

Filterung segmentierter Oberflächenmodelle aus Laserscannerdaten

PETER LOHMANN & KARSTEN JACOBSEN, Hannover

Keywords: laser scanning, filtering, segmentation of point clouds

Summary: *Filtering of segmented situation models from laser scanner data.* The filtering of a digital situation model (DSM) containing points located on vegetation and buildings to a digital height model (DHM) of the bare ground is depending upon the structure of the objects not belonging to the bare ground. The limitation of an automatic global filtering of a DSM as a compromise between the different object classes is shown. Based on an automatic segmentation for each different class the required filter thresholds could be determined automatically for reaching an optimal filter result.

Zusammenfassung: Die Verfahren zur Filterung (Elimination) von Vegetations- oder Gebäudehöhen aus Digitalen Oberflächenmodellen (DOM) zur Erstellung eines Digitalen Höhenmodells (DHM) der Erdoberfläche sind abhängig von der Struktur der Objekte, die nicht zum Gelände gehören. Eine Einschränkung bei der automatischen Filterung besteht in der Gleichbehandlung der verschiedenen Objektklassen. Aufbauend auf einer automatischen Segmentierung der Daten wird gezeigt, dass eine Ableitung von Schwellwerten und Filterparametern basierend auf Segmenten zu optimalen Ergebnissen bei der Filterung führt.

1 Einleitung

Die Anwendung von Verfahren zur Erzeugung digitaler Oberflächenmodelle (DOM), wie die automatische Bildzuordnung oder das Laserscanning, hat den Nachteil, dass nicht die gewünschte reine Geländeoberfläche erreicht wird, sondern die sichtbare Oberfläche einschließlich Vegetation und Gebäuden. Eine Reihe von Filtertechniken ist bisher entwickelt worden, um diese „Artefakte“ zu beseitigen und ein echtes Digitales Höhenmodell (DHM) zu erzeugen (LOHMANN et al. 2000). Bei allen Verfahren hängt jedoch die Qualität des erzielten Ergebnisses von der geeigneten Wahl der Schwellwerte oder Steuerparameter ab (PASINI et al. 2002, KRAUS 1997, VOELZ 2001). Daraus folgt, dass abhängig von der Art der Filterung, unterschiedliche, der Geländestruktur (Landnutzung) angepasste Einstellwerte bzw. Schwellwerte gewählt werden sollten.

Dies erfordert die Segmentierung eines DOM in Gebiete gleicher Eigenschaften, um die Leistungsfähigkeit der Filtermethoden zu optimieren.

2 Segmentierung eines DOM

Die Segmentierung eines DOMs, welches mittels Bildzuordnung oder Laserscanning gewonnen wurde, sollte mit Klassen erfolgen, die möglichst allgemein beschrieben werden können, um eine Übertragbarkeit des Segmentierungsansatzes auf andere Datensätze zu erlauben. Solche einfachen Landnutzungsklassen können in der Regel leicht von geschulten Interpreten aus optischen Bildern extrahiert werden. Bei modernen Laserscannersystemen ist es möglich, neben der Höheninformation auch ein Bild der Geländereflexion aufzuzeichnen und dieses für eine Segmentierung zu verwenden.

Es konnte gezeigt werden (BAATZ & MIMLER 2002), dass Softwareprogramme, wie

Definiens *eCognition* in der Lage sind, zufrieden stellende Segmentierungen von hoch auflösenden Fernerkundungsbildern zu erstellen. Die eingesetzte Methode benutzt dabei ein hierarchisches Netzwerk von Bildobjekten, sowie eine Menge von vom Nutzer definierbaren Regeln, die nicht nur den Bildelementwert gewichten, sondern auch Merkmale, wie Form und Topologie. Diese Software wurde in der hier vorliegenden Untersuchung zur Segmentierung genutzt.

2.1 Segmentierung eines Laserscanner-Datensatzes

Der untersuchte Datensatz wurde von der Firma TOPSCAN zur Verfügung gestellt, welche die Laserbefliegung im Auftrag der Emscher Genossenschaft im Gebiet „Ickern/Waltrop“ in der Nähe von Castrop Rauxel in Nordrhein Westfalen durchführte. Hierbei kam der OPTECH ALTM 1225 Laserscanner im „First/Last Pulse“ Modus mit Aufzeichnung eines Intensitätsbildes der Laserreflexionen zum Einsatz. Abb. 1 (links) zeigt die „last pulse“ Höhen als Grauwertbild gemeinsam mit dem Segmentierungsergebnis (Mitte) und dem Reflexionsbild im rechten Teil der Abbildung. Die Messpunktdichte beträgt 0,6 Punkte pro m². Dieser Datensatz wurde für die Untersuchungen zur

