



Analyse und geomorphologische Verbesserung von Geländemodellen mittels Regensimulation

Peter Dorninger ¹

¹ *Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, Technische Universität Wien, Gußhausstraße 27-29, A-1040 Wien*

VGI – Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation **91** (4), S. 253–261

2003

BibT_EX:

```
@ARTICLE{Dorninger_VGI_200332,  
  Title = {Analyse und geomorphologische Verbesserung von Geländemodellen  
          mittels Regensimulation},  
  Author = {Dorninger, Peter},  
  Journal = {VGI -- Österreichische Zeitschrift für Vermessung und  
            Geoinformation},  
  Pages = {253--261},  
  Number = {4},  
  Year = {2003},  
  Volume = {91}  
}
```





Analyse und geomorphologische Verbesserung von Geländemodellen mittels Regensimulation

Peter Dorninger, Wien

Zusammenfassung

In den vergangenen Jahren etablierte sich das Laserscanning als effiziente Methode zur Erfassung der Topographie eines Gebietes. Im Gegensatz zur analytischen Luftbilddauswertung bietet Laserscanning keine Möglichkeit zur direkten Erfassung und anschließenden Modellierung von Geländekanten. Der Grad der geomorphologischen Strukturierung des erfassten Modells kann daher nur durch die Punktdichte beeinflusst werden.

Im folgenden Artikel wird eine Methode zur Ableitung von Geländekanten aus Laserscanner-Daten beschrieben. Diese können in die weitere Modellierung des Geländes integriert werden. Die angewandte Methode basiert auf Regensimulationsalgorithmen. An Hand von Beispielen werden zwei unterschiedliche Anwendungsmöglichkeiten dieser Methode beschrieben. Im ersten Beispiel werden Strukturkanten zur großräumigen Verbesserung des gesamten Interessensgebietes lage- und höhenmäßig abgeleitet. Im zweiten Beispiel werden durch die Erfassungsmethode bedingte, kleinräumige, geomorphologische Fehlstrukturen eines Geländemodells eliminiert.

Abstract

In the last years, laser scanning has established as an efficient method for the determination of the topography of an area. In contrary to the analytical analysis of aerial images, laser scanning does not enable the direct determination of structure lines. Therefore the level of detail can only be influenced through the point density.

In the following, a method for derivation of structure lines from laser scanner data is described. These lines can be used to improve the terrain model. The method used is based on rain simulation algorithms. Finally two different applications of this method are described with examples. The first example demonstrates the derivation of structure lines for large area improvement of the terrain model. The second example shows the elimination of erroneous small geomorphological structures from an elevation model.

1. Einleitung

Laserscanning ermöglicht die Erfassung der Topographie eines Gebietes durch die Bestimmung vieler Oberflächenpunkte in Form einzelner Punktmessungen. Die Modellierung der Oberflächenstruktur kann durch den gewählten Punkt-Abstand beeinflusst werden: Je kleiner der Punkt-Abstand (abhängig einerseits von der gewählten Flughöhe; andererseits von der Messwiederholfrequenz des verwendeten Aufzeichnungsgerätes), desto detaillierter erfolgt die Erfassung der Geländestruktur. Die zur mathematischen Modellierung verwendeten Methoden haben als vorrangiges Ziel die Schaffung einer homogenen, an den jeweiligen Verwendungszweck angepassten Oberfläche. Dies bedingt eine Glättung des zu modellierenden Geländes. Mit anderen Worten: Auch eine sehr fein aufgelöste Punktwolke vermag es nicht unmittelbar unsteige Oberflächenstrukturen zu modellieren. Es wird somit stets zu Abrundungen im Bereich von Geländekanten (Dammkronen, Felskanten, Talsohlen, . . .) kommen.

Zur Verbesserung des direkt aus den gegebenen Punkten ermittelten Oberflächenmodells ist

es daher sinnvoll, wenn nicht gar notwendig, eben solche Unstetigkeitsstellen der Geländeoberfläche aufzufinden, gezielt zu modellieren und in weiterer Folge gemeinsam mit dem ermittelten regelmäßigen Raster zu verwalten bzw. weiter zu prozessieren. Entsprechende Softwareapplikationen zur Verwaltung und Bearbeitung der Modelle sowie geeignete Dateiformate sind hierfür notwendig. Beispielsweise die am I.P.F. entwickelte topographische Datenbankapplikation TopDM bietet entsprechende Funktionalität. Diese beschreibt Hochstöger [1].

Im Folgenden wird eine Methode zur Bestimmung derartiger Strukturelemente mit Hilfe rasterbasierter DGM-Analysemethoden unter Anwendung von Regensimulation beschrieben. Anschließend wird die Anwendung dieser Methode an Hand zweier Beispiele erläutert. Im ersten Beispiel werden aus einer gegebenen Punktwolke Geländekanten abgeleitet und anschließend in das Modell eingebunden, um die Struktur zu verbessern. Im zweiten Beispiel wird an Hand eines Datensatzes in bewaldetem Gebiet gezeigt, wie geomorphologische Fehlerstrukturen beseitigt werden können.

