



Bruchkantendetektion mit hochaufgelösten Laserscannerdaten

Aloysius Wehr, Stuttgart; Hamid Duzelovic, Oberwart

Kurzfassung

Das Problem der automatische Bruchkantendetektion bei Daten, die von fliegenden Laserscannersystemen aufgezeichnet wurden, ist bisher noch nicht allgemein und umfassend gelöst. Die bis heute in kommerziellen Programmen implementierten Lösungen funktionieren lediglich halbautomatisch und benötigen mehr oder weniger manuelles Eingreifen. Desweiteren arbeiten die bekannten Algorithmen entweder auf Punktwolken oder auf 2.5D Rasterdaten. Werden die erflungenen Daten in GIS abgelegt oder für Bauingenieurplanungen und -berechnungen verwendet, erfolgt ihre Darstellung vor der Weiterverarbeitung häufig mit CAD- oder 3D-Modellierungsprogrammen, die im Allgemeinen auch Renderingfunktionen unterstützen. Diese Programme sind aber für die großen Datenmengen der Laserscanner-Punktwolken nicht ausgelegt und können diese Datensätze nicht effektiv verarbeiten. Aus diesem Grund wurde ein Algorithmus entwickelt, der ausgehend von triangulierten 3D-Daten Bruchkanten detektiert. Mit Hilfe dieser Bruchkanten kann die erfasste Oberfläche mit einer enormen Datenreduktion ohne Genauigkeitseinbußen modelliert werden.

Schlüsselwörter: Laserscanner-Daten, Bruchkanten-Ermittlung, Digitales Geländemodell, Delaunay-Triangulierung, Datenreduktion

Abstract

The problem of automatic break line detection out of airborne laser scanner data has not been generally and universally solved so far. Today most approaches are semi automatic and still need some manual interaction of the user. Furthermore, all published algorithms work either on the point cloud or after rasterizing on the pixel level, although laser scanner data is very often visualised by some sort of CAD- or 3D-modelling- and rendering-programs. Therefore a break line detection algorithm was developed which can be applied on triangulated laser scanner data. First the algorithm is introduced and its performance is evaluated by using computer generated laser scanning data describing different topographies. The results are discussed with regard to the detection reliability and the 3D-accuracy. Regarding the detected break lines in the surface model an enormous data reduction is possible without losing accuracy.

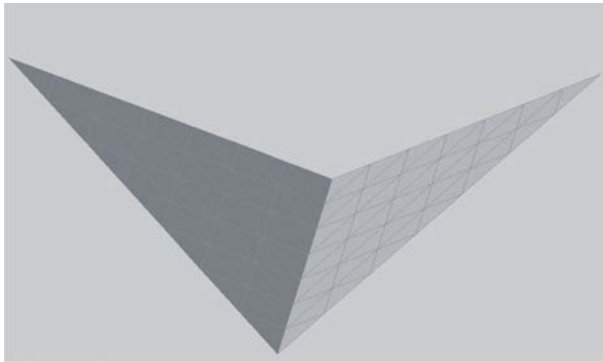
Keywords: Airborne Laserscanner-Data, Break-Line-Detection, Digital Terrain Model, Delaunay-Triangulation, data-reduction

1. Einleitung

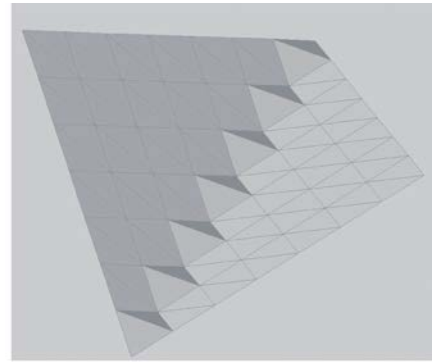
Die automatische Bruchkantendetektion bei Laserscanner-Daten, die von einem flugzeuggetragenen Sensor gewonnen werden, ist immer noch nicht umfassend gelöst, obwohl zunehmend mit Aufnahmesystemen geflogen wird, die immer höhere Auflösungen und damit verbunden extrem große Datenmengen liefern, und an dieser Problematik an vielen Hochschulen und in den Entwicklungsabteilungen der Softwarehersteller intensiv geforscht wird. Die meisten bisher veröffentlichten Algorithmen und kommerziell erhältlichen Programme benötigen immer noch erhebliches manuelles Eingreifen in den Programmablauf [2], [3], [4]. Gemeinsam haben alle diese Programme, dass sie entweder mit Punktwolken im 3D-Raum oder nach der Rasterisierung im 2.5D-Raum mit Pixeln arbeiten [1]. Da aber Laserscanner-Daten häufig mit CAD- oder 3D-Modellierungs- und Rendering-Software visualisiert werden, wird nach Möglichkeit schon in