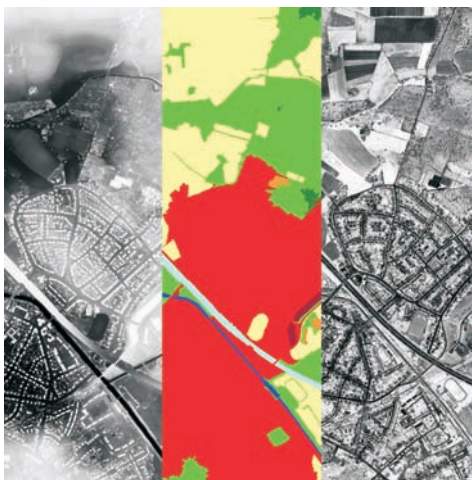


Abb. 1: Segmentierungsergebnis (Links: Grauwertbild der Höhen, Mitte: Segmentierung, Rechts: Intensitätsbild).

Filterung herangezogen, indem eine Segmentierung in 8 allgemeine Klassen, hergestellt aus dem Höhenbild allein oder in Kombination mit dem Intensitätsbild zugrunde gelegt wurde.

Das hierarchische Netz in *eCognition* wurde aus 3 Ebenen aufgebaut und die wählbaren Segmentierungs-Parameter so gesetzt, dass visuell das beste Ergebnis erreicht wurde (LOHMANN 2002).

Die unterschiedlichen Ebenen wurden in Übereinstimmung mit üblichen Interpretationsregeln erzeugt. So sollen zum Beispiel in Ebene 1 die Segmentgrenzen mit den Gebäudekanten übereinstimmen, um die Klassifizierung einzelner Gebäude zu erlauben. Damit ist das Objekt „Gebäude“ das wesentliche Element, um die Parameter der Ebene 1 zu definieren. Gebäude können visuell am besten durch eine hellere Farbe (Höhe) von ihrer Nachbarschaft unterschieden werden. Damit ist das Gewicht für den „Farbwert“ in dieser Ebene deutlich größer als das des Parameters „Form“ (Shape). Durch gleichartige Überlegungen können die anderen Segmentierungsparameter gefunden werden. Die grundlegenden Merkmalsbeschreibungen (Abb. 2 und Tab. 1) dienen dazu die Objekte in jeder Ebene zu definieren und sie in der nächsten höheren Ebene zur gewünschten Ausgabeklasse zu aggregieren.

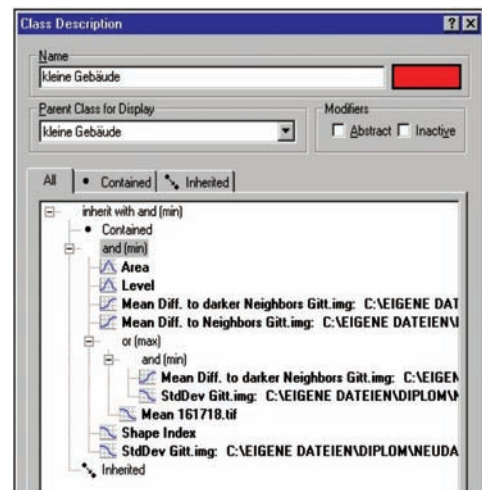


Abb. 2: Klassenbeschreibung in *eCognition*.

Tab. 1: Tabelle der Objektbeschreibung „Kleine Gebäude“ in Ebene 1.

Kleine Gebäude		Diese Klasse dient als Ansatz zur späteren Klassifizierung von Siedlungsflächen. Ziel ist es hier Gebäude wie Einfamilienhäuser oder kleinere Wohnblocks zu klassifizieren. Dazu werden folgende Merkmale benutzt:
Fläche		Zugelassen sind nur Segmente zwischen 80 Pixel (m ²) und 2000 Pixel. Dieses Merkmal definiert die maximale Größe eines kleinen Gebäudes.
Mittlere Differenz zu dunkleren Nachbarn (Höhe)		Dieses Merkmal unterstützt die Eigenschaft, dass das umliegende Gelände des Gebäudes tiefer liegt und damit dunkler erscheint.
Mittl. Diff. zu Nachbarn (Höhe)		Es sollen mehrheitlich dunklere (tiefere) Nachbarsegmente vorhanden sein.
or	and	Wenn der mittlere Grauwert des Intensitätskanals vegetations-typische Werte (höhere Grauwerte) liefert, dann schützt das Merkmal Grauwertstandardabweichung der Höhe vor einer Verwechslung mit Wald. Die Gebäudeklassifikation von Vegetationsflächen wird von der Bedingung „viel dunklere Nachbarsegmente“ unterstützt.
	Mittl. Diff. zu dunkleren Nachbarn (Höhe)	
	Std. Dev. (Höhe)	
	Mean (Grauwert-mittelwert Intensität)	
Shape Index (Form)		Die glatte Geometrie der Gebäudeumrisse wird hier genutzt. Randlänge des Segments geteilt durch seine Fläche. Ein Wert unter 2.6 wird verlangt.
Std. Dev. (Standardabweichung der Höhe)		Diese Funktion gehört zur Statistik der Texturanalyse 1.Ordnung. Es wird eine Standardabweichung des Mittels der Grauwerte im Segment berechnet. Die im Vergleich zum Wald glatte Oberfläche der Gebäude wird hier berücksichtigt.

