

Semiautomatische Luftbildauswertung zur Erfassung von Siedlungs- und Verkehrsflächen als Unterstützung des nachhaltigen Flächenmanagements

ADRIAN KLINK, CLAUDIA LÜCKE & ANDREAS VÖLKER, Münster; SILKE HÖKE & MARKUS ROLF, Osnabrück

Keywords: REFINA, automatic image analysis, vector-based pattern matching, sustainable land management

Summary: *Semi-automatic Analysis of Aerial Photos for the Detection of Settlement and Traffic Areas for a Sustainable Land Management.* This paper deals with the semi-automatic analysis of aerial photos in urban areas. Germany is planning to decrease daily land consumption to 30 ha per day by the year 2020. To achieve this objective a qualitative sustainable land management planning is necessary incorporating urban, social, economical and ecological aspects. Based on existing data of the city of Osnabrück land cover information shall be derived in timely and cost-effective manner for urban and regional planning that can be incorporated into the existing planning methods. For this an area-wide object-based urban classification is performed in two steps. It is supported by vector-based extraction and smoothing methods. Firstly the initial segmentation is supported by an algorithm for the detection of hipped roofs. Afterwards classified object geometries are being improved through smoothing methods. In the second step all object classes are being classified and smoothed again using automatic real estate map data (ALK). The aim is to reduce manual postprocessing efforts.

Zusammenfassung: Dieser Beitrag befasst sich mit der semiautomatischen Luftbildauswertung von urbanen Räumen. Im Zuge der Zielsetzung der Bundesregierung, die Flächeninanspruchnahme in Deutschland auf 30 ha pro Tag zu senken, bedarf es eines nachhaltigen qualitativen Flächenmanagements in der Regional- und Raumplanung unter städtebaulichen, sozialen, wirtschaftlichen und ökologischen Kriterien. Basierend auf den bereits vorliegenden Datenbeständen der Stadt Osnabrück sollen zeitnah und kostengünstig Flächeninformationen abgeleitet werden, die in die Siedlungs- und Regionalplanung eingebunden werden können. Die flächendeckende objektbasierte Klassifikation städtischer Flächennutzungen erfolgt zweistufig und wird mit vektorbasierten Extraktions- und Glättungsverfahren ergänzt. Anhand einer Walmdacherkennung wird der Segmentierungsprozess unterstützt, während eine der Klassifikation nachgelagerte Gebäudekantenglättung die Ergebnisgeometrien der Bauungsklassen verbessert. Die bereinigten Geometrien werden als Grundlage für die gesamte Klassifizierung herangezogen, deren Ergebnis anschließend mit Hilfe des ALK geglättet wird. Ziel ist es, den Zeitaufwand für die manuelle Nachbearbeitung weitestgehend zu reduzieren.

1 Einleitung bzw. Einführung

Im Jahr 2000 entstanden trotz stagnierender Bevölkerungszahl täglich 129 ha (ca. 150 Fußballfelder) neue Siedlungs- und Verkehrsflächen in Deutschland. Dabei wurden vorwiegend Ackerflächen und Forstflächen durch Baumaßnahmen auf der „Grünen Wiese“ am Stadtrand beziehungsweise im

ländlichen Raum umgewidmet. Nach einem konjunkturbedingten Rückgang im Jahr 2002 auf 105 ha pro Tag (Bundesregierung 2004) ist 2005 die tägliche Ausdehnung wieder auf 118 ha angestiegen (Statistisches Bundesamt 2008).

Die Zunahme von Siedlungs- und Verkehrsflächen führt zu einem Verlust von natürlichen und landwirtschaftlichen Böden,

zu einer Zerschneidung von Landschaftsräumen, zur Veränderung der Lebensräume und damit zu einer Bedrohung der bestehenden Flora und Fauna. Gleichzeitig kommt es zu einer Beeinträchtigung der Erholungsmöglichkeiten des Menschen.

Um dieser Flächeninanspruchnahme entgegen zu wirken, legte die Bundesregierung auf Empfehlung des Rates für Nachhaltigkeit 2004 das Ziel fest, bis zum Jahr 2020 die Flächeninanspruchnahme auf 30 ha pro Tag zu reduzieren. Ein weiteres Ziel ist der Vorrang der Innenentwicklung vor der Außenentwicklung. Hierbei wird die Wiedernutzbarmachung von industriellen, militärischen und urbanen Brachflächen sowie das Schließen von Baulücken und das Ausnutzen anderer Nachverdichtungspotenziale angestrebt (Rat für Nachhaltigkeit 2004).

Um das 30-ha-Ziel zu erreichen, ist ein bewusster Umgang mit der Fläche und mit der endlichen Ressource Boden notwendig, wofür ein umfassender und aktueller Informationsbestand benötigt wird. Hierzu kann die Auswertung von Luftbildern wichtige Informationen liefern. Mit Luftbildern liegen aktuelle flächendeckende Daten vor, die entsprechend aufbereitet, unter anderem den Aufbau von Brachflächen- und Baulandpotentialkatastern sowie das Flächenmonitoring unterstützen.

Mittels historischer Luftbilder können ehemalige Nutzungen erfasst werden. Diese geben nicht nur Hinweise zur Altlastenerkennung, sondern sollen zukünftig auch Ableitungen zur Bewertung des Bodens in seinen natürlichen Funktionen ermöglichen. Diese Informationen sind integraler Bestandteil eines qualitativen Flächenmanagements (vgl. Abschnitt 2).

