

Ein regionen-basiertes Verfahren zur Extraktion der Geländeoberfläche aus Digitalen Oberflächen-Modellen

JOCHEN SCHIEWE, Vechta

Zusammenfassung: Es wird ein neuartiger Ansatz zur Extraktion der Geländeoberfläche aus einem Digitalen Oberflächen-Modell vorgestellt. Dieses multi-skalige Verfahren nimmt nach einer regionen-basierten Segmentierung eine Klassifizierung basierend auf einem fuzzy-logic Ansatz vor, um solche Bereiche zu trennen, deren Höhen reduziert oder beibehalten werden müssen. Hierbei werden Steigungs- und Krümmungs-Indikatoren berücksichtigt. Anhand von Höhendaten, die durch Laserscanning bzw. durch automatisches Matching gewonnen wurden, wird die Eignung dieses Ansatzes überprüft.

Summary: *A region-based approach for the extraction of the terrain surface from Digital Surface Models. A novel approach for the extraction of the terrain surface from a Digital Surface Model is presented. This multi-scale method starts with a region-based segmentation and performs a classification based on a fuzzy logic approach in order to differentiate between surfaces whose heights have to be reduced or to be kept unchanged. For these tasks indicators based on corresponding slopes and curvatures are considered. Using heights from laserscanning and Digital Surface Model derived from automatical matching, resp., the suitability of this approach is examined.*

1 Einleitung

Die Notwendigkeit von Höheninformationen zur Modellierung und zum Monitoring umweltrelevanter Prozesse, im Bereich der Herstellung von digitalen oder analogen topographisch-kartographischen Datenbanken, zur Navigation oder zu Visualisierungszwecken ist unumstritten. Demgegenüber steht die relativ geringe Verfügbarkeit von Digitalen Höhen-Modellen. So waren nach einer Statistik der Vereinten Nationen 1993 weltweit nur 12% der Erdoberfläche derart mit Höhendaten abgedeckt, dass Kartierungsansprüchen im Maßstab 1 : 25000 entsprochen werden konnte.

Die Entwicklungen und erfolgreichen Einsätze flugzeug- und satellitengetragener Fernerkundungssensoren mit gesteigerten technischen Charakteristika ist ein erster Schritt hin zu einer besseren Verfügbarkeit von Höhendaten. Die teilweise simultane Aufnahme von optischen Bilddaten sowie die weiter entwickelten Fusionsverfahren ermöglichen prinzipiell eine integrative Aus-

wertung von Bild- und Höhendaten. Im Gegensatz zur visuellen Bildauswertung ist diese Integration in rechnergestützten oder rechnerischen Ansätzen aber noch nicht zufrieden stellend gelöst worden. Ein Grund hierfür ist die begrenzte Zuverlässigkeit der digitalen Höhendaten, der Verfahren zu deren Erzeugung (z.B. dem automatischen Matching; GRÜN et al. 2000) oder zur automatischen Grobfehlersuche.

Im Folgenden soll ein weiteres methodisches Problem behandelt werden – die automatische Extraktion der Geländeoberfläche aus einem aufgezeichneten Digitalen Oberflächen-Modell, die für nachfolgende Operationen, z.B. für die Modellierung von Stofftransporten oder – nach einer Normalisierung – zu Objektextraktionen, notwendig ist. Nach einer kurzen Abhandlung der notwendigen Terminologie (Kap. 2) soll aufbauend auf eine Aufarbeitung bisheriger Ansätze (Kap. 3) ein neuartiges, multi-skaliges Verfahren zur Normalisierung vorgestellt werden, das nach einer regionen-basierten Segmentierung eine Klassifizierung

in zu reduzierende oder beizubehaltende Gebiete auf Basis eines fuzzy-logic-Ansatzes vornimmt (Kap. 4). An zwei unterschiedlichen Höhen-Datensätzen (abgeleitet aus Laserscanning bzw. automatischem Matching) wird die Eignung des Verfahrens diskutiert (Kap. 5).

2 Terminologie

In der Regel erfassen Fernerkundungssensoren die jeweils größten Höhenwerte an einem Ort, deren Zusammenstellung als Digitales Oberflächen-Modell (DOM) bezeichnet wird. Da für die weitere Nutzung entweder

- über der Geländeoberfläche stehende Objekte (Häuser, Bäume) nicht von Interesse bzw. störend sind (z. B. bei der Modellierung von Stofftransporten),
- oder aber deren absolute Werte über einem Referenzniveau (d.h. deren Objekthöhen) bestimmt werden sollen (z. B. zur Modellierung von Gebäuden oder zur Unterscheidung von Wald- und Wiesenflächen),

sind entsprechende Transformationen des DOMs notwendig (Abb. 1). Gegenüber den Geländepunkten werden die Punkte bzw. Punktmengen oberhalb der Geländeoberfläche im Folgenden auch als *Reduktionspunkte bzw. -flächen* bezeichnet.

