

AUTOMATISCHE EXTRAKTION VON BÄUMEN AUS LUFTBILDERN UND OBERFLÄCHENMODELLEN

B.-M. STRAUB¹

Es wird ein Verfahren zur automatischen Extraktion von Bäumen vorgestellt, das auf der Verwendung einer Multiskalen-Repräsentation von Luftbildern und Oberflächenmodellen basiert. Unter Extraktion von Bäumen wird hier die Bestimmung der Position jedes einzelnen Baumes in der Szene sowie die Bestimmung der Kronenabgrenzungen verstanden. Die Grundidee des Verfahrens besteht darin, dass sich die Form einer Baumkrone durch eine Kugel- bzw. Ellipsoidoberfläche beschreiben lässt. Dies gilt dann, wenn durch eine vorhergehende Tiefpassfilterung die Feinstrukturen der Baumkrone optimal unterdrückt werden. Die hier vorgeschlagene Lösung zur Extraktion von Baumkronen verwendet eine Multiskalenrepräsentation im Linearen Maßstabsraum, eine Wasserscheidentransformation und Snakes zur Extraktion von einzelnen Bäumen.

Das Verfahren wurde mit Oberflächenmodellen unterschiedlicher Auflösung (0.2 m und 1 m) und Herkunft (Laserscanner, digitale Bildzuordnung) getestet. Dabei wurden sowohl in Waldgebieten, als auch in Siedlungsgebieten gute Ergebnisse erzielt.

1 EINLEITUNG

In diesem Artikel wird die automatische Extraktion von Bäumen auf der Basis von Luftbildern und Oberflächenmodellen behandelt. Der Begriff Extraktion impliziert die kognitive Erkennung von Objekten im Sinne einer Identifikation und deren Rekonstruktion. Unter Rekonstruktion werden die Prozesse zusammengefasst, die eine geometrische Beschreibung des Objektes zum Ziel haben. In diesem Sinne ist die Rekonstruktion eine Vermessung des Objektes. Die Initialisierung des Verfahrens erfolgt durch eine relativ geringe Anzahl von Steuerparametern, die für die Aufgabe der Extraktion von Bäumen aus dem Oberflächenmodell im wesentlichen konstant sind. Ein Extraktionsergebnis besteht aus dem Mittelpunkt, dem Durchmesser und den Stützpunkten des Umringspolygons der Baumkronenabgrenzung für jede in der untersuchten Szene sichtbare Baumkrone. Der Mittelpunkt der Baumkrone ist eine Schätzung für die Position des Stammes, mit Baumkronenabgrenzung ist der im Luftbild sichtbare Rand der Baumkrone gemeint. Mit diesen Informationen lassen sich bereits einfache 3D Modelle von Bäumen erzeugen (Abbildung 1).



Abbildung 1: 3D Baummodelle - Visualisierung²

¹ Bernd-M. Straub, Institut für Photogrammetrie und GeoInformation, Universität Hannover, Nienburger Straße 1, 30167 Hannover, e-mail: bernd-m.straub@ipi.uni-hannover.de

² Für die Visualisierung wurde der in (SAINT JOHN, 1997) beschriebene VRML Prototyp verwendet.

2 STAND DER FORSCHUNG

Erste Ansätze zur Automatisierung der Extraktion von einzelnen Bäumen aus Luftbildern wurden etwa Mitte der achtziger Jahre des 20. Jahrhunderts entwickelt. In der Regel wurden in diesen frühen Ansätzen lokale Intensitätsmaxima in Farbinfrarotbildern als Hypothesen für Bäume angesehen, siehe beispielweise (PINZ, 1988).