Die bisherige manuelle Erfassung der Nutzungen anhand der Luftbilder ist sehr zeitaufwendig und damit auch kostenintensiv. Um die Bearbeitungszeit zu reduzieren, werden im Rahmen des Förderschwerpunktes REFINA¹ automatische Verfahren zur Auswertung von Luftbildern im Siedlungs-

raum von der Firma EFTAS Fernerkundung Technologietransfer GmbH entwickelt und evaluiert. Gleichzeitig wird auch die Übertragbarkeit des Auswertungsverfahrens auf verschiedenen Bildmaterialien überprüft.

2 Nachhaltigkeit im Flächenmanagement und in der Siedlungsplanung

Im Rahmen des 30-ha-Zieles nimmt das nachhaltige ‚qualitative Flächenmanagement‘ eine Schlüsselstellung ein. Kernstück dieses informellen städtebaulichen Instruments ist es, Nachverdichtungspotenziale innerhalb bestehender Siedlungsstrukturen zu erkennen und zu nutzen, um damit die Inanspruchnahme freier Flächen im Außenbereich zu verhindern. Doch nicht nur die mengenmäßige Nachverdichtung steht hier im Vordergrund, sondern auch qualitative Ansprüche sind zu bedienen, damit die Städte lebenswert und als Wohn- und Arbeitsort attraktiv bleiben (weiche Standortfaktoren). Dabei spielt die Wahl der Standorte, auf denen Vorhaben realisiert werden sollen, eine entscheidende Rolle. Die Steuerung und Optimierung nach städtebaulichen, sozialen, wirtschaftlichen und ökologischen Kriterien in Bezug auf Menge, Qualität und Lage steht im Zentrum des qualitativen Flächenmanagements (REIß-SCHMIDT 2002). Nicht jede Nachverdichtungsmaßnahme dient dem Ziel des qualitativen Flächenmanagements, denn durch extreme Versiegelungsanteile z. B. kann sich die nähere Umgebung im Sommer stark aufheizen, was mit negativen Folgen (z. B. gesundheitlicher Art) verbunden sein kann. Außerdem erhöhen sich Abflussspitzen in den regenreichen Monaten, was wiederum zu Überflutungen führen kann. In beiden Fällen spielen die Böden eine grundlegende Rolle als Regulatoren im städtischen Ökosystem (JEDICKE 2001). In diesem Zusammenhang sind nicht nur die natürlichen Böden zu nennen, sondern ebenfalls jene, die aus technogenen Substraten (Bauschutt, Aschen, Schlacken, etc.) bestehen: die *Stadtböden*. Sie sind Bestandteil vieler städtischer Nutzungsklassen

¹ Forschung für die Reduzierung der Flächeninanspruchnahme und ein nachhaltiges Flächenmanagement

wie Parks, Haus- und Kleingärten sowie Brachflächen und bestimmen maßgeblich deren Erscheinungsbild und Qualität. Auch Stadtböden nehmen die natürlichen Funktionen wahr, die es laut BBodSchG 1998 §2 Abs. 2 zu erhalten gilt:

- Lebensgrundlage und Lebensraum für Menschen, Tiere, Pflanzen und Bodenorganismen
- Bestandteil des Naturhaushaltes, insbesondere mit seinen Wasser- und Nährstoffkreisläufen
- Abbau-, Ausgleichs- und Aufbaumedium für stoffliche Einwirkungen aufgrund der Filter-, Puffer- und Stoffumwandlungseigenschaften, insbesondere auch zum Schutz des Grundwassers

Doch wie können diese Funktionen erfasst, bewertet und damit nutzbar gemacht werden? Wie kann der Aufwand ihrer Beschreibung verringert werden und welche Rolle spielen dabei Daten aus der Fernerkundung?

Dieser Frage gehen die Fachhochschule Osnabrück und die EFTAS in einem REFINA Forschungsprojekt nach. Ein zentrales Ziel ist es, den historischen Nutzungswandel mit Hilfe (halb-) automatischer Verfahren zu klassifizieren und diese Ergebnisse für die Funktionsbewertung urbaner Böden zu nutzen. Wichtige Informationen, wie z. B. standortbezogene Überprägungsgrade und -häufigkeiten, können erste Hinweise auf die Bodenbeschaffenheiten und damit deren Qualität geben. Dies soll schließlich den Untersuchungsaufwand im Gelände überschaubar halten. Auf diesem Weg können z. B. die naturnahen Böden abgegrenzt werden, deren Erhalt an oberster Stelle des kommunalen Bodenschutzes steht.

3 Verfahren der semiautomatischen Luftbildauswertung

Städtische Nutzungsklassen wie z. B. Brachflächen sind in ihrer Ausprägung in der Regel nicht homogen, sondern setzen sich aus Bereichen von spärlicher Vegetation, Hochstauden bis hin zu Gebüsch und Bäumen oder auch kleineren Asphaltflächen zusammen. Deshalb müssen bei der automatisierten Bildauswertung die einzelnen Komponenten als unterschiedliche Klassen erfasst und anschließend über deren Zusammensetzung die Nutzungen abgeleitet werden.