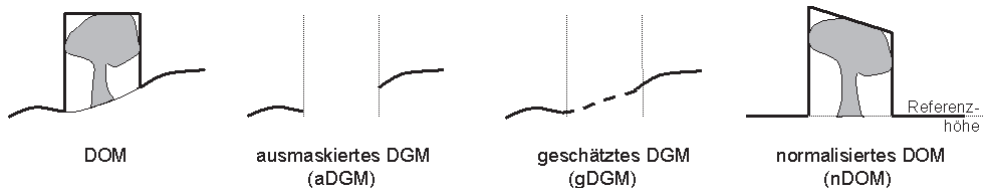


Abb. 1: Verschiedene Transformationen des Digitalen Oberflächen-Modells.

Für den erst genannten Fall werden die Reduktionspunkte oder -flächen nach ihrer Detektion auf einen unbestimmten Wert gesetzt, man erhält das *ausmaskierte Digitale Gelände-Modell (aDGM)*. Für den zweiten Fall der Objekthöhen-Bestimmung ist eine Differenzenbildung aus DOM und DGM (*Normalisierung*) notwendig. Da in der Praxis das DGM oft nicht erhältlich, nicht ausreichend genau bzw. zuverlässig oder in der Anschaffung zu teuer ist, müssen die im aDGM entstandenen Lücken zusätzlich durch ein Interpolationsverfahren geschlossen werden. Das daraus resultierende *geschätzte DGM (gDGM)*, kann nun vom DOM subtrahiert werden, um zum gewünschten *normalisierten DOM (nDOM)* zu gelangen.

3 Bisherige Arbeiten

Im Idealfall liegen zur Extraktion der Geländeoberfläche zuverlässige semantische

Informationen (z. B. aus existierenden GIS-Datenbanken) vor, die für eine visuelle oder automatische Bestimmung der Reduktionspunkte und -flächen herangezogen werden können. Müssen die Bilddaten zuvor noch klassifiziert werden, ergibt sich aber nicht nur ein erhöhter Zeitaufwand, sondern auch die Zuverlässigkeit der Klassifizierung an sich ist oft nicht ausreichend – u. a. deshalb, weil noch keine Objekthöhen in die Klassifizierung einfließen konnten.

Liegen aus operationellen Gründen keine Bilddaten vor, müssen rein geometrisch orientierte Verfahren verwendet werden. Hierzu gehören solche Methoden, die auf der **mathematischen Grauwert-Morphologie** basieren (WEIDNER & FÖRSTNER 1995). Hierbei wird ein *Opening* durchgeführt, das aus einer *Erosion* (d. h. einer Minimum-Filterung) und einer anschließenden *Dilation* (Maximal-Filterung) besteht. Die Größe des entsprechenden Fensters (des *Strukturelements W*) ist dabei konstant und muss so gewählt

werden, dass es nicht gänzlich in den Objekten oberhalb der Geländeoberfläche enthalten ist, die reduziert werden sollen. Als Ergebnis erhält man sofort ein geschätztes Digitales Gelände-Modell (gDGM), aus dem durch Vergleich mit dem originären DOM nachträglich auch ein ausmaskiertes DGM (aDGM) abgeleitet werden kann.

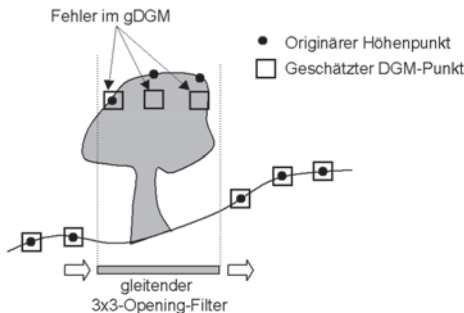


Abb. 2: Fehlklassifizierungen durch zu kleine Filtergröße beim klassischen Opening.

Die Probleme dieses Ansatzes bestehen insbesondere in der richtigen Wahl der Strukturelement-Größe: Wird sie zu klein gewählt, werden unerwünschte, hochgelegene Punkte (z. B. auf Bäumen oder Hausdächern) als Geländeoberfläche interpretiert, d. h. das geschätzte DGM wird zu hoch (und damit das nDOM zu klein) geschätzt (Abb. 2). Wird dagegen W zu groß gewählt, werden tatsächliche Geländeformen (z. B. Kuppen) eliminiert, d. h. das gDGM nähert sich dem globalen Minimum und somit wird das nDOM zu groß geschätzt.

Weiterhin berücksichtigt der morphologische Maßstabsraum nur horizontale Ausdehnungen, eine Reduktion wird unabhängig vom Höhenunterschied durchgeführt. Daher führen KILIAN et al. (1996) mehrere Openings mit unterschiedlichen Strukturelementgrößen und der Beachtung eines vertikalen Toleranzintervalls ein. Neben der Festlegung dieses Intervalls besteht ein Problem dieses Ansatzes in der Annahme, dass das unterliegende Gelände horizontal verläuft. – Aus diesem Grund gestaltet VOSSELMAN (2000) das Toleranzintervall als Funktion des Abstandes eines Punktes zu allen

anderen Punkten. Hier liegt die Idee zu Grunde, dass die Wahrscheinlichkeit dafür, dass ein hochgelegener Punkt nicht zum Gelände gehört, mit der Entfernung zu einem Bodenpunkt abnimmt. Die Bestimmung des Intervalls beruht idealerweise auf stochastischen Ansätzen, die allerdings die Einführung von geeigneten, am besten vom Nutzer zu definierenden Trainingsgebieten bedingen.