Die Ansätze zur Extraktion von einzelnen Bäumen aus Bildern lassen sich grob in zwei Kategorien einteilen. Bei den *modellgetriebenen (bottom-up)* Ansätzen wird basierend auf einem 3D Modell eines Baumes ein 2D Muster des Modells durch eine geometrische Transformation in die Abbildungsebene generiert. Die Instanzen der 3D Modelle werden durch einen Vergleich des Musters mit den in der Szene sichtbaren Bäumen erzeugt. Ein solcher Ansatz für die Extraktion von Bäumen aus Luftbildern wurde erstmals in (POLLOCK, 1994) vorgestellt. Ein neuerer Ansatz, der Laserscannermessungen und ein 3D Muster verwendet, ist in (ANDERSEN et al., 2002) beschrieben. Ein grundlegender Vorteil dieser Strategie ist, dass bei einer sehr detaillierten Modellierung des gesuchten Objektes, die Bildverarbeitung prinzipiell sehr einfach gehalten werden kann. Dem steht als Nachteil gegenüber, dass sehr viele verschiedene Muster generiert und in den Bildern gesucht werden müssen.

Im Gegensatz dazu steht ein eher *datengetriebenes (top-down)* Vorgehen, bei dem zunächst Merkmale wie Kanten (PERSSON et al., 2002) und/oder Regionen (BRANDTBERG & WALTER, 1998) aus den Bildern extrahiert werden. Die Instanzen des Modells werden in einem zweiten Schritt, durch eine Gruppierung der Merkmale erzeugt. Das eigentliche 3D Modell des Baumes verbirgt sich hier häufig im Prozess der Gruppierung, also in der Art und Weise wie die Merkmale zu Instanzen von Bäumen zusammengesetzt werden. Der Vorteil des datengetriebenen Ansatzes ist, dass der Vergleich zwischen Modell und Bild auf einer symbolischen Ebene stattfindet und somit allgemeiner formuliert werden kann. Nachteilig ist die oftmals schwierige Bewertung der Bildmerkmale und deren anschließende Gruppierung.

Mit den automatischen Verfahren zur Extraktion von Bäumen wird durchschnittlich etwa eine Vollständigkeit von 80% bei einer Korrektheit von über 90% erreicht. Ein hervorragender Überblick über die Arbeiten zur Extraktion einzelner Bäume aus Luftbildern findet sich in (HILL & LECKIE, 1999).

Ein wesentliches Problem bei der Extraktion von Bäumen besteht darin, dass der Durchmesser der einzelnen Baumkronen in der Regel nicht bekannt ist, jedoch für die Extraktion benötigt wird. Zur Lösung dieses Problems verwenden einige der merkmalsbasierten Ansätze eine Repräsentation des Bildmaterials im Linearen Maßstabsraum (KOENDERINK, 1984), (LINDBERG, 1994). In dieser Maßstabsraum-Repräsentation liegen die Bilddaten in verschiedenen Auflösungsstufen vor, in etwa vergleichbar mit einer Bildpyramide. Die Auflösung wird durch Faltung des Bildes mit einer Gaußfunktion reduziert, anders als bei Bildpyramiden wird hier jedoch die Bildgröße nicht verändert. Man spricht dabei von einer Transformation des Bildes im Linearen Maßstabsraum. Ein mit einer Gaußfunktion $G(x, \mathbf{s})$ gefaltetes Bild $H(x)$ wird im Folgenden als Maßstabsebene $H(x, \mathbf{s}) = G(x, \mathbf{s}) * H(x)$ bezeichnet. Diese Transformation ist allein vom Maßstabsparameter σ abhängig, eine Vergrößerung von σ führt zu einer Verringerung der Auflösung.