2. Methodik der Regensimulation

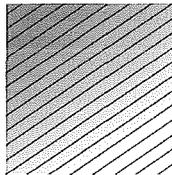
Die in den Kapiteln 3 und 4 beschriebenen Ergebnisse basieren auf Berechnungen mit Hilfe des Moduls ‚Surface Exploration‘ der Geländemodellapplikation SCOP++ [2]. Dieses Programm ermöglicht verschiedene, rasterbasierte Geländemodellanalysen. Als Ausgangsdatensatz wird ein regelmäßiger Punktraster, im weiteren als Matrix bezeichnet, verwendet. Dieser kann beispielsweise mit Hilfe Linearer Prädiktionsmethoden [3] aus der ursprünglich gemessenen Laserscannerpunktswolke bestimmt werden.

‚Surface Exploration‘ bietet drei Möglichkeiten zur rasterbasierten, mathematischen Analyse eines Geländemodells: Die Berechnung von Neigungs-, Krümmungs- und Ausrichtungskarten. Darauf wird im Folgenden jedoch nicht näher eingegangen. Es sei hier auf Rieger [4] verwiesen.

Die hydrologischen Analysemethoden basieren auf der Anwendung systolischer Prozesse (Regensimulation). Diese ermöglichen die Bestimmung abflussloser Gebiete (lokale Minima) sowie eine Abflussanalyse, welche in weiterer Folge die Ableitung von Flussläufen sowie deren zugehöriger Einzugsgebiete erlaubt. Eine weiterführende Beschreibung der verwendeten Methoden geben Kraus [3] und Rieger [5]. Das Grundprinzip ist wie folgt:

Geländehöhen – schräge Ebene

90	88	86	84	82
87	85	83	81	79
84	82	80	78	76
81	79	77	75	73
78	76	74	72	70



Beregnung 1:

1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

Abfluss 1:

0.0	0.4	0.4	0.4	0.4
0.6	1.0	1.0	1.0	1.0
0.6	1.0	1.0	1.0	1.0
0.6	1.0	1.0	1.0	1.0
0.6	1.0	1.0	1.0	1.0

Beregnung 2:

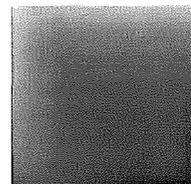
1.0	1.4	1.4	1.4	1.4
1.6	2.0	2.0	2.0	2.0
1.6	2.0	2.0	2.0	2.0
1.6	2.0	2.0	2.0	2.0
1.6	2.0	2.0	2.0	2.0

Abfluss 2:

0.0	0.4	0.6	0.6	0.6
0.6	1.2	1.6	1.6	1.6
1.0	1.8	2.0	2.0	2.0
1.0	1.8	2.0	2.0	2.0
1.0	1.8	2.0	2.0	2.0

Abfluss 8 (Gleichgewicht):

0.0	0.4	0.6	0.6	0.7
0.6	1.5	1.9	2.1	2.2
1.0	2.3	3.1	3.5	3.8
1.2	2.8	4.0	4.7	5.1
1.3	3.2	4.7	5.7	6.4



Prinzip - Iteration von Beregnung u. Abfluss

Beregnung: In jedem Flächenelement wird eine Einheit Wasser eingebracht

Abfluss: Basierend auf der Neigung zu den Nachbarelementen (4) wird der Abfluss bestimmt

Abbruch: Bei Erreichen des Gleichgewichts

Abb. 1: Prinzip der Regensimulation

Per definitionem wird in jedem Punkt der Geländeoberfläche die gleiche Menge Wasser eingebracht. Anschließend wird an Hand der in jedem Matrixelement vorherrschenden Neigungsverhältnisse zu seinen Nachbarelementen der richtungsabhängige Abfluss dieser Wassereinheiten bestimmt, ehe erneut in jedem Element die selbe Wassermenge eingebracht wird. Dieser Vorgang wird so oft wiederholt, bis sich ein Gleichgewichtszustand einstellt. Dies ist vergleichbar mit einer permanent andauernden, homogenen Niederschlagsverteilung auf das gesamte Interessensgebiet. Auf Grund der Geländestruktur werden sich Flüsse bilden, sobald genügend Wasser vorhanden ist. Diese suchen sich nun ihren Weg entlang der Falllinie. Stößt ein Fluss auf ein lokales Minimum, so endet der der Schwerkraft folgende Flusslauf. Anschließend wird das Wasser so lange aufgestaut, bis der tiefste Punkt am Rand der Mulde erreicht ist. Von nun an kann das Wasser wieder der Schwerkraft folgend fließen. Die Überlagerung der Flussläufe und Mulden liefert somit ein realistisches Bild des Wasserverlaufes auf einer Oberfläche bei permanentem Niederschlag.

Die Methode der Abflussermittlung ist in Abbildung 1 an Hand eines einfachen Zahlenbeispiels beschrieben. Das betrachtete Gebiet ist eine schräge Ebene, welche durch eine Matrix von 5 mal 5 Stützpunkten gegeben sei. Auf jedes Matrixelement wird im ersten Schritt eine Wasse-

reinheit eingebracht. Als nächstes wird, basierend auf der Neigung zu den jeweiligen Nachbar-elementen, der entsprechende Abfluss bestimmt. Anschließend erfolgt eine erneute ‚Beregnung‘ des Gebietes. Die beiden Schritte *Beregnung* und *Abflussermittlung* werden so oft wiederholt, bis sich über das gesamte Gebiet ein Gleichgewichtszustand einstellt. Dieser ist erreicht, wenn eine erneute Iteration keine Veränderung im Abflussverhalten bewirkt.