Ein alternativer geometrisch orientierter Ansatz zur DOM-Reduktion ist die **lineare Prädiktion** (KRAUS 1997; LOHMANN et al. 2000). Hier wird zu jedem Punkt eine Ausgleichsebene berechnet und die Differenzen der Originalhöhen zu diesem Trend betrachtet. Liegen die Abweichungen oberhalb eines Schwellwertes, werden diese Punkte eliminiert. Zur gDGM-Herstellung wird aus den übriggebliebenen Werten der Umgebung mit Hilfe einer Kovarianzfunktion ein Wert für das zentrale Pixel prädiziert, wobei die Kovarianzen reziprok zur Entfernung der betrachteten Nachbarpunkte abnehmen. Probleme bei diesem Ansatz ergeben sich insbesondere durch die Wahl der sensiblen Schwellwerte, insbesondere für die Umgebungsgröße, innerhalb der der Trend berechnet werden soll. Ferner werden nicht nur Einzelpunkte, sondern u. U. auch linienhafte Strukturen wie Dämme oder Bruchkanten fälschlicherweise eliminiert.

Weitere Verfahren, die z. B. auf der Häufigkeitsverteilung von Höhendifferenzen (SHI & SHIBASAKI 1996) oder auf dem Verfahren der konvex-konkaven Hülle (VON HANSEN & VÖGTLE 1999) beruhen, beinhalten ebenfalls abstrakte Schwellwerte und können keine befriedigende Ergebnisqualität nachweisen.

Ist eine Schätzung des gDGMs nicht schon im Laufe der Reduktion erfolgt (wie z. B. beim Opening), ist eine Interpolation notwendig, die idealerweise durch zusätzliche Informationen unterstützt wird (z. B. zur Bildung einer horizontalen Ebene für die Objektart Haus). Ansonsten sind lineare Interpolationen in zwei Richtungen mit einer anschließenden Mittelwertfilterung zur Elimination von Schachbrettmustern sinnvoll. Es bleibt aber festzuhalten, dass die Inter-

pulation zum gDGM die Realität i.d.R. nur genähert abbilden kann. Für einige Anwendungen (z.B. Wasserabfluss-Modellierungen) ist das aDGM vorzuziehen.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass für die rein geometrisch orientierten Verfahren zur Extraktion der Geländeoberfläche hinsichtlich der Ergebnisqualität (insbesondere in geneigtem Gelände) sowie auf Grund der schwierigen Definition von teilweise abstrakten Schwellwerten weiterer Forschungsbedarf besteht.

4 Verfahrensbeschreibung

4.1 Überblick

Die Idee unseres Verfahrens zum Zweck der Bestimmung des ausmaskierten DGMs basiert auf dem visuell-manuellen Vorgehen, das *regionen-basiert* nach Reduktionsflächen sucht. Nach einer Segmentierung des Bildes erfolgt im Klassifizierungsschritt die Zuweisung in solche Bereiche, die reduziert werden sollen und solche, die bereits das Gelände repräsentieren. Um – ebenfalls analog

zur visuellen Auswertung – bei der Bestimmung der Grenzlinien der Reduktionsflächen unterschiedliche, anwendungsabhängige Generalisierungen zuzulassen, wird das Verfahren in verschiedenen Skalen durchgeführt. Abb. 3 zeigt den Ablauf, dessen Bausteine in den folgenden Abschnitten näher erläutert werden.

4.2 Segmentierung

Als **Segmentierungsansatz** haben wir ein regionen-basiertes Verfahren ausgewählt, da die Toleranz gegenüber Bildstörungen, die Gewährleistung einer starken Homogenität innerhalb der Segmente, sowie die Geschlossenheit der Grenzlinien eindeutige anwendungsspezifische Vorteile gegenüber den kanten-basierten Verfahren darstellen. Um gleichzeitig die Eignung des derzeit wohl einzig kommerziellen Produktes für Segmentierungszwecke zu testen, werden wir die *eCognition*-Software (DEFINIENS 2001) einsetzen. Das komplexe regionen-basierte – und zusätzlich auch multi-skalige und hierarchische – Verfahren dieser Software wird von BAATZ & SCHÄPE (2000) im Detail beschrieben.