den ersten Verarbeitungsschritten die Ebene der Punktwolke verlassen und die zu untersuchende Oberfläche z.B. mit Dreiecken vermascht. Die Dreiecksvermaschung wird im Allgemeinen mit Hilfe der Delaunay-Triangulation durchgeführt, die ein sogenanntes „Triangulated Irregular Network“ (TIN) liefert. Werden bei diesem Verfahren die Bruchkanten nicht berücksichtigt, zeigt das TIN-Modell an den Bruchkanten große Modellierungsfehler (s. Abb. 1, rechts), die insbesondere bei der Volumenberechnung große Fehler verursachen können.

Ziel des hier neu entwickelten Algorithmus ist es, die Bruchkanten möglichst frühzeitig und auf der Basis des TIN-Modells zu ermitteln. Bei der Entwicklung wurde sowohl auf hohe Effizienz und Zuverlässigkeit als auch auf die Anwenderfreundlichkeit des Verfahrens geachtet, d.h. der Algorithmus ist automatisierbar und wichtige Startparameter für die Bruchkantensuche wer-



Dreieckseiten und Laserpunkte auf Bruchkante



Dreieckseiten nicht auf Bruchkante

Abb. 1: Bruchkanten in triangulierten 3D-Modellen

den vom Programm geschätzt und dem Anwender zur Verfügung gestellt.

In den folgenden Ausführungen wird gezeigt, dass mit Hilfe der detektierten Bruchkanten hochgenaue Oberflächenmodelle aus Laserscannerdaten bei Reduzierung der Datenmengen generiert werden können. Die Genauigkeitsverbesserung in der Modellbildung wird empirisch durch Vergleich der Volumina eines Referenzmodells und des aktuellen Modells dokumentiert.

2. Bruchkantendetektion mit Dreiecksnormalen

Da die Laserscannerdaten gleich nach der Aufnahme TIN-modelliert werden, wurde zunächst ein Algorithmus entwickelt, der auf Basis von Dreiecksnormalen arbeitet. Hierbei muss aber beachtet werden, dass insbesondere bei der Dreiecksmodellierung von gekrümmten Oberflächen ein Diskretisierungsfehler zu beobachten ist, wenn die Dreiecksseiten nicht entlang der Bruchkante verlaufen (s. Abb. 1, rechts). Sind die Lasermesspunkte so angeordnet, dass die Dreiecksseiten aus der Delaunay-Triangulation mit der Bruchkante übereinstimmen (s. Abb. 1 linkes Bild), liegt der Schluss nahe, Bruchkanten über den eingeschlossenen Winkel zwischen den Normalen benachbarter Dreiecke zu detektieren (s. Abb. 2).

Hierfür werden zunächst die Normalen für alle Dreieckselemente berechnet. In einem zweiten Schritt werden dann über das Skalarprodukt die eingeschlossenen Normalenwinkel α_{ij} zwischen allen benachbarten Dreiecken berechnet:

$$\arccos(\vec{n}_i \cdot \vec{n}_j) = \alpha_{ij} \text{ mit } i, j \in \mathbb{N} \quad (1)$$

\vec{n}_i, \vec{n}_j sind die Normalen der Dreieckselemente. Die Indizes i und j bezeichnen die aktuelle

Dreiecksnummern. Überschreitet nun α_{ij} einen bestimmten Winkel-Schwellwert ϵ , der vorher festgelegt wurde, wird die aktuelle gemeinsame Dreiecksseite einer Bruchkante zugeordnet.