So beginnt z. B. die Klasse „Siedlung“ in Ebene 3 mit der Ableitung von „kleinen Gebäuden“ in Ebene 1, die zu „Gebäudeblöcken“, „Wohneinheiten“ inklusive „Straßen“, „Hinterhöfe“ und „Reihenhäuser“ in Ebene 2 aggregiert werden.

Die Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Segmentierung und Klassifizierung wurde durch Vergleich mit einer Interpretation eines geübten Luftbildinterpreten ermittelt und ist in Abb. 4 dargestellt.

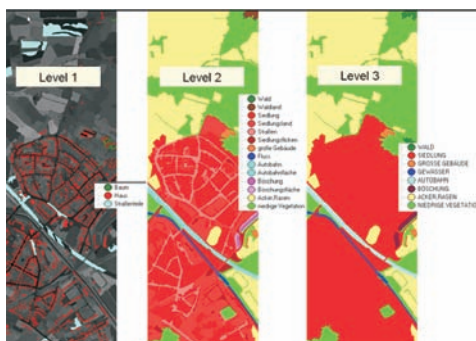


Abb. 3: Verschiedene Aggregationsebenen im Laufe der Segmentierung.

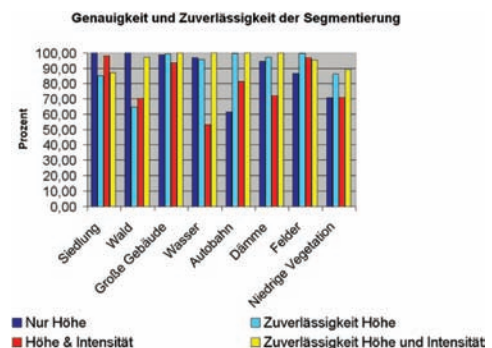


Abb. 4: Klassifizierungs-/Segmentierungsgenauigkeit und -Zuverlässigkeit.

Wie zu sehen ist, steigt die Genauigkeit durch das Hinzunehmen des Intensitätskanals in der Segmentierung nicht signifikant an, aber die Zuverlässigkeit der erzeugten Klasse nimmt zu. Im Vergleich zu der manuellen Interpretation fällt hingegen auf, dass insbesondere kleine flächenhafte Objekte, wie Bäche oder Gräben nicht erkannt wurden. Daher wurde das Ergebnis (Abb. 3) manuell editiert, bevor die Filterparameter und Schwellwerte für die Segment bezogene Filterung gewählt wurden.

3 Filterung des Digitalen Oberflächenmodells zu einem Digitalen Höhenmodell

Für die Filterung vom DOM in ein DHM wurde in der Universität Hannover das Programm RASCOR entwickelt (JACOBSEN 2001, JACOBSEN & PASSINI 2001). RASCOR bestimmt die für die Filterung erforderlichen Parameter mittels einer Analyse des DOM. Ein Problem stellen die für verschiedene Geländetypen unterschiedlichen Filterparameter dar. Ohne eine Unterscheidung nach Geländetypen können nur mittlere Parameter vom Programm ermittelt werden, die nicht immer zu optimalen Ergebnissen führen. Das beschriebene Gelände wurde zuerst ohne Berücksichtigung der Objektklassen gefiltert. Die Schnellstraße, zwei Wasserläufe und eine Halde wurden durch Bruchkanten spezifiziert um eine nicht beabsichtigte Entfernung von Punkten an diesen zu vermeiden.

Durch die Filterung sollten alle Punkte, die nicht auf dem Boden liegen, entfernt

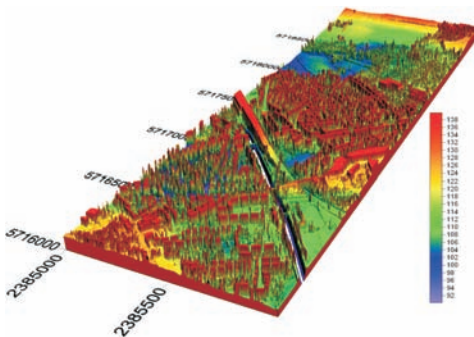


Abb. 5: 3-D-Blick auf das benutzte DOM.