Die Zusammenfassung benachbarter Höhenpunkte zu einem Segment geschieht auf Basis von **Homogenitätskriterien**. HOFFMANN et al. (2000) benutzen für diese Aufgabe die absoluten Höhenwerte. Nachteile hierbei sind u.a. die Annahme eines horizontalen Geländes sowie die Tatsache, dass Geländeerhebungen (z.B. Hügel) und Reduktionsflächen (Häuser, Bäume) nicht differenziert werden können. Geht man wie der menschliche Betrachter von der Hypothese aus, dass sich Reduktionsflächen durch starke Gradienten auszeichnen, lassen sich solche Gebiete hierdurch zwar trefflich identifizieren (OUDE ELBERINK & MAAS 2000), doch die horizontale Abgrenzung erfolgt nicht ausreichend genau, weil auf Grund der diskreten Punktverteilung und des damit verbundenen nicht rechtwinkligen Anstieges der Höhen an scharfen Kanten nicht die Fußpunkte der zu reduzierenden Objekte, sondern eine in das Objekt hinein verschobene Linie als Grenze angenommen wird

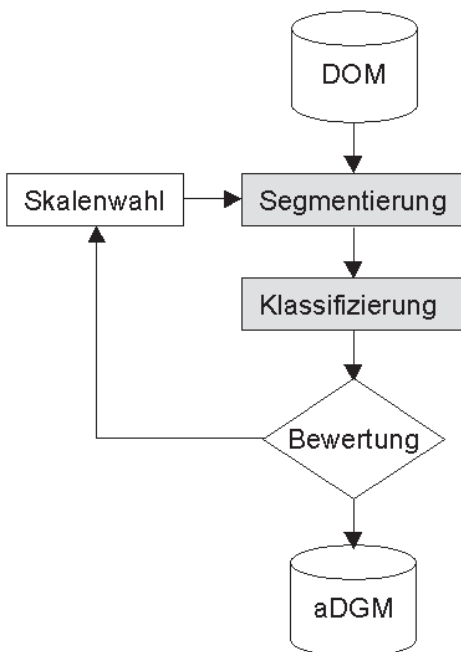


Abb. 3: Ablauf der multi-skaligen, regionen-basierten aDGM-Extraktion.

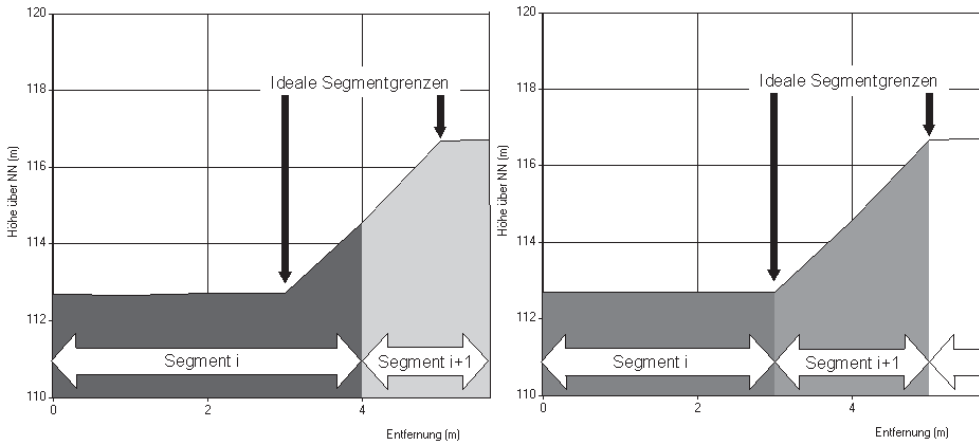


Abb. 4: Extrahierte Segmentgrenzen im Profil durch eine Gebäudewand, auf Basis von hohen Gradienten (links) bzw. hohen Krümmungen (rechts).

(Abb. 4, links). Dagegen können abrupte Gradienten-Änderungen (d.h. große Krümmungen) diese Fußpunkte besser repräsentieren (Abb. 4, rechts). Da hierbei auch ein natürlich geneigtes Gelände richtigerweise als eine homogene Fläche angesehen wird, wird in unserem Ansatz das Krümmungsverhalten zur Bestimmung der Segmentgrenzen mit eingesetzt.

4.3 Klassifizierung

Zur Interpretation der erhaltenen Segmente wird im Folgenden ein **Klassifizierungsansatz** basierend auf der *fuzzy-logic*-Theorie angewendet. Zum einen ist zwar eine scharfe Trennung zwischen Reduktions- und Geländeflächen erwünscht, diese unterliegt jedoch auch subjektiven Entscheidungskriterien (siehe auch Abschnitt 4.4). Insbesondere führen aber die begrenzten horizontalen und vertikalen Auflösungen sowie eventuelle Messfehler der Höhen-Modelle zu Unschärfen, sodass die Einführung von unscharfen Mengen bzw. partiellen Zugehörigkeiten sinnvoll erscheint.

Als **Eingabe** zur Klassifizierung dienen die Beobachtungen $x_{S,I}$ für jedes extrahierte Segment ($S = 1, \dots, s$) sowie jeden Indikator ($I = 1, \dots, i$) zur Entscheidungsfindung. Als Indikatoren zur Trennung zwischen Re-

duktions- und Geländeflächen werden der mittlere Gradient sowie der maximale Gradient innerhalb eines Segmentes betrachtet. Diese Parameter sind in der Lage, die Hypothese zu unterlegen, nach der Reduktionsflächen Gebiete mit sehr großen Steigungen darstellen. Der Gradienten-Mittelwert charakterisiert solche Flächen, die zwar keine sehr scharfen Ränder, aber große interne Variationen aufweisen (z. B. Waldgebiete), während der Maximalwert solche Flächen identifizieren kann, die sehr große Randwerte, jedoch geringere Steigungen im Innenbereich aufweisen (z. B. Häuser).