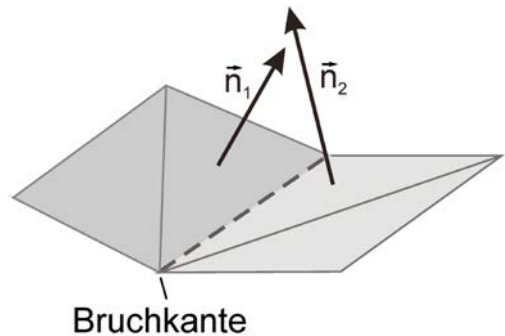


Abb. 2: Bruchkantendetektion mit Dreieckselementen

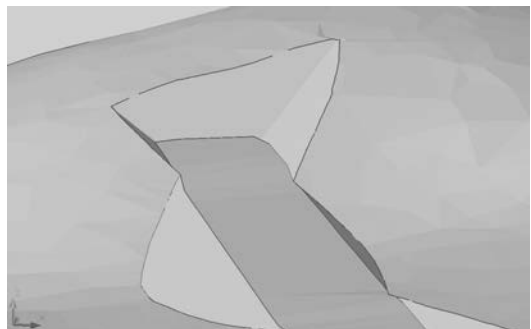


Abb. 3: Detektierte Bruchkanten mit Laserpunkten und Dreiecksseiten auf Bruchkante

In Abb. 3 sind für diesen Algorithmus typische Resultate dargestellt. Liegen die Dreiecksseiten entlang einer Bruchkante (s. Abb. 3) werden die Bruchkanten entsprechend der Dreiecksdiskreti-

sierung exakt modelliert. Dieses stellt den trivialen Fall dar. In der Praxis wird aber der Fall, wie er in Abb. 4 rechts dargestellt ist, zu beobachten sein. Hier liegen die detektierten Dreiecksseiten nicht auf einer Bruchkante. Obwohl die Ausrichtung der Bruchkantenelemente auf Grund der Dreiecksseiten nicht stimmt, gibt aber die Menge dieser Elemente recht gut den Verlauf der Bruchkante wieder. Die mit diesem einfachen Algorithmus durchgeführten Bruchkantendetektionen zeigten, dass der Schwellwert ϵ für die Entscheidung, dass eine Bruchkante vorliegt, sehr kritisch ist und hier dem Anwender erste Schätzungen vom Programm gegeben werden müssen.

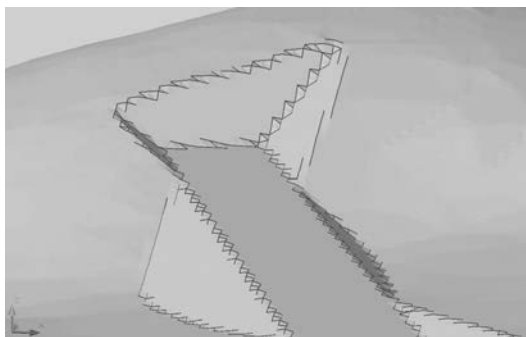


Abb. 4: Detektierte Bruchkanten, wenn Dreiecksseiten nicht auf Bruchkante

2.1 Schwellwertbestimmung

Die Bruchkantendetektion über den eingeschlossenen Winkel zwischen Flächennormalen ist sehr empfindlich bezüglich des verwendeten Schwellwertes ϵ . Er muss so groß gewählt werden, dass nicht auf Grund der Oberflächenrauigkeit Bruchkanten detektiert werden. Ist ϵ so niedrig, dass er im Bereich der Streuung der eingeschlossenen Normalenwinkel liegt, d.h. im Rauschen der Höhendaten, werden im schlimmsten Fall alle Dreiecksseiten als Bruchkanten detektiert. Wird die Schwelle zu hoch gesetzt, werden keine Bruchkanten erkannt. Ziel der automatischen Schwellwertbestimmung ist es, den optimalen Schwellwert zu bestimmen.

Die erste Schätzung basiert auf dem Rauschen der Höhendaten. Rauschen bezeichnet die Streuung der Höhenkomponente, die sowohl durch die Leistungsfähigkeit des Laserscanersystems und als auch die Oberflächenbeschaffenheit der erfassten Oberfläche bestimmt wird. So sind typischer Weise Laserdaten von Waldgebieten stärker verrauscht als von Wiesen oder betonierten Flächen. Die Streuung bzw. das Rauschen der Höhendaten wird über die Stan-

dardabweichung der Höhendaten beschrieben. Dieser Wert steht dem Nutzer nicht direkt zur Verfügung. Deshalb wurde ein Verfahren entwickelt, das es ermöglicht, diese Information aus dem erfolgten Datensatz abzuleiten.