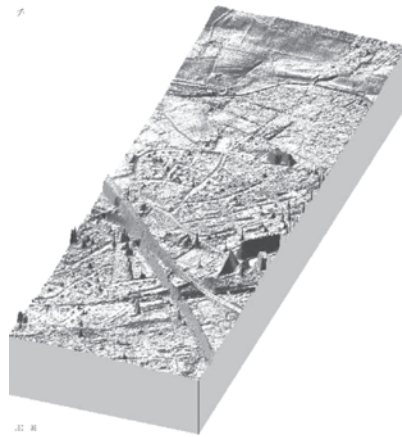


Abb. 6: Gelände nach einer globalen Filterung.



Abb. 7: Ergebnis der Filterung – weiß = entfernte oder nicht vorhandene Punkte.

werden um ein DHM zu erhalten. 37% der DOM-Punkte wurden durch die globale Filterung entfernt (siehe Abb. 5 und 6). Einige Bäume und Gebäude an der Gebietsgrenze sind auch nach der Filterung erhalten geblieben. Ohne Verwendung von Bruchkanten wurde eine größere Anzahl von Bodenpunkten an den Dammschultern und oberen Teilen der Einschnitte entfernt.

3.1 Filterung durch RASCOR

Das Programm RASCOR verwendet eine Kombination verschiedener Methoden zur Filterung des DOM, das eine rasterförmige Punktanordnung haben muss. Für die Filterung von DOMs mit einer zufälligen Punktanordnung steht das Hannoversche Programm DTMCOR zur Verfügung, das auf einer Prädiktion basiert. Die praktische Erfahrung zeigte, dass DOMs mit zufälliger Punktanordnung in eine rasterförmige Anordnung umgerechnet werden können und danach mit RASCOR zu filtern sind, ohne dass dieses zu einem Informationsverlust führt. Für den untersuchten Datensatz war diese Umrechnung nicht erforderlich, da die Daten bereits rasterförmig vorlagen.

RASCOR startet mit einer Analyse der Höhenverteilung. In weitgehend ebenem Gelände werden eine Ober- und eine Untergrenze der zu akzeptierenden Punkte bestimmt. Es folgt eine Untersuchung der Höhenunterschiede benachbarter Punkte. Die automatisch ermittelte Toleranzgrenze für den Höhenunterschied benachbarter Punkte ist von der Geländeneigung und den zufälligen Punktfehlern abhängig. Mit dieser Methode lassen sich nur kleine Objekte und die Grenzen größerer Objekte aus dem Datensatz entfernen; trotzdem wird hiermit in der Regel bereits ein größerer Anteil der Nichtbodenpunkte identifiziert und entfernt.

In durch Laserscanner erstellten DOMs können größere Gebäude durch eine plötzliche Höhenänderung und eine in einem Abstand folgende umgekehrte Höhenänderung innerhalb eines Profils identifiziert werden. Diese Methode wirkt nur eingeschränkt, wenn die Höhen durch eine automatische

Bildzuordnung bestimmt wurden, da diese zu hügelartigen Gebäuden führt.

Andere, nicht zum Boden gehörende Objekte, lassen sich durch eine Profilanalyse bestimmen. Es hat sich die Kombination eines kürzeren wandernden Profils mit einem längeren bewährt. Die erforderlichen Profillängen und korrespondierenden Toleranzgrenzen werden durch Analyse einer Reihe kürzerer und längerer Profile vom Programm ermittelt. In flachem Gelände werden die individuellen Punkte gegen den Mittelwert im Profil geprüft, in bewegtem Gelände erfolgt eine Anpassung an das Gelände durch eine geneigte Gerade und im Bergland durch ein Polynom. Diese Methode ist mit einem Datasnooping kombiniert um Datenlücken durch bereits entfernte Punkte richtig berücksichtigen zu können. Die Profile werden in X- und Y-Richtung analysiert. Es schließt sich eine Untersuchung mittels einer bewegten Ebene an, die je nach Geländetyp horizontal oder geneigt ist oder im Gebirge durch eine Polynom-Anpassung ersetzt wird. Die Größe der bewegten Ebene wird vom Programm durch Analyse einer Anzahl von verschiedenen großen Ebenen festgelegt. Eine anschließende Prädiktion führt in der Regel nicht zu einer beachtenswerten Anzahl von zu entfernenden Punkten.

