

Geowiss. Mitt.

8, 1976, S. 51 - 63

BERÜCKSICHTIGUNG VON GELÄNDEKANTEN IM STUTTGARTER  
HÖHENLINIENPROGRAMM - THEORIE UND ERGEBNISSE

von

E. Aßmus

Adresse des Autors:

Dipl.-Ing.E. Aßmus, Institut für Photogrammetrie der Technischen  
Universität Wien, 1040 Wien, Gußhausstraße 27-29, Österreich

### ZUSAMMENFASSUNG

Das Stuttgarter Höhenlinienprogramm (SCOP) ist ein für Großrechenanlagen konzipiertes Programmpaket in FORTRAN IV. Aus den Koordinaten beliebig verteilter, insbesondere photogrammetrisch erfaßter Geländepunkte berechnet SCOP zunächst mit Hilfe der linearen Prädiktion die Höhen eines engen rechteckigen Rasters (Digitales Höhenmodell). Daraus werden Punktfolgen entlang der Höhenlinien linear interpoliert und zur Kartierung an einem Zeichenautomaten auf Magnetband ausgegeben.

Für die Bearbeitung von Kartenblättern mit komplizierten geomorphologischen Strukturen wurde eine erweiterte Programmversion (SCOP-B) entwickelt. Dafür wurde die lineare Prädiktion so modifiziert, daß die durch Geländebruchkanten getrennten Punkte nicht miteinander korrelieren. Auf diese Weise kommen die Knicke des Geländes im Höhenlinienbild sehr gut zum Ausdruck. Dieser Aufsatz befaßt sich mit den theoretischen Grundlagen der Programm-erweiterung und der programmtechnischen Realisierung. Anhand einiger mit SCOP-B gerechneten Kartenblättern wird die Absolutgenauigkeit der Höhenlinien untersucht und ihre kartographische Qualität demonstriert. Zusätzlich werden Angaben zur Wirtschaftlichkeit der Methode gemacht.

### ABSTRACT

The Stuttgart Contour Program (SCOP) is a program package in FORTRAN IV, conceived for large computers. From the coordinates of terrain points distributed at random, especially if photogrammetrically recorded, SCOP first computes the heights of a narrow rectangular grid (digital height model) by means of linear prediction. From the grid, series of points are linearly interpolated along the contour lines and recorded on magnetic tape for mapping on an automatic plotter.

For the computation of maps with complex geomorphological structures an expanded program version (SCOP-B) was developed. For that purpose linear prediction was modified in such a way as not to permit the points separated by terrain break lines to correlate with one another. In that way the edges of the terrain are clearly indicated. This paper deals with the theoretical foundations of program extension and its technical realisation. With the aid of a number of maps, computed by means of SCOP-B, the absolute accuracy of the contour lines is examined and their cartographic quality demonstrated. Additionally, information is given on the economic efficiency of the method.

## 1. EINLEITUNG

Noch vor wenigen Jahren hielt man den Einsatz von Digitalrechenanlagen auf dem Gebiet der Kartenherstellung für wenig sinnvoll. Inzwischen werden für viele Detailprobleme der Kartographie mit Erfolg umfangreiche Softwarepakete entwickelt. Besonders die Verarbeitung der Höheninformation eignet sich sehr gut für die Anwendung digitaler Verfahren.

Eines der Rechenprogramme zur Lösung dieser Aufgabe, nämlich die Berechnung von digitalen Höhenmodellen und von Isolinien, ist das am Institut für Photogrammetrie der Universität Stuttgart (BRD) von Herrn Dipl.-Ing. Stanger entwickelte Stuttgarter Höhenlinienprogramm (SCOP).

Über den Aufbau dieses Programms und über Ergebnisse wurde bereits in mehreren Veröffentlichungen und Vorträgen berichtet /8, 9, 10/.

Am Institut für Photogrammetrie der Technischen Universität Wien ist derzeit eine erweiterte Version von SCOP in der Erprobung, die eine mathematisch exakte Behandlung von Geländebruchkanten erlaubt. Dieser Aufsatz beschreibt den Aufbau, die Leistungsfähigkeit und die Einsatzmöglichkeiten dieser Programmerweiterung.

## 2. DER PROGRAMMAUFBAU VON SCOP

Für ein besseres Verständnis der erweiterten Fassung (SCOP-B) sollen zunächst die wichtigsten Schritte des ursprünglichen Programms (SCOP) kurz skizziert werden:

Ausgangsdaten sind die Koordinaten beliebig verteilter Geländepunkte, die photogrammetrisch oder tachymetrisch gewonnen wurden. Im Falle der photogrammetrischen Datenerfassung in der Form von Profilen können die Profilhöhen zunächst vom Abtastfehler befreit werden /6/. Anschließend werden die Modellkoordinaten ins Landeskoordinatensystem transformiert. Innerhalb eines Kartenblattes werden die Höhen der Eckpunkte eines rechteckigen Rasters (Digitales Höhenmodell = DHM) berechnet, wobei vorher das Kartenblatt in rechteckige Recheneinheiten unterteilt wird. Als Interpolationsmethode wird die lineare Prädiktion (= Interpolation nach kleinsten Quadraten) /5, 1/ verwendet, die gleichzeitig die zufälligen Meßfehler

herausfiltert. Ausgehend vom DHM können eine ganze Reihe von Aufgaben gelöst werden, so z.B. die Berechnung von Isolinien.

Die Isolinienpunkte erhält man in SCOP durch lineare Interpolation zwischen den benachbarten Stützpunkten. Die Isolinien werden samt einiger kartographischer Ergänzungen auf Magnetband ausgegeben. Eine automatische Zeichenanlage verbindet die einzelnen Punkte mit einer Kurve höherer Ordnung.

### 3. LÖSUNGSWEG DER PROGRAMMERWEITERUNG (SCOP-B)

Das erweiterte Programm ermöglicht das Abknicken des DHM und der Isolinien an den Bruchkanten. Dadurch wird die Darstellung von komplizierten geomorphologischen Details durch das Höhenlinienbild entscheidend verbessert.

Falls Geländekanten auftreten, erwies sich in der Grundversion (SCOP) die vereinfachende Annahme von homogenen Korrelationsverhältnissen innerhalb einer Recheneinheit als zu weitgehend. Die Bruchlinien stellen nämlich statistische "Störungslinien" dar, über die hinweg die Korrelationen stark verringert sind. Dieser Tatsache wird in der erweiterten Programmversion Rechnung getragen, indem die Gebiete auf beiden Seiten einer Geländekante unabhängig voneinander interpoliert werden. Eine Verknüpfung erfolgt nur über die Bruchlinienpunkte, die in beiden benachbarten Teilgebieten als Stützpunkte verwendet werden.

Das DHM besteht in SCOP-B zum einen aus den profilweise abgespeicherten Höhen des rechteckigen Rasters und zusätzlich aber auch aus den Raumkoordinaten der Punkte auf den Bruchlinien.

Diese Bruchlinienpunkte werden bei der Interpolation der Isolinienpunkte zwischen benachbarten Rasterpunkten berücksichtigt. Außerdem werden auch Höhenlinienpunkte auf den Bruchkanten interpoliert. Das Programm sorgt dafür, daß die Höhenlinien in diesen Punkten abknicken.

### 4. ERGEBNISSE UND EINSATZMÖGLICHKEITEN VON SCOP-B

Aus der Reihe der bereits mit SCOP-B berechneten Kartenblätter werden im folgenden zwei Beispiele herausgegriffen. An ihnen soll die kartographische Qualität der gerechneten Höhenlinien und die Leistungsfähigkeit des automatischen Verfahrens aufgezeigt werden.

A) Kartenblatt WAIDHOFEN, Maßstab 1:10 000:

Photogrammetrische Datenerfassung, und zwar am WILD A 7 mit EK 22 und Magnetband des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen in Wien.

Bildmaßstab 1:29 000, Modellmaßstab 1:15 000.

In 2 Modellen wurden insgesamt 18 800 Stützpunkte in Profilen und entlang von wichtigen linienhaften Geländeformen registriert. Daraus interpolierte SCOP-B 48 200 Rasterpunkte des DHM (Rasterabstand 2,5 mm in der Karte) und 35 500 Höhenlinienpunkte (bei einem Höhenlinienintervall von 10 m).

Ein auf den Maßstab 1:20 000 verkleinerter Ausschnitt (etwa 65 %) des 50 cm x 50 cm großen Kartenblattes ist in Anlage 1 wiedergegeben.

In Anlage 2 sind für einen kleineren Ausschnitt im Originalmaßstab 1:10 000 zu den Schichtlinien (durchgezogene Linien) noch gestrichelt die gemessenen Geländebruchkanten eingezeichnet.

In dieser verhältnismäßig kleinmaßstäbigen Karte haben Bruchlinien die Aufgabe, größere geomorphologische Strukturen, wie Taleinschnitte, Berggrate oder Terrassenformen deutlich hervorzuheben. Auf diese Weise kann der Kartenleser das Höhenlinienbild leicht interpretieren.

Am selben Auswertegerät wurden auch in herkömmlicher Art und Weise Schichtlinien gezeichnet (Anlage 3).

Der Beurteilung der Genauigkeit des automatischen Verfahrens dient in Anlage 4 ein Vergleich zwischen den berechneten und den direkt abgefahrenen Schichtlinien (gestrichelte Linien). Die Abweichungen zwischen den beiden Ergebnissen ist zum Teil auf die Unsicherheit der Auswertung zurückzuführen: Die Höhengenaugkeit auf Grund des Bildmaßstabes beträgt etwa  $\pm 1,5$  m. Außerdem treten die bekannten Schwierigkeiten auf, die Meßmarke im bewaldeten Gebiet auf der Geländeoberfläche aufzusetzen (siehe das dazugehörige Orthophoto in der Veröffentlichung /2/).

Einige Kleinformen werden in der automatisch gewonnenen Karte nicht wiedergegeben. Der Grund ist, daß diese Strukturen einerseits wegen des relativ großen Profil- und Punktabstandes (4,5 mm in der Karte) mit den Profilen nicht erfaßt und andererseits in der Form von Bruchlinien nicht

gemessen wurden. Eine diesbezügliche Vergrößerung der Informationsdichte würde das Ergebnis zwar verbessern, allerdings wären dann höhere Auswert- und Rechenkosten in Kauf zu nehmen.

Darüberhinaus ist noch zu bedenken, daß zur Darstellung kleiner geomorphologischer Strukturen nicht nur die Stützpunkte (in der Umgebung der Kleinform) sondern auch das Raster des DHM (im ganzen Kartenblatt) entsprechend zu verdichten wären.

Eine bessere Darstellung der Kleinformen ist weniger notwendig, um die Lagegenauigkeit, sondern eher um die Interpretierbarkeit der Isolinien zu steigern. Die Verbesserung der Interpretierbarkeit kann am wirtschaftlichsten und wirkungsvollsten durch eine geringfügige manuelle Überarbeitung der gravierten Höhenlinien erreicht werden. Als Hilfsmittel für diese Korrekturarbeit eignen sich am besten Stereoorthophotos /4, 7/. Sofern die dafür notwendigen Geräte vorhanden sind, können diese Korrekturen auch an einem interaktiven Bildschirm in Kombination mit einem Datenbanksystem vorgenommen werden. In diesem Fall liegen die korrigierten, endgültigen Schichtlinien nicht nur in analoger, sondern auch in digitaler Form vor.

Im Zusammenhang mit den Kleinformen ist noch das Höhenlinienintervall zu beachten. Kombiniert man z.B. das Höhenlinienbild mit einem Orthophoto, wird beim Kartenblatt "Waidhofen" ein Höhenlinienintervall von 20 m ausreichen. Viele linienhafte Kleinformen kommen dann aber nicht mehr auf mehreren benachbarten Höhengschichten zum Ausdruck. Solche Kleinformen, die nur in einer Schichtlinie auftreten, können nicht mehr in ihrer ursprünglichen Bedeutung erkannt werden und sind deshalb im allgemeinen im Höhenlinienbild zu ignorieren. Die Entscheidung, ob die kartographische Qualität der automatisch gewonnenen Schichtlinien ausreicht, hängt also auch vom Höhenlinienintervall ab.

B) Kartenblatt WIG (Wiener Internationale Gartenschau):

Maßstab 1:2 000.

Ausdehnung der Karte 20 cm x 35 cm. Datenerfassung am Zeiss Planimat mit Ecomat des Institutes für Geodäsie und Fernerkundung der Universität für Bodenkultur, Wien. Bildmaßstab 1:4 000. Gemessen wurden 2 300 Punkte in Profilen (Punktabstand 6 mm in der Karte) und 1 600 Bruchlinienpunkte. Mit SCOP-B wurden daraus 12 500 Rasterpunkte (2,5 mm Rasterintervall) und 7 500 Höhenlinienpunkte (1 m Intervall) interpoliert.

Die Rasterhöhen des DHM dienten darüber hinaus zur Berechnung der Steuerdaten für den Orthoprojektor WILD AVIOPLAN. Für Höhenlinien- und Orthophotoherstellung ist es also nur einmal notwendig, Geländepunkte zu registrieren und ein Raster zu berechnen /7/.

In Anlage 5 sind für einen Ausschnitt des Blattes WIG das Orthophoto, die berechneten Schichtlinien (durchgezogene Linien) und die gemessenen Bruchkanten (gestrichelte Linien) zusammenkopiert.

Dieses Gebiet mit seinen für eine Ausstellung künstlich geschaffenen Geländeformen eignet sich besonders gut zur Demonstration der Wirkungsweise von SCOP-B im großmaßstäbigen Bereich. Für die mathematische Nachbildung eines solchen terrassenförmigen Geländes fällt den in den Böschungskanten, Uferlinien, Fahrbahn- und Wegrändern gemessenen Bruchlinien die entscheidende Rolle zu. Die Profilpunkte haben hier nur die Aufgabe, die meist ebenen Flächen zwischen den Kantenlinien abzustützen.

Die Darstellung der Kunstbauten im automatisch gewonnenen Höhenlinienbild entspricht in einigen Fällen nicht den gewohnten kartographischen Vorstellungen: Zum Beispiel überqueren die Höhenlinien die Straßen nicht genau rechtwinklig zum Straßenrand, sondern so wie es der Messung entspricht und damit häufig auch den wahren Höhenverhältnissen (infolge von Querneigung, Verwindung, Spurrillen usw.). Die Automation liefert also nicht immer das schönste, aber doch ein verhältnismäßig objektives Ergebnis.

C) Überlegungen zur Wirtschaftlichkeit der automatischen Höhenlinienableitung:

Kartenblatt	WAIDHOFEN 1:10 000		WIG 1:2 000	
	Zeit- aufwand	Kosten (ö.S.)	Zeit- aufwand	Kosten (ö.S.)
a) <u>Automatische Ableitung der Höhenlinien</u>				
Datenerfassung (Orientieren und Digitalisieren)	21 h	16.800.-	5,5 h	4.400.-
Ableiten der Höhenlinien mit SCOP-B	2 900 SS	9.500.-	1 200 SS	4.000.-
Gravur am Zeichenautomat	4 h	3.000.-	1,5 h	1.100.-
Jobvorbereitungen, geringfügige kartographische Überarbeitung	5 h	1.500.-	3 h	900.-
		<u>30.800.-</u>		<u>10.400.-</u>
b) <u>Analogauswertung und kartographische Überarbeitung</u>				
Photogrammetrische Analogauswertung	45 h	27.000.-	10 h <sup>1)</sup>	6.000.-
Kartographische Überarbeitung u. Gravur	70 h <sup>1)</sup>	21.000.-	10 h <sup>1)</sup>	3.000.-
		<u>48.000.-</u>		<u>9.000.-</u>
	1) geschätzte Stundenzahl			

Im Kartenblatt Waidhofen ist die große Dichte der Höhenlinien verantwortlich für die hohen Kosten der photogrammetrischen Analogauswertung und der dazugehörigen kartographischen Überarbeitung. Bei der automatischen Methode ist dagegen die Interpolation des DHM besonders rechenintensiv. Im Verhältnis dazu spielt die Wahl des Höhenlinienintervalls nur noch eine untergeordnete Rolle, abgesehen von den Kosten am Zeichenautomaten.

Geomorphologische Strukturen wird man künftig vor allem in Form von Bruchlinien messen und weniger durch Verringerung der Abstände der im allgemeinen in Profilen angeordneten Stützpunkte zu erfassen versuchen.

Diese Bruchlinien werden allerdings in SCOP-B mit einem komplizierten, rechenaufwendigen Algorithmus behandelt. Aus diesem Grund ist im Beispiel WIG (mit fast gleich vielen Bruchlinien- wie Profilpunkten) der Rechenaufwand relativ hoch und die Gesamtkosten liegen geringfügig über denen einer entsprechenden konventionellen Auswertung.

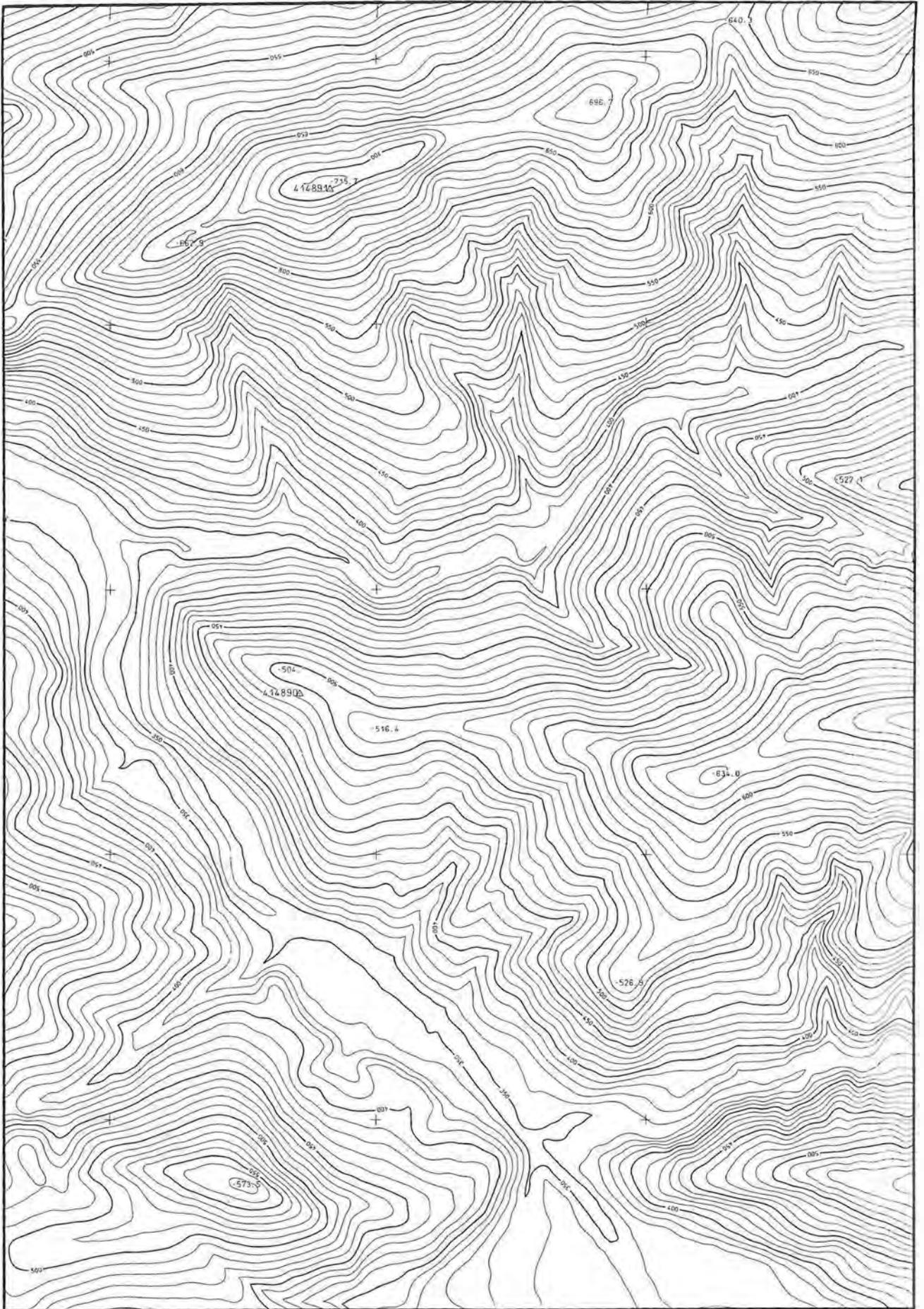
Eine Qualitätssteigerung der automatisch abgeleiteten Höhenlinien, und zwar sowohl mit zusätzlich gemessenen Bruchlinien als auch durch Erhöhung der Dichte der übrigen Geländepunkte, ist mit zusätzlichen Kosten für die Datenerfassung und Rechenzeit (für das DHM) verbunden. Die automatische Methode ist deshalb umso ökonomischer, je weniger Wert auf Detailreichtum gelegt und je kleiner das Höhenlinienintervall gewählt wird. Ist die Darstellung vieler Kleinformen verlangt, wie z.B. in der Hochgebirgskartographie, sollte man bei den herkömmlichen Verfahren bleiben.

Für eine abschließende Beurteilung ist noch zu bedenken, daß das digitale Höhenmodell eine beträchtlich größere Informationsdichte als das aus dem DHM abgeleitete Schichtlinienbild enthält. Diese digitale Karte sollte deshalb am sinnvollsten in einem Datenbanksystem abgelegt werden und dann als Grundlage für alle jene Rechenvorgänge dienen, die Informationen über die Form der Geländeoberfläche benötigen, z.B. für die Berechnung von Geländeprofilen und Erdmassen, von Generalisierungen und Gefällstufenkarten sowie der Steuerdaten für die Orthophotoherstellung usw.. Ebenso ist auch die Kombination der Höheninformation des DHM mit einer Grundrißdatenbank oder anderen Informationssystemen denkbar und teilweise auch bereits realisiert /3/.

Auch für die ausschließliche Schichtlinienproduktion dürfte sich in sehr vielen Fällen der Einsatz des Hilfsmittels Rechenanlage lohnen. Allen althergebrachten Verfahren wird die Automation aber besonders überlegen, wenn man die vielseitigen Anwendungsmöglichkeiten der digitalen Karte ausschöpft.

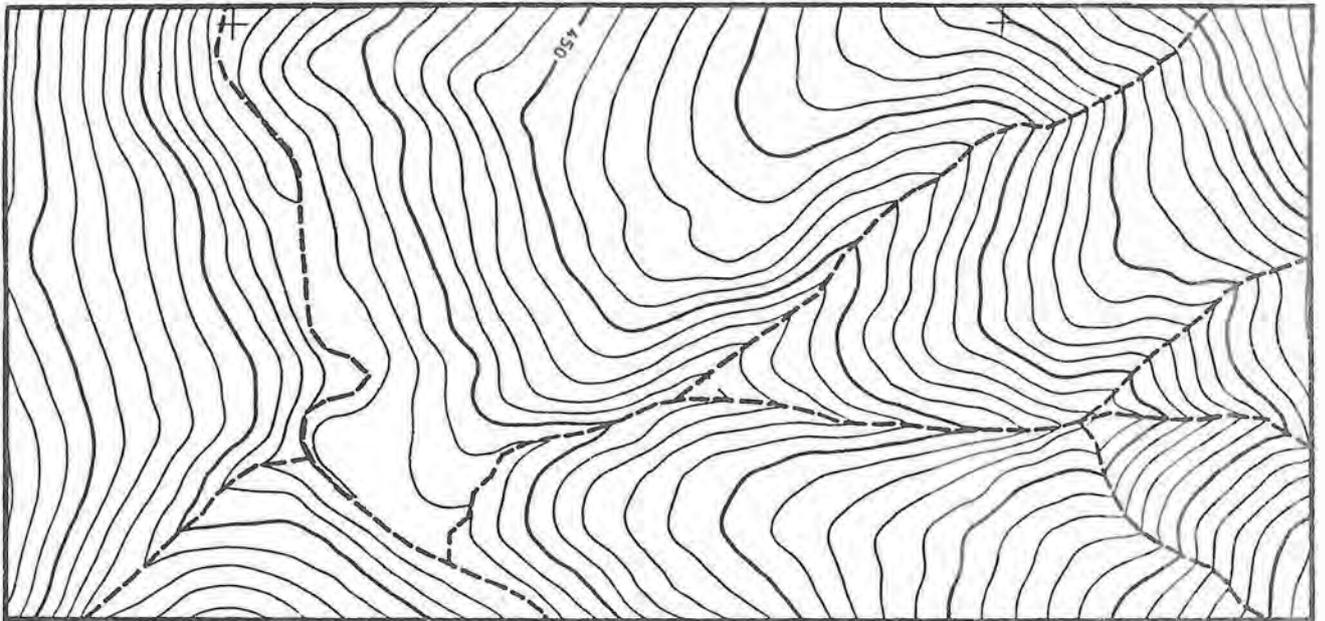
SCHRIFTTUM

- / 1/ ASSMUS, E. und KRAUS, K.: Die Interpolation nach kleinsten Quadraten. Prädiktionswerte simulierter Beispiele und ihre Genauigkeiten.  
DGK, Reihe A, Heft Nr.76, München 1974.
- / 2/ BERNHARD, J.: Ein Bericht über erste Erfahrungen mit der Datenerfassung für den Wild Avioplan OR 1 und geplante Arbeitseinsätze am Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen.  
Erscheint in der ÖZfVuPh, presented paper, XIII. ISP-Kongreß, 1976.
- / 3/ HEUPEL, G.: Herstellung großmaßstäbiger Karten im System GEOMAP.  
35. Photogrammetrische Woche 1975, Stuttgart.
- / 4/ KRAUS, K.: Anwendungsmöglichkeiten eines digital gesteuerten Differentialumbildeggeräts.  
Geowissenschaftl. Mitteilungen, TU Wien, Heft Nr.8, 1976, presented paper, XIII. ISP-Kongreß, 1976.
- / 5/ KRAUS, K.: Interpolation nach kleinsten Quadraten in der Photogrammetrie.  
BuL 40, S.3-8, 1972.
- / 6/ KRAUS, K.: Prädiktion und Filterung mit zwei verschiedenen Stützwertgruppen.  
ZfV 98, S.146-153, 1973.
- / 7/ OTEPKA, G. und LOITSCH, J.: Ein Programm zur digital gesteuerten Orthophotoproduktion.  
Geowissenschaftl. Mitteilungen, TU Wien, Heft Nr.8, 1976, presented paper, XIII. ISP-Kongreß, 1976.
- / 8/ STANGER, W.: Das Stuttgarter Höhenlinienprogramm - Beschreibung und Ergebnisse.  
Numerische Photogrammetrie, Sammlung Wichmann, Neue Folge, Band 5, S.255-282.
- / 9/ STANGER, W.: Erfahrungen mit dem Stuttgarter Höhenlinienprogramm.  
Lehrgang Numerische Photogrammetrie Eßlingen, Januar 1975. Erscheint demnächst in der Zeitschrift des Institutes für Photogrammetrie der Universität Stuttgart.
- /10/ STANGER, W.: The Stuttgart contour program SCOP-further development and review of its application.  
Presented paper, XIII. ISP-Kongreß, 1976.

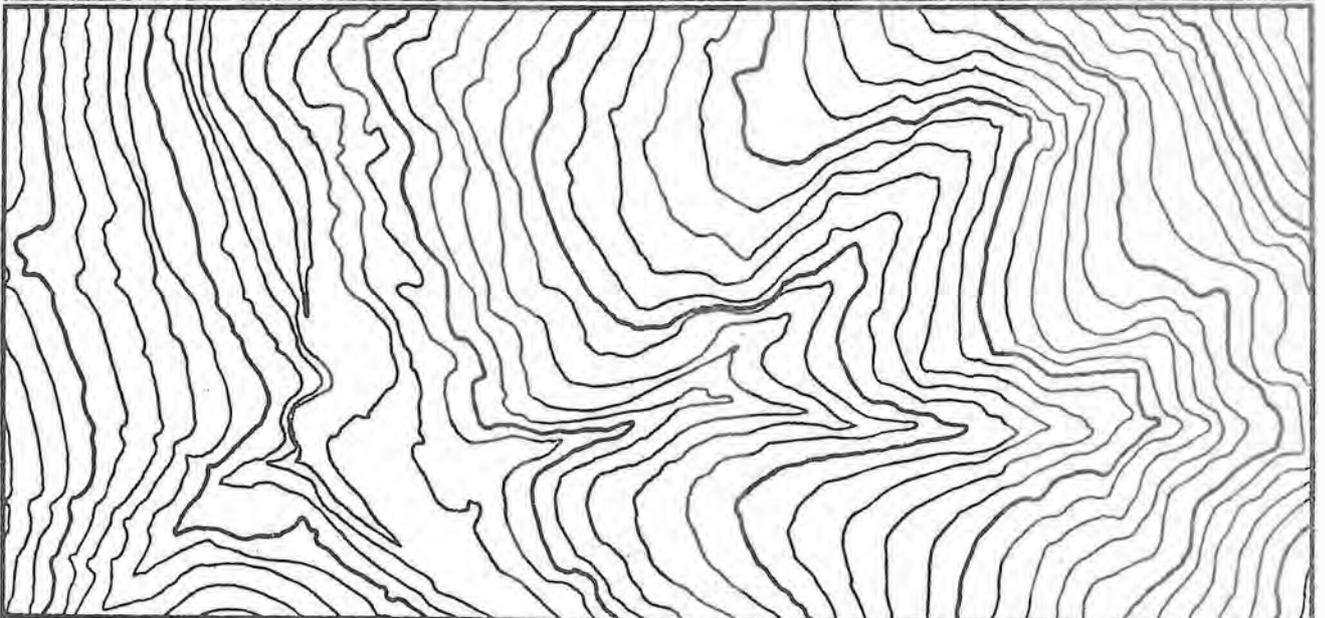


Druck: Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (Landsaufnahme) in Wien

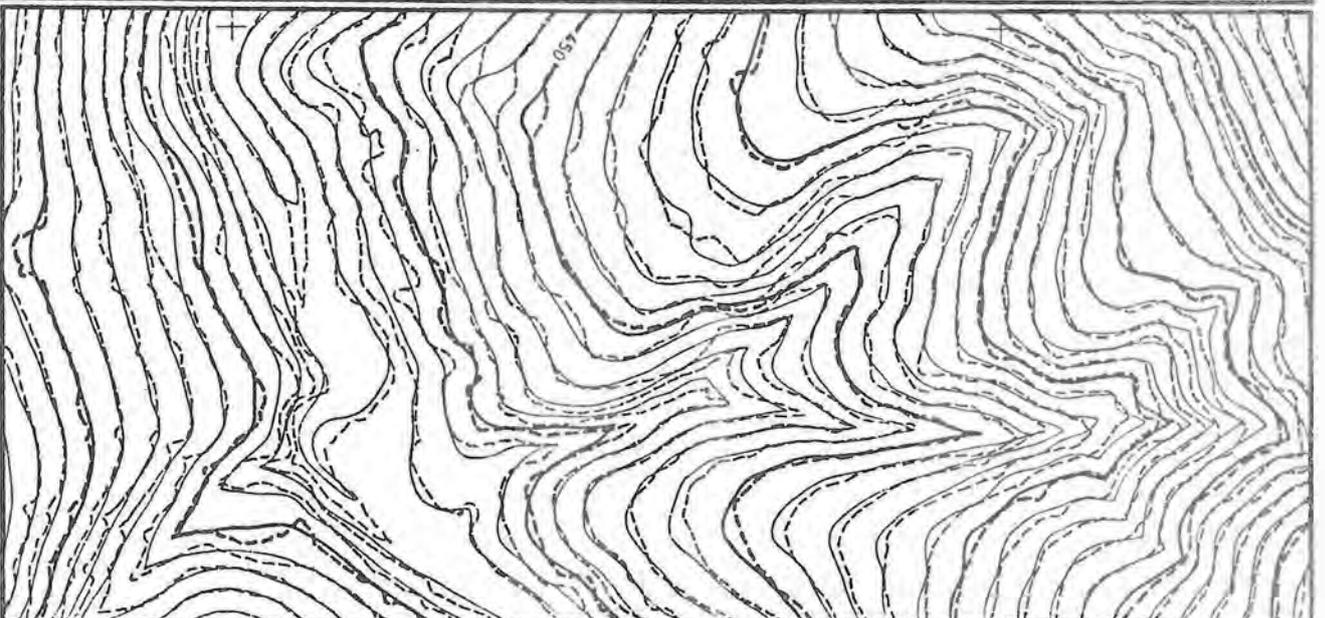
Anlage 1: Auf 1 : 20 000 verkleinerter Ausschnitt der  
mit SCOP-B berechneten Höhenlinienkarte  
"Waidhofen" 1 : 10 000.



Anlage 2: Berechnete Schichtlinien und gemessene Bruchlinien



Anlage 3: Direkt abgefahrene Schichtlinien



Anlage 4: Vergleich zwischen berechneten und direkt abgefahrenen Schichtlinien



Anlage 5: Ausschnitt des Kartenblattes „WIG“, Maßstab 1:2000