

Thomas Vögtle und Klaus-Jürgen Schilling, Karlsruhe

Zusammenfassung

Es wird ein Ansatz zur wissensbasierten Satellitenbildanalyse unter Verwendung von Zusatzinformation (ATKIS-Daten) vorgestellt. Dabei wird die Merkmalsbasis über die rein spektralen Eigenschaften (Signatur, Textur) hinaus durch objektspezifische geometrische und strukturelle Eigenschaften (Größe, Form, Nachbarschaft) erweitert, die automatisiert ohne Interaktion gewonnen werden. Ein Schwerpunkt liegt hier auf dem neuen Aspekt der Modellierung der Nachbarschaftsbeziehungen mit Hilfe der mathematischen Morphologie bzw. der Triangulationsnetze. Eine Entscheidungsstruktur selektiert schrittweise Bildbereiche, die der semantischen Klasse 'Siedlung' zugeordnet werden können. Vorteile dieses Ansatzes sind die Robustheit gegen grobe und zufällige Fehler, die signifikante Verbesserung der Klassifikation sowie die Erzeugung vektor-orientierter Objekte zu Fortführungszwecken. Erste Anwendungen des vorgestellten Verfahrens belegen seine Leistungsfähigkeit.

Knowledge-based extraction of settlement areas in satellite image analysis

An approach will be presented for knowledge-based satellite image analysis using additional information (ATKIS data). The amount of relevant features has been extended by geometrical and structural object information (size, form, neighbourhood relations), which are extracted automatically. A special aspect is the modelling of neighbourhood relations by mathematical morphology and triangulation respectively. A strategy to select those image segments which can be related to the object class 'settlement' will be shown. The advantages of this approach are a high error tolerance, a significant improvement of classification results and the creation of vector-oriented objects to update digital databases. First applications of this method confirm its efficiency.

1 Einleitung

Die hier vorgestellte Untersuchung zur Extraktion von Siedlungsbereichen ist Teil eines Forschungsprojektes, das die wissensbasierte Analyse von Satellitenbilddaten zum Ziel hat und im Rahmen eines Bündelantrages 'Semantische Modellierung' durch die DFG gefördert wird.

Die bisher angewandten Verfahren der Satellitenbilddatenauswertung, die üblicherweise nur auf den pixelbezogenen spektralen Reflektionseigenschaften der Erdoberfläche basieren, wie z.B. Multi-spektrale Maximum-Likelihood Klassifikation (BÄHR, VÖGTLE 1991), sind nur unzureichend in der Lage, befriedigende Informationen mit der notwendigen Qualität für eine Weiterverarbeitung in einem Geo-Informationssystem (GIS) oder für die Fortführung existierender Datenbestände zu liefern. Dabei wird – insbesondere nicht-spektrale – Zusatzinformation noch nicht konsequent genug genutzt.

Als Wissensbasis sollen dabei hauptsächlich die Daten des Amtlich Topographisch-Kartographischen Informationssystems (ATKIS) verwendet werden, erweitert durch objektbezogene Merkmale und Regeln. Ausgehend vom vorhandenen ATKIS-Datenbestand wird eine

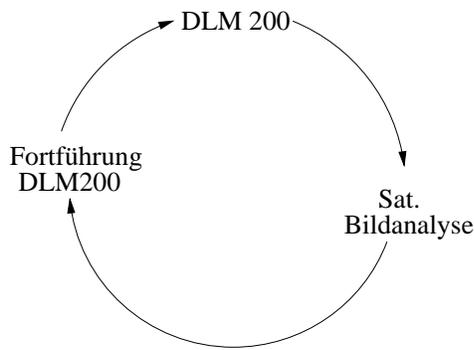


Abbildung 1: Konzeption der Fortführung der ATKIS-Daten (DLM 200)

soll zunächst nur das DLM 200 bearbeitet werden. Mit zunehmend besserer geometrischer Auflösung dieser Systeme (z.B. MOMS) kann zukünftig aber auch das DLM 25 einbezogen werden.