Entsprechend der von der Stadt Osnabrück und FH Osnabrück gewünschten Nutzungsklassen, wurden diese hinsichtlich ihrer Ausprägung analysiert. Die vorkommenden Komponenten werden als Objektklassen für die Klassifikation herangezogen und können in die zwei Hauptgruppen Nicht-Vegetation und Vegetation untergliedert werden (siehe Tab. 1).

3.1 Untersuchungsgebiet und Datengrundlage

Für die Forschungsarbeiten wurde ein 16 km² großes Untersuchungsgebiet entlang des Stichkanals in Osnabrück ausgewählt. Neben einem größeren Kasernenareal treten Wohngebiete, Gewerbe-, Brach- und Abauflächen, land- und forstwirtschaftliche Flächen sowie Freizeitanlagen auf. Für das komplette Untersuchungsgebiet liegen Luftbilder von 1935 bis 2005 vor (siehe Tab. 2). Dabei handelt es sich bis einschließlich 1984 um Schwarz-Weiß-Aufnahmen und anschließend um Echtfarben-Aufnahmen. Die Bilddaten von 2005 haben mit 15 cm pro Pixel die beste Auflösung. Gleichzeitig zur Luftbildbefliegung von 2005 wurden mittels Laserscanner-Befliegung ein Digitales Geländemodell (DGM) und ein Digitales Oberflächenmodell (DOM) mit einer Auflö-

Tab. 1: Objektklassen.

Hauptgruppe	Nicht-Vegetation	Vegetation
Objektklassen	Gebäude, Straße, Asphalt, Pflaster, Kies, Sand, Offener Boden, Wasser	Spärliche Vegetation, Grünland/-fläche, Hochstauden, Gebüsch, Baum/Wald, Acker

Tab. 2: Vorhandene Bilddaten.

Befliegungsjahr	Auflösung/Bildmaßstab	Art der Aufnahme
1935, 1956, 1963, 1972, 1984	42 cm Pixelauflösung	SW-Aufnahme
1986, 1989, 1991, 1997	30 cm Pixelauflösung	Echtfarben
2002	40 cm Pixelauflösung	Echtfarben
2005	15 cm Pixelauflösung, für die Klassifikation auf 30 cm reduziert	Echtfarben

sung von 1 m erzeugt. Zusätzlich zu den Bilddaten stehen die Automatisierte Liegenchaftskarte und historische Karten zur Verfügung.

Für die Entwicklung der automatischen Auswertung wurden die Bilddaten von 2005 verwendet. Um die Übertragbarkeit des Verfahrens zu testen, wurden die anderen Bilddaten herangezogen, wobei der Schwerpunkt der Analyse auf den Echtfarbenen Bildern lag. Zusätzlich wurde die Übertragbarkeit des Verfahrens auf ein weiteres 10 km² großes Gebiet im Stadtzentrum von Osnabrück überprüft.

3.2 Methodische Umsetzung

Das Ziel der Bildauswertung ist es, die Objektklassen und damit später auch die Nutzungen möglichst exakt abzugrenzen. Dazu wird für die automatische Umsetzung in erster Linie eine zweistufige, objektbasierte Klassifikation mit Definiens Developer 7 (ehemals eCognition) verwendet, die mit Funktionen aus MV Tec Halcon 7.1, Implementierungen in C++ und Prozessen in ESRI ArcInfo ergänzt wird (siehe Abb. 1).

Die Klassifikation mit Definiens Developer 7 erfolgt durch die Kombination von spektralen Informationen, Textur, Formparametern und Höheninformationen. Dabei wird im spektralen Bereich das IHS-Farbmodell verwendet. Aufgrund des Fehlens des nahen Infrarotkanals ist die Trennung von Vegetation und Nicht-Vegetation sehr schwierig. Um eine Trennung zu ermöglichen, wurde durch die Bildung von gewichteten Farbdifferenzen (zwischen einerseits grünem zu rotem sowie andererseits grünem

zu blauem Kanal) folgende Formel entwickelt:

$$VI_{3G2B1R} = \frac{3 \cdot \text{Grün} - 2 \cdot \text{Blau} - \text{Rot}}{3 \cdot \text{Grün} + 2 \cdot \text{Blau} + \text{Rot}} \quad (1)$$

Um die Übertragbarkeit auf andere Bilddaten zu verbessern, wurde verstärkt eine Klassifikation mit GLCM²-Texturmerkmalen (HARALICK et al. 1973) angestrebt. Einzelne Klassen wie z. B. die belaubten Baumkronen sind durch die Kombinationen verschiedener Texturmerkmale gut abzugrenzen. Straßen und Wege können durch gerichtete Texturmerkmale (TOMOWSKI et al. 2006) erfasst werden. Mittels Form- und Nachbarschaftsbeziehungen werden zum einen PKW und LKW, die entsprechend in ihren Umgebungsklassen (asphaltierte Fläche oder Straße) aufgelöst werden können, sowie kleine rechteckige Flachdachgebäude abgegrenzt.

Eine ausschließliche Erfassung der Gebäude mittels der Software Definiens Developer kann nur mit Hilfe von Höhendaten erfolgen. Dazu verwendet man das nDOM³, das die Differenz aus Digitalem Oberflächenmodell und Digitalem Geländemodell ist. Mit dem Ziel, eine Übertragbarkeit auf andere Bilddaten und damit andere Zeitschnitte zu erhalten, ist dies jedoch problematisch zu betrachten, da die Höhendaten nur für 2005 vorliegen, weshalb vor die Klassifikation mit Definiens Developer eine

² Grey Level Co-Occurrence Matrix, enthält Häufigkeiten des Aufeinandertreffens bestimmter Graustufen jeweils zweier benachbarter Pixel

³ Normalisiertes Digitales Oberflächenmodell

Gebäudeerkennung geschaltet wird. Diese bezieht sich momentan nur auf die Erkennung von Walmdächern (siehe Abschnitt 3.3).

Die geringere Auflösung des nDOM gegenüber den Bilddaten sowie Überlappungen mit Baumkronen und andere Störeinflüsse, wie z. B. Schatten, führen zu Ungenauigkeiten bei der Segmentierung und Klassifizierung der Gebäude. Selbst wenn ein Gebäude korrekt erkannt wurde, entsprechen die gefundenen, oft sehr unsauberen Gebäudeumrisse meist nicht den tatsächlichen Umrissen. Dies macht eine Gene-

ralisierung der klassifizierten Gebäude notwendig, um die Klassifikationsgüte zu verbessern und die manuelle Nachbearbeitung zu reduzieren. Eine der gewählten Möglichkeiten ist ein Abgleich des Gebäude-Layers mit den vorhandenen ALK-Gebäudedaten in ArcInfo. Da die ALK nicht immer aktuell ist, muss allerdings ein weiteres Verfahren, die Gebäudeglättung mittels eines MBR-Ansatzes nach DUTTER (2007; siehe Abschnitt 3.4), angewandt werden.

Anschließend werden die verbesserten Gebäudeumrisse in Definiens Developer importiert und für den Segmentierungsprozess

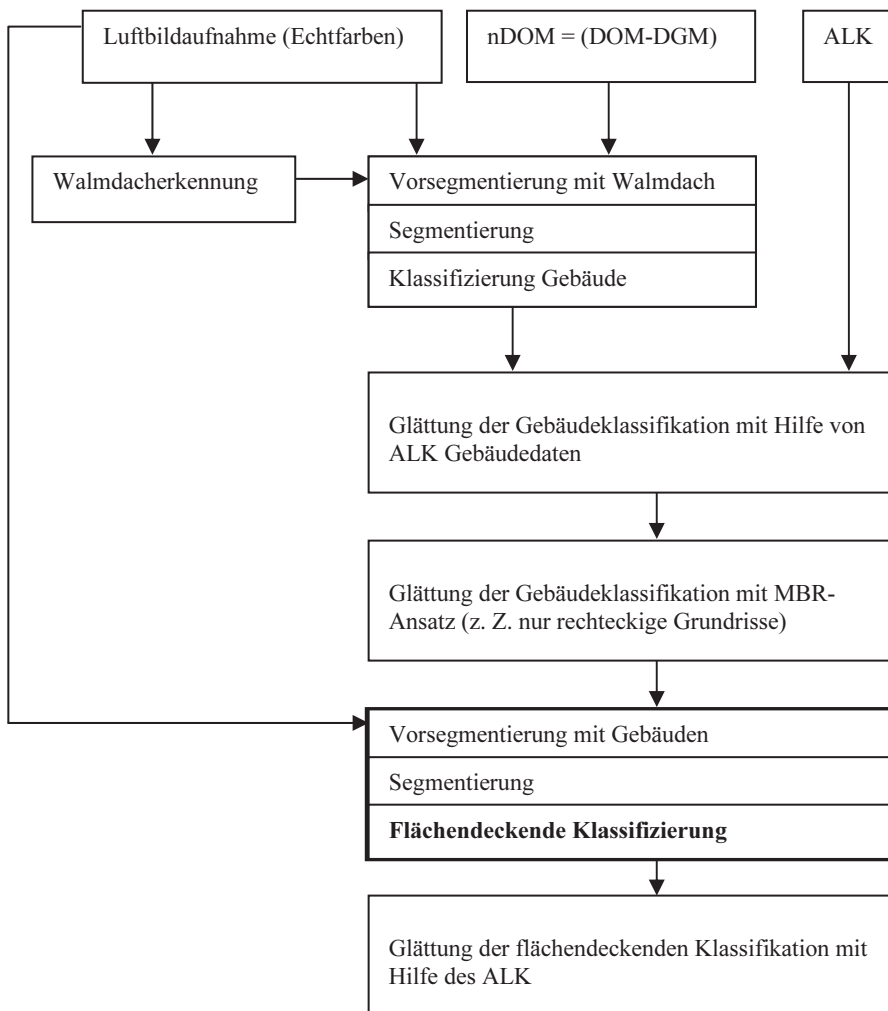


Abb. 1: Schema des Klassifikationsverfahrens.

der zweiten Klassifikation herangezogen. In diesem Durchgang werden alle in Tab. 1 genannten Objektklassen anhand ihrer spektralen und textuellen Eigenschaften erfasst. Über Nachbarschaftsbeziehungen werden erste Bereinigungen von Fehlklassifikationen durchgeführt. Die Ergebnisse werden exportiert und durchlaufen nochmals eine ArcInfo-Routine, bei der die Objektklassen Gebäude, Straße, Asphalt und Pflaster mit Hilfe der ALK geglättet werden.