3. Ableitung von Geländekanten – Schneeealm

Wie in Kapitel 2 beschrieben erlaubt die Methode der Abflussermittlung in weiterer Folge die Ableitung möglicher Flussläufe. Diese werden sich auf Grund ihrer Definition stets entlang von Tälern bilden. Definiert man die so gewonnenen dreidimensionalen Vektoren im abzuleitenden Modell als Kanten (Unstetigkeitsstellen), so kann die geomorphologische Struktur der modellierten Oberfläche erheblich verbessert werden. Länge und Anzahl der ermittelten Flüsse kann durch die Angabe zweier Parameter beeinflusst werden. Diese sind die minimale Fläche der Einzugsgebiete, welche zur Ausbildung von Flusselementen führen, sowie die minimale Flusselementlänge.

Testgebiet ist der Bereich der Schneeealm, ein Bergstock aus Kalkgestein im Nordosten der Steiermark. Die Schneeealm ist als wichtiges Trinkwasserreservoir der Bundeshauptstadt Wien bekannt. Das betrachtete Gebiet erstreckt sich nahezu quadratisch auf eine Fläche von rund 90 km². Der Originaldatensatz stammt von einer ‚herkömmlichen‘, analytischen Luftbildstereoauswertung und enthält rund 55.000, überwiegend gittermäßig angeordnete Einzelpunkte sowie Kanten und Formlinien. Der Unterschied zwischen Kante und Formlinie besteht darin, dass eine Kante tatsächlich eine Linie mit unstetiger Krümmung im Modell bildet, während eine Formlinie lediglich eine verstärkte Krümmung des Modells quer zu einer solchen Linie bewirkt.

Für die folgenden Betrachtungen wurden zunächst die gemessenen Strukturlinien aus dem Datensatz entfernt. Somit stand eine reine Punktwolke, vergleichbar mit dem Ergebnis einer Laserscannerkampagne, zur Verfügung. Die Abbildungen 2 und 3 zeigen Visualisierungen in Form von Schräglichtbeleuchtungen eines aus den Originaldaten (inkl. Kanten) abgeleiteten Geländemodells sowie des Modells ohne Kanten. Für die weiteren Berechnungen wurde das Modell ohne Kanten herangezogen.

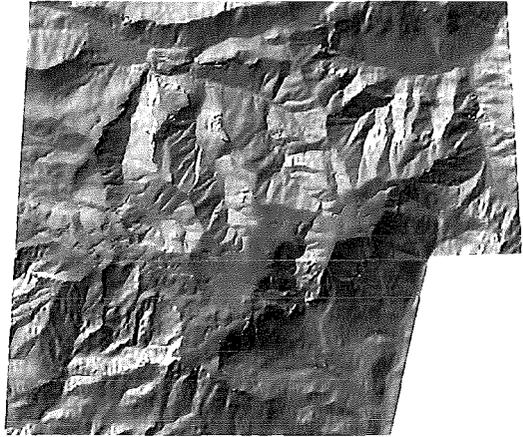


Abb. 2: Schräglichtbeleuchtung des Originalmodells



Abb. 3: Schräglichtbeleuchtung des Modells ohne Kanten

Zunächst wurden mit Hilfe der Abflussanalyse die Flussläufe ermittelt. Diese sind in Abbildung 4 dargestellt. Um mit der gleichen Methode auch Kanten entlang von Bergrücken auffinden zu können, wurde das Geländemodell invertiert. D.h. bei gleichbleibenden Lagekoordinaten wurden die entsprechenden Höhen mit negativen Vorzeichen versehen. Anschließend wurde eine Abflussanalyse durchgeführt. Abbildung 5 zeigt das invertierte Modell gemeinsam mit den daraus abgeleiteten ‚Flussläufen‘. Diese sind, auf Grund ihrer Definition, äquivalent zu einer Teilmenge der Einzugsgebietsgrenzen, welche in der Natur die Wasserscheiden definieren.

Die Zusammenführung beider Ergebnismengen ermöglicht die Einbindung sowohl von Kanten in Tälern wie auch auf Bergrücken. Eine Überlagerung der automatisch abgeleiteten Kanten