Der neue Ansatz gründet sich darauf, daß nun mit Hilfe der ATKIS-Information erstmals eine vollständige und flächendeckende semantische Beschreibung des Bildinhaltes a-priori gegeben ist. Im Gegensatz zu den in der Fernerkundung bisherigen überwiegend bottom-up orientierten Bildanalyseverfahren ist nun durch dieses symbolisch formulierte Zusatzwissen die Integration eines modellgetriebenen top-down Absatzes in den Auswerteprozess möglich. Gegenüber anderen Arbeiten auf dem Gebiet der ATKIS-Nutzung (BURGER, MUTZ 1992; HENKE, PROSS 1994) wird hier versucht, die in ATKIS enthaltene *Vorsegmentierung* zur Erweiterung der Merkmalsbasis zu nutzen, über die spektralen Eigenschaften hinaus zu objektbezogenen komplexeren Merkmalen wie Form, Größe, Struktur oder Nachbarschaftbeziehungen. Das DLM liefert eine Vorhersage der Semantik für alle korrespondierenden Bildbereiche, so daß die Ausprägungen der verschiedenen Klassen-Merkmale vorab 'gelernt' werden können.

Im Vergleich zur gebräuchlichen Methode der überwachten multispektralen Klassifikation treten nun aber völlig neue Aspekte in den Vordergrund. Bisher werden üblicherweise die pixelbezogene spektrale Eigenschaften der Objekte in interaktiv ausgewählten Trainingsgebieten bestimmt. Dies geschieht durch visuelle Beurteilung eines Operateurs, der für die jeweilige Klasse die 'zutreffenden' – d.h. repräsentativen – Bildbereiche (ohne Störungen) aufgrund seines Kontext-Verständnisses und seiner Erfahrung selektiert. Mit der bereits digital vorliegenden ATKIS-Information hat man nun die Möglichkeit, *alle* im Bildbereich gelegenen Flächen einer Klasse als Trainingsgebiete automatisiert zu nutzen, wenn es gelingt, 'Störungen' bei der Merkmalsgewinnung auszuschließen oder besser noch mitzumodellieren. Unter Störungen sind dabei alle Erscheinungen zu verstehen, die die Repräsentanz des verwendeten Merkmals beeinträchtigen. Dies können beispielsweise für das Merkmal 'Spektrale Signatur' Fremdklassen in den Trainingsgebieten sein (z.B. Rodungsfläche im Wald, Parkanlagen in Siedlungsflächen etc.), auch hervorgerufen durch Restfehler in der geometrischen Überlagerung zwischen Bild- und ATKIS-Information oder aber geometrische wie semantische Fehler in der ATKIS-Datenbasis (Digitalisierfehler). Aufgrund der nun i.a. sehr viel größeren Stichprobe für jede Klasse läßt sich eine fehlertolerante Merkmalsgewinnung konzipieren, basierend auf statistischen Methoden und der Einbeziehung von a-priori Wissen.

Die extrahierten Merkmale finden Eingang in den allgemeinen *Klassifikationsprozess*, der die Zuweisung semantischer Bedeutung zu den Bildobjekten liefert und dessen Entscheidungsstruktur auf der Kombination der unterschiedlichen Merkmale beruht (SCHILLING, VÖGTLE, MÜSSIG 1994).

Eine erste Untersuchung im Rahmen dieser Gesamtkonzeption galt der Extraktion von Siedlungsflächen aus Satellitenbildern. Als Bildmaterial wurde hierbei eine Landsat-TM-Szene aus dem Bereich des Großraums Karlsruhe/Mannheim (path/row 195/26, April 1993) gewählt. Der benötigte Auszug aus den entsprechenden ATKIS-DLM 200 Daten des Kartenblattes 'Mannheim' wurde dankenswerterweise vom *Institut für Angewandte Geodäsie* (Frankfurt/M.) zur Verfügung gestellt.

Siedlungsbereiche zeichnen sich i.a. durch eine mehr oder weniger starke Häufung künstlicher Objekte (*man made objects*) wie Häuser, Straßen oder sonstige Bauwerke aus. Diese bilden aufgrund der i.a. planungsgesteuerten Siedlungsentwicklung (Erschließung, Infrastruktureinrichtungen etc.) zumeist noch eine bestimmte Struktur, d.h. sie stehen in bestimmten Relationen (z.B. Nachbarschaftsbeziehungen) zueinander. Die Erscheinungsform dieser Bereiche in Satellitenbilddaten ist daher in erster Linie gekennzeichnet durch eine entsprechende Häufung bzw. Struktur vegetationsarmer bzw. vegetationsfreier Bildelemente (Pixel). Durch die Vielzahl der unterschiedlichsten sonstigen Nutzungen (z.B. Wiese, Baumgruppen, Ackerflächen, Teiche etc.), die in Siedlungsbereichen auftreten können, entstehen bezüglich des spektralen Reflektionsverhaltens große Inhomogenitäten in der Bildinformation (Abb. 2). Dieses Phänomen, daß hier die semantische Klasse 'Siedlung' nicht mit der Reflektionsklasse übereinstimmt, zeigt sich bei pixelbezogenen Analyseverfahren durch sehr uneinheitliche Klassifikationsergebnisse und überproportional vielen Fehlzuweisungen in diesen Bereichen.

Neben den aufgezeigten spektralen Eigenschaften (Reflektionsverhalten incl. Varianz) und den Nachbarschaftsbeziehungen können ggf. auch die Form und – wenn nicht Einzelhauserfassung notwendig ist – die Größe der Siedlungsbereiche als zusätzliche Merkmale herangezogen werden.

Zur Auswahl einer geeigneten, repräsentativen/hinreichenden Beschreibung von Siedlungsflächen in Satellitenbilddaten ist daher nicht ein einziges spektrales Merkmal ausreichend, sondern es ist ein ganzer Satz an Merkmalen notwendig.

3 Gewinnung der Objektmerkmale 'Siedlung'

Ziel ist es, die zuvor definierten Objektmerkmale möglichst automatisiert und fehlertolerant unter Zuhilfenahme der ATKIS-Information zu gewinnen.

3.1 Vegetationsarme Bildbereiche

Zunächst wird die Charakteristik von Siedlungsbereichen genutzt, daß eine Häufung vegetationsarmer Pixel vorliegt. Zur Extraktion speziell dieser Bildelemente innerhalb der aus dem DLM 200 prognostizierten Siedlungsflächen (Polygone) kann ein *Vegetationsindexverfahren* herangezogen werden. Untersuchungen an unserem Institut mit dem bekannten NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)

$$NDVI = \frac{(IR - R)}{(IR + R)} \quad (1)$$

mit IR – Reflektionswert im nahe Infrarot-Bereich
 R – Reflektionswert im sichtbaren Rot-Bereich

haben ergeben, daß sich die vegetationsarmen Pixel mit Hilfe einer Histogrammanalyse dieser Vegetationswerte mehrheitlich detektieren lassen, da sich die normierten Werte als robust

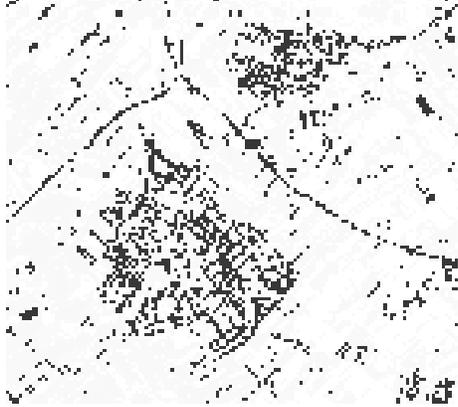


Abbildung 3: Klassifikationsergebnis vegetationsarmer Bildelemente (schwarz); vgl. Original Satellitenbild (Abb. 2)

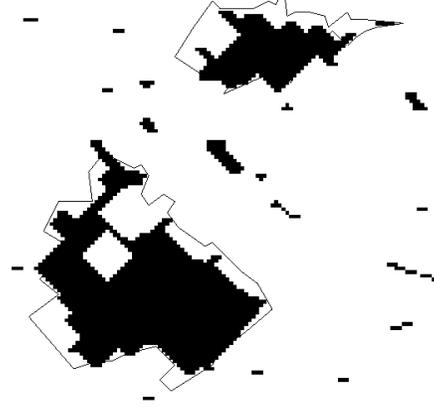


Abbildung 4: Merkmal "Nachbarschaft" mit morphologischen Operatoren (vgl. Abb. 3)

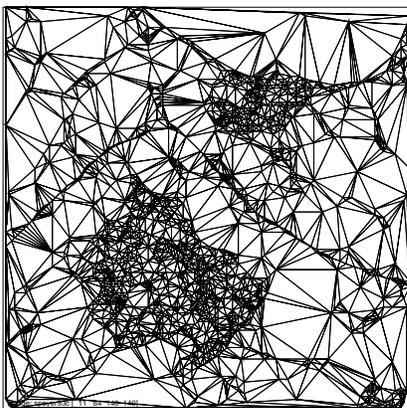


Abbildung 5: Merkmal 'Nachbarschaft' mit Triangulationsnetzen (vgl. Abb. 3)