Überschreitet ein Höhenunterschied benachbarter Punkte die Toleranzgrenze, wird der höher gelegene entfernt. Die anderen Schritte sind mit einem wählbaren Gewichtungsfaktor für tiefer gelegene Punkte verbunden. Dadurch werden Einschnitte und Wasserläufe unverändert gelassen. Durch Laserscanner bestimmte DOMs enthalten in der Regel nur Nichtbodenpunkte, die oberhalb der Erdoberfläche liegen. Dagegen können durch Bildzuordnung bestimmte DOMs auch Fehlkorrelationen enthalten, die zu Punkten unterhalb der Erdoberfläche führen, was die Einführung eines Gewichtungsfaktors rechtfertigt.

In Waldgebieten werden im ersten Schritt nur die auf Bäumen liegenden Punkte entfernt. Auf niedrigerer Vegetation liegende Punkte werden erst mit einer zweiten Iteration entfernt. In anderen Fällen kann eine

zweite Iteration zu einer stärkeren Generalisierung des Höhenmodells führen. Für die Generierung von Höhenlinien mag dieses erwünscht sein, es führt aber nicht zu einer optimalen Beschreibung des Geländes.

3.2 Filterung individueller Segmente

Wird die Filterung für die einzelnen Segmente separat durchgeführt, werden automatisch vom Programm unterschiedliche, angepasste Toleranzgrenzen ermittelt, die das digitale Oberflächenmodell besser als mittels der globalen Filterung überarbeiten können.

Siedlungen und große Gebäude

Siedlungen und große Gebäude wurden mit der Standardvorgehensweise des Programms optimal gefiltert. Hierfür waren zwei Iterationen erforderlich. Die erste Iteration entfernt die Gebäude, jedoch nicht die niedrige Vegetation und kleinere Objekte. Mit der zweiten Iteration wird auch dieses entfernt (Abb. 8). Große Industriegebäude werden mit der Profilooption – plötzlicher Sprung nach oben und später ähnlicher Sprung nach unten – identifiziert. Insgesamt wurden 60% der Punkte im Siedlungsgebiet als nicht zur Geländeoberfläche gehörend entfernt.

Schnellstraßen

Schnellstraßen und Eisenbahnlinien liegen häufig auf Dämmen oder in Einschnitten. Durch eine generelle Filterung werden besonders die oberen Böschungsschultern

reduziert. Werden diese linienhaften Objekte gesondert gefiltert, verbessert sich das Ergebnis. Es verbleiben jedoch noch Probleme im Bereich der Böschungsschultern. RASCOR kann diese Bereiche mit besseren Ergebnissen gesondert filtern, optimale Ergebnisse werden jedoch durch Einführung von Bruchkanten erzielt.

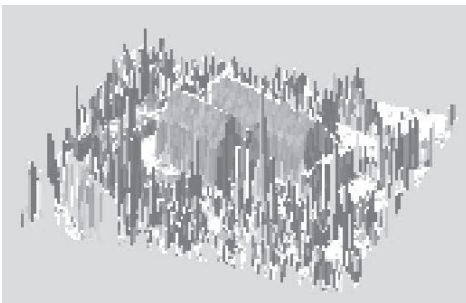
Abb. 10 zeigt, dass Bäume und Büsche problemlos entfernt werden, aber auch die Böschungsschultern beeinträchtigt sind. Eine Standardfilterung entfernt in dem gezeigten Beispiel 21,6% der Punkte. Die Einführung von Bruchkanten reduziert die Anzahl der entfernten Punkte auf 10,4% und lässt den Damm unbeeinflusst.

Böschungen und Einschnitte

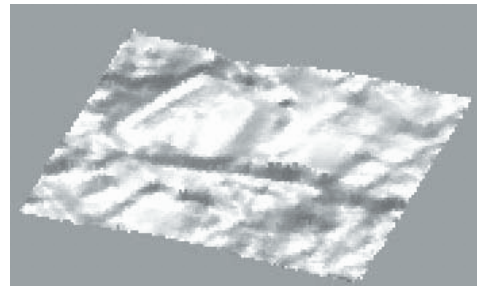
Böschungen und Einschnitte zeigen ähnliche Probleme wie die Durchgangsstraßen. Sie können durch eine gesonderte Filterung oder auch mittels Bruchkanten optimal bearbeitet werden.