Abb. 5: Gewähltes ebenes Gebiet zur Rauschanalyse

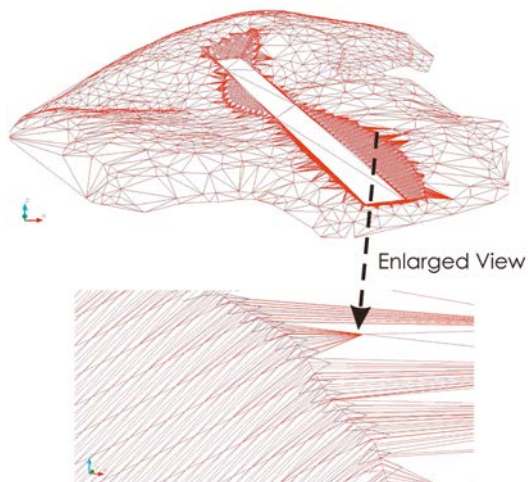


Abb. 6: Bruchkantendetektion mit berechnetem Schwellwert

In einem ersten Schritt wird ein möglichst ebenes Flächenstück aus dem gesamten Datensatz heraus geschnitten, bei dem so gut wie keine Höhendifferenzen auftreten, wie z.B. der markierte Bereich in Abb. 5. Nun werden für alle

Dreieckselemente in diesem Bereich die eingeschlossenen Normalenwinkel α_{ij} berechnet. Für diese werden dann der Mittelwert $\bar{\alpha}$ und die Standardabweichung σ_{α} bestimmt. Da der Mittelwert bei ebenem Gelände 0° beträgt, kann die Abweichung $\bar{\alpha}$ von 0° als Maß für die Ebenheit des gewählten Geländeausschnitts dienen. Liegt $\bar{\alpha}$ nahe bei 0° , ist die zugehörige Standardabweichung σ_{α} ein Maß für das Rauschen der Höhendaten. Die so ermittelte Standardabweichung der eingeschlossenen Normalenwinkel σ_{α} ist der untere Grenzwert für den Schwellwert ε . Umfangreiche empirische Tests ergaben, dass für die Wahl des optimalen Schwellwert gilt:

$$\varepsilon = 3 \cdot \sigma_{\alpha} \quad (2)$$

Abb. 6 zeigt das Resultat der Bruchkantendetektion unter Verwendung dieses Schwellwertes.

2.2 Bestimmung des Bruchkantenverlaufs auf Basis der Dreiecksseiten mit Linearer Regression

In Kapitel 2 konnte beobachtet werden, dass die Menge der als Bruchkante klassifizierten Dreiecksseiten den Verlauf einer Bruchkante gut schätzen, obwohl die einzelne Dreiecksseite auf Grund der Delaunaytriangulation eine falsche Richtung zeigt. Aus dieser Menge muss nun ein kontinuierlicher Bruchkantenverlauf bestimmt werden. Abb. 4 verdeutlicht, dass der Bruchkantenverlauf mit Geradenstücken approximiert werden kann. Die hier angewandte Methode basiert auf dem in [6] vorgestellten Algorithmus. Die Länge eines Geradenelementes wird mit Hilfe eines so genannten Wachstumsalgorithmus bestimmt. Hierfür muss zunächst ein Startpunkt festgelegt werden. Dieser darf gleichzeitig zu nicht mehr als zwei Dreiecksseiten gehören, die zu unterschiedlichen Dreiecken gehören. Dann werden innerhalb eines vorher definierten Suchradius alle Bruchkantenelemente (Dreiecksseiten), die über die Dreiecksnormalen gefunden wurden, selektiert. Nun wird über alle Mittelpunkte der selektierten Dreiecksseiten unter Anwendung eines 2D linearen Regressionsalgorithmus das optimale Geradenstück innerhalb des Suchradius ermittelt. Bei dieser Methode wird die Höhenkomponente der Mittelpunkte nicht berücksichtigt. In den nachfolgenden Schritten wird der Suchradius erweitert und zusätzlich wird ein Suchkorridor um die bereits gefundenen Geradenstücke definiert, so dass das Geradenelement in Richtung der wahrscheinlichsten Bruchkantenorientierung wachsen kann. Dieser Wachstumsalgorithmus wird beendet, wenn entweder keine neuen Bruchkantenelemente gefunden werden, oder

die so approximierte Bruchkante eine vorgegebene Länge überschreitet. Das Geradenstück muß nun in den 3D-Raum transformiert werden. Dieses erreicht man durch in Hinzufügen der Höhenkomponente zum ersten und letzten Punkt des approximierten Geradenstücks. Abb. 7 zeigt das Ergebnis dieses Algorithmus. Bei genauer Betrachtung fällt auf, dass beträchtliche Positionsfehler auftreten, die durch die Delaunaytriangulation hervorgerufen werden.