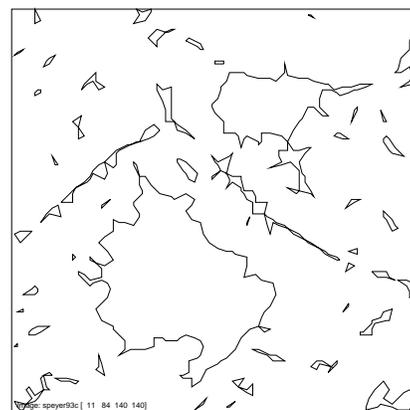


Abbildung 6: Selektion der Verdichtungsbereiche und Konturlinien (vgl. Abb. 5)

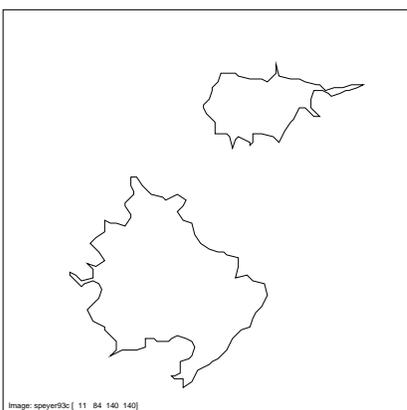


Abbildung 7: Klassifizierte Siedlungsbereiche aufgrund der zusätzlichen Merkmale 'Größe', 'Textur' und 'Form'

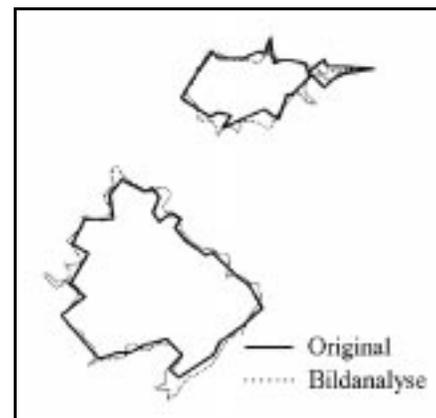


Abbildung 8: Vergleich zwischen den Original- und den ermittelten Konturlinien

Diese Vorgehensweise ermöglicht nun die gewünschte automatisierte, fehlertolerante Gewinnung dieses spektralen Merkmals, da aufgrund des eingebrachten Vorwissens über die speziellen Eigenschaften von Siedlungsflächen in der Bildinformation (Beschränkung auf vegetationsarme Pixel) selbst grobe Fehler in den DLM-Daten (Geometrie wie Semantik) keinen nennenswerten Einfluß auf die Ergebnisse mehr haben (vgl. Abb. 10). Zur Ausweitung der in den 'Trainingsgebieten' gewonnenen Information auf das gesamte Bild kann die Methode der Multispektralen Klassifikation angewandt werden, wobei die spektralen Signaturen aus den zuvor markierten Pixel berechnet werden. Aufgrund der extrem großen Stichprobe (alle im DLM 200 definierten Siedlungsbereiche) kann die Merkmalsgewinnung ebenfalls robust gegen Ausreißer gestaltet werden. Die Klassifikation liefert als (Zwischen-)Ergebnis alle Bildbereiche, die mit der ermittelten Wahrscheinlichkeit als vegetationsarm zu betrachten sind (Abb. 3). Die Darstellung verdeutlicht, daß neben den beschriebenen Siedlungsbereichen beispielsweise auch landwirtschaftliche Flächen, größere Verkehrswege etc. miteinfaßt werden. Hieran zeigt sich erneut, daß pixelbezogene spektrale Merkmale allein nicht ausreichen.

3.2 Nachbarschaftsbeziehung

Die Häufung vegetationsarmer Bereiche in Siedlungen bedeutet, daß eine gewisse Dichte entsprechend klassifizierter Pixel vorliegt bzw. bestimmte Abstandsbedingungen auftreten. Zur Beschreibung dieses Merkmales wurden zwei unterschiedliche Ansätze untersucht.

3.2.1 Morphologie

Da für die folgende Betrachtung zunächst nur die als vegetationsarm klassifizierten Pixel von Interesse sind, lag es nahe, die auf Binärbildinformation basierenden Methoden der *Mathematischen Morphologie* einzusetzen. Die Grundidee besteht darin, kleine Lücken in den Verdichtungsbereichen mittels *Dilation* zu füllen und anschließend durch entsprechende *Erosion* die ursprüngliche Größe wieder herzustellen. Untersuchungen am Institut haben gezeigt, daß diese Methode grundsätzlich geeignet ist, relativ homogene Bereiche zu erreichen (Abb. 4).