In (BRANDTBERG & WALTER, 1998) erfolgt die Extraktion der Baumkronen auf der Basis der über mehrere Maßstabsebenen akkumulierten Krümmungszentren der Kanten im Luftbild. Eine Voraussetzung dafür ist, dass die Bäume in mehreren Maßstabsebenen bedeutsame

Objekte in den Daten darstellen. Dies ist eine grundlegende Idee bei der Verwendung mehrerer Skalen für die Extraktion von Objekten, siehe beispielsweise (MARR, 1982), oder (LINDBERG, 1998). In (SCHARDT et al., 2002) wird vorgeschlagen, eine optimale Maßstabsebene vor der Segmentierung mit dem Wasserscheidenverfahren zu ermitteln. Alternativ dazu kann die Segmentierung in mehreren Maßstabsebenen erfolgen, dies wird in (PERSSON et al., 2002) vorgeschlagen. Die optimale Maßstabsebene ergibt sich dann indirekt nach der Segmentierung. Der Vorteil der zweiten Strategie ist, dass bei der Bewertung der Segmente auch Merkmale herangezogen werden können, die nicht für die Segmentierung genutzt wurden. Eine ähnliche Strategie wird auch hier verwendet.

3 STRATEGIE FÜR DIE BAUMEXTRAKTION

Die Objektextraktion basiert immer auf einem Modell des Objektes und auf einer Strategie zur Extraktion von Merkmalen aus den Bildern und deren Zuordnung zum Modell. Die Strategie ist der „Plan zur Erkennung von Objekten in Bildern“ (MAYER, 1998). Die hier verwendete Strategie ist in Abbildung 2 dargestellt. Die Grundidee dieser Strategie zur Extraktion von Bäumen ist es, zunächst die oftmals recht komplexen Feinstrukturen der einzelnen Baumkronen durch eine Tiefpassfilterung zu entfernen, um dann in einem zweiten Schritt einzelne Baumkronen als konvexe Regionen bestimmter Größe im Oberflächenmodell zu identifizieren. Das Hauptproblem dabei ist, dass der Durchmesser eines einzelnen Baumes in der realen Welt einerseits kontinuierlich variabel ist, andererseits aber einen entscheidenden Einfluss auf die Auswahl der optimalen Maßstabsebene hat.

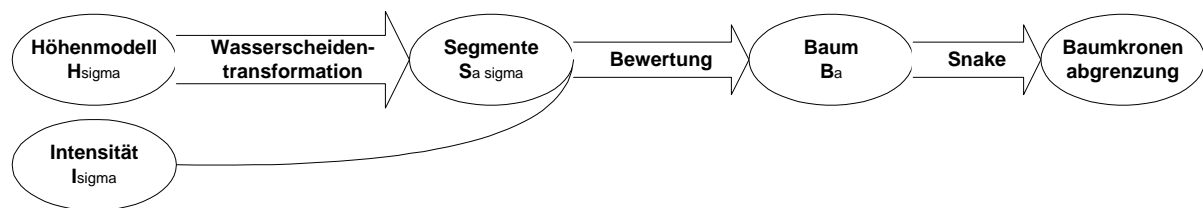


Abbildung 2: Strategie zur Extraktion von Baumbeschreibungen

Es wird davon ausgegangen, dass in mindestens einer der untersuchten Maßstabsebenen die Annahme erfüllt ist, dass es sich bei einer Baumkrone um eine konvexe Region im Oberflächenmodell handelt. Damit wird der Verbindung eines bestimmten Maßstabs mit dem Objekt „Baum“ bei der Segmentierung des Oberflächenmodells aus dem Weg gegangen. Auf einer Maßstabsebene, in der die Feinstrukturen einer sehr großen Baumkrone unterdrückt werden, können kleine Bäume bereits ausgelöscht sein. Deshalb wird eine Reihe von Maßstabsebenen untersucht. Nach der Bewertung aller Hypothesen in allen Maßstabsebenen werden die jeweils besten Hypothesen ausgewählt.