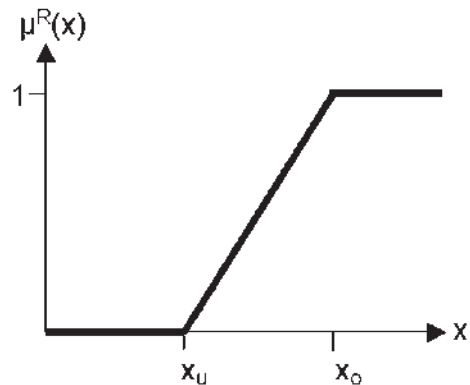


Abb. 5: Graph der allgemeinen Zugehörigkeitsfunktion $\mu^R(x)$.

Der Schritt der **Fuzzyfizierung** beinhaltet die Bildung der Zugehörigkeitsfunktionen $\mu_{S,I}^R(x)$ (zugehörig zu Reduktionsfläche) bzw. $\mu_{S,I}^G(x)$ (Geländefläche) als Funktion der Beobachtungen x (für die Indikatoren I , d.h. mittlerer bzw. maximaler Gradient, innerhalb eines Segmentes S). Auf Grund der Heterogenität der Eingabedaten ist eine generische Bestimmung dieser Funktionen unmöglich, sodass unser Ansatz vereinfacht von sinn-logischen Grenzwerten (x_u, x_o) sowie einem linearen Verlauf für den Bereich mit partiellen Zugehörigkeiten ausgeht (Abb. 5):

$$\mu_{S,I}^R = \begin{cases} 0 & \text{wenn } x < x_u \\ 1 & \text{wenn } x > x_o \\ \frac{x-x_u}{x_o-x_u} & \text{sonst} \end{cases}$$

$$\mu_{S,I}^G = 1 - \mu_{S,I}^R$$

Diese Toleranzgrenzen wurden wie folgt festgelegt:

- mittlere Steigung eines Segmentes: $x_u = 5^\circ, x_o = 30^\circ$
- maximale Steigung eines Segmentes: $x_u = 20^\circ, x_o = 50^\circ$

Die **Entscheidung** über die Klassenzugehörigkeit erfolgt durch eine gewichtete Summenbildung der beiden Indikatoren zu einem Wert $\mu_S^R(x)$. Dieser wird i.d.R. durch den Vergleich mit einem Schwellwert ($\mu_S^R(x) > 0.5$) zu einer scharfen Definition des Ergebnisklasse führen. Alternativ ist es denkbar, für einen Toleranzbereich (z.B.: für $\mu_S^R(x) = [0,4 \dots 0,6]$) eine weitere (evtl. visuelle) Inspektion zu empfehlen.

Um den typischen Problemfall eines schwach geneigten Segmentes (z.B. Flachdach) zu berücksichtigen, das vollständig von einem oder mehreren stark ansteigenden Randsegmenten (z.B. Hausrand) umgeben ist, müssen in einem letzten Schritt auch solche *Insel-Segmente* als Reduktionsflächen interpretiert werden, die den o.g. Zugehörigkeits-Schwellwert $\mu_S^R(x)$ nicht erfüllt haben.

Um eine Aussage über die Trennbarkeit zwischen Reduktions- und Geländeflächen

für die jeweiligen Indikatoren innerhalb zu erhalten, kann der normierte Abstand der Fuzzy-Mengen

$$d_I = \frac{100}{s} \sum_{S=1}^s |\mu_{S,I}^R(x) - \mu_{S,I}^G(x)| \\ = \frac{100}{s} \left| \sum_{S=1}^s |2 \cdot \mu_{S,I}^R(x) - 1| \right|$$

betrachtet werden. Je näher d dem Wert 100% kommt, desto besser ist die Trennbarkeit.

4.4 Multi-skaliger Ansatz

Die **Notwendigkeit** der Verwendung eines multi-skaligen Ansatzes lässt sich zum einen damit begründen, dass auch visuelle oder durch GIS-Datenbestände unterstützte Prozesse der Gelände-Extraktion je nach Anwendung, Zielmaßstab oder Generalisierungsgrad der Zusatzdaten als variabel in der Skala angesehen werden können. Zum anderen ist die Wahl der notwendigen Skalierungsparameter im Segmentierungsprozess i.d.R. sehr abstrakt (wie auch bei der verwendeten *eCognition*-Software) und verlangt nach einer Bewertung auf der Grundlage mehrerer abgestufter Lösungen.

Als **Ergebnis** von multi-skaligen Segmentierungen vom Groben ins Feine erkennt man nicht nur die hierarchische Unterteilung der Segmente (siehe Abb. 6), sondern auch die Reduzierung der Anzahl der Fehler 2. Art, also solcher Fälle, in denen Gelände als Reduktionsflächen interpretiert worden sind. Bis zu einem gewissen Grad bleibt die Anzahl der Fehler 1. Art (d.h., die Reduktionsflächen werden nicht als solche erkannt) konstant. Im Extremfall führt diese Verfeinerung zu einer punktwisen Betrachtung, die aber dem regionen-basierten Vorgehen widerspricht und vor allem keine statistisch zuverlässigen Aussagen mehr zulässt.