3.3 Walmdacherkennung als Baustein zur Gebäudeerkennung

Das Prinzip der Walmdacherkennung basiert auf der einfachen Gegebenheit, dass in unseren Breitengraden aufgrund des Sonnenstandes die vier Seiten eines Walmdaches unterschiedlich beleuchtet werden. Dabei erscheinen die beiden sonnenzugewandten Seiten meist deutlich heller als die beiden sonnenabgewandten (siehe Abb. 2 bzw. Abb. 3). Dieser Helligkeitsunterschied lässt sich in einem Kantenbild als ein charakteristischer Z-förmiger Linienzug erkennen (siehe Abb. 2). Basierend auf diesem Ansatz werden in den folgenden Schritten die Außengrenzen des Walmdachs generiert. Im Falle eines parallelen oder senkrechten Lichteinfalls auf die Firstlinie ist dieser Ansatz möglicherweise nicht anwendbar, da sich dann andere charakteristische Linienzüge ergeben könnten. Dies konnte jedoch wegen fehlender Beispiele im Testgebiet nicht überprüft werden.

1. Schritt: Polygone erzeugen:

Zunächst werden in der Bildanalyse-Bibliothek MVTec Halcon 7.1 mit verschiedenen Operatoren (MVTec 2007) Polygone generiert: Zuerst wird mit dem so genannten Robinson-Operator ein Kantenbild erzeugt

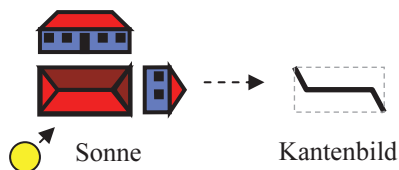


Abb. 2: Prinzip der Walmdacherkennung.

(siehe Abb. 4). Anschließend wird das Kantenbild mit einem Schwellwert-Operator binarisiert. Das Resultat enthält viele Störungen und oftmals sind die gesuchten Linien mehrere Pixel breit. Zur Bereinigung wird das binarisierte Kantenbild zunächst skelettiert, so dass nur Linien mit einer Breite von einem Pixel übrig bleiben. Anschließend werden durch die „Pruning“-Funktion kurze überstehende Äste, welche eine vorgegebene Mindestlänge unterschreiten, aus dem „Skelett“ entfernt (siehe Abb. 5). Mit Hilfe des Ramer-Algorithmus erzeugt man daraus geglättete Polygone. Um Rechenzeit und Speicherplatz für die anschließende Analyse zu sparen, werden nur diejenigen Polygone weiterverwendet, deren jeweiliger Radius des umschließenden Kreises eine definierte Mindestgröße aufweist. Eine Filterung über die Fläche (Kleinstpolygone) bzw. den Umfang wurden ebenfalls getestet, aber aufgrund der schlechten Ergebnisse nicht weiter verfolgt. Das Ergebnis wird letztlich als Arcgen-Datei gespeichert.

2. Schritt: Suchen nach charakteristischen Linienzügen für Walmdächer:

Ein im Rahmen des Projektes entwickeltes C++-Programm dient zum Laden und Weiterverarbeiten der im ersten Schritt erzeugten Polygone. Zur Verringerung von Störeinflüssen werden vor der Suche kurze, aufeinanderfolgende Linienstücke mit ähnlicher Ausrichtung zu einer Linie zusammengefasst. Nun werden die Stützpunkte eines jeden Polygons zyklisch durchlaufen und je drei auf einander folgende Linienstücke auf Erfüllung der Kriterien für die charakteristische Walm-Form geprüft (siehe Abb. 7): Die beiden sich ergebenden Winkel zwischen den drei Linienstücken müssen unter Berücksichtigung einer Toleranz entgegengesetzt zueinander sein und darüber hinaus generell innerhalb vorgegebener Werte liegen. Ebenso erfolgt eine Plausibilitätsüberprüfung der Linienstücke aufgrund ihrer Längen und ihrer Verhältnisse zueinander. Damit soll ausgeschlossen werden, dass über eine normale Verkippung hinaus abweichende Walm-linien oder andere zufällige Z-förmige Konstellationen gefunden werden.



Abb. 3: Original mit Walmdächern.



Abb. 4: Kantenbild.



Abb. 5: Skelett nach „Pruning“.

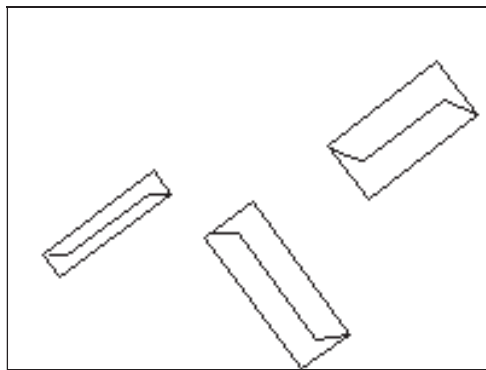


Abb. 6: Gefundene Gebäude.

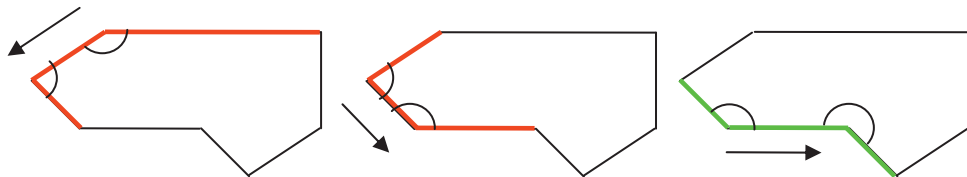


Abb. 7: Polygone nach charakteristischer Form durchsuchen.