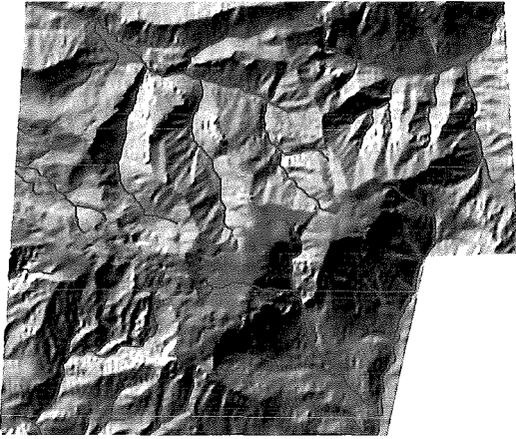


Abb. 4: Abgeleitete Flussläufe

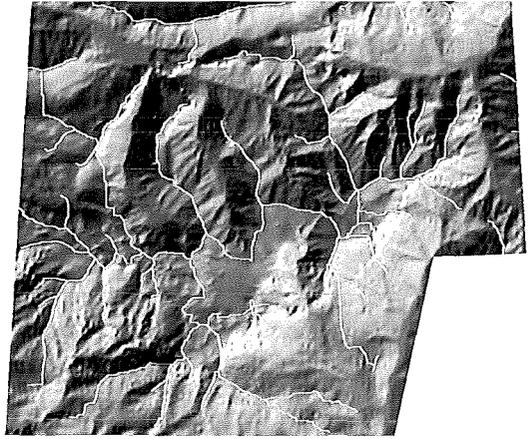


Abb. 5: Aus dem invertierten Modell abgeleitete „Flussläufe“

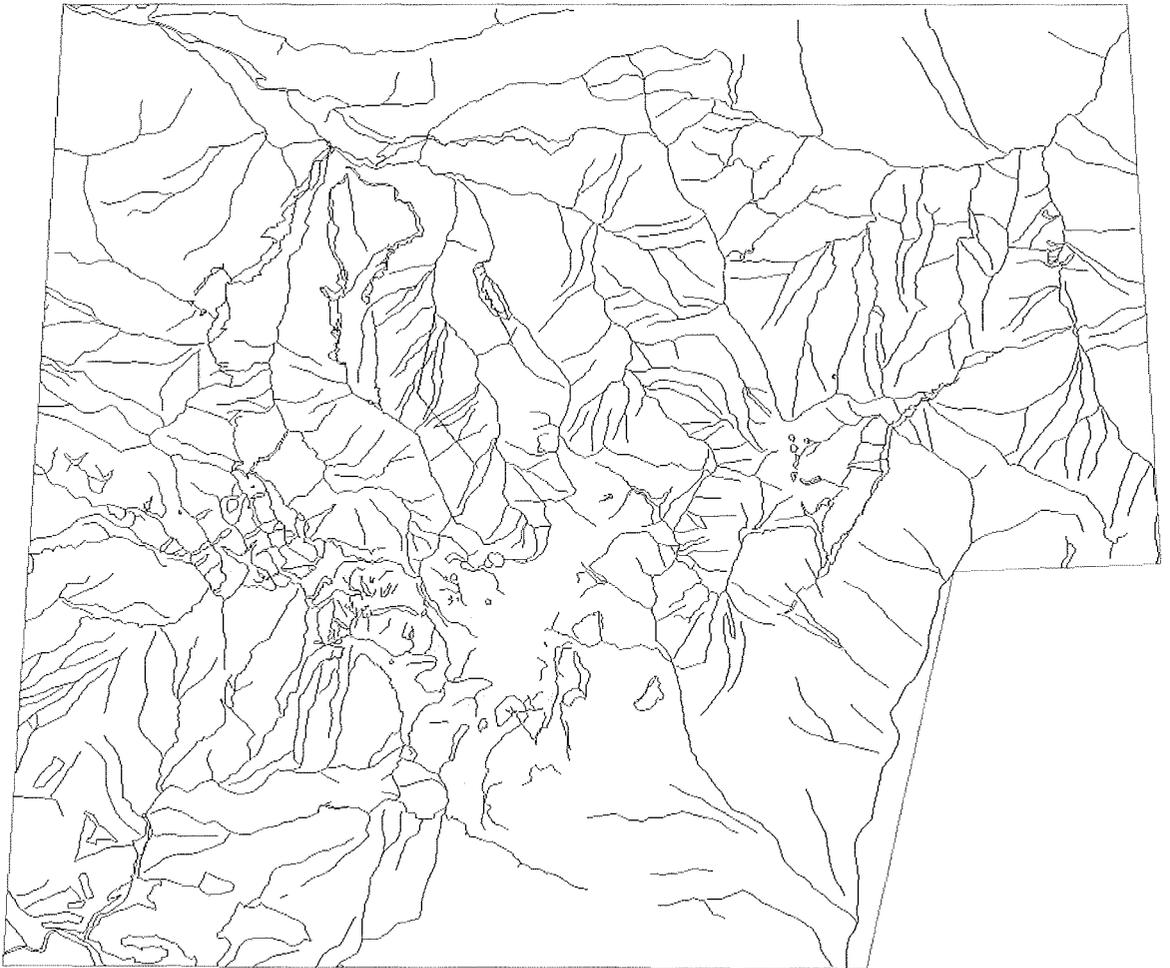


Abb. 6: Kanten aus der Luftbildauswertung



Abb. 7: Abgeleitete Flussläufe und Originalkanten

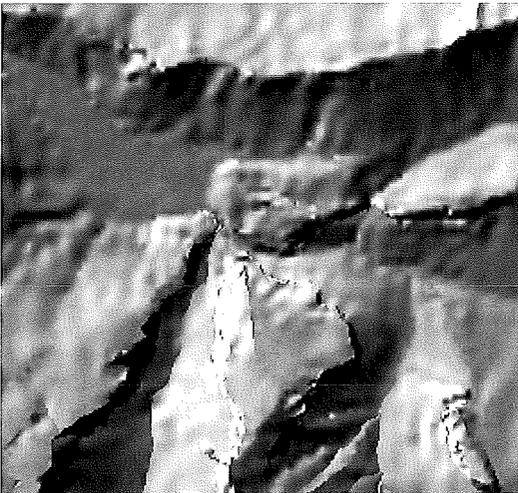


Abb. 8: Originalmodell

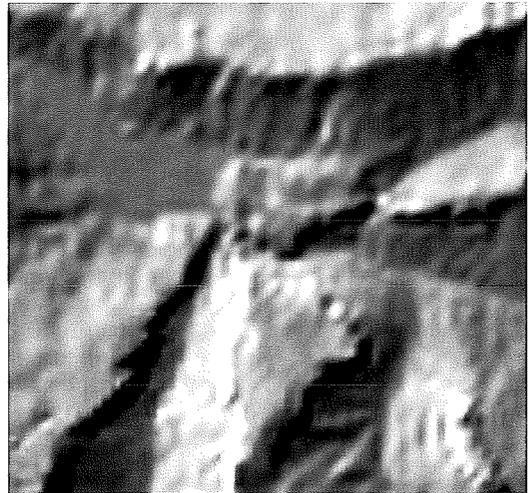


Abb. 9: Modell ohne Kanten

mit jenen im Rahmen der Luftbilddauswertung gemessenen zeigt in vielen Bereichen Deckungsgleichheit. Abbildung 6 zeigt die ausgewerteten Kanten; Abbildung 7 eine Überlagerung aus Flussläufen und den Kanten des Originalmodells.

Die Auswirkung der Einbindung von Kanten in die Modellbildung ist an Hand eines Ausschnittes im Nordwesten des Testgebietes demonstriert. Abbildung 8 zeigt das Originalmodell inklusive Kanten (Teilgebiet von Abbildung 2). Abbildung 9 zeigt das selbe Gebiet, berechnet ohne der Einbindung von Kanten (Teilgebiet von Abbildung 3). Abbildung 10 zeigt das durch Flussläufe verbesserte Modell (Zusammenführung der gemessenen Punktdaten und der abgeleiteten dreidimensionalen Vektoren).

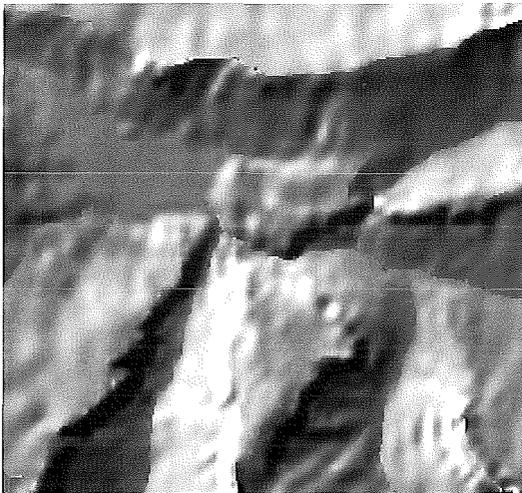


Abb. 10: Verbessertes Modell

Nicht jedes Gelände ist für die Anwendung dieser Methode der Kantendetektion geeignet. Vor allem in flachen Bereichen wird die Lagedefinition ungenau und der Algorithmus neigt zur Mäanderbildung.

Die unmittelbar erzielbare Höhengenaugigkeit der extrahierten Kanten lässt nicht immer eine direkte Einbindung in das gegebene Modell zu. Auf Grund der guten Lagegenauigkeit (siehe Abbildungen 6 und 7) stellen sie jedoch gute und vor allem automatisiert abgeleitete Ausgangsbedingungen für eine weitere Prozessierung zur Ermittlung der Höhe dar. Beispielsweise ermöglicht die Berechnung diskreter Approximationsebenen entlang beider Seiten einer solchen Näherungskante und deren anschließende Verschneidung eine exakte Modellierung der entsprechenden Geländekante. Die Grundlagen dieser Methode beschreiben Briese et. al. [6].