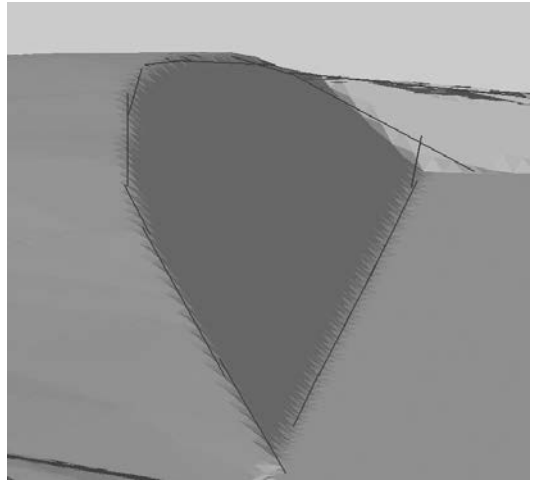


Abb. 7: Bruchkanten beschrieben mit Regressionsgeraden

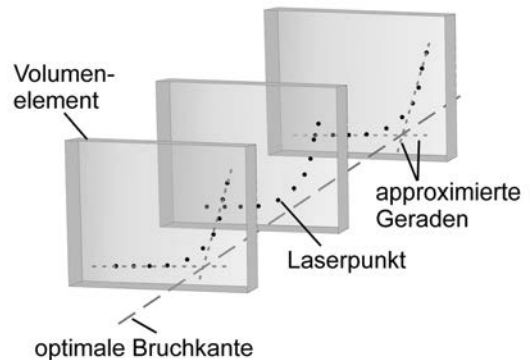


Abb. 8: Optimierung mit Volumenelementen

3. Bruchkantenoptimierung

Da der beobachtete Positionierungsfehler durch die Dreiecksvermaschung erzeugt wird, wurde ein zusätzliches Optimierungsverfahren entwickelt, das aber auf die einzelnen Lasermesspunkte zurückgreift, d.h. auf die Eckpunkte der Dreiecke. Über die Vermaschung liegen die Lasermesspunkte rechnerintern geordnet vor, so dass eine Auswahl und Zuordnung zum approximierten Bruchkantenstück möglich ist. Ent-

lang der in Kapitel 2.2 berechneten Bruchkante werden in vom Benutzer definierten Abständen Volumenelemente platziert (s. Abb. 8).

Auch ihre Größe wird vom Anwender festgelegt. Die Volumenelementdicke sollte so schmal wie möglich sein. Muss aber andererseits so groß sein, dass eine genügend große Anzahl von Lasermesspunkten in ihnen vorhanden ist. Die Volumenhöhe und -breite sollte so gewählt werden, dass die vertikale Oberflächenkontur, die die Bruchkante beschreibt, klar erfasst wird (s. Abb. 8). Gemäß Abb. 8 wird für jedes Volumenelement aus der Menge der Laserpunkte ein Bruchkantenpunkt aus dem Schnittpunkt zweier Geraden, die durch lineare Regression gewonnen werden, berechnet.

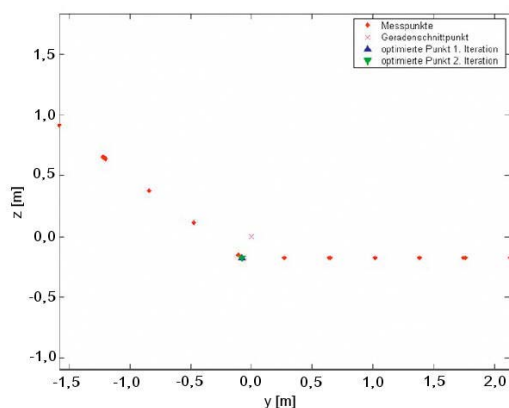


Abb. 9: Bruchkantenpunkt-Berechnung im Volumenelement mit Regressionsgeraden

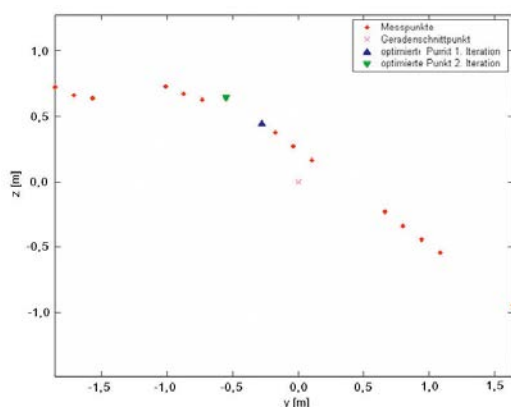


Abb. 10: Iterationsschritte bei Bruchkantenpunkt-Berechnung

Abb. 9 und Abb. 10 verdeutlichen, dass auch hier die Laserpunkte so segmentiert werden müssen, dass der wahre Bruchkantenpunkt gefunden wird. Abb. 9 zeigt einen klaren Fall, bei dem auf