3. Schritt: Berechnen eines Rechtecks für die Gebäudekontur:

Wenn ein charakteristischer Linienzug gefunden wurde, wird angenommen, dass es sich um ein Walmdach handelt. Aus dem vorhergehenden Schritt sind zunächst nur vier Koordinaten der Walm (siehe Abb. 8, rote Kreise), jedoch nicht die der Gebäudeecken, bekannt. Die beiden äußeren Stützpunkte können hierbei als Gebäudeecken angenommen werden. Nun gilt es aus den

vier gegebenen Koordinaten die verbleibenden zwei Gebäudeecken zu berechnen. Als Orientierung gilt zunächst die Mittellinie, welche durch die beiden mittleren Koordinaten der Walm gekennzeichnet ist. Der gesuchte Gebäudeumriss muss parallel zu dieser Mittellinie ausgerichtet sein. Nun wird für jeden der beiden äußeren Stützpunkte im rechten Winkel der Abstand zur Mittellinie errechnet. Die Summe der beiden errechneten Werte ist gleichzeitig der Abstand



Abb. 8: Gebäudeumriss (Rechteck) berechnen.

zwischen jeweils einem bekannten und einem zu errechnenden Gebäudeeckpunkt (siehe Abb. 8, Pfeile). Da die Abstände rechtwinklig zur Mittellinie sind, lassen sich auf diese Weise die letzten beiden Gebäudeecken berechnen (siehe Abb. 8, als X markiert). Die erzeugten Walmdachumrisse werden als Vektor-Layer abgespeichert, in Definiens Developer importiert und für die Gebäudeklassifizierung herangezogen.

3.4 Gebäudeglättung über MBR-Ansatz

Bedingt durch die Segmentierung in Definiens Developer 7 entsprechen die Gebäudepolygone nach der Klassifizierung oftmals nicht der tatsächlichen Gebäudeform. Ein möglicher Ansatz zur Generalisierung stammt von DUTTER (2007). Es handelt sich um ein mehrstufiges Verfahren (siehe Abb. 9), bei dem zunächst das kleinste umschließende Rechteck (MBR = Minimum Bounding Rectangle) für ein Gebäudepolygon und damit die generelle Gebäudeausrichtung bestimmt wird. Bei Gebäudekomplexen in dicht besiedelten Ballungsräumen (z. B. Stadtkerne) mit z. T. nicht rechtwinkligen Strukturen ist dieser Ansatz jedoch nicht anwendbar, da dort eine zwingend notwendige Parallelität der Gebäudeseiten zum MBR nicht gegeben ist.

Das Verfahren ermittelt zuerst eine rechteckige Gebäudegrundform (siehe Abb. 9, Skizze A) und verfeinert diese bei Überschreitung zulässiger Standardabweichungen zunächst zur L-, T- oder Z-Form (Skizze B) und dann zur U-Form (Skizze C). Für eine genauere Beschreibung sei auf die Diplomarbeit von DUTTER (2007) verwiesen.

Im Rahmen des Projektes wurde das genannte Generalisierungsprinzip als C++-Programm nachgebildet und auf das Klassifikationsergebnis aus Definiens Developer angewandt. Das Verfahren stellt einige Anforderungen an die Eingabedaten: u. a. dürfen die Gebäudepolygone keine Löcher enthalten und die euklidischen Abstände zwischen den einzelnen Stützpunkten der Polygone müssen annähernd gleich verteilt sein (DUTTER 2007). Letzteres ist in der Praxis keineswegs sichergestellt, weil unter anderem zur Datenreduktion eine Glättung der Polygone durchgeführt wird.

Um dieses Problem zu umgehen, wurden Alternativen zur Standardabweichung getestet. So verspricht eine Berechnung der Differenzflächen (siehe Abb. 10, schraffierte Fläche) zwischen tatsächlichem Stützpunktverlauf innerhalb eines Gebäudeabschnitts (siehe Abb. 10, schwarzer Linienverlauf) und generalisierter Gebäudelinie (siehe Abb. 10, farbige Linien) eine höhere Ro-

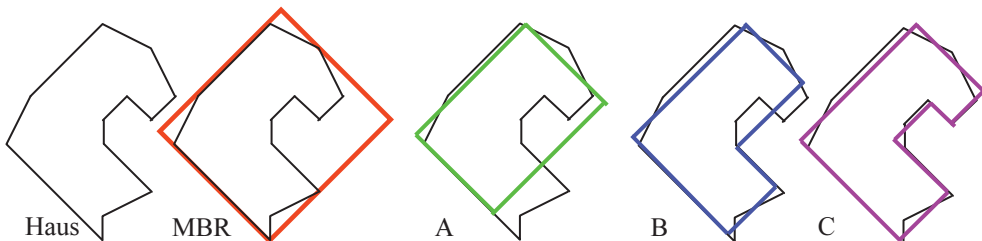


Abb. 9: Generalisierung nach DUTTER (2007), Generalisierungsstufen A, B und C.