Über dies scheint es sinnvoll, die Analyse der Wasserscheiden und das Ergebnis der Flussanalyse zusammenzuführen und gemeinsam zu betrachten. Eine qualitative Bewertung könnte beispielsweise mit Hilfe von Neigungsmodellen durchgeführt werden, da offensichtlich in flachen Bereichen die Qualität der Ergebnisse abnimmt.

4. Elimination geomorphologischer Fehlstrukturen – Wienerwald

Wie bereits erwähnt, ist die geomorphologische Definition eines Geländes, abgeleitet aus reinen Punktdatenbeständen, nicht exakt möglich. Trifft beispielsweise ein Laserpunkt tatsächlich am tiefsten Punkt eines Grabens auf und definiert somit einen Geländepunkt an dieser Stelle, befinden sich die beiden ihm am nächsten gelegenen Messpunkte jedoch höhenmäßig versetzt zur tiefsten Stelle des Grabens, so wird das Modell durch diese beiden Punkte im Bereich des Grabens deformiert und im Rahmen der Modellbildung wird sich ein künstlicher, in der Natur nicht vorhandener Damm ausbilden. Abbildung 11 zeigt den Isolinienplot eines Bereiches, in dem derartige Deformationen auftreten. Im Folgenden wird eine Methode zur Bereinigung des Modells von derartigen Fehlern beschrieben.

Der herangezogene Testdatensatz ist im Bereich des Wienerwaldes. Er stammt von einem Pilotprojekt der Magistratsabteilung 41 der Stadt Wien [7]. Das gesamte Gebiet ist rund 90 km² groß und wurde mit dem TopScan ALTM 1020 mit rund 9 Millionen Punkten erfasst. Der mittlere Punktabstand beträgt rund 3,1 m. Die folgenden Betrachtungen werden an Hand eines Teilbereichs des Modells durchgeführt. Die gezeigten Beispiele wurden von Molnar (I.P.F.) und Gaisky (Universität Zagreb) berechnet.