Für die Bewertung werden Eigenschaften eines generischen, geometrischen Modells des Baumes verwendet, das aus einer umhüllenden Funktion zur Beschreibung der Baumkrone besteht. Dabei handelt es um das in (POLLOCK, 1994) hierfür vorgeschlagene Generalisierte Rotationsellipsoid (generalized ellipsoid of revolution). Eine Funktion, die im Reellen in Abhängigkeit von einem Formparameter verschiedene Formen zwischen einem rotationssymmetrischen Ellipsoid und einem Zylinder annehmen kann. Zusätzlich kann der Durchmesser und die Höhe des Modells variiert werden. Basierend auf diesem geometrischen Modell werden einige wenige Merkmale identifiziert, auf deren Basis die Segmente bewertet werden: Der Rand einer Baumkrone ist in der Sicht von oben mehr oder weniger kreisförmig, die Oberfläche der Baumkrone ist eher konvex als konkav und die Größe eines Segments, das einer Baumkrone entspricht, ist nach oben beschränkt, siehe auch (STRAUB, 2003a).

In mehreren Maßstabsebenen des Oberflächenmodells wird zunächst eine Segmentierung mit der Wasserscheidentransformation durchgeführt (SOILLE, 1998). Für jedes dabei entstandene Segment S_{ij} werden Zugehörigkeitswerte $m(a_k)$, basierend auf den Merkmalen Größe, Konvexität, Kreisförmigkeit und Vitalität berechnet. Bei der Berechnung der Vitalität wird auch auf die Information im optischen Bild $I(\bar{x}, \mathbf{s})$ zurückgegriffen (vgl. Abbildung 2). Die Klassifikation der gültigen Hypothesen basiert auf den Zugehörigkeitswerten, Segmente mit hohen Zugehörigkeitswerten stellen Hypothesen für Baumkronen B_a dar.

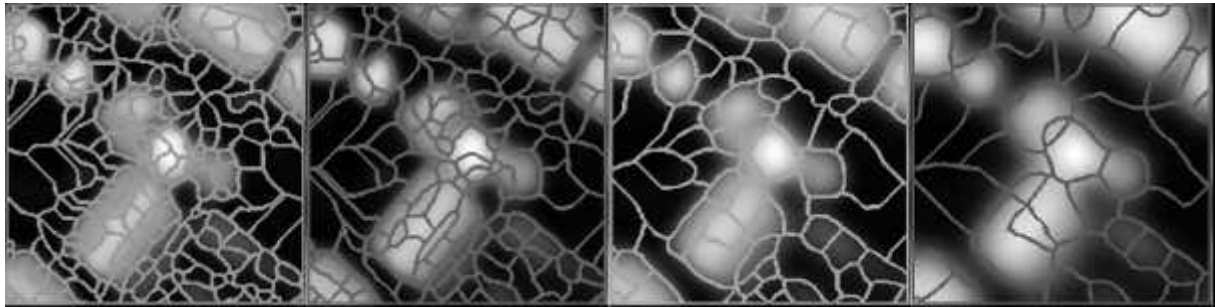


Abbildung 3: Segmentierung in vier unterschiedlichen Maßstabsebenen

Dadurch entstehen an einer Position in der Bildebene mehrere sich eventuell überlappende Segmente. Die Abbildung 3 zeigt beispielhaft vier unterschiedliche Maßstabsebenen, im Vordergrund sind die Ränder der Segmente $S_{s,a}$, in der jeweiligen Maßstabsebene abgebildet. Der kleinste Zugehörigkeitswert der vier Merkmale entspricht der endgültigen Bewertung eines Segmentes. Dies entspricht einem UND der Fuzzy Theorie (BEZDEK, 1992). In Abbildung 4 sind die Segmente mit einem Zugehörigkeitswert von über 0.75 dargestellt. Dieser Wert muss empirisch ermittelt werden.

Bei der Auswahl der besten Hypothesen im Maßstabsraum wird davon ausgegangen, dass das Segment mit der besten Bewertung an einer bestimmten Stelle im Bild die beste Hypothese vor einen Baum darstellt. Hierzu muss zunächst festgestellt werden, welche der Segmente sich in der Bildebene gegenseitig überlappen, einander enthalten, oder gleich sind. Dadurch werden die einzelnen Maßstabsebenen wieder zusammengeführt. Segmente, die in mehreren Maßstabsebenen auftreten, werden als ungültig markiert. Lediglich das Segment mit der besten Bewertung bleibt bestehen und stellt das vorläufige Extraktionsergebnis B_a für einen Baum dar. Diese besten Hypothesen im Maßstabsraum (BHiM) sind in Abbildung 4 mit weißen Pfeilen markiert.