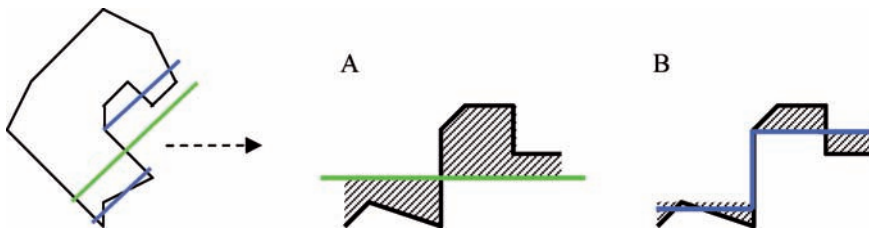


Abb. 10: Differenzflächen als Ersatz für Standardabweichung.

bustheit gegenüber ungleich verteilten Stützpunktabständen.

Da das Problem der Löcher in Gebäudepolygonen (z. B. Innenhöfe) im Testgebiet nur einen sehr geringen Bruchteil der Gebäude betrifft, wurde dies bisher im Verfahren nicht berücksichtigt. Die Löcher können aber als separate Polygone ebenfalls nach diesem Verfahren bearbeitet und im zweiten Schritt mit den dazugehörigen Gebäuden verschnitten werden. Die Durchführung und Überprüfung dieses Ansatzes steht noch aus. Beim gegenwärtigen Stand liefert der erste Generalisierungsschritt unter Verwendung von Differenzflächen als Qualitätsmerkmal bereits brauchbare Ergebnisse, allerdings sind die beiden darauf folgenden Generalisierungsschritte noch nicht vollständig implementiert. Somit lassen sich schon viele freistehende Gebäude, u. a. Einfamilienhäuser und Kasernengebäude, aber z. T. auch Industriegebäude mit Flachdächern generalisieren. Für die übrigen Gebäude wird die komplexe Polygonform beibehalten und muss ggf. manuell nachbearbeitet werden.

4 Erste Ergebnisse

Insbesondere bei der Gebäudeklassifikation kann die Genauigkeit gegenüber einer einfachen objektbasierten Klassifikation (in Definiens Developer) durch die Verknüpfung mehrerer unterschiedlicher Verfahren (siehe Abb. 1) verbessert werden. Die Walmdacherkennung aus Abschnitt 3.3 ist dabei auch auf Schwarz-Weiß-Bilder übertragbar. Ebenso funktionieren die vektorbasierten Verfahren mit ALK-Daten und der Ansatz

von DUTTER (2007) unabhängig von den zugrunde liegenden Luftbildaufnahmen.

Dies gilt jedoch nicht für die objektbasierte Klassifizierung in Definiens Developer, denn eine Übertragbarkeit erfordert farbangepasste (kalibrierte) Echtfarbaufnahmen. Ebenfalls beeinflusst eine unterschiedliche Auflösung der Bilddaten die Texturmerkmale und in geringerem Maße auch die Spektralinformationen und Formmerkmale.

Die Trennung von Vegetation und vegetationslosen Flächen anhand der in Abschnitt 3.2 genannten Formel (1) unterliegt einigen systematischen Fehlern. So sind Blutbuchen mit der o.a. Formel nicht als Vegetation greifbar. Im Gegenzug können grüne Gebäudedächer fälschlicherweise als Vegetation angenommen werden. Die Klassifikationsgenauigkeit hängt somit stark vom Vorhandensein derartiger Klassen im Untersuchungsgebiet ab.

Gebäude können ohne nDOM wegen spektraler und texturbasierter Variabilitäten noch nicht hinreichend genau von bodennahen Versiegelungsflächen getrennt werden. Weiterhin gestaltet sich das Finden geeigneter Merkmalskombinationen bei einigen Klassen (z. B. Kies- und Wasserflächen) äußerst schwierig, so dass bisher keine akzeptable Lösung für entsprechende Klassendefinitionen gefunden wurde. Zudem erfordern andere Bearbeitungsgebiete oder Bildaufnahmen zu anderen Jahreszeiten oft neu eingestellte Wertebereiche für die Klassenmerkmale. Hier wird mit der automatischen Merkmalsbestimmung aus Trainingsgebieten ein weiterer Aufgabenbereich der zukünftigen Forschung erkennbar.

Gegenwärtig ist keine Lösung für die Generalisierung zusammenhängender Gebäude-

dekomplexe in Stadtkernen vorhanden, da dort die Berechnung des MBR (siehe Abschnitt 3.4) keine verwertbaren Ergebnisse liefert. Versuche, die einzelnen Gebäude bereits in Definiens Developer zu trennen, lieferten bislang keine brauchbaren Ergebnisse. Die Gebäudekomplexe verlaufen oft entlang gebogener oder in spitzen Winkeln aufeinander treffender Straßen, die sich aus der Begrenzung durch frühere Stadtmauern zur Stadtverteidigung ergaben. Eine Rechtwinkligkeit ist dadurch meist nicht gegeben. Eine Trennung anhand spektraler Unterschiede der einzelnen Gebäudedächer ist durch Schattenwürfe und teilweise komplexe Dachformen sehr schwierig.

5 Ausblick

Mit dem momentanen Stand des Projektes können die Strukturen im äußeren Stadtgebiet im Gegensatz zur Innenstadt gut erfasst werden. Allerdings bedarf es auch hier noch einiger manueller Nacharbeiten. Nach einer ersten visuellen Beurteilung ist hier Potenzial für eine Reduzierung der Arbeitszeit im Vergleich zu einer vollständigen Digitalisierung gegeben. Eine quantitative Überprüfung dieser Einschätzung steht noch aus. Zum gegenwärtigen Projektstand sind noch nicht alle Möglichkeiten der automatischen Auswertung ausgeschöpft: Über die Walm-dacherkennung hinaus ist die Detektion anderer Dachformen noch nicht implementiert. Außerdem ist noch eine weitere Modifikation des Dutter-Ansatzes angedacht, bei der die unterschiedliche Verteilung von Stützpunkten als Qualitätskriterium einfließt.