Das in Abbildung 11 durch Isolinien repräsentierte Gebiet wurde einer Abflussanalyse unterzogen. Die dabei aufgefundenen abflusslosen Gebiete, im weiteren als Mulden bezeichnet, sind in Abbildung 12 visualisiert.

Um die im Modell enthaltenen Mulden zu beseitigen, werden sogenannte Muldenpfade gesucht. Diese sind wie folgt definiert:

Der Start eines Muldenpfades ist am tiefsten Punkt einer Mulde, der sogenannten Basis. Von dort führt er aufwärts zum Abflusspunkt, also dem tiefsten Sattelpunkt am Rand der Mulde, ehe er wieder abwärts zur Basis der nächstgelegenen Mulde weiterführt. Startet man an der höchst gelegenen Mulde und arbeitet sich von Mulde zu Mulde immer tiefer hinab, erhält man

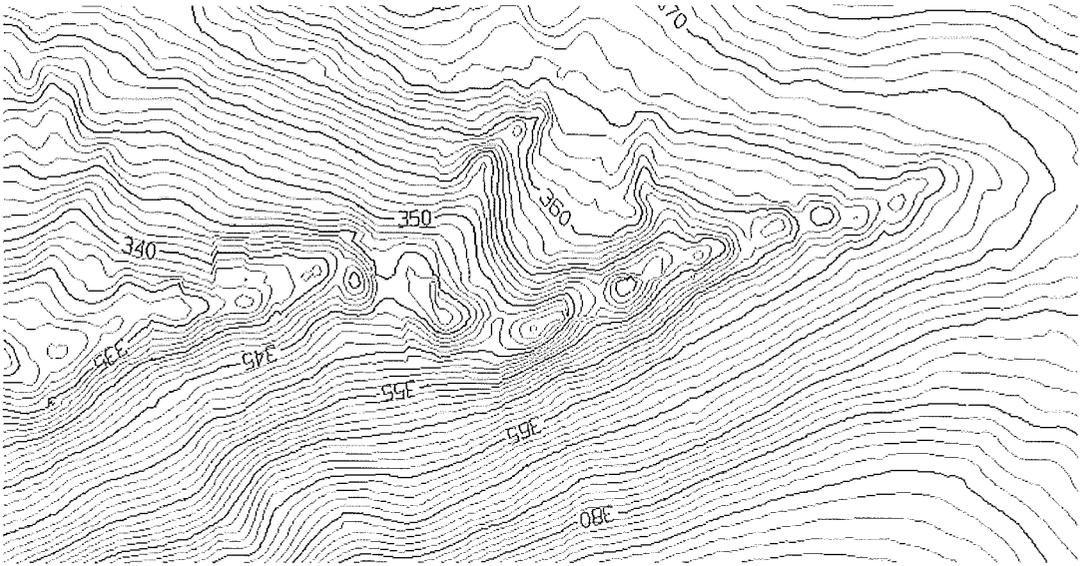


Abb. 11: Isolinenplot eines Grabenbereiches mit fehlerhafter Geomorphologie

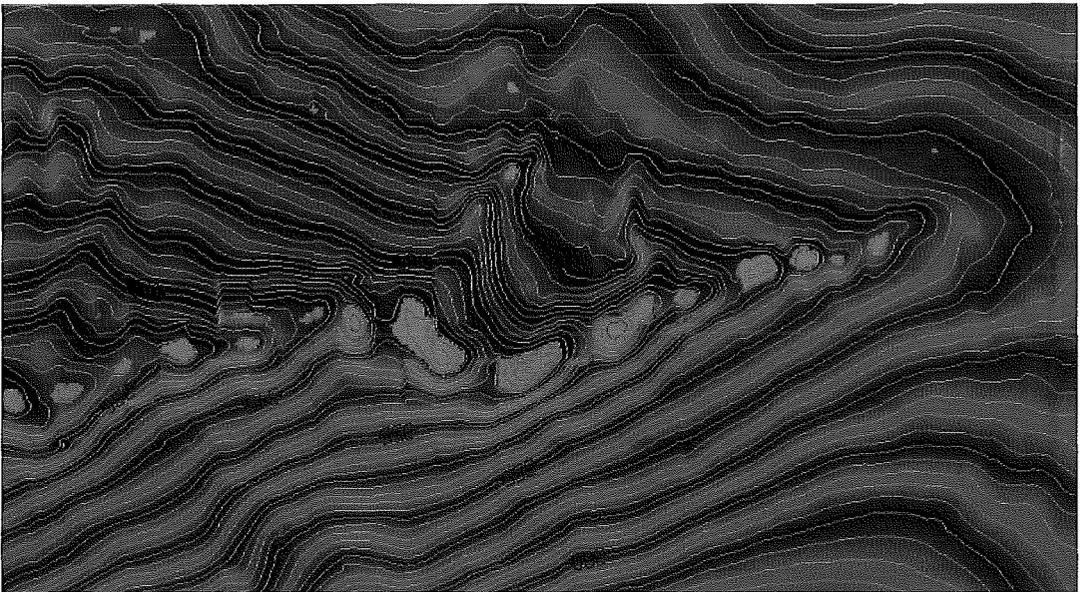


Abb. 12: Farbkodierte Darstellung des selben Bereiches Detektierte Mulden sind überlagert

eine lagemäßige Definition einer möglichen Geländekante. Abbildung 13 zeigt die Definition einer Mulde und die Visualisierung eines Muldenpfades, definiert durch aufeinander folgende Muldenpfadsegmente.