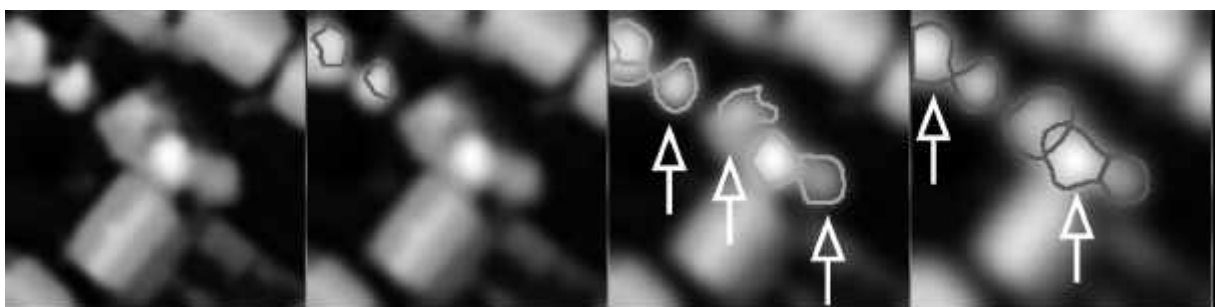


Abbildung 4: Als Baumhypothesen ausgewählte Segmente mit hohem Zugehörigkeitswert. Die weißen Pfeile markieren die Segmente mit der besten Bewertung im Maßstabsraum.

In einem letzten Schritt erfolgt die Bestimmung der endgültigen Baumkronenabgrenzung mittels einer Snake in Form eines geschlossenen Polygons. Snakes wurden erstmals in (Kass et al. 1988) vorgestellt. Die grundlegende Idee des Snake-Algorithmus ist es, ein Bild als eine Art Landschaft zu betrachten, in der sich die Snake, ein deformierbares geometrisches Modell des gesuchten Objektes, bewegt. Bewegung und Form der Snake in der Landschaft wird durch eine virtuelle Schwerkraft verursacht, die Snake bewegt sich in die Täler dieser Landschaft. Die Deformierbarkeit der Snake selbst wird ebenfalls durch physikalisch motivierte Parameter gesteuert. Bei der Bestimmung der Baumkronenabgrenzung mit der Snake kann neben der Geometrie der einzelnen Baumkrone auch die Topologie zwischen den Baumkronen verändert werden. Aus diesem Grund erfolgt die abschließende interne Bewertung (IB) der extrahierten Bäume erst nach der Bestimmung der Baumkronenabgrenzung. Hierzu werden die Zugehörigkeitswerte basierend auf der neuen Geometrie neu berechnet, anschließend werden die topologischen Relationen überprüft und im Falle der Überlappung wird erneut die beste Hypothese gewählt. Eine detaillierte Beschreibung des Algorithmus findet sich in (STRAUB, 2003a).

4 ERGEBNISSE

Der vorgestellte Ansatz zur Extraktion von Bäumen wurde in verschiedenen Testgebieten eingesetzt, und es wurde eine externe Evaluierung durchgeführt. Die Erfassung der hierfür benötigten Referenzdaten erfolgte auf Basis derselben Bilder, die auch für die automatische Extraktion verwendet wurden. Position und Radius werden durch einen Operateur mit einer kreisförmigen, im Durchmesser variablen, Messmarke erfasst. Die Vollständigkeit und die Richtigkeit der Ergebnisse für die einzelnen Projekte ist in Tabelle 1 zusammengefasst. Im Mittel wurde eine Vollständigkeit von 76% und eine Korrektheit der Ergebnisse von 68% bei der ausschließlichen Betrachtung der besten Hypothesen im Maßstabsraum (BHiM) erreicht. Durch die Anwendung der Snakes zur Bestimmung der Baumkronenabgrenzung, auf der Basis der BHiM reduziert sich zwar die Anzahl der Fehlextraktionen, das heißt die Korrektheit nimmt zu, im Mittel auf 79% (Spalte IB in Tabelle 1). Gleichzeitig verschlechtert sich aber auch die Vollständigkeit der Ergebnisse auf 59%.

Das Testgebiet Grangemouth, Schottland wurde im Sommer 2000 im Maßstab 1:5000 auf Farbinfrarotfilm aufgenommen. Basierend auf den gescannten Luftbildern wurde im Rahmen des CROSSES Projektes von der französischen Firma ISTAR ein Oberflächenmodell mit 0.2 m und ein Wahres Orthobild mit 0.1 m Auflösung hergestellt. Befliegungszeitpunkt, Auflösung und Filmmaterial wurden im Rahmen des Projektes im Hinblick auf die automatische Extraktion von Bäumen gewählt. Bei dem Testgebiet handelt es sich um ein Gebiet mit Vorortcharakter, in dem vorwiegend kleinere Einfamilienhäuser und Laubbäume auftreten. In Abbildung 5 [3] sind die Ergebnisse für den Ausschnitt A1 (vgl. Tabelle 1) dargestellt. In der Spalte Grangemouth A3 in Tabelle 1 sind die Ergebnisse desselben Ausschnitts angegeben, allerdings wurde hier nicht der Vegetationsindex verwendet, sondern die lokale Varianz als Texturparameter. Auf einen solchen oder einen ähnlichen Texturparameter muss zurückgegriffen werden, wenn keine Farbinformation zur Verfügung steht, siehe auch (STRAUB, 2002).

Projekt	BHiM		IB	
	V[%]	K[%]	V[%]	K[%]
Grangemouth A1	93	75	78	85
Grangemouth A3	70	46	56	54
Hohentauern	72	86	52	94
Paris	84	59	44	75
Ravensburg	50	58	41	66
Mittel	76	68	59	79

Tabelle 1: Gegenüberstellung der Ergebnisse von vier verschiedenen Projekten

Das zweite Testgebiet, ein Nadelwaldbestand, liegt in den Alpen in Österreich, in der Nähe von Hohentauern. Für die Untersuchungen wurde aus den First-Pulse Messungen eines Laserscanners (TopoSys I) ein rasterförmiges Oberflächenmodell mit 0.25 m Auflösung berechnet. Die Originaldaten haben eine Auflösung von etwa 4-5 Messungen pro Quadratmeter, die Flughöhe betrug etwa 800 m über Grund. Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 in der Zeile Hohentauern und in Abbildung 5 [2] dargestellt. Eine detailliertere Diskussion der Ergebnisse für dieses Testgebiet ist in (STRAUB, 2003b) zu finden.

Der Datensatz Paris wurde ebenfalls von der Firma ISTAR aufgenommen und prozessiert. Die Befliegung wurde mit dem Dreizeilenscanner HRSC durchgeführt, die optischen Daten haben eine Bodenauflösung von 0.5 m und das daraus abgeleitete Oberflächenmodell besitzt eine Auflösung von 1 m. Durch die geringe Auflösung des Oberflächenmodells führt die Anwendung der Snakes in diesem Fall zu einer deutlichen Verschlechterung der Ergebnisse (Tabelle 1, Abbildung 5 [4]). Betrachtet man nur die BHiM, dann sind die Ergebnisse jedoch akzeptabel.

Das Testgebiet Ravensburg wurde am 23. April 2001 mit dem TopoSys II Sensor aus einer Flughöhe von 830 m aufgenommen. Das Oberflächenmodell hat eine Bodenauflösung von etwa 1 m, das digitale Farbinfrarotbild 0.5 m. Abgesehen von derzeitig noch etwas zu geringen Auflösung ist ein System wie der TopoSys II Sensor sehr gut geeignet für die Extraktion von Bäumen. Mit dem Laserscanner können Punkte vom Boden und von der Baumoberfläche registriert werden, und mit dem gleichzeitig aufnehmenden optischen Zeilenscanner wird zeitgleich ein Multispektralbild in vier Kanälen (Rot, Grün, Blau, Nahes Infrarot) aufgenommen. Ein Vorteil des Oberflächenmodells aus Laserscannerdaten zeigt sich an einigen Stellen in der Szene. Trotz geringer Belaubung ist die Oberfläche der entsprechenden Baumkronen im (First-Pulse) Oberflächenmodell zu erkennen. An derselben Stelle im optischen Bild weisen allein die Schatten auf den Baum hin, der Baum selbst ist kaum zu erkennen. Der Grund für die eher unbefriedigenden Ergebnisse des Verfahrens zur Baumextraktion (vgl. Tabelle 1, Abbildung 5 [1]) ist im ungünstigen Aufnahmezeitpunkt zu suchen. Im April haben die in der Szene abgebildeten Laubbäume noch kaum Blätter, deswegen ist der NDVI sehr niedrig und demzufolge trifft die Modellannahme NDVI hoch = Baum hier nicht zu.

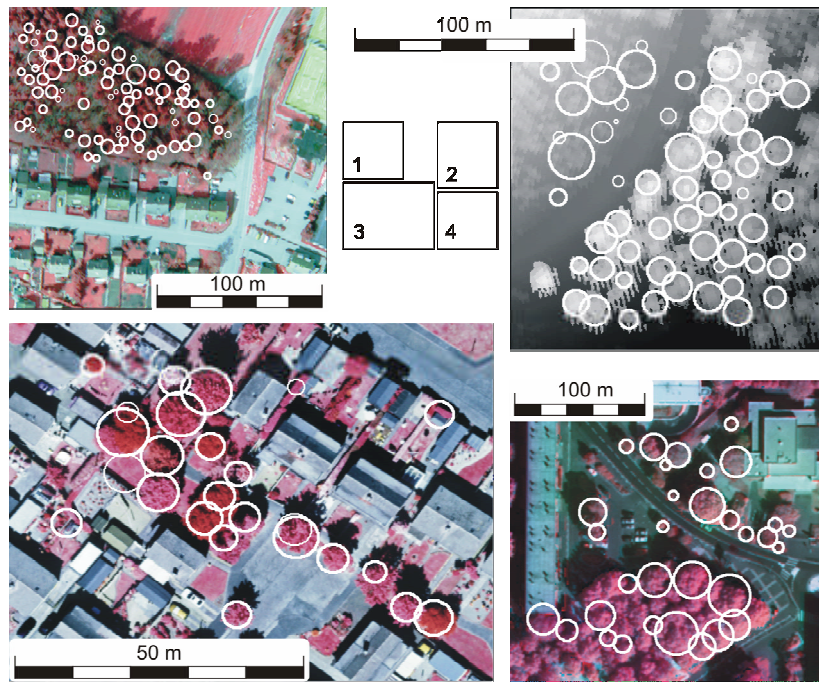


Abbildung 5: Ergebnisse der automatischen Extraktion von Bäumen. Extrahierte Bäume sind als weißer Kreis mit einer breiten weißen Linie dargestellt. Kreise die als dünne weiße Linie dargestellt sind, wurden bei der internen Bewertung verworfen.

DANKSAGUNG

Die hier verwendeten Daten wurden in sehr guter Qualität von ISTAR, dem Joanneum Research und der TopoSys GmbH zur Verfügung gestellt. Der Autor möchte sich für wertvolle Anregungen und natürlich für die Daten bei Frank Bignone, Uwe Lohr, Matthias Schardt und Roland Wack bedanken.

