-Bölkow-Blohm GmbH in München

## 5 LÖSUNGSWEGE FÜR DIE HÖHENLINIENBERECHNUNG

Die Programme lassen sich in Gitterprogramme (SCOP-B, GEOMESS, NLVA und TASH) und in Dreiecksmaschenprogramme (WITZ und MBB) einteilen.

### 5.1 Gitterprogramme

Bei den Gitterprogrammen werden aus einem dreidimensionalen Stützpunktfeld (Interpolationspunkte) die Höhen eines engmaschigen quadratischen Gitters interpoliert.

Beim Programm SCOP-B werden die Höhen jeweils aus Stützpunkten innerhalb einer vorgegebenen, koordinatenmäßig begrenzten Recheneinheit interpoliert. Dabei werden die Stützpunkthöhen zunächst um den als Flächenpolynom bestimmten Trend (Geländegroßform) reduziert. Aus diesen reduzierten Höhen erfolgt empirisch die Bestimmung einer Kovarianzfunktion. Die Gitterhöhen ergeben sich aus der Summe der Funktionswerte des Flächenpolynoms und den Anteilen aus der Prädiktion (mit Filterung). Geländebruchkanten werden durch entsprechende Unterteilung der Recheneinheiten bei der Interpolation berücksichtigt.

Bei den Programmen GEOMESS und NLVA wird für jeden zu interpolierenden Gitterpunkt eine möglichst gleichmäßige, über den Horizont verteilte steuerbare Anzahl von Stützpunkten herangezogen (im allgemeinen 4 Punkte/Quadrant, insgesamt also 16 Punkte). Die Berücksichtigung von Bruchkanten läßt sich durch rechen-technische Verdichtung der Bruchkantenpunkte zu quasi "Bruchkantenbarrieren" erreichen. Die Höhenlinieninterpolation erfolgt durch Berechnung einer lokalen "gleitenden Ebene" bzw. durch Prädiktion (mit Filterung) für jeden Gitterpunkt getrennt. Die für eine evtl. Prädiktion benötigte Kovarianzfunktion wird für jeden Gitterpunkt aus den beiden dem Gitter-

punkt nächstliegenden Geländepunkten näherungsweise ermittelt.

Das Programm TASH bestimmt die Gitterhöhen ebenfalls lokal aus einer vorgegebenen Maximalzahl von möglichst gleichmäßig über den Horizont verteilten Stützpunkten. Dabei wird die Korrelation zwischen den Stützpunkten berechnet und für eine automatische Wahl des Flächenansatzes bei der Höheninterpolation benutzt. Bei kleinen Korrelationskoeffizienten erfolgt die Interpolation mit einer Fläche 2. Ordnung bei maximaler Stützpunktzahl. Wachsende Korrelation bewirkt eine Konzentration auf die näher liegenden Stützpunkte unter Ansatz einer Fläche 1. Ordnung (d.h. Schrägebene) bzw. Fläche 0. Ordnung (d.h. Horizontalebene). Durch Schnittberechnungen wird gewährleistet, daß Punkte jenseits von Bruchkanten nicht zur Höheninterpolation eines Gitterpunktes herangezogen werden.

Ist das Gitter berechnet, so werden die Höhenlinienpunkte bei allen Gitterprogrammen unter Berücksichtigung von markanten Geländepunkten, Bruchkanten, Geripplinien und Aussparungsflächen (soweit implementiert) linear interpoliert und zu Höhenlinienstücken verbunden. Zur Ausrundung der Höhenlinien werden Polynome 5. Grades oder Spline-Funktionen benutzt.

## 5.2 Dreiecksmaschenprogramme

Die Dreiecksmaschenprogramme WITZ und MBB nähern das Gelände durch ein Polyeder von Dreiecken an, deren Eckpunkte die originären Stützpunkte sind. Bei der Dreiecksvermaschung werden Bruchkanten und Geripplinien zu Dreiecksseiten und können damit bei der Höhenlinienberechnung exakt berücksichtigt werden.

Beim Programm WITZ wird der Verlauf der Höhenlinien unter Verwendung der umliegenden Stützpunkte (Nachbarpunkte) mit Hilfe einer Fläche 2. Ordnung interpoliert, d.h. jeder Höhenlinienpunkt wird durch eine eigene Ausgleichung bestimmt. Die Rechenfläche geht streng durch die gemessenen Stützpunkte. Als schnelle Berechnungsmethode steht eine lineare Interpolation von Höhenlinienpunkten nur auf den Dreiecksseiten zur Verfügung. Sie eignet sich besonders zur Fehlersuche. In Böschungsdreiecken wird eine Schrägebene durch die gegebenen Stützpunkte angesetzt.

Das Programm MBB interpoliert zusätzliche Punkte innerhalb der Dreiecksmaschen mit Hilfe einer gebrochen rationalen Funktion, so daß mehrere ähnliche Dreiecke (i.d.R. 16 Dreiecke) entstehen. Auf den Dreiecksseiten werden die Höhenlinienpunkte linear interpoliert und zu Höhenlinienstücken verbunden.

## 6 DURCHFÜHRUNG DER ARBEITEN

Aus photogrammetrischen Auswertungen der Testgebiete wurden Datensätze bereitgestellt, nach denen einmal auf manuellem Wege Sollhöhenlinien und zum anderen mit Hilfe der zu testenden Programme Isthöhenlinien herzuleiten waren.

Die wichtigsten Ergebnisse der Testberechnungen sind Zweifarbindrucke der Ist- mit den Sollhöhenlinien je Programm und Testgebiet, die die Grundlage für die Bewertung bilden. Diese Drucke lassen das Verhalten und die Leistung der Programme innerhalb der Testgebiete mit unterschiedlichen Geländebeziehungen im einzelnen erkennen.

Außer der zweifarbigen Kombination der Ist- mit den Sollhöhenlinien für jedes einzelne Ergebnis sind noch alle Ergebnisse eines Testgebietes mit den Sollhöhenlinien in einem Mehrfarbindruck dargestellt worden. Damit ist es möglich, das Verhalten der Programme miteinander zu vergleichen und bei gleichartigen Abweichungen aller oder mehrerer Programme nach den Ursachen zu forschen.

Die Rechen- und Zeichenarbeiten sind im wesentlichen von den Stellen ausgeführt worden, bei denen die Programme bereits installiert waren.

Trotz Einräumung eines Vorzugspreises durch die Geomess-Ingenieurgesellschaft konnten aus Kostengründen nur drei von fünf Testberechnungen mit diesem Programm durchgeführt werden. Hierdurch reduziert sich die Zahl der Ergebnisse von 30 auf 28.

## 7 GEOMETRISCHE HÖHENLINIENPRÜFUNG

Die erhaltenen Ergebnisse sollten in möglichst objektiver Weise mit den Sollhöhenlinien verglichen werden. Hierzu war ein numerischer Höhenlinienvergleich unerlässlich, mit dem nicht nur die Lagefehler und die von diesen abzuleitenden Höhenfehler, sondern auch die beiden Formfehler in Richtung und Krümmung zu bestimmen waren.

Da als Ergebnis der Höhenlinieninterpolation die Isthöhenlinien bereits in digitaler Form vorlagen, bestand die Absicht, auch die Sollhöhenlinien zu digitalisieren und die Höhenlinienvergleiche mit diesen Daten durchzuführen. Hierzu war vor allem eine automatische Auswahl und Zuordnung der Fehler- und Neigungspunkte Voraussetzung.

Nachforschungen ergaben, daß ein für diese Aufgabe geeignetes Programm bei keiner Stelle weder vorhanden, noch in der verfügbaren Zeit herzustellen war. Deshalb mußte eine manuelle Erfassung der Fehler- und Neigungsvektoren vorgenommen werden.

Das zur anschließenden Berechnung der Fehlerwerte erforderliche Programm wurde vom Institut für Angewandte Geodäsie in Frankfurt bereitgestellt.

## 8 BEWERTUNG

Für die Bewertung der Programmbeschaffenheit und der Ergebnisse der Testberechnungen wurden die zu bewertenden Kriterien und deren Gewichtung fest vorgegeben.

Die Bewertungen selbst wurden nach vereinbarten Regeln jeweils von dem Landesvermessungsamt vorgenommen, das die Berechnungen mit dem zu bewertenden Programm durchgeführt hatte.

Um auch letzte Auffassungsunterschiede nach Möglichkeit auszuschalten, wurden alle Bewertungen von einer zweiten Stelle geprüft.

Die Bewertungskriterien wurden mit Angabe der zugehörigen Gewichte in einem Bewertungsbogen zusammengestellt, der sich in den Teil 1 für die Programmbeschaffenheit und den Teil 2 für die Testergebnisse gliedert. Die Gewichtung beider Teile wurde so vorgenommen, daß aus der Programmbeschaffenheit maximal 400 Wertungspunkte und aus den fünf Testergebnissen maximal 600 Wertungspunkte erreicht werden konnten.

Im ganzen zeigten alle getesteten Programme einen hohen Leistungsstand. Die Programme TASH und SCOP-B erwiesen sich gegenüber WITZ und NLVA als etwas überlegen. Diesen vier Programmen gegenüber fielen die Programme GEOMESS und MBB deutlicher ab.

Unterschiedliche Bewertungen der Programme beruhten im wesentlichen auf Mängeln bei der Datenverarbeitung (Korrekturmöglichkeiten, Ablaufsteuerung) und bei den Programmleistungen (Berücksichtigung bestimmter Punktfolgen und markanter Geländepunkte sowie Darstellungsmöglichkeiten im graphischen Ergebnis).

Die Bewertung der geometrischen Genauigkeit brachte ein ausgeglichenes Ergebnis. Es wurden rd. 80 % der maximalen Punktzahl erreicht; lediglich das Programm MBB lieferte ein deutlich schlechteres Ergebnis als die übrigen Programme.

Bei Betrachtung der graphischen Ergebnisse zeigten sich größere Abweichungen als nach der guten Höhenliniengenauigkeit zu erwarten war. Dies trifft vor allem für den Höhenlinienverlauf an Bruchkanten und Gerippelinien sowie bei Kuppen, Mulden und Sattel-

flächen zu. Auch die Darstellung von Kleinformen bereitete offensichtlich Schwierigkeiten. Die Bewertung der morphologischen Richtigkeit zeigt, daß die Leistung aller Programme in topographischer Hinsicht noch verbesserungsbedürftig ist. Hier wurden nur 55 % bis 70 % der erreichbaren Punkte erzielt.

Alle Bewertungsergebnisse sind in der nachstehenden Tabelle zusammengefaßt:

Programm	Programmbeschaffenheit	Testergebnisse		
		Geometrische Genauigkeit	Morpholog. Richtigkeit	Bewertungsergebnis
TASH	321	281	171	773
SCOP-B	311	283	161	755
WITZ	277	280	180	737
NLVA	302	273	144	719
GEOMESS	216	(290)	(143)	(649)
MBB	287	245	137	669
Max. Punktzahl	400	340	260	1000

Die bei dem Programm GEOMESS in Klammern angegebenen Punktzahlen sind von drei auf fünf Testergebnisse hochgerechnet worden.

Die Bewertung der getesteten Programme bezieht sich auf ihren für die Berechnung der Testgebiete maßgebenden Entwicklungsstand (Mai 1978 - Februar 1979).

Zum Zeitpunkt der Herausgabe dieses Berichts werden möglicherweise neuere Versionen vorliegen.

118  
111  
116

Ein ausführlicher Bericht über den Vergleich digitaler Geländemodelle, bestehend aus einem Textteil und zwei Beilagenbänden mit Vervielfältigungen aller Ergebnisse, kann von interessierten Stellen über das

Landesvermessungsamt Nordrhein-Westfalen  
Muffendorfer Straße 19 - 21  
5300 Bonn-Bad Godesberg 1

bezogen werden.

Das mit der Untersuchung geschaffene Testmaterial, das rund 29000 photogrammetrisch gemessene Punkte umfaßt, steht auf maschinenlesbaren Datenträgern und in graphischer Form als Knotenpausen für gleichartige Untersuchungen zur Verfügung.