Sie weist jedoch auch einige entscheidende Nachteile auf: Als kritisch zeigt sich in der praktischen Anwendung die Wahl der Fenstergröße, die Form des Kerns und die Anzahl der Iterationsschritte, die für die morphologischen Operatoren zu einer vollständigen Flächenfüllung notwendig sind. Diese lassen sich auch nicht auf einfache Weise aus den Trainingsgebieten ermitteln. Um auch größere Lücken (Parks, Freiflächen etc.) schließen zu können, ist eine entsprechend große Anzahl an Iterationen nötig. Dies bewirkt aber eine starke Beeinträchtigung der ursprünglichen Kontur des Siedlungsbereiches (Abb. 4).

3.2.2 Triangulationsnetze

Um die Probleme der morphologischen Operatoren zu umgehen, wurde ein insbesondere aus der Verarbeitung Digitaler Geländemodelle bekannter Ansatz auf die Bildanalyse übertragen (WEINDORF 1994). Hier liegt die Konzeption zugrunde, daß die Nachbarschaftsbeziehungen auch über die Abstände der betrachteten Elemente (vegetationsarme Pixel) modelliert werden können. Zur Gewinnung der (kürzesten) Abstände zwischen benachbarten Elementen kann man sich der bekannten *Triangulationsverfahren* (z.B. Delauny) bedienen, die die Dreiecksvermaschung nach bestimmten Bedingungen optimieren (z.B. Minimierung der Summe der Dreiecksseiten, möglichst Gleichwinkligkeit der Dreiecke etc.).

Diese wird anschließend benutzt, um diejenigen Dreiecke aus dem gesamten Bildbereich zu selektieren, die einem *Verdichtungsbereich* angehören. Dabei kann zusätzlich das Wissen über die Klassifizierungswahrscheinlichkeit (bezogen auf die Eckpunkte der Dreiecke) mit herangezogen werden.

Um zu größeren, zusammenhängenden Bereichen zu kommen, können benachbarte Dreiecke (mit einer identischen Seite) zu allgemeinen Umring-Polygonen vereinigt werden (Abb. 6).

Dieser neue Ansatz zu Modellierung der Nachbarschaft besitzt einige entscheidende Vorteile gegenüber anderen Methoden: Zunächst ist zu nennen, daß sich die Abstände der Element sehr gut als Beschreibung der Nachbarschaftsbeziehungen eignen, d.h. sie lassen sich relativ einfach erfassen und sie erlauben aufgrund der Anwendung der Statistik das Mitführen der Unsicherheit dieses Merkmals für den späteren (allgemeinen) Klassifikationsprozeß. Ein Vergleich mit dem Verfahren der Morphologie zeigt darüber hinaus eine wesentlich bessere Formerhaltung der entsprechenden Konturlinien (vgl. Abb. 4,7 und 8). Einen weiteren positiven Aspekt stellt die Raster/Vektor-Konvertierung dar, die implizit in diesem Verfahren enthalten ist.

3.3 Größe, Form und Textur

Wird keine Einzelhauserfassung angestrebt, so können auch die Merkmale Größe und Form von Siedlungsbereichen als Merkmale herangezogen werden. Beide lassen sich prinzipiell aus den Ergebnissen der Nachbarschaftsbestimmung ableiten. Während die Größe noch sehr einfach über die Berechnung der Fläche gewonnen werden kann, stellt die Beschreibung der Form u.U. ein komplexeres Problem dar. Noch am einfachsten ist beispielsweise die Bestimmung der Rundheit bzw. Langgestrecktheit als Verhältnis zwischen Umfang und Flächeninhalt bzw. als Hauptmomente der Figur. Komplizierter sind die Beschreibungen für solche Phänomene wie *Glattheit* oder *Rechteck-* bzw. *Trapezform* (z.B. landwirtschaftliche Flächen).

Als Beschreibung der Textur kommen in erster Linie die erprobten und bewährten Haralik-Parameter in Betracht. Zukünftig sollen auch Texturmerkmale, die auf der Methode der Zufallsfelder (z.B. Markoff-Felder) zurückgreifen, eingesetzt werden.

4 Verfahrensablauf und Entscheidungsstruktur

Der Aufbau einer Entscheidungsstruktur zur Extraktion von Siedlungsbereichen (allgemeiner Klassifikationsansatz) basiert auf der Verknüpfung der gewonnenen Merkmale unter Anwendung bestimmter Regeln. Im ersten Schritt erfolgt die Ermittlung der vegetationsarmen Bereiche, zunächst in den Trainingsgebieten, dann ausgeweitet auf das gesamten Satellitenbild (s. Abschnitt 3.1). Die Multispektral-Klassifikation stellt hier nur noch eine Basisfunktion in der Entscheidungsfindung dar. Die detektierten Pixel werden nun mit Hilfe einer Delauny-Triangulation vermascht (s. Abschnitt 3.2.2), um (wiederum in den Trainingsgebieten) eine Statistik über die Abstände benachbarter Elemente abzuleiten.

An dieser Stelle beginnt nun eine hierarchische schrittweise Selektion derjenigen Dreiecksflächen, die sich semantisch der Klasse 'Siedlung' zuweisen lassen. Zunächst werden mit Hilfe des Nachbarschaftskriteriums (Dreiecksumfang) Verdichtungsgebiete ermittelt, aus denen durch Zusammenfassung benachbarter Dreiecke Umring-Polygone (Konturlinien) gebildet werden können (s. Abschnitt 3.2.2). Bildbereiche, die nicht zu diesen Verdichtungsflächen gehören, jedoch vollständig von ihnen eingeschlossen sind (z.B. größere Parkanlagen, Seen etc.), können wahlweise – abhängig von der jeweiligen Anwendung – fusioniert werden oder als separate Flächen erhalten bleiben.

Merkmal 'Größe' (s. Abschnitt 3.3).

Die nun verbliebenen Flächen schließen jedoch noch alle vegetationsarme Bereiche in der Bildinformation mit ein, insbesondere auch landwirtschaftliche Nutzungen (z.B. abgeerntete Felder) und ggf. Wasserflächen (z.B. Seen, größere Flüße). Daher wird mit Hilfe eines Texturparameters die Homogenität der selektierten Bildbereiche untersucht. Eigene Arbeiten auf diesem Gebiet haben gezeigt, daß sich hiermit die angesprochenen Nutzungen i.a. deutlich von den Siedlungsbereichen unterscheiden lassen.

In einem letzten Schritt sollen noch verbliebene Fremdklassen mit Hilfe des – zugegebenermaßen recht unscharfen – Merkmals 'Form' eliminiert werden. So sind beispielsweise häufig größere Straßen oder Kreuzungsbereiche (z.B. Bundesautobahn, Autobahnkreuze etc.) außerhalb der Siedlungsflächen (Abb. 6) oder stärker texturierte Wasserflächen (z.B. Flüße) noch enthalten, welche sehr gut mit dem Parameter 'Langgestrecktheit' extrahiert werden können. Jedoch ist mittels Zusatzinformation aus ATKIS zu berücksichtigen, ob nicht eine Sonderform der Siedlung (z.B. Straßendorf) vorliegt. Eine weitere mögliche Anwendung eines Formparameters betrifft die Detektion texturierter landwirtschaftlicher Nutzflächen. Sie besitzen aufgrund der heutigen mechanisierten Bearbeitungsmethoden zumeist eine geometrisch einfache, glatte Kontur, ggf. mit wenigstens zwei parallelen Seiten. Es ist sehr leicht einzusehen, daß dieses Kriterium nicht vollständig greifen kann, so daß in dieser Phase der Entscheidungsfindung grundsätzlich die vorhandene Vorinformation des DLM 200 mitgenutzt werden sollte. Nach Einbeziehung der Merkmale 'Größe', 'Textur' und 'Form' liefert die Entscheidungsstruktur die gesuchten Siedlungsobjekte (Abb. 7).

5 Ergebnisse

Erste Anwendungen dieses Verfahrens auf die genannte Satellitenbildszene aus dem Großraum Karlsruhe/Mannheim (Testgebiete 'Mutterstadt' - Abb. 9 - und 'Karlsruhe' - Abb. 11 -) haben zu sehr guten Ergebnissen geführt. Mit Hilfe der Vorinformation aus den ATKIS-DLM 200 Daten ist es hier gelungen, einen vollautomatischen Ablauf der Satellitenbildanalyse bezüglich Siedlungsflächen zu implementieren, d.h. alle benötigten Merkmale werden vom System ohne Interaktion mit einem Operateur gewonnen. Dieser Ansatz ist prinzipiell auch auf alle anderen Klassen (inhomogene wie homogene) übertragbar, unter Berücksichtigung geeigneter klassenspezifischer Merkmale.