Wasserläufe

Durch Totalreflexionen auf Wasseroberflächen ist von diesen meistens keine Höheninformation verfügbar, so dass sie von den Uferlinien aus interpoliert werden müssen. Typisch für Wasserläufe sind Böschungen und parallele Dämme. Einschnitte verursachen keine Probleme da sie von RASCOR besonders behandelt werden, anders sieht es mit begleitenden Dämmen aus, die als solche bearbeitet werden sollten. Abb. 11 zeigt bei der Standardfilterung eine Beeinträchti-



Gebäude mit umliegender Vegetation



DHM nach Filterung mit 2 Iterationen

Abb. 8: DOM eines Gebäudes mit Umgebung vor und nach der automatischen Filterung.

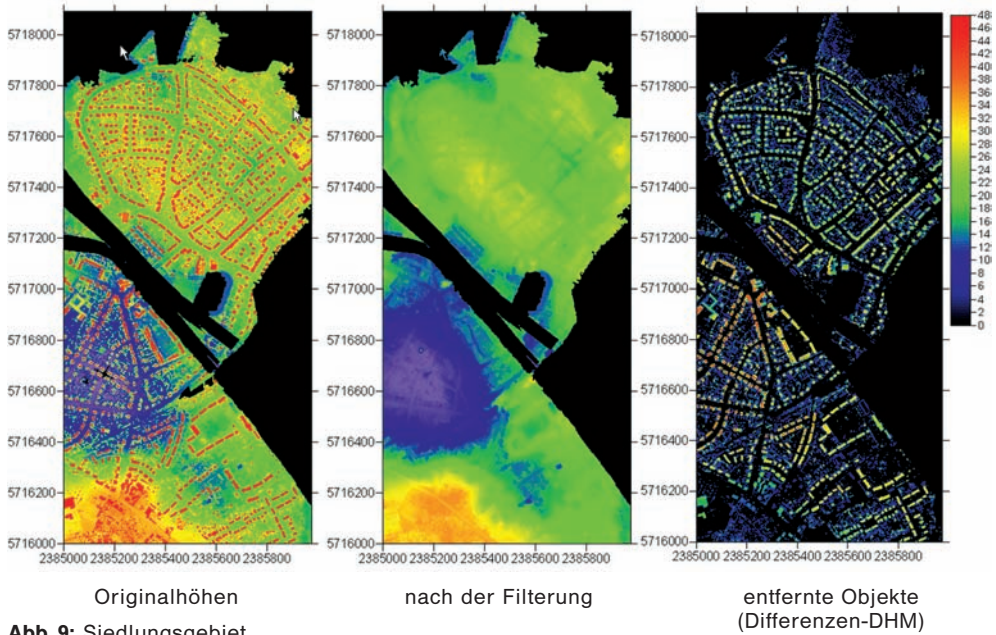


Abb. 9: Siedlungsgebiet.

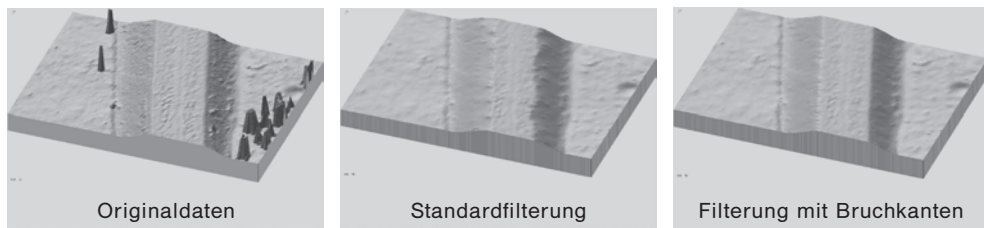


Abb. 10: Schnellstraße.

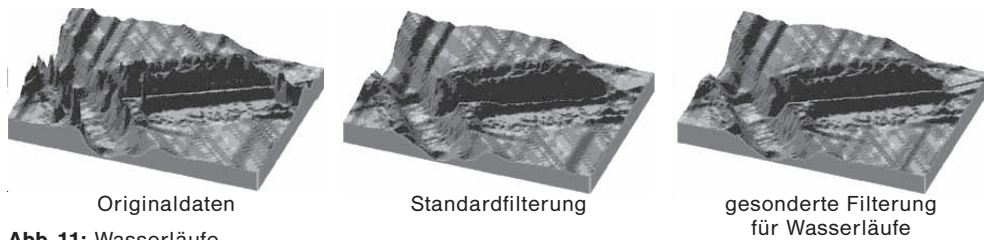


Abb. 11: Wasserläufe.

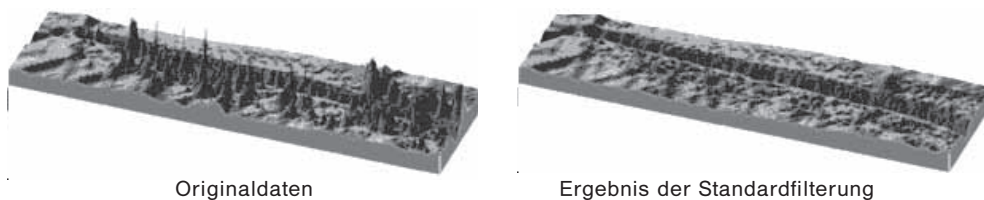


Abb. 12: Kanal.

gung des begleitenden Dammes (Mitte, unten), die durch die gesonderte Filterung nicht vorhanden ist. Ähnlich sieht das Ergebnis einer Filterung mit Bruchkanten aus.

Kanäle haben eine ähnliche Struktur wie natürliche Wasserläufe. Der in dem untersuchten Datensatz vorhandene Kanal hat keine begleitenden Dämme und nur eine eingeschränkte Anzahl von Vegetationselementen. Dementsprechend ergaben sich keine Probleme mit der Standardfilterung (Abb. 12).

Brücken

Brücken zeigen abrupte Höhenänderungen ohne Böschung. Wenn die Brücken als gesonderte Segmente vorhanden sind, werden sie selbstverständlich nicht beeinträchtigt, da alle Punkte auf den Brücken liegen. Trotzdem ist es besser, die Brücken mittels Bruchkanten als durch gesonderte Segmente zu erfassen. Die Bruchkanten können auch die benachbarten Dämme enthalten, was zu einer vereinfachten Bearbeitung führt. Eine Einführung von Bruchkanten führt zu keinem Informationsverlust gegenüber den Originaldaten, während eine globale Filte-

rung die Brücken und auch in der Nachbarschaft vorhandene Dämme beeinträchtigt (Abb. 13).

Grasflächen

Wiesen und Weiden sind einfache Segmente, sie enthalten neben wenigen Büschen und Bäumen kaum Objekte, die nicht zur Geländeoberfläche gehören. Dementsprechend können sie ohne Probleme mit einer globalen Filterung optimal bearbeitet werden.

Vegetation

Unter Vegetation ist die Mischung von Grasflächen mit Büschen zu verstehen. Dieses konnte, wie die Grasflächen, mit der globalen Filterung problemlos bearbeitet werden.

Forst

Die globale Filterung erfolgte nur mit einer Iteration um Dämme nicht zu stark zu beeinflussen. Für die Forstgebiete sollten je-

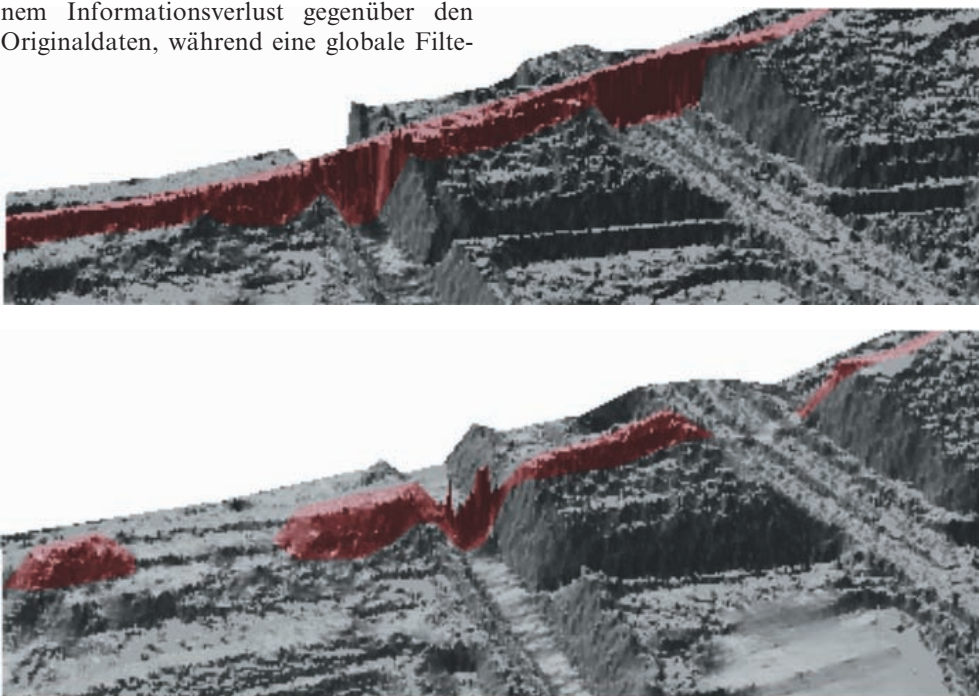


Abb. 13: Brücken. oben: Originaldaten, unten: Ergebnis der Standardfilterung (eine Iteration)

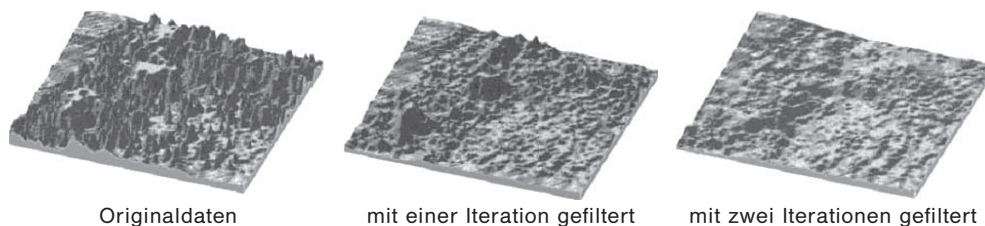


Abb. 14: Forst.

doch zwei Iterationen benutzt werden, da in der ersten Iteration nur die großen Bäume entfernt werden, kleinere Bäume und Buschwerk noch nachbleiben. In einer zweiten Iteration lassen sich auch diese identifizieren (Abb. 14). Die globale zweistufige Filterung führte in Waldgebieten zu zufrieden stellenden Ergebnissen.

4 Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Ohne Berücksichtigung unterschiedlicher Strukturen führt die automatische Filterung eines DOM zu einem DHM nicht immer zu optimalen Ergebnissen. Eine individuelle Filterung der einzelnen Geländeklassen zeigt deutliche Verbesserungen. Besondere Vorteile ergeben sich bei Siedlungen mit großen Gebäuden, Forst, Wasserläufen, Durchfahrtstrassen und Dämmen. Die Einführung von Bruchkanten vermeidet bei Dämmen und Durchfahrtstrassen die Abrundung von Böschungsschultern. Wesentliche Unterschiede einer globalen gegenüber einer segmentierten Filterung ergeben sich in Siedlungs- und Waldgebieten. Insgesamt vereinfacht die Segmentierung die Reduzierung eines DOM in ein DHM, wobei einzelne Klassen wegen ähnlichen Verhaltens zusammengefasst werden können.

Literatur

- BAATZ, M. & MIMLER, M., 2002: Bildobjekt-Primitive als Bausteine – Extraktion von Objekten „of interest“ bzw. anthropogenen Objekten basierend auf der expliziten Kanteninformation von Bildobjekt-Primitiven. – In: BLASCHKE, T. (Hrsg.): GIS und Fernerkundung: Neue Sensoren – Innovative Methoden. – pp. 179–188, Wichmann Verlag, Heidelberg.
- JACOBSEN, K. & PASSINI, R., 2001: Filtering of Digital Elevation Models. – GIS 2001, Vancouver.
- JACOBSEN, K., 2001: New Developments in Digital Elevation Modelling. – Geoinformatics, Juni 2001: 18–21.
- KRAUS, K., 1997: Eine neue Methode zur Interpolation und Filterung von Daten mit schiefer Fehlerverteilung. – Österreichische Zeitschrift für Vermessung & Geoinformation 1/1997: 25–30.
- LOHMANN, P. & KOCH, A., 2000: Schaeffer M., Approaches to the Filtering of Laser Scanner Data. – IAPRS (33), B3/1: 534–541, Amsterdam.
- LOHMANN, P., 2002: Segmentation and Filtering of Laser Scanner Digital Surface Models. – IntArchPhRS, Com.II, Xi'an, Vol.XXXIV, Part 2: 311–315.
- PASSINI, R., BETZNER, D. & JACOBSEN, K., 2002: Filtering of Digital Elevation Models. – ASPRS Annual Convention, Washington 2002.
- SCHULTZE, D., 2003: Segmentierte Filterung von Laserscanner-Daten. – Diplomarbeit, Universität Hannover.
- VOELZ, H., 2001: Mathematische Grauwertmorphologie zur Filterung Digitaler Oberflächenmodelle. – Diplomarbeit, Universität Hannover, www.ipi.uni-hannover.de/html/lehre/diplomarbeiten/2001/2001.htm

Anschriften der Autoren:

Dr.-Ing. KARSTEN JACOBSEN
Tel.: 0511-762-2485, Fax: 0511-762-2483
e-mail: jacobsen@ipi.uni-hannover.de

Dr.-Ing. PETER LOHMANN
Tel.: 0511-762-2486, Fax: 0511-762-2483
e-mail: lohmann@ipi.uni-hannover.de
Universität Hannover
Institut für Photogrammetrie und
GeoInformation
Nienburger Str., D-30167 Hannover

Manuskript eingereicht: Dezember 2003
Angenommen: Januar 2004