Die Höhe des Pfades wird nun zwischen den einzelnen Basispunkten linear interpoliert. Führt man die so definierte Linie als Zwangskante in

das Modell ein, so entsteht ein geomorphologisch verbessertes Modell, welches jedenfalls aus hydrologischer Sicht exakter definiert ist, da die abflusslosen Mulden entlang von Gräben eliminiert wurden. Abbildung 14 zeigt den Isolinenplot eines verbesserten Modells. Eine ausführliche Beschreibung dieser Methode gibt Gaisky [8].

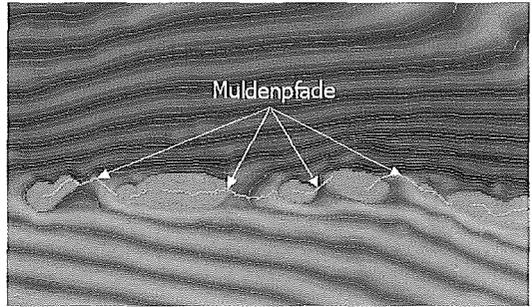
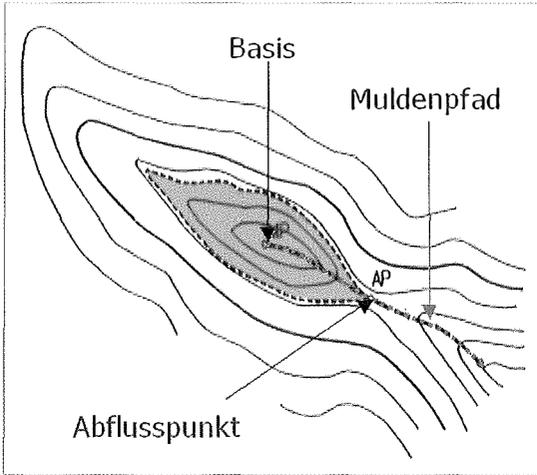


Abb. 13: Definition von Mulde und Muldenpfad

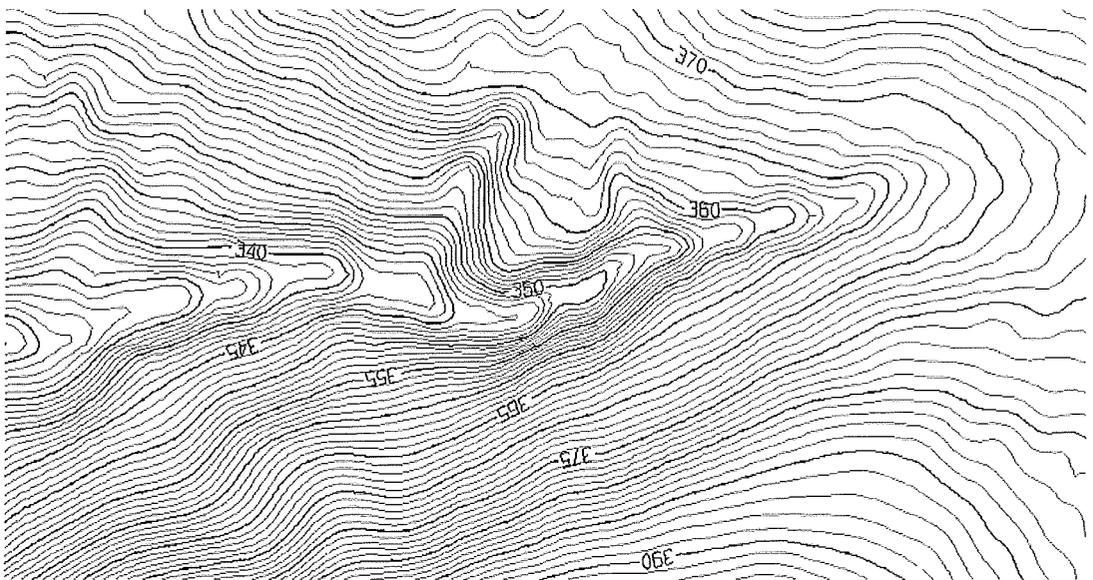


Abb. 14: Isolinienplot des verbesserten Modells

5. Zusammenfassung und Ausblick

Die Methode der Regensimulation hat großes Potential zur qualitativen Verbesserung punktweise erfasster Geländemodelle. Die beschriebenen Verfahren wurden an ausgewählten Testgebieten erprobt. Dabei stellte sich heraus, dass gute Ergebnisse erzielt werden konnten, wenn die Topographie des betrachteten Gebietes vorrangig durch natürliche Erosion und Wasser geformt wurde. Künstliche Objekte wie etwa Dammkronen oder terrassenförmige Geländestrukturen, bei welchen die Kanten nicht unbe-

dingt lokale Minima oder Maxima darstellen, können damit nicht erfasst werden. Es besteht aber die Möglichkeit, an Stelle des ursprünglichen, aus der Laserscanner-Punktwolke abgeleiteten Modells, beispielsweise die 2. Ableitung davon, also ein Krümmungsmodell, als Ausgangsdatensatz für die selbe Analyseverfahren heranzuziehen. Auf diese Weise können nicht nur ‚Täler‘ und ‚Bergkämme‘, sondern alle im Modell enthaltenen Linien starker Krümmung, abgeleitet werden. Dieser Ansatz muss jedoch noch weiter untersucht werden. Die Idee wurde im Rahmen der Vortragsdiskussion des Universi-

tätslehrganges Laserscanning durch Dr. Dorffner (Magistratsabteilung 41 der Stadt Wien) eingebracht.

