

Automatisierte Bestimmung von Bearbeitungsskalen für die multiskalige Auswertung von hoch auflösenden Fernerkundungsdaten

LARS TUFTE, Lünen

Keywords: remote sensing, high resolution remote sensing data, segmentation, algorithms, multi scale analysis, detection of buildings

Zusammenfassung: Die relativ neuen hoch auflösenden Fernerkundungsdaten erfordern neue Auswertemethoden. Segment-basierte Methoden wurden in den letzten Jahren häufiger für die Analyse eingesetzt. Im deutschsprachigen Raum wird die Software eCognition, die einen entsprechenden Ansatz verfolgt, verstärkt genutzt. Im Vergleich zu der ständigen Entwicklung von immer neuen Segmentierungsalgorithmen besteht bei der Evaluierung der Segmentierungsergebnisse ein Defizit. Es besteht weiterhin ein entsprechender Forschungsbedarf. Die Wahl der Segmentierungsparameter und hier besonders die des Schwellenwertes (scale parameter) und die Wahl der objektklassen-spezifischen Bearbeitungsskalen erfolgt durch einen zeitaufwendigen manuellen Prozess. Hier wird ein Verfahren vorgestellt, welches es ermöglicht, aus einer erstellten Segmentpyramide die objektklassen-spezifische Bearbeitungsskala bzw. die entsprechende Ebene der Pyramide zu bestimmen. Hierfür werden 2 relativ einfache Kennwerte (*Qsplit* und *Qmerge*) genutzt. