

Zeitschrift:	Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik : VPK = Mensuration, photogrammétrie, génie rural
Herausgeber:	Schweizerischer Verein für Vermessung und Kulturtechnik (SVVK) = Société suisse des mensurations et améliorations foncières (SSMAF)
Band:	75 (1977)
Heft:	6
Artikel:	Neue Programmsysteme zur Berechnung und Darstellung von Isolinien mit Hilfe von Kleincomputern
Autor:	Zumofen, G. / Leoni, M.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-228764

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 23.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Neue Programmsysteme zur Berechnung und Darstellung von Isolinien mit Hilfe von Kleincomputern

G. Zumofen und M. Leoni

Résumé

Ce travail présente trois méthodes de calcul et de représentation de courbes de niveau. A la différence des méthodes appliquées jusqu'ici et portant seulement sur la corrélation des distances, les présents systèmes considèrent également les corrélations angulaires des points de référence. Pour le cas où l'on dispose d'une grille de points, la représentation digitale du terrain consiste à pondérer la courbure selon la direction, puis à la minimiser.

Chaque point de la courbe de niveau est résultat d'une interpolation et se caractérise par une variance, laquelle est fonction de la variance de la mesure et se laisse représenter en fonction inverse du gradient. On détermine par le fait même pour chaque courbe une bande de variance, ce qui donne la possibilité de généraliser les courbes de niveau.

1. Einleitung

In den letzten zwei Jahrzehnten sind etliche Methoden der Darstellung digitaler Geländemodelle diskutiert und entwickelt worden. Verschiedene Rechenprogramme stehen heute im praktischen Einsatz und beginnen zum Teil die konventionell hergestellten Schichtlinienkarten zu konkurrenzieren. Kartographie, Technik, Medizin, Biologie sind nur einige Beispiele von möglichen Anwendungsgebieten für die automatische Interpolation und graphische Darstellung von Isolinien.

Die rasanten Fortschritte auf dem Gebiet von Minicomputersystemen und dazugehörigen Peripheriegeräten begünstigt die Entwicklung und Anwendung von Isolinienprogrammen und computergesteuerten Zeichenanlagen in steigendem Masse. Da der überwiegende Teil der heute bekannten Programmsysteme auf Grosscomputeranlagen zugeschnitten ist, erschien es interessant, die Möglichkeiten der Entwicklung äquivalenter Programme für Kleincomputersysteme zu untersuchen.

2. Zielsetzung

Bei der Beschaffung von rechnergesteuerten Präzisionszeichenanlagen mit entsprechenden Aufbereitungsprogrammen für die Produktion von Höhenschichtlinien ist ein zentraler Punkt von besonderer Wichtigkeit: In welcher Zeit und zu welchen Kosten lassen sich digitale Geländemodelle berechnen und die Höhenlinien in geforderter Genauigkeit und zeichnerischer Qualität graphisch darstellen?

Dieser wirtschaftliche Aspekt bestimmte die Zielsetzung unserer Anstrengungen, nämlich Methoden zu untersuchen und Programme zu entwickeln, die auf Kleinrechenanlagen möglichst geringer Ausbaustufe rationell eingesetzt werden können. Eine sinnvolle Computerkonfiguration besteht beispielsweise aus einem 16-bit-Minirechner, Zentraleinheit mit Kernspeicherkapazität

von 32-k-Worten, 5-MByte-Disk, Lochstreifenleser/-stanzer, Teletypekonsole und eventuell Lineprinter. Hinzu kommt ein Disk Operating System mit Fortran-IV-Compiler. Damit sollen Punktmengen von ca. 10 000 Geländepunkten bei Dreiecksvermaschung und rund 100 000 Punkten bei Rasterdarstellung behandelt werden können. Die graphische Darstellung erfolgt im vorliegenden Fall auf eine durch denselben Minicomputer gesteuerten Präzisionszeichenanlage der Coradi AG.

Diese Zielsetzung schliesst den Einsatz von rechenintensiven Methoden, wie z. B. der Prädiktion¹ von vornherein aus. Die gleichzeitige Forderung nach optimaler Darstellung eines Geländemodells lässt die Anwendung von reiner Distanzkorrelation^{1,2,3,4}, wie sie von einer Mehrzahl von Autoren verwendet wird, nicht zu. Nach unserer Erfahrung ist die bestmögliche Art der Korrelation die richtungsabhängige Korrelation von Geländepunkten. Die dabei entstehenden mathematischen Schwierigkeiten können mit Hilfe Finiter Elemente und der Relaxationsmethode überwunden werden.

3. Drei Methoden

Zahlreiche numerische Experimente haben gezeigt, dass nicht nur bei der Darstellung des Geländemodells ein Einbeziehen der Streuung der Messpunkte wichtig ist, sondern auch ein in die X-, Y-Ebene transformierter Restfehler bei der graphischen Darstellung der resultierenden Höhenkurven von grosser Bedeutung ist.

Es erweist sich als zweckmässig, drei verschiedene Verteilungen von Messpunkten zu unterscheiden: Messpunkte, die ein genaues Rasterfeld darstellen, Verteilungen, die Dichteunterschiede von 3–5 nicht überschreiten, und schliesslich Verteilungen mit extremer Dichteverteilung.

Die ersten beiden Verteilungen treten hauptsächlich bei der automatischen Erfassung der Geländepunkte auf (Photogrammetrie), während der dritte Fall entsteht, wenn Messpunkte willkürlich oder dem Gelände angepasst erfasst werden (terrestrische Auswertung). Entsprechend diesen Verteilungen kann der Einsatz von drei verschiedenen Methoden diskutiert werden.

3.1 Messpunkte in Rasteranordnung

Messpunkte in Rasteranordnung bieten den Vorteil, dass Interpolationen sehr einfach bewerkstelligt werden können und dass die Erzeugung von Isolinien keine organisatorischen Probleme stellt. Der Raster kann hierbei quadratisch, rechteckig, schiefwinklig oder krummlinig definiert werden. Niveaulinien können direkt im gegebenen Raster berechnet werden oder nachdem der Raster unterteilt worden ist (Recheneinheiten). Eine zusätzliche Variante besteht darin, schiefwinklige oder krummlinige Felder in quadratische umzuwandeln. Sie empfiehlt sich insbesondere dann, wenn mehrere verschieden orientierte Datensätze zu einem neuen zusammengefügt werden müssen.

Die Interpolation innerhalb eines Rasterfeldes kann nach einem der in der Literatur beschriebenen Verfahren erfolgen, von denen eines hier skizziert sei. Es beruht auf der von Coons⁵ vorgeschlagenen Methode, die beim «Computer Aided Geometric Design» häufig angewandt

wird. Der allgemeine Punkt \vec{P} innerhalb eines Rasterfeldes kann dabei wie folgt berechnet werden:

$$\underline{\vec{P}} = \underline{\vec{U}}^* \underline{S} \underline{H} \underline{S} \underline{\vec{V}} \quad (1)$$

wobei

$$\underline{\vec{U}} = \begin{pmatrix} 1 \\ u \\ u^2 \\ u^3 \end{pmatrix} \quad \underline{\vec{V}} = \begin{pmatrix} 1 \\ v \\ v^2 \\ v^3 \end{pmatrix} \quad (2)$$

u und v stellen die Abschnitte auf den beiden Koordinaten dar und variieren zwischen 0 und 1. Die Matrix \underline{S} hat die Form

$$\underline{S} = \begin{pmatrix} 2 & -3 & 0 & 1 \\ -2 & 3 & 0 & 0 \\ 1 & -2 & 1 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (3)$$

Die Matrix H ist durch die vier Eckpunkte und deren Ableitungen nach den beiden Koordinaten u und v in den Eckpunkten gegeben:

$$\underline{H} = \begin{pmatrix} \vec{P}^{00} & \vec{P}^{10} & \vec{P}_u^{00} & \vec{P}_u^{10} \\ \vec{P}^{01} & \vec{P}^{11} & \vec{P}_u^{01} & \vec{P}_u^{11} \\ \vec{P}_v^{00} & \vec{P}_v^{10} & \vec{P}_{uv}^{00} & \vec{P}_{uv}^{10} \\ \vec{P}_v^{01} & \vec{P}_v^{11} & \vec{P}_{uv}^{01} & \vec{P}_{uv}^{11} \end{pmatrix} \quad (4)$$

Die Beziehung (1) entspricht einer allgemeinen Darstellung eines Punktes durch 48 Parameter. Diese Darstellung wird bei rechteckiger Anordnung der Stützpunkte in der Zeichenebene wesentlich vereinfacht.

3.2 Schwach variable Punktdichten

Bei schwach variablen Punktdichten ist es naheliegend, zuerst ein quadratisches Rasterfeld zu erzeugen und die Niveaulinien in diesem zu bestimmen. Die Methode Finiter Elemente, die in verschiedenen Gebieten der Physik und der Baustatik mit Erfolg angewandt wird, scheint zur Ermittlung des quadratischen Rasters am günstigsten. Für den vorliegenden Fall kann diese Methode wie folgt beschrieben werden: Es wird eine Höhe Z(x, y) in Funktion der beiden Koordinaten x und y so definiert, dass

$$\iiint_0^{\pi} \left| \frac{\partial^2 Z(x, y)}{\partial \vec{r}(\varphi)^2} \right|^2 g(\varphi) d\varphi dx dy = \min \quad (5)$$

und die n Stützpunkte wie folgt wiedergegeben werden:

$$Z(x_i, y_i) = Z_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

wobei $\vec{r}(\varphi)$ ein Einheitsvektor in der x-, y-Ebene ist, der den Winkel φ mit der x-Achse einschließt und $g(\varphi)$ ein Gewichtsfaktor bedeutet, der durch die Stützpunktverteilung um den Aufpunkt x, y bestimmt ist.

Beziehung (5) stellt eine Minimierung richtungsgewogener Krümmungen dar und weicht etwas von der in der Literatur bekannten Definitionen⁶ ab, hat sich aber im Laufe der Entwicklung als erfolgreich erwiesen. Die numerische Auswertung dieser Beziehungen kann nun dadurch erfolgen, dass die Variable x, y, φ diskretisiert werden. Es entsteht ein Ausgleichsproblem, in welchem die gewünschten Rasterhöhen als Unbekannte auftreten. Zur Lösung eines Ausgleichsproblems mit der Dimension, wie sie in dem hier beschriebenen Fall auftreten können (100 000), wird üblicherweise die Relaxationsmethode angewandt. Durch die Benutzung von Überrelaxationsfaktoren und einem quadratischen Ansatz in zwei Dimensionen für die Rückbestimmung der Messpunkte kann eine gleichmäßige Konvergenz erzielt werden. Auf eine detaillierte Beschreibung der Methode wird an dieser Stelle verzichtet.

3.3 Stark variable Punktdichten

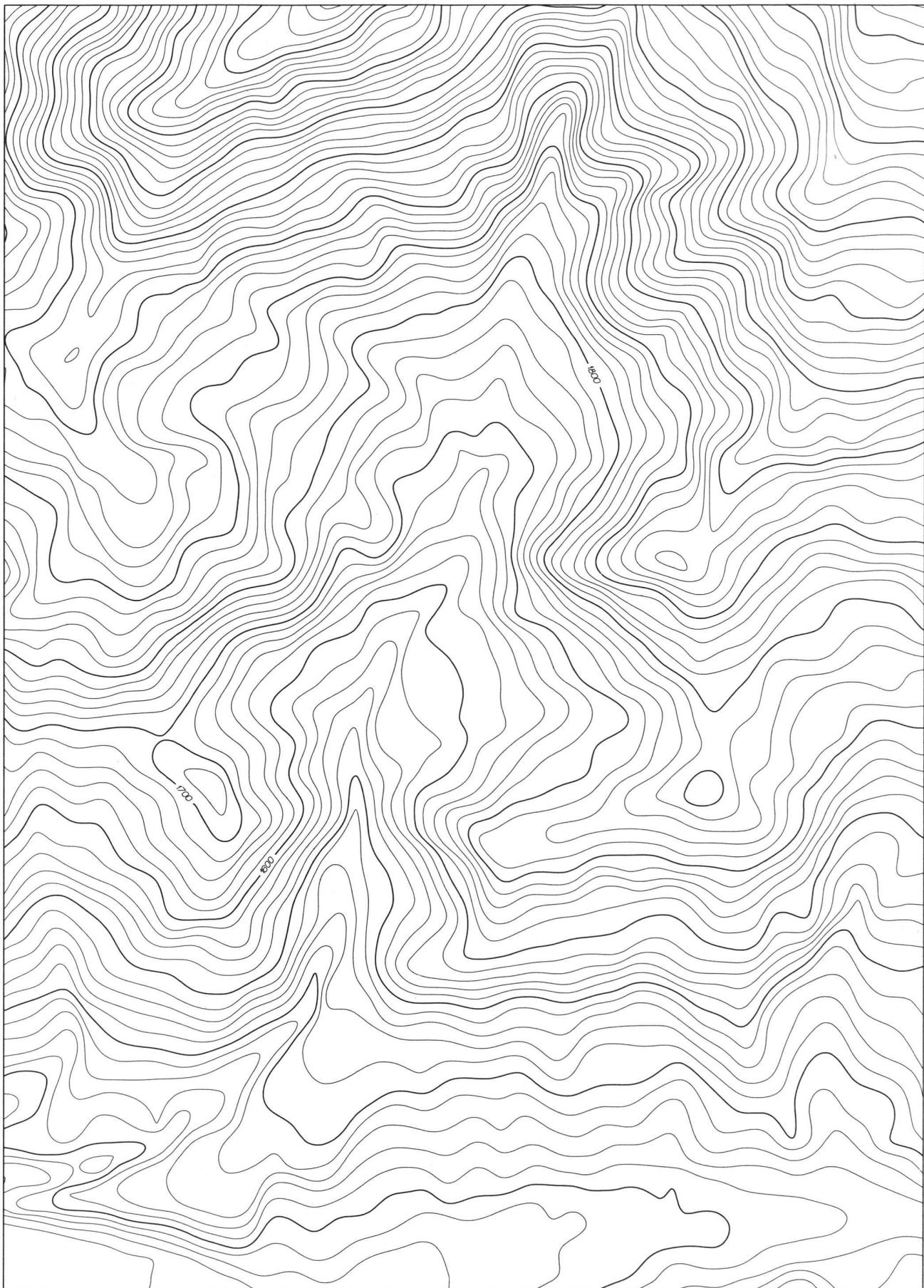
Sollen möglichst viele Details im Höhenlinienplan berücksichtigt werden, so ist die Maschenweite des Rasters durch den kleinsten auftretenden Abstand zwischen den Messpunkten festzulegen. Dies bedingt bei stark unterschiedlichen Punktdichten einen fein unterteilten Raster und bringt einen entsprechenden Rechenaufwand mit sich.

Deshalb drängt sich eine Methode auf, die auf eine Rastereinteilung verzichtet. Am günstigsten scheint eine Aufteilung des gesamten Planes in Dreiecke. Hier tauchen zwei prinzipielle Schwierigkeiten auf: Nach welchem Kriterium werden drei Stützpunkte zu einem Dreieck zusammengefasst, und wie erfolgt die Interpolation innerhalb eines Dreiecks. Die von Bauhuber, Erlacher und Günther⁷ vorgeschlagene Definition, dass drei Messpunkte ein Dreieck bilden, wenn der Kreis, den sie eindeutig beschreiben, keinen weiteren Stützpunkt enthält, präsentiert sich zwar als numerisch aufwendig, aber zweckmäßig. Versuche haben gezeigt, dass einfache Definitionen im Resultat bedeutend schwächer ausfallen und deshalb den Gewinn an Rechenzeit nicht rechtfertigen können.

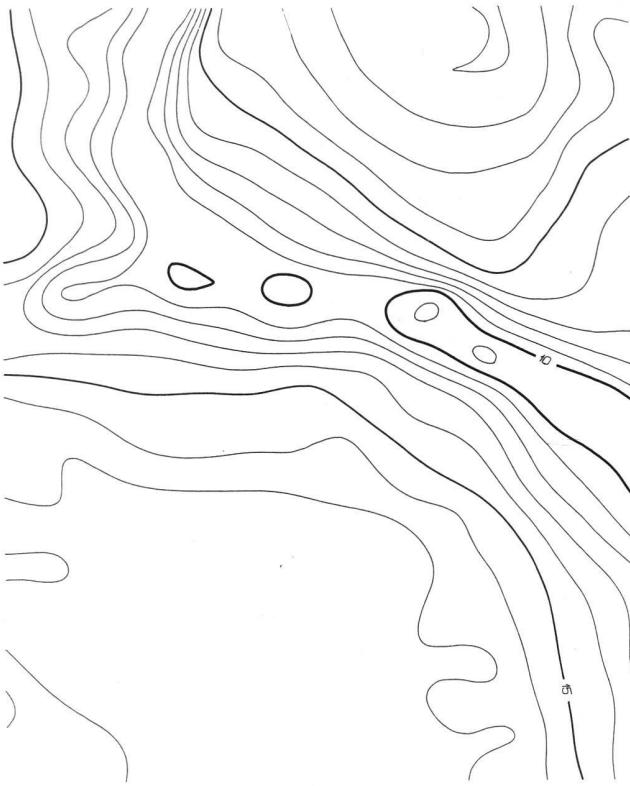
Die Interpolation innerhalb der Dreiecke fällt recht kompliziert aus, insbesondere wenn Stetigkeit in den Eckpunkten und auf den Kanten gefordert wird. F. Bauhuber, V. Erlacher und P. Günther⁷ schlagen vor, dass alle Dreiecke in kongruente Subdreiecke zu zerlegen sind. Dies erweist sich als rechenintensiv und macht die durch den Verzicht auf eine Rastereinteilung gewonnene Rechenzeit zum Teil wieder zunichte. Eine variable Unterteilung der Dreiecke ist daher von grossem Nutzen, wobei die Struktur des Geländes als Einteilungskriterium herangezogen werden kann. Über weite Bereiche genügt es somit, die Schnittpunkte der Höhenkote mit den Dreiecksanten zu berechnen und weitere Höhenlinienpunkte nur in steilem oder strukturiertem Gelände zu bestimmen.

Die Berechnung der Höhenlinien kann in folgende Schritte zusammengefasst werden:

- Einteilung des Gebietes in Dreiecke;
- Berechnung der Flächennormalen in den Stützpunkten;



Beispiel 1 Geländeausschnitt Kolumbien, Massstab 1 : 10 000, reduziert auf 1 : 20 000



Beispiel 2 Deutsche Grundkarte DGK 5, Massstab 1 : 5000, Blatt Stutebüll, Schleswig-Holstein

- c) Bestimmung der Schnittpunkte der Höhenketten mit den Kanten der räumlich gekrümmten Dreiecke;
- d) Ergänzung der Schnittpunkte durch Unterteilung der Dreiecke, wenn das Gelände dies erfordert (z. B. nach Grösse der Gradientänderung).

Die zur Durchführung der Interpolation notwendigen Beziehungen sind in Referenz⁷ zusammengefasst, und auf eine Wiederholung wird an dieser Stelle verzichtet.

4. Diskussion

4.1 Richtungskorrelation

Die drei diskutierten Methoden scheinen völlig verschieden und ohne irgendwelchen Zusammenhang den Punkt-dichten angepasst. Bei genauerer Betrachtung fällt jedoch auf, dass alle drei Methoden die Richtungskorrelation der Messpunkte berücksichtigen.

Die Richtungskorrelation steht im Gegensatz zu den meist angewandten Korrelationen, die rein distanzabhängig angesetzt werden. Unsere Erfahrungen haben gezeigt, dass reine Distanzcorrelation nicht verhindern kann, dass Einsattelungen in Kammgebieten auftreten, Täler unterbrochen oder vorgeschoßene Hügel abgeschnitten werden. So ist es nahezu ausgeschlossen, ohne Richtungskorrelation und ohne den Einsatz von Bruchkanten Kreten und Flussläufe richtig wiederzugeben. Die Richtungskorrelation wird in der ersten Methode dadurch erzielt, dass die Höhe zwischen zwei Messpunkten allein durch die Höhen dieser Punkte und ihren Flächennormalen dargestellt wird, wie dies auch bei der Dreiecksmethode der Fall ist. Diese Verbindungslinien werden durch Polynome dritten Grades dargestellt und gehen stetig in die Flächennormalen in den Stützpunkten über. Unerwünschte Einsattelungen und Überhöhungen werden damit vermieden. In der zweiten Methode wird die Richtungskorrelation direkt durch die winkel-abhängige Gewichtsfunktion $g(\varphi)$ bei der Minimisierung der Krümmung erzielt, wobei die Gewichtung, wie erwähnt, entsprechend der Punktdichte erfolgt.

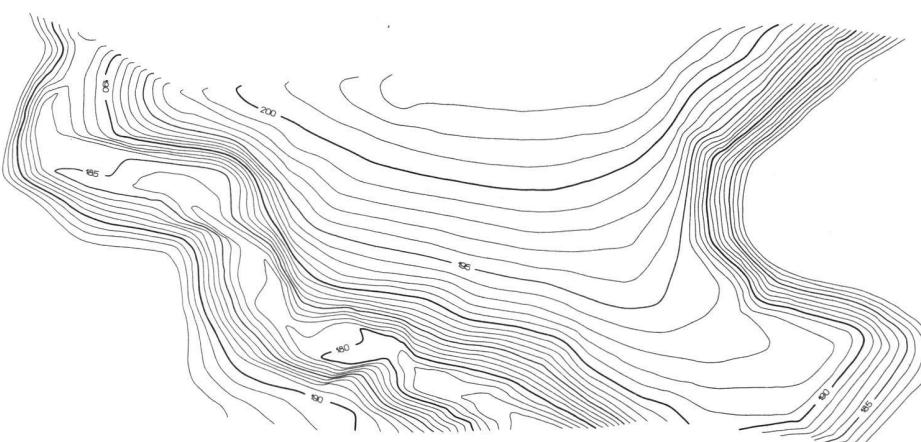
Die Anwendung der Richtungskorrelation erübrigt in vielen Fällen die Einführung von Bruchkanten und macht teilweise Messpunkte auf Kreten und in Talsohlen überflüssig (vgl. Beispiel 3).

4.2 Bruchkanten

Bruchkanten (Unstetigkeiten) stellen ein zusätzliches Element dar, die Struktur eines Geländes zu beschreiben. Sie sind besonders bei der Einbeziehung von Kunstbauten, wie sie z. B. bei Halden und Straßenbauten auftreten, von Nutzen. Am einfachsten sind Bruchkanten bei der Methode der Dreiecke zu berücksichtigen, indem bei der Festlegung der Dreiecke zusätzlich zum Kreiskriterium noch die Bedingung erfüllt werden muss, dass Bruchkanten immer Dreiecksanten sind.

4.3 Glätten der Höhenlinien, Generalisierung

Ein speziell zu beleuchtender Punkt stellt die Interpolation und die Glättung innerhalb der Höhenlinien dar. Sie kann auf verschiedene Weise erfolgen und kann bei ungenügender Sorgfalt das Resultat verfälschen. Es ist offensichtlich, dass die bei Rasterung oder Dreiecksvermaschung ermittelten Höhenlinienpunkte eine gewisse Unsicherheit mitführen, die einerseits auf den Interpolationsansatz und anderseits auf die Varianz der



Beispiel 3 Projekt «Urwaldstrasse», Massstab 1 : 2000

Messpunkte selbst zurückzuführen ist. Diese Tatsache führt dazu, dass Höhenlinien je nach der angewandten Interpolationsmethode in ihrer Lage variieren können. Es ist deshalb gegenstandslos, Geländedetails, die kleiner als diese Unsicherheiten sind, darstellen zu wollen. Vielmehr kann die Höhenlinie als jene Linie definiert werden, die innerhalb der Unsicherheiten der Höhenlinienpunkte das kleinste Integral über die Krümmungsquadrate (Signifikanzband) aufweisen (Abb. 1). Dies wird numerisch durch die Anwendung Finiter Elemente und der Relaxationsmethode erreicht. Die gegebene Varianz der Messpunkte wird mit Hilfe des inversen Gradienten in eine Unsicherheit der Lage der Höhenlinie in der x-, y-Ebene transformiert. Diese Art der Darstellung der Isolinien ermöglicht gleichzeitig eine Generalisierung des Schichtlinienbildes, indem die gegebene Varianz vergrößert wird.

Sicher ist, dass die Generalisierung nicht durch die Glättung der ursprünglichen Messpunkte erreicht werden kann, weil damit im Grenzfall Täler und Höhen ausgeebnet werden und dies dem Wunsch zuwiderläuft, zwar ein möglichst vollständiges Höhenlinienbild aber nur in grossen Zügen darzustellen. Der durch das Gelände gegebene Gradient definiert für jeden Ort das Mass für die Glättung und gewährt eine Generalisierung, die frei von Verfälschungen des Höhenlinienbildes ist.

Die Glättung der Höhenkurven erfolgt nicht über eine Änderung des Geländemodells, sondern über eine gewichtete Veränderung des den Höhenkurven zugeordneten Varianzbandes zusammen mit der Bedingung des kleinsten Krümmungsintegrals über die ganze Kurve.

5. Möglichkeiten der graphischen Darstellung

Die Vielzahl von möglichen Anwendungsgebieten verlangt ein hohes Mass an Flexibilität des graphischen Outputs.

Die zurzeit einsetzbaren Varianten sind:

- freie Wahl der Strichstärkenzuordnung (drei verschiedene Strichstärken)
- Wahl der Schriftgrösse und Zuordnung zu einer gewissen Äquidistanz. Wahl der Strichstärke
- Mehrfachbeschriftung. Wahl des Intervalls

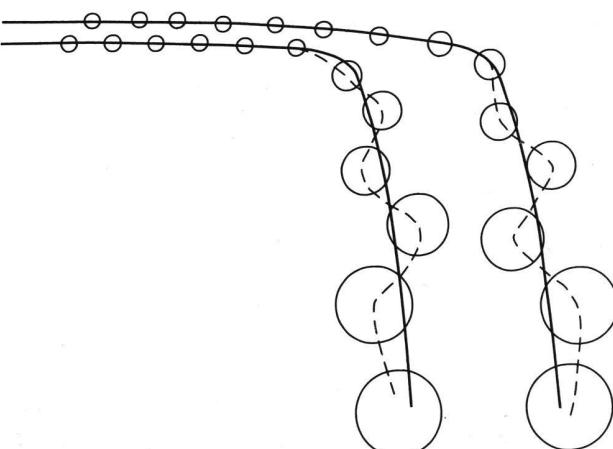


Abbildung 1 Signifikanzband



Beispiel 4 Kiesgrube Friedingen, Massstab 1 : 500

- Markieren der Passpunkte (Gitternetz). Vier verschiedene Symbole
- Unterbrechen der Höhenkurve bei zu grosser Dichte. Eingabe einer charakteristischen Strichbreite
- Wahl eines Ausschnitts
- Definition von Aussparflächen

6. Weitere Anwendungsmöglichkeiten digitaler Geländemodelle

6.1 Oberflächen- und Volumenberechnung

Das Vorliegen eines Geländemodells kann gleichzeitig zur Oberflächen- und Volumenberechnung benutzt werden. Das Programm ermittelt selbständig eine Basishyperfläche. Damit umgeht man bis zu einem gewissen Grad die Schwierigkeit einer eindeutigen Definition des Basisgeländes (vgl. Beispiel 4, Kiesgrube).

6.2 Sendeschatten

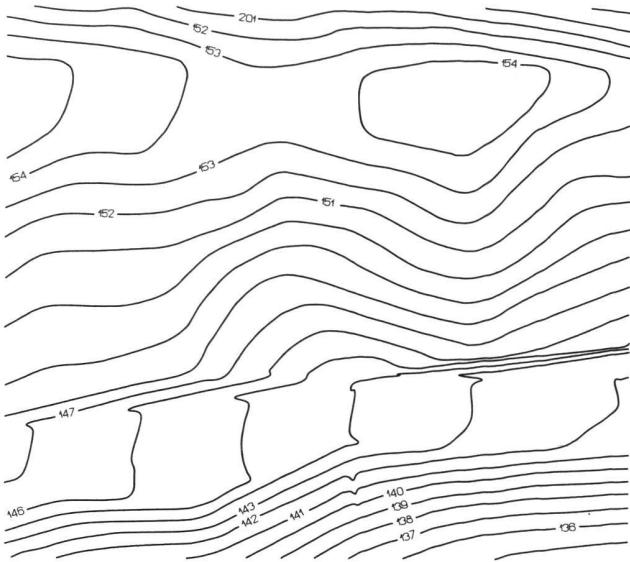
Digitale Geländemodelle (als Raster oder Dreiecksvermaschung) können zur Auswertung von Sendeschatten verwendet werden. Dabei werden Gebiete, die mit dem Sendestandort nicht in geradliniger Verbindung stehen, rechnerisch ermittelt und graphisch, je nach Wunsch, durch Schraffur oder Umriss dargestellt.

6.3 Dreidimensionale Darstellung

Digitale Geländemodelle in Rasterform eignen sich, um dreidimensionale Bilder zu erzeugen. Der dreidimensionale Raster wird dazu entsprechend der Blickrichtung in die Zeichenebene projiziert und die für den Beobachter verdeckten Gebiete in der Zeichnung ausgespart.

7. Anwendungsbeispiele

Alle folgenden Ausschnitte von Arbeitsbeispielen sind in Schichtgravur mit dreifacher Tangentialsteuerung auf der neuen Präzisionszeichenanlage Coradomat MK III der G. Coradi AG ausgeführt worden. Die Minirechnerkonfiguration (General Automation SPC 16) entspricht der im Abschnitt «Zielsetzung» beschriebenen Anlage mit Lineprinter und alphanumerischem Display. Die Zykluszeit der Zentraleinheit beträgt 980 nsec, wobei die Zentraleinheit über keine schnelle arithmetische Einheit verfügt.



Beispiel 5 Straßenbauprojekt «Wales», Massstab 1 : 1000

Beispiel 1:

Geländeauschnitt Kolumbien, Massstab 1 : 10 000
Photogrammetrische Auswertung (Wild Heerbrugg) in zwei relativ orientierten Modellen mit total ca. 17 000 Messpunkten. Die Aufnahme erfolgt zum Zweck der Herstellung eines Orthophotos. Das Datenformat entsprach den Bedingungen des Programmpaketes SORA-OP von Wild.

Ausführung: Räumliche Transformation der Modelle, Zusammenfügen der Modelle, Rasterung der gemessenen Punkte nach Methode 1. Schichtlinieninterpolation im resultierenden Raster. Parameterwahl: Äquidistanz 20 m, Varianz der Messpunkte 2 m, Strichstärke 0,1 bzw. 0,2 mm, Schriftgrösse 1,1 mm. Totale Rechenzeit 35 Minuten. Anzahl Kurvenstützpunkte ca. 35 000, Zeichenzeit 1 Stunde.

Beispiel 2:

Deutsche Grundkarte DGK 5, Massstab 1 : 5000, Blatt Stutetbüll, Schleswig-Holstein

Photogrammetrische Auswertung (LVA Schleswig-Holstein) in zwei Modellen, total ca. 3100 Geländepunkte. Verschiedene Punktdichten in den zwei Modellen.

Ausführung: Räumliche Transformation der Modelle, Zusammenfügen der Modelle, Rasterung der Geländepunkte nach Methode 2. Schichtlinieninterpolation im resultierenden optimalen Raster. Parameterwahl: Äquidistanz 1 m, Varianz der Messpunkte 0,15 m, Strichstärken 0,1, 0,2, 0,3 mm. Schriftgrösse 1,1 mm. Totale Rechenzeit 3 Stunden. Anzahl Kurvenstützpunkte 44 730, Zeichenzeit 1 Stunde.

Besonderheit: etwas geringe Stützpunktdichte zur Interpolation.

Beispiel 3:

Projekt «Urwaldstrasse», Massstab 1:1000

Terrestrische Auswertung (Daten zur Verfügung gestellt von der Firma Kirchner & Wolf, Hildesheim). Total ca. 1000 Messpunkte mit starken Unterschieden in der Verteilung.

Ausführung: Dreiecksvermaschung ohne Bruchkanten, Schichtlinieninterpolation im resultierenden Dreiecksnetz, Äquidistanz 1 m, Varianz der Geländepunkte 0,1 m. Berechnung auf Univac U 1106: CPU-Zeit 150 sec, Zeichenzeit 1 Stunde.

Besonderheit: Trotz Fehlen von Bruchkanten gute Darstellung der Unterschiede in der Geländestruktur (Flussbett) als Folge der dem Gelände angepassten Aufnahmen der Messpunkte.

Beispiel 4:

Kiesgrube Friedingen, Massstab 1 : 500

Terrestrische Aufnahme (Ingenieurbüro Scherer, Radolfzell). Total ca. 300 Messpunkte, die grösstenteils als Bruchkanten definiert wurden. Die Aufnahme erfolgte zum Zwecke der Volumenbestimmung.

Ausführung: Umrechnung der REG-ELTA-Daten in absolute kartesische Koordinaten. Dreiecksvermaschung mit Bruchkanten, Äquidistanz 1 m, Varianz der Messpunkte 0,1 m. Rechenzeit 3 min inkl. Volumenberechnung, Zeichenzeit 15 min.

Besonderheit: gute Darstellung des schwierigen Geländes. Die zugrunde liegende Dreiecksstruktur ist nicht erkennbar.

Beispiel 5:

Strassenbauprojekt «Wales», Massstab 1 : 1000

Terrestrische Aufnahme (Robertson Research Ltd., Wales GB). Total ca. 420 Punkte. Ungefähr die Hälfte davon in Bruchkanten.

Ausführung: Dreiecksvermaschung mit Bruchkanten, Äquidistanz 1 m, Varianz der Messpunkte 0,15 m. Berechnung auf Univac 1106: CPU-Zeit 120 sec.

Literatur

- (1) K. Kraus: Automatische Berechnung digitaler Höhenlinien, ZfV 96, 1971, S. 233–239.
Interpolation nach kleinsten Quadraten in der Photogrammetrie, Bul 40, 1972, S. 3–8.
- (2) K. R. Koch: Digitales Geländemodell und automatische Höhenliniendarstellung, ZfV 8, 1973, S. 346–352.
- (3) D. Shephard: A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data, Assoc. for Computing Machinery, Proceedings, 1968, p. 317–323.
- (4) D. S. Connelly: An Experiment in Contour Map Smoothing on the ECU Automated Contouring System, Cart. J., 8, 1, 1971, p. 59–66.
- (5) P. Bézier: Numerical Control, John Wiley & Sons, London 1970.
- (6) R. E. Barnhill and R. F. Riesenfeld: Computer Aided Design, Academic Press, New York 1974, p. 237.
- (7) F. Bauhuber, V. Erlacher und P. Günther: Bildmessung und Luftbildwesen, Heft 3, 1975, S. 103–107.

Adresse der Verfasser:

Dr. G. Zumofen, dipl. Nat. ETH, Institut für Molekularspektroskopie ETHZ; Dr. M. Leoni, dipl. Nat. ETH, G. Coradi AG, Rümlangstrasse 91a, 8052 Zürich