Die unmittelbar erzielbare Höhengengenauigkeit der extrahierten Kanten lässt nicht immer eine direkte Einbindung in das gegebene Modell zu. Auf Grund der guten Lagegenauigkeit (siehe Vergleich der extrahierten Kanten mit jenen bei der Luftbildauswertung erfassten – Kapitel 3) stellen sie jedoch in jedem Fall gute und vor allem automatisiert abgeleitete Ausgangsbedingungen für eine weitere Prozessierung zur Ermittlung der Höhe mittels anderer Methoden dar.

Die geomorphologische Modellierung eines Gebietes lässt sich durch das Auffinden und Einbinden von Muldenpfaden, wie in Kapitel 4 beschrieben, verbessern. Dadurch können lokal, abflusslose Gebiete, welche auf Grund unzureichender Information im punktwise erfassten Modell entstanden sind, eliminiert werden.

Das I.P.F. ist am Projekt Mars Express, der ersten europäischen Mars Mission, unter der Leitung der Europäischen Raumfahrtsorganisation (ESA), beteiligt. Die Finanzierung erfolgt durch das Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT) unter der GZ 190.174/2-V/B/10/2000. Im Rahmen dieses Projektes wurden die genannten Methoden ebenfalls erprobt und verbessert. Analyse- und Visualisierungsergebnisse von Geländemodellen der Marsoberfläche beschreiben Dorninger et. al.

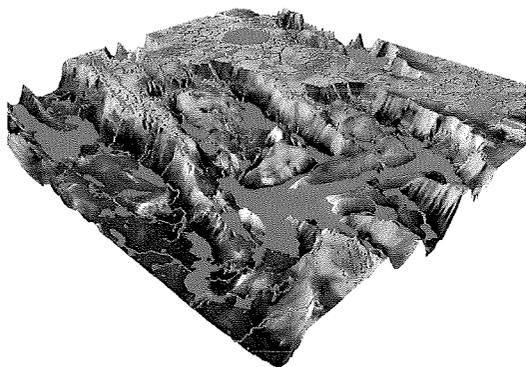


Abb. 15: Visualisierung hydrologischer Analyseergebnisse am Mars

[9]. Abbildung 15 zeigt einen $10^\circ \times 10^\circ$ ($593 \text{ km} \times 593 \text{ km} = 1.186 \text{ km}^2$) großen Ausschnitt im Bereich der Valles Marineris, dem größten Grabensystem am Mars. Die in diesem Gebiet auftretenden Höhenunterschiede betragen rund 10.000 m. Der relative Höhenunterschied vom oberen Rand des Grabensystems zu dessen Sohle beträgt im Mittel etwa 6.000 m! Das DGM wurde mit einer Gitterweite von 463 m berechnet. Das verwendete Rasteroverlay setzt sich aus Ergebnissen der hydrologischen Analyse, einem Orthophotomosaic sowie einer farb-kodierten Darstellung des DGM zusammen.

Literatur

- [1] Hochstöger, F. (1996): Software for Managing Country-Wide Digital Elevation Data. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, XXXI, Part B2, Vienna 1996, S. 160 – 163. http://www.ipf.tuwien.ac.at/publications/fh_pjsprs96.html
- [2] Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, TU Wien (2003): SCOP++ Produktbeschreibung. http://www.ipf.tuwien.ac.at/products/produktinfo/scop/scop_dtm_sheet.htm
- [3] Kraus, K. (2000): Topographische Informationssysteme. Photogrammetrie, Band 3, Dümmler-Verlag, Bonn, 419 Seiten, S. 154 ff., S. 398–400
- [4] Rieger, W. (1992): Hydrologische Anwendungen des digitalen Geländemodelles. Dissertation an der TU Wien. Geowissenschaftliche Mitteilungen der Studienrichtung Vermessungswesen, Heft 39b, 1992, 95 Seiten.
- [5] Rieger, W. (1992): Automated river line and catchment area extraction from dem data. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXIX/B4, Washington, USA, pp. 642–649
- [6] Briese C., Kraus K., Pfeifer N. (2002): Modellierung von dreidimensionalen Geländekanten in Laser-Scanner-Daten. Festschrift anlässlich des 65. Geburtstages von Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Siegfried Meier, TU Dresden, Inst. für Planetare Geodäsie, S. 47 – 52.
- [7] Kraus K., Hynst E., Belada P., Reiter T. (1997): Topographische Daten in bewaldeten Gebieten. – Ein Pilotprojekt mit Laser-Scanner-Daten. Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation (VGI), 85. Jahrgang, Heft 3, S. 174 – 181
- [8] Gaisky, D. (2000): Geomorphologic improvement of DTMs especially as derived from laser scanner data. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol XXII/6W8, Ljubljana, Slovenia, pp. 70–75.
- [9] Dorninger, P., Jansa, J., Briese, C. (2003): Visualization and topographical analysis of the Mars surface, Planetary and Space Science Journal, Elsevier, Netherlands, in print

Adresse des Autors

Dipl.-Ing. Peter Dorninger: Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, TU Wien, Gußhausstraße 27–29, A-1040 Wien. email: pdo@ipf.tuwien.ac.at