Die praktische Realisierung hat gezeigt, daß im Gegensatz zur rein pixelbezogenen Multispektral-Klassifikation keine Bereiche der landwirtschaftlichen Nutzung mehr fälschlicherweise als Siedlung ausgewiesen sind. Die Siedlungsbereiche selbst werden sehr gut als geschlossene Fläche unter Erhaltung der Kontur wiedergegeben (Abb. 7 und 9), eine Eigenschaft, die sich insbesondere für die Fortführung digitaler (vektor-orientierter) Datenbestände eignet. Zur Untersuchung der Robustheit des Verfahrens gegen grobe Fehler (s. Abschnitt 1.) wurden Trainingsgebiete, wie sie die DLM 200 Daten liefern, bewußt verfälscht, d.h. der Umring wurde derart verändert, daß tatsächlich besiedelte Bereiche abgeschnitten und nicht besiedelte hinzugenommen wurden (Abb. 10). Die resultierende Statistik vegetationsarmer Pixel sowie die gebildete Konturlinien wichen jedoch bis auf wenige geringfügige Differenzen (zufällige Streuung) nicht von den Originalen ab. Dagegen treten an breiteren Straßen, die aus einer Siedlung herausführen, systematische kleine Störungen der Kontur auf (der Straßenansatz wird jeweils durch die Dreiecksbildung miterfaßt), die nur mittels Zusatzinformation aus dem DLM 200 bei der Umringbildung unterdrückt werden können.

Neben den gezeigten Beispielen wurde das Verfahren auch auf das Stadtgebiet Karlsruhe angewandt, wobei die Option zur Integration eingeschlossener Fremdflächen genutzt wurde

te Ergebnisse aufgrund eines sehr robusten Verhaltens gegen Störungen und erzeugt sehr gut weiterverarbeitbare Objekte aufgrund vektor-orientierter, geschlossener Flächen in guter geometrischer wie semantischer Genauigkeit.

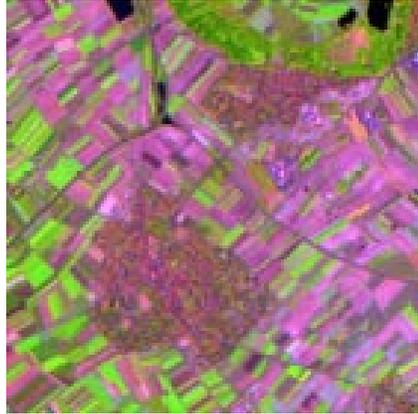


Abb. 2: Original- Satellitenbild (Ausschnitt, TM/5/4/3) Testgebiet 'Mutterstadt'

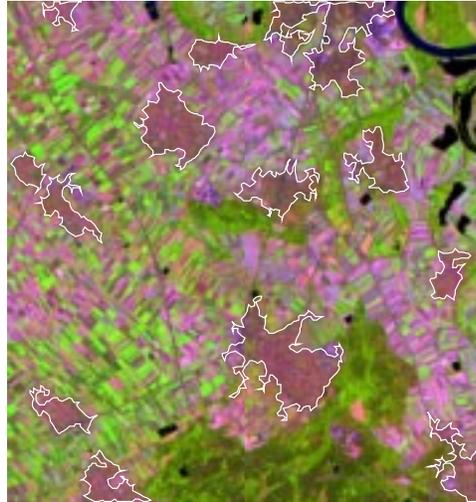


Abb. 9: Original- Satellitenbild (TM/5/4/3) mit den ermittelten Konturlinien des allgemeinen Klassifikationsprozesses (Testgebiet 'Mutterstadt')

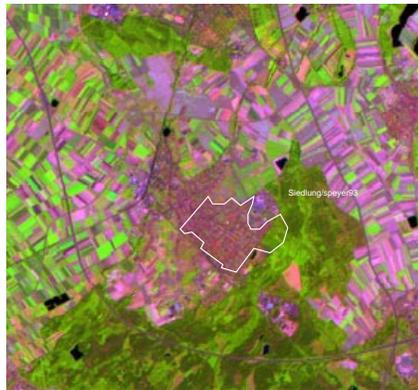


Abb. 10: Verfälschtes Trainingsgebiet zur Untersuchung der Robustheit gegen grobe Fehler (Ausschnitt, Testgebiet 'Mutterstadt')