Anhieb der Bruchkantenpunkt detektiert wird. In der Konfiguration der Abb. 10 sind mehrere Iterationsschritte erforderlich. Die nach dieser Optimierung detektierten Bruchkantenpunkte werden mit Linien zu einer Bruchkante verbunden. Abb. 11 zeigt das endgültige Resultat.

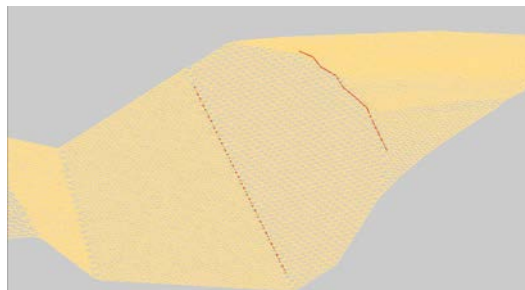


Abb. 11: Detektierte und optimal positionierte Bruchkanten

4. Genauigkeitsanalyse

Der hier vorgestellte Algorithmus wird zunächst an einem synthetischen digitalen Geländemodell erprobt (s. Abb. 12).

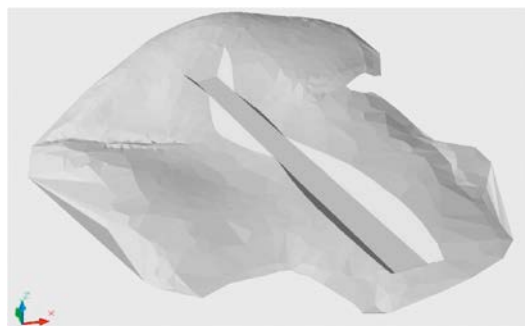


Abb. 12: Synthetisches digitales Geländemodell

Der gezeigte Ausschnitt umfasst einen Bereich von 166 998,624 m² und einen maximalen Höhenunterschied von 62 m. Das Modell wurde in Messpunktabständen von 1 m, 2 m und 3 m generiert. Für eine möglichst realitätsnahe Simulation kann die Höhenkomponente verrauscht werden. Quantitativ werden die in Abb. 13 dargestellten Bruchkanten analysiert.

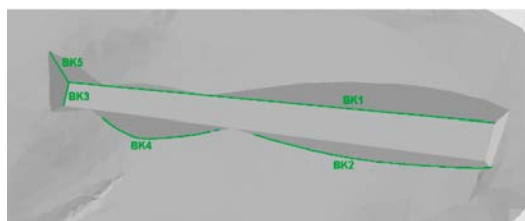


Abb. 13: Bewertete Bruchkanten

Diese idealen Bruchkantenverläufe wurden mit den gefundenen in Abhängigkeit der Messpunktabstände verglichen. Als Genauigkeitsmaß dient zum einen das quadratische Mittel aus den Abständen zwischen dem Anfangspunkt der detektierten Bruchkante i und der Soll-Bruchkante d_{Ai} und dem Endpunkt der detektierten Bruchkante i und der Soll-Bruchkante d_{Ei} . Wenn n die Anzahl getesteter Bruchkanten ist, gilt:

$$b_{RMS} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_{Ai}^2 + d_{Ei}^2)}{2n}} \tag{3}$$

Zusätzlich wird untersucht, wie gut die Länge der detektierten Bruchkante l_i mit der Soll-Bruchkantenlänge l_{soll} übereinstimmt. Hierzu dient folgender prozentualer Wert:

$$diff\% = \frac{l_i - l_{soll}}{l_{soll}} \cdot 100\% \tag{4}$$

In Tabelle 1 ist die Auswertung zusammengefasst. Deutlich ist zu erkennen, dass die Bruchkantenlänge zu kurz berechnet wird. Dieses lässt auf einen systematischen Fehler im Algorithmus schließen. Auch der RMS-Wert b_{RMS} sieht auf den ersten Blick sehr groß aus. Interessant ist, dass Rauschen von 15 cm bei einem Messpunktabstand von 2 m im Mittel das Ergebnis nur minimal verändert (s. Tabelle 2). Die hier dargestellte Analyse erfasst nicht das eigentliche Potential dieses Algorithmus, weil es nicht die Formtreue der detektierten Bruchkante bewertet. Diese ist aber ausschlaggebend für eine exakte Modellierung.