5 LITERATURVERZEICHNIS

- ANDERSEN, H., REUTEBUSCH, S. E., UND SCHREUDER, G. F., 2002. Bayesian Object Recognition for the Analysis of Complex Forest Scenes in Airborne Laser Scanner Data. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Vol. XXXIV. No. 3A. ISPRS. Graz, Austria. pp. 35-41.
- BEZDEK, J. C., 1992. Computing with Uncertainty. *IEEE Communications Magazine*, September(1992), pp. 24-36.
- BRANDTBERG, T., UND WALTER, F., 1998. Automated delineation of individual tree crowns in high spatial resolution aerial images by multiple scale analysis. *Machine Vision and Applications*, 11(1998), pp. 64-73.
- HILL, D. A., UND LECKIE, D. G., 1999. (eds.) *International forum: automated interpretation of high spatial resolution digital imagery for forestry, February 10-12, 1998*. Natural Resources Canada, Canadian Forest Service, Pacific Forestry Centre, Victoria, British Columbia, pp. 395.
- KASS, M., WITKIN, A., UND TERZOPOULUS, D., 1988. Snakes: Active Contour Models. *International Journal of Computer Vision*, 1(1988), pp. 321-331.
- KOENDERINK, J., 1984. The Structure of Images. *Biological Cybernetics*, (50), pp. 363-370.
- LINDEBERG, T., 1994. *Scale-Space Theory in Computer Vision*. Kluwer Academic Publishers, Boston, USA., pp. 423.
- LINDEBERG, T., 1998. Feature Detection with Automatic Scale Selection. *International Journal of Computer Vision*, 2(30), pp. 79-116.

- MARR, D., 1982. *Vision*. Freeman Company, New York.
- MAYER, H., 1998. *Automatische Objektextraktion aus digitalen Luftbildern*. Technische Universität München, München, pp. 132.
- PERSSON, A., HOLMGREN, J., UND SÖDERMAN, U., 2002. Detecting and Measuring Individual Trees Using an Airborne Laser Scanner. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 9(68), pp. 925-932.
- PINZ, A., 1988. *Ein bildverstehendes Expertensystem zur Erkennung von Bäumen auf Farb-Infrarot-Luftbildern*. Technische Universität Wien Technisch Naturwissenschaftliche Fakultät, Wien, pp. 64.
- POLLOCK, R. J., 1994. A model-based approach to automatically locating tree crowns in high spatial resolution images. *Image and Signal Processing for Remote Sensing*. Vol. 2315. SPIE. pp. 526-537.
- SAINT JOHN, R. W., 1997. Building the Perfect Tree A Lesson in Optimization an PROTO. <http://www.vrmlsite.com/jun97/a.cgi/spot2.html>.
- SCHARDT, M., ZIEGLER, M., WIMMER, A., WACK, R., AND HYYPPÄ, R., 2002. Assessment of Forest Parameter by Means of Laser Scanning. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Vol. XXXIV. No. 3A. ISPRS. Graz, Austria. pp. 302-309.
- SOILLE, P., 1998. *Morphologische Bildverarbeitung - Grundlagen, Methoden, Anwendungen*. Springer, Berlin Heidelberg New York Barcelona...., pp. 316.
- STRAUB, B.-M., 2002. Investigation of the MPEG-7 Homogeneous Texture Descriptor for the Automatic Extraction of Trees. *Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung*. Vol. 11. DGPF. Neubrandenburg, Germany. pp. 295-305/295-305.
- STRAUB, B.-M., 2003. Automatic Extraction of Trees from Aerial Images and Surface Models. *Proceedings of ISPRS Conference on Photogrammetric Image Analysis*. ISPRS. München, Germany. pp. (accepted). (a)
- STRAUB, B.-M., 2003. Automatic Extraction of Trees from Height Data using Scale Space and Snakes. *2nd International Forestry Symposium*, . Seattle, USA . pp. (in print). (b)