Mit den erfassten Objektklassen (siehe Tab. 1) können die gewünschten Nutzungen abgeleitet werden, indem die Flächen (z. B. ein Flurstück) über die Zusammensetzung der Objektklassen und deren Flächenanteil einer Nutzung zugeordnet werden. Für die Erstellung eines Baulücken- und Baulandpotentialkatasters können in Verbindung mit der Grundflächenzahl aus dem digitalen Bebauungsplan mögliche Grundstücke identifiziert werden, die noch unbebaut bzw. nur geringfügig bebaut sind. Hier ist aller-

dings zu beachten, dass mit Methoden der Fernerkundung versiegelte Flächen unterhalb einer Baumkrone fälschlicherweise als Vegetation identifiziert werden, so dass aufgrund der vermeintlich geringeren Versiegelungsfläche mehr Grundstücke als potentiell gering überprägt ausgewiesen würden, als tatsächlich für das Kataster genutzt werden könnten.

Wie bereits in Abschnitt 2 angesprochen, sind neben der Nachverdichtung von Innenbereichen, wie sie durch ein Baulückenkataster unterstützt würden, u. a. auch historische Faktoren für ein qualitatives Flächenmanagement zu betrachten: Parallel zum Aufbau des automatischen Verfahrens wurden die historischen Luftbilder und Karten für ein begrenztes Areal innerhalb des Untersuchungsgebietes manuell ausgewertet und für die Bodenfunktionsbewertung herangezogen. Erste Ableitungen über die Bodenbeschaffenheit mittels des historischen Nutzungswandels konnten in Geländearbeiten bestätigt werden. Eine Nachbildung dieser manuellen Auswertung des historischen Nutzungswandels mit dem automatischen Verfahren steht noch bevor.

Danksagung

Die Autoren bedanken sich im Namen der Firma EFTAS Fernerkundung Technologietransfer GmbH und der FH Osnabrück bei der Stadt Osnabrück für die Bereitstellung der Luftbilder und Zusatzdaten und für die gute Zusammenarbeit sowie beim Bundesministerium für Bildung und Forschung für die finanzielle Förderung.

Literatur

- Bundesbodenschutz Gesetz, 1998: Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (BBodSchG). – Zuletzt geändert durch Art. 3 G v. 9. 12. 2004.
- Bundesregierung, 2004: Perspektiven für Deutschland – Unsere Strategie für eine nachhaltige Entwicklung. – Fortschrittsbericht 2004, Berlin.
- DUTTER, M., 2007: Generalization of building footprints derived from high resolution remote sensing data. – Diplomarbeit an der TU Wien.

- JEDICKE, E., 2001: Naturschutz in Dorf und Stadt – Grenzen der Innenentwicklung. – NABU-Naturschutzbund Deutschland e.V.: Flächen intelligent nutzen – Strategien für eine nachhaltige Siedlungsentwicklung. Erfurt, 49–58.
- HARALICK, R., SHANMUGAM, K. & DINSTEN, I., 1973: Textural features for image classification. – IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics **3** (6): 610–621.
- MVTec, 2007: Halcon 7.1 Dokumentation – www.halcon.de/download/documentation/reference-7.1/c/ (28.04. 2008)
- Rat für Nachhaltige Entwicklung, 2004: Mehr Wert für die Fläche: Das „Ziel-30-ha“ für die Nachhaltigkeit in Stadt und Land. – Empfehlungen des Rates für Nachhaltige Entwicklung an die Bundesregierung **11**.
- REIß-SCHMIDT, S., 2006: Innenentwicklung und Flächenmanagement in München. – Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen: Kommunales Flächenressourcen Management – Beispiele aus der städtebaulichen Praxis, München, 71–84.
- Statistisches Bundesamt, 2008: www-genesis.de-statis.de/genesis/online (17.04. 2008).
- TOMOWSKI, D., EHLERS, M., MICHEL, U., BOHMANN, G. & Institut für Geoinformatik und Fernerkundung (IGF), 2006: Objektorientierte Klassifikation von Siedlungsflächen durch multisensorale Fernerkundungsdaten. – gi-Reports@igf **3**. Osnabrück..

Anschriften der Autoren:

Dipl.-Ing. (FH) ADRIAN KLINK, Dipl.-Geografin CLAUDIA LÜCKE, Dipl.-Landschaftsökologin ANDREAS VÖLKER, EFTAS Fernerkundung Technologietransfer GmbH, Oststr. 2-18, D-48145 Münster, Tel. +49-251-133070, Fax: +49-251-1330733, e-mail: Claudia.Luecke | Adrian.Klink | Andreas.Voelker@eftas.com

Dr. SILKE HÖKE, Dipl.-Ing. (FH) MARKUS ROLF, FH Osnabrück, Am Krümpel 33, D-49009 Osnabrück, Tel. +49-541-969-5202, Fax: +49-541-969-5170, e-mail: s.hoeke | m.rolf@fh-osnabrueck.de

Manuskript eingereicht: Mai 2008

Angenommen: Juni 2008