Meßpunkt-abstand	Bruchkante	b_{RMS} [m]	l_{ist} [m]	l_{soll} [m]	$l_{ist}-l_{soll}$ [m]	diff% [%]
1 m	BK1	0,145	347,866	368,571	-20,705	-5,62
	BK2	0,016	169,626	175,492	-5,866	-3,34
	BK3	0,503	37,599	31,988	-5,611	17,54
	BK4	0,063	79,952	103,178	-23,227	-22,51
	BK5	0,154	18,748	21,319	-2,571	-12,06
2 m	BK1	0,368	319,706	368,571	-48,865	-13,26
	BK2	0,034	162,154	175,492	-13,338	-7,60
	BK3	0,940	31,958	31,988	-0,030	-0,09
	BK4	0,154	75,490	103,178	-27,688	-26,84
	BK5	0,195	15,403	21,319	-5,917	-27,75
3 m	BK1	1,175	301,897	368,571	-66,674	-18,09
	BK2	0,116	148,665	175,492	-26,827	-15,29
	BK3	1,520	23,408	31,988	-8,580	-26,82
	BK4	0,497	57,644	103,178	-45,535	-44,13
	BK5	0,156	13,591	21,319	-7,728	-36,25

Tab. 1: Genauigkeitsanalyse ohne Rauschen in der Höhenkomponente

Meßpunkt-abstand	Bruchkante	b_{RMS} [m]	l_{ist} [m]	l_{soll} [m]	$l_{ist}-l_{soll}$ [m]	diff% [%]
2 m	BK1	0,449	314,702	368,571	-20,705	-14,62
	BK2	0,061	165,125	175,492	-5,866	-5,91
	BK3	0,337	25,191	31,988	-5,611	-21,25
	BK4	0,159	70,016	103,178	-23,227	-32,14
	BK5	0,491	19,439	21,319	-2,571	-8,82

Tab. 2: Genauigkeitsanalyse mit Rauschen in der Höhenkomponente

Aus diesem Grund wurde ein neues Bewertungskriterium entwickelt, das diese Eigenschaft besser berücksichtigt. Es basiert auf der Prüfung, wie gut das TIN-Modell unter Hinzunahme der Bruchkanten die wahre Form approximiert. Bei diesem Test wird das durch das Oberflächenmodell eingeschlossene Volumen betrachtet. Durch Bildung von Differenzvolumen erhält man ein Maß für die Modellverbesserung. Es wurden drei Volumina berechnet: ein Referenzvolumen V_R (TIN-Modell mit Berücksichtigung der exakten Bruchkanten, Abb. 14), ein Volumen V_O (TIN-Modell ohne Bruchkantenberücksichtigung, Abb. 15) und ein Volumen V_B (TIN-Modell mit Berücksichtigung der detektierten Bruchkanten, Abb. 16).

Die Differenzmodelle (DM) wurden auf die Oberfläche bezogen mit

$$DM = \frac{\Delta V}{F} \quad (5),$$

wobei ΔV das Differenzvolumen und F die Oberfläche des gesamten untersuchten Geländes ist. Es zeigte sich, dass das normierte DM aus V_R und V_B bei $0,005 \text{ m}^3/\text{m}^2$ und das normierte DM aus V_R und V_O bei $0,1 \text{ m}^3/\text{m}^2$ liegt. Der erste sehr niedrige Wert verdeutlicht die hohe Genauigkeit der detektierten Bruchkanten. Ferner bestätigt diese Analyse das hohe Potential dieses Bruchkantenalgorithmus bei der Verbesserung der Modellbildung.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Der große Vorteil des vorgestellten Algorithmus ist darin zu finden, dass er in weiten Teilen auf triangulierten Laserscanner-Daten arbeitet. Somit kann die durch die Modellbildung bereits bekannte Nachbarschaftsbeziehung zwischen beliebigen Dreiecken und den zugehörigen Laserpunkten optimal genutzt werden. Die mit dem Algorithmus detektierten Bruchkanten werden entweder durch Geradenelemente oder durch Splines beschrieben und können somit direkt in Vektorgraphik-Programme übernommen werden, die überwiegend im CAD- und GIS-Bereich eingesetzt werden.