Abb. 11: Original- Satellitenbild (TM/5/4/3) mit den ermittelten Konturlinien für das Stadtgebiet Karlsruhe

Aufbauend auf diesen Ergebnissen steht in der nächsten Phase die Erweiterung auf andere Klassen (z.B. Wald, Landwirtschaft etc.) einerseits und die Verfeinerung der Entscheidungsstruktur andererseits an. Dabei wird angestrebt, von der recht starren schrittweisen Selektion überzugehen auf eine Strategie, die eine größere Sensitivität in der Entscheidungsfindung aufweist. Dies kann durch die Betrachtung aller Merkmale in derselben Phase geschehen sowie deren Bewertung aufgrund von wissensbasierten Regeln und der mitgeführten Unsicherheit für die Merkmale bis zum Ergebnis. Darüber hinaus sollen die verwendeten Daten in einem *Semantischen Netz (SN)* systematisch strukturiert werden, womit sich auch die bisher noch nicht betrachteten Relationen der Objekte untereinander besser berücksichtigen lassen.

Aufgrund der vielversprechenden Ergebnisse wird der intensiveren Nutzung der Zusatzinformation aus ATKIS-Daten, die in absehbarer Zeit flächendeckend vorliegen werden, und der damit verbundenen Automatisierung des Analyseprozesses mehr Beachtung in der Forschung zu schenken sein.

Literatur

- BÄHR, H.-P., VÖGTLE, T. (HRSG.), 1991:
Digitale Bildverarbeitung – Anwendung in Photogrammetrie, Kartographie und Fernerkundung.
Herbert Wichmann Verlag, Karlsruhe
- BURGER, R., MUTZ, M., 1992:
Methoden zur thematischen und geometrischen Integration von Satellitendaten in das
Amtliche Topographisch-Kartographische Informationssystem (ATKIS).
FAW-B-92007, FAW Ulm
- HENKE, P., PROSS, E., 1994:
Zur Fortführung des ATKIS 200 unter Verwendung digitaler Bilddaten.
Kartographische Nachrichten, 44. Jahrgang, Heft 4, Aug. 1994, S. 138-143
- NEWTON, W., GURNEY, L., SLOGGET, D., DOWMAN, I., 1994:
An Approach to the automated Identification of Forests and Forest Change in
Remotely Sensed Images.
ISPRS Comm. III Symposium: Spatial Information from Digital Photogrammetry and
Computer Vision, München, 5.-9.Sept.1994, Proceedings S. 607-614
- SCHEEF, P., 1995:
Untersuchungen zur räumlichen und zeitlichen Variabilität des Vegetationsindex.
Unveröffentl. Diplomarbeit am Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung,
Univ. Karlsruhe, April 1995
- SCHILLING, K.-J., VÖGTLE, T., MÜSSIG, P., 1994:
Knowledge Based Analysis of Satellite Images.
ISPRS Comm. III Symposium: Spatial Information from Digital Photogrammetry and
Computer Vision, München, 5.-9.Sept.1994, Proceedings S. 732-736
- TAUER, W., VÖGTLE, T., 1990:
Das Potential an Sturzwasserbewässerungsflächen in der Sahelzone.
Abschlußbericht zum EG-Forschungsprojekt CEE R&D Programme TS2* -0018-D(BA),
Karlsruhe, 130 S.

Anschrift der Verfasser:

Dr.-Ing. THOMAS VÖGTLE und Dipl.-Ing. KLAUS-JÜRGEN SCHILLING, Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, Universität Karlsruhe, Englerstr. 7, D – 76 128 Karlsruhe.

THOMAS VÖGTLE, geboren 1956 in Pforzheim. Studium des Vermessungswesens von 1976-1982 an der Universität Karlsruhe, 1982-1984 Aufbaustudium Regionalwissenschaft an der Universität Karlsruhe, Promotion 1989. Seit 1984 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, Universität Karlsruhe.

KLAUS-JÜRGEN SCHILLING, geboren 1966 in Eberbach a. Neckar. Studium des Vermessungswesens von 1987-1992 an der Universität Karlsruhe. Seit 1993 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, Universität Karlsruhe.