Daher muss im Rahmen einer Bewertung des Klassifizierungsergebnisses die feinste, noch akzeptable Skala gefunden werden. Dies kann zum einen durch eine – allerdings stark subjektive – visuelle Bewertung erfol-



Abb. 6: Multi-skalige Segmentierung und Klassifizierung in Reduktionsflächen (Bildausschnitt ca. $250\text{ m} \times 240\text{ m}$) – in drei Stufen vom Groben ins Feine (schwarz bis hellgrau, die feiner skalierte Fläche überlagert die gröber skalierte Fläche).

gen. Andererseits können aber auch geometrische Zwangsbedingungen eingeführt werden: So kann eine minimale Segmentgröße definiert werden, die sich entweder an der Anwendung (z.B. die Flächen-Mindestdimension von $(0.3\text{ mm})^2$ im Zielmaßstab einer Karte), oder aber an der statistischen

Zuverlässigkeit der abgeleiteten Indikatoren berechnet. In vielen Fällen kann durch Betrachtung des Histogramms eines Indikators innerhalb eines Segments schon vorhergesagt werden, dass trotz einer eventuellen weiteren Aufteilung die Bedingung für die Reduktionsfläche nicht mehr erreicht werden kann (z. B. durch Betrachtung des Maximums der Gradienten). Ferner müssen solche Segmente, die als Inseln innerhalb einer Reduktionsfläche erkannt worden sind (siehe Abschnitt 4.3), i.d.R. auch nach einer weiteren Aufteilung weiterhin reduziert werden.

5 Beispiele

5.1 Laserscanning-Datensatz

Der Laserscanning-Datensatz des *TopoSys*-Sensors überdeckt ein hügeliges, teilweise bewaldetes und bebautes Gebiet in Dänemark (Abb. 7). Die originalen Messwerte des Sensors wurden zu einem 1-m-Gitter zusammengefasst, grobe Messfehler und Datenlücken wurden in einem Vorverarbeitungsschritt eliminiert. Die Lage- sowie die Höhengenaugigkeit des Sensors werden jeweils mit ca. 0.1 m bis 0.2 m angegeben. Bild- oder Kartenmaterial zu diesem Testgebiet liegt nicht vor.

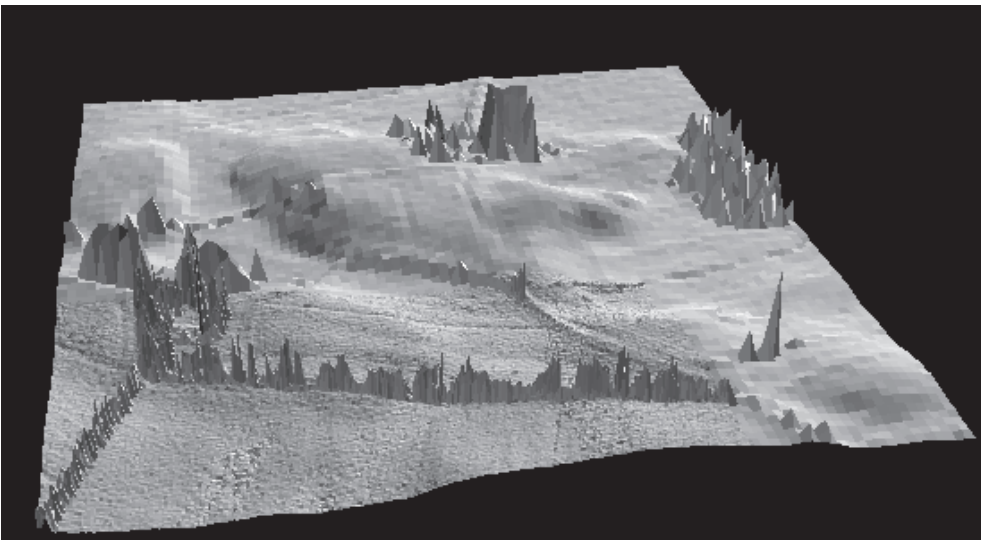


Abb. 7: Laserscanning-Datensatz (Ausschnitt ca. $700\text{ m} \times 700\text{ m}$; © TopoSys).



Abb. 8: Laserscanning-DOM (links, Ausschnitt ca. 250 m × 240 m, © TopoSys) sowie Ergebnisse der Segmentierung (Mitte) und Klassifizierung (rechts, Reduktionsflächen in schwarz).