Ferner konnte gezeigt werden, dass das große Potential dieser Bruchkantendetektion die Verbesserung der Oberflächenmodellierung ist. Durch bessere Oberflächenmodellierung wird aber auch eine zusätzliche Datenreduzierung von ca. 10%–25% möglich. Hierdurch können kommerzielle CAD- und GIS-Programmpakete effizienter genutzt werden im Bezug auf Speicherplatzbedarf und Rechengeschwindigkeit.

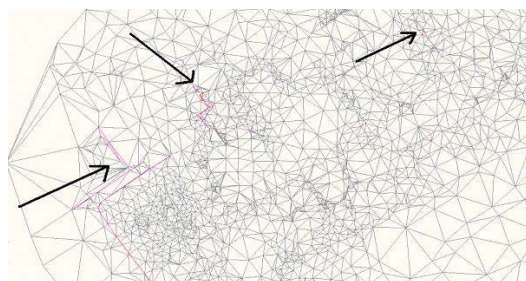


Abb. 14: Referenzvolumen V_R

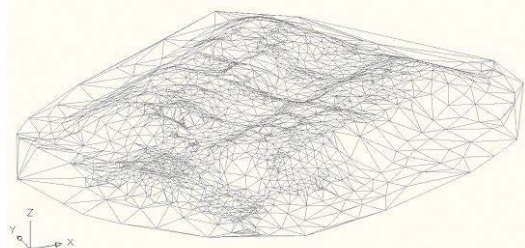


Abb. 15: Volumen V_O ohne Bruchkanten-Berücksichtigung

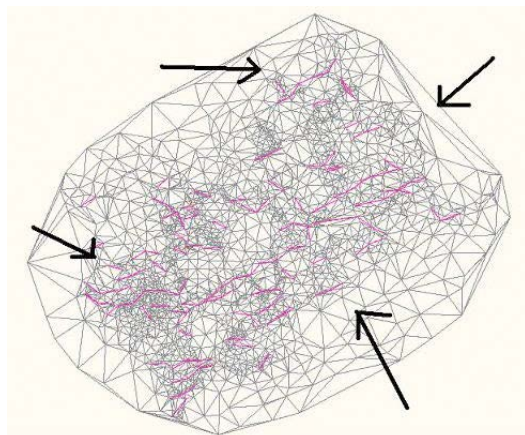


Abb. 16: Volumen V_B mit detektierten Bruchkanten

Referenzen

- [1] Brieese, C., Pfeifer, N.: "Towards Automatic Feature Line Modelling From Terrestrial Laser Scanner Data"; Talk: International Society For Photogrammetry and Remote Sensing XX1st Congress, Beijing, China; 03.07.2008-11.07.2008; In: "Proceedings", Vol. XXXVII. Part B5 (2008), Issn: 1682-1750; pp. 463 – 468, 2008.
- [2] Brieese C.: Breakline Modelling From Airborne Laser Scanner Data, Phd Thesis, Institute of Photogrammetry And Remote Sensing, Vienna University of Technology, October 2004.
- [3] Brieese C., Attwenger M.: Modellierung dreidimensionaler hydrologisch und hydraulisch relevanter Gelände-

kanten aus hochauflösenden Laser-Scanner-Daten, Kolloquium praxisorientierte und vielseitig nutzbare Fernerkundungseinsätze an der Elbe, Magdeburg, September 2004.

- [4] Briese, C., Kraus, K., Pfeifer, N.: Modellierung von dreidimensionalen Geländekanten in Laser-Scanner-Daten, Festschrift anlässlich des 65. Geburtstages von Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. S. Meier, TU-Dresden, Institut für planetare Geodäsie, Germany, pp. 47-52, 2002.
- [5] Kraus, K.: Photogrammetrie Band 3: Topographische Informationssysteme, Dümmlerbuch, Dümmler Verlag, Bonn, 2000.

- [6] Schwalbe, E.: Gebäudemodellierung in reduzierten Parameterräumen von Airborne Laserdaten, Diplomarbeit am Institut für Photogrammetrie, TU-Dresden, pp. 41-46, 2003.

Anschrift der Autoren

Dr.-Ing. Aloysius Wehr, Institut für Navigation, Universität Stuttgart, Breitscheidstr. 2, D-70174 Stuttgart, Deutschland
E-Mail: wehr@nav.uni-stuttgart.de

Dipl.-Ing. Hamid Duzelovic, rmDATA GmbH, Prinz Eugen Straße 12, A-7400 Oberwart, Österreich
E-Mail: duzelovic@rmdata.at