Der Datensatz wird in mehreren Skalen segmentiert und nach den angegebenen Regeln klassifiziert. Abb. 8 zeigt die jeweiligen Ergebnisse auf einem ausgewählten Skalenniveau. Durch einen visuellen Vergleich mit dem Eingangs-DOM (z. B. durch diverse Profilschnitte) wird jedes Segment auf die Richtigkeit der Interpretation hin überprüft. Unter Beachtung der Insel-Segmente (siehe Abschnitt 4.4) kann die Anzahl der Fehler 1. Art bis zur feinsten gewählten Skala auf Null gehalten werden. Der Anteil der Fehler 2. Art bleibt konstant unter 2% aller Segmente. Bei diesen Fehlinterpretationen handelt es sich überwiegend um Waldbodenflächen, deren Abgrenzung sowie Steigungsverhalten im Vergleich zu benachbarten Flächen mit Bäumen nicht exakt vollzogen werden kann. Eine visuelle Bewertung unabhängig von den Segmentgrenzen ergibt ebenfalls sehr zufrieden stellende Ergebnisse.

5.2 Datensatz abgeleitet aus automatischem Matching

Der zweite Testdatensatz beinhaltet Höhen- und Bilddaten des High Resolution Stereo Scanners (HRSC-A) von bebauten und bewaldeten Teilen der Stadt Osnabrück. Auf Grund der nadir- und schrägblickenden Kanäle des HRSC-A können stereoskopische Aufnahmen in Flugrichtung zur Ableitung von Höhendaten erfolgen. Durch automatisches Matching (mit bis zu 5fachen Strahlenschnitten) sowie anschließende Interpolationen werden gitterförmige Digitale Oberflächen-Modelle (DOMe) mit einer horizontalen Auflösung von 0.5 m sowie einer geschätzten vertikalen Genauigkeit von 0.2 m erzeugt (SCHOLTEN & WEWEL 2000). Abb. 9 zeigt einen Ausschnitt des Höhenmodells, das sich typischerweise durch Fehlkorrelationen sowie durch zu weiche und ausgefrante Kanten auszeichnet.

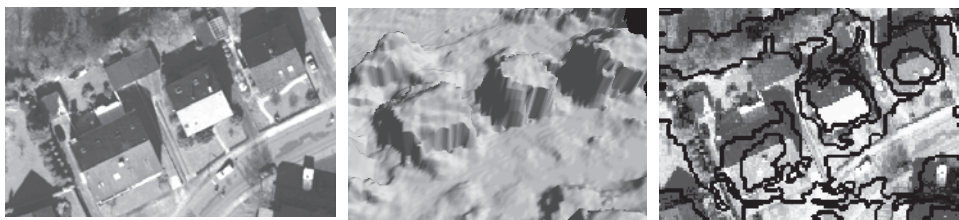


Abb. 9: HRSC-A-Bilddaten (links, Ausschnitt ca. 80 m × 50 m, © Stadt Osnabrück), Matching-DOM (Mitte, keine Überhöhung) sowie ein Segmentierungs-Ergebnis (rechts).

Die eingeschränkte Datenqualität wirkt sich erwartungsgemäß negativ auf die Segmentierung aus (Abb. 9, rechts): Die Segmentgrenzen entsprechen nicht den semantischen Grenzen (z. B. den geradlinigen Hausumrissen). Die Integration der Bilddaten in die Segmentierung kann hier zwar eine gewisse Abhilfe schaffen, doch entstehen hierdurch Segmente mit einem inhomogenen Steigungs- und Krümmungsverhalten, sodass in der nachfolgenden Klassifizierung unbefriedigende Ergebnisse erzielt werden. Die der beschriebenen Klassifizierungsstrategie zu Grunde liegenden Hypothese wird bei diesem Matching-Datensatz insofern aufgeweicht, als dass die erwarteten, sehr großen Gradienten für Reduktionsflächen verwischt werden, sowie sehr viele, unrealistische, hohe Steigungen auch in Geländeflächen auftreten. Die Folge ist, dass im Zuge einer visuellen Inspektion bis zur feinsten gewählten Skala die Fehler 1. Art zwar auf Null gehalten werden können, der Anteil der Fehler 2. Art aber bis zu 40% aller Segmente ausmacht.

Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass das beschriebene Verfahren für diesen Datensatz zu unbefriedigenden Ergebnissen führt. Dies ist aber zweifelsohne auf die eingeschränkte Datenqualität zurückzuführen, die eine zufrieden stellende, automatische Ableitung eines aDGMs generell unmöglich machen wird.

6 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Dieser Aufsatz zur Extraktion eines ausmasierten DGMs aus einem Digitalen Oberflächen-Modell (DOM) stellt einen Beitrag zur Weiterentwicklung der Methodik im Rahmen von Höhendatenauswertungen dar. Das aDGM ist als Vorstufe für nachfolgende Operationen, z. B. für Stofftransport-Modellierungen oder – nach einer Normalisierung – für Objektextraktionen anzusehen.

Konkret wurde ein multi-skaliges Verfahren vorgestellt, das nach einer regionen-basierten Segmentierung eine Klassifizierung auf Basis eines fuzzy-logic-Ansatzes in sol-

che Bereiche vornimmt, deren Höhen reduziert oder beibehalten werden müssen. Dieses Vorgehen erfüllt die Anforderungen, dass nur Höhendaten (alternativ aber auch zusätzliche spektrale Daten) benötigt werden, unabhängig von der Neigung des Geländes gearbeitet wird, die Filtergrößen-Problematisierung umgangen wird sowie konkrete, sinn-logische Schwellwerte eingesetzt werden. Die empirischen Untersuchungen zeigten für einen Laserscanning-Datensatz sehr zufrieden stellende Ergebnisse (Fehler 1. Art i.d.R. Null, Fehler 2. Art kleiner als 2%). Dagegen zeigte sich erwartungsgemäß, dass die Methode – wie andere automatische Verfahren – auf Grund der eingeschränkten Eingabedatenqualität bei einem aus automatischem Matching abgeleiteten DOM nur bedingt anwendbar ist.

Die weiteren Forschungsarbeiten werden sich auf eine noch differenziertere Betrachtung der Anwendbarkeit unterschiedlicher Segmentierungsmethoden sowie auf die Integration von zuverlässigen Höhen- und Bilddaten in den Prozess konzentrieren.

Generell kann festgehalten werden, dass analog zur visuellen Auswertung eine kombinierte Analyse von Bild- und Höhendaten erst das Potenzial der neuen Fernerkundungssensoren ausnutzen wird. In diesem Zusammenhang kann von einer simultanen Aufnahme von spektralen Daten und Laserscanning-Höhen (z. B. die Systeme AIMS oder EarthData Technologies – siehe TOTH & GREJNER-BRZEZINSKA 2000) ein bedeutender Mehrwert für nachfolgende Bildanalysen erwartet werden.

7 Danksagungen

Dank gilt der Stadt Osnabrück (Fachdienst Geodaten) für die Bereitstellung der HRSC-A Daten (Befliegung durch DLR, Berlin), sowie der Firma TopoSys für die Bereitstellung der Laserscanning-Daten.

8 Literatur

BAATZ, M. & SCHÄPE, A., 2000: Multiresolution Segmentation – an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation. –

- In: STROBL, J., BLASCHKE, T. & GRIESEBNER, G. (Hrsg.): *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XII*. – Wichmann-Verlag: 12–23.
- DEFINIENS, 2001: www.definiens.de
- GRÜN, A., BÄR, S. & BÜHRER, T., 2000: DTMs Derived Automatically from DIPS – Where Do We Stand? – *GeoInformatics* **7/8**: 36–39.
- VON HANSEN, W. & VÖGTLE, T., 1999: Extraktion der Geländeoberfläche aus flugzeuggetragenen Laserscanner-Aufnahmen. – *PFG* 1999 (4): 229–236.
- HOFFMANN, A., VAN DER VEGT, J.W. & LEHMANN, F., 2000: Towards automated map updating: Is it feasible with new digital data acquisition and processing techniques? – *Int. Arch. of Photogrammetry and Remote Sensing* **33** (B2): 295–302.
- KILIAN, J., HAALA, N. & ENGLISH, M., 1996: Capture and evaluation of airborne laser scanner data. – *Int. Arch. of Photogrammetry and Remote Sensing* **31** (B3): 383–388.
- KRAUS, K., 1997: Eine neue Methode zur Interpolation und Filterung von Daten mit schiefer Fehlerverteilung. *Österr. Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation* **1**: 25–30.
- LOHMANN, P., KOCH, A. & SCHAEFFER, M., 2000: Approaches to the filtering of laser scanner data. – *Int. Arch. of Photogrammetry and Remote Sensing* **33** (B3): 540–547.
- OUDE ELBERINK, S. & MAAS, H.-G., 2000: The use of anisotropic height texture measures for the segmentation of airborne laser scanner data. – *Int. Arch. of Photogrammetry and Remote Sensing* **33** (B3): 678–684.
- SCHOLTEN, F. & WEWEL, F., 2000: Digital 3D-data acquisition with the High Resolution Stereo Camera-Airborne (HRSC-A). – *Int. Arch. of Photogrammetry and Remote Sensing* **33** (B4): 901–908.
- SHI, Z. & SHIBASAKI, R., 1996: Towards automated house detection from digital stereo imagery for GIS database revision. – *Int. Arch. of Photogrammetry and Remote Sensing* **31** (B4): 780–785.
- TOTH, C. & GREJNER-BRZEZINSKA, D.A., 2000: Complementary of LIDAR and stereo imagery for enhanced surface reconstruction. – *Int. Arch. of Photogrammetry and Remote Sensing* **33** (B3): 897–904.
- VOSSELMAN, G., 2000: Slope based filtering of laser altimetry data. – *Int. Arch. of Photogrammetry and Remote Sensing* **33** (B3): 935–942.
- WEIDNER, U. & FÖRSTNER, W., 1995: Towards automatic building extraction from high resolution digital elevation models. – *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* **50** (4): 38–49.

Anschrift des Verfassers:

Dr.-Ing. JOCHEN SCHIEWE

Hochschule Vechta, Forschungszentrum für

Geoinformatik und Fernerkundung (FZG)

Postfach 1553, D-49364 Vechta

Tel.: 04441-1 55 58

Fax: 04441-1 54 64

e-mail: jschiewe@iuw.uni-vechta.de

Manuskript eingereicht: November 2000

Angenommen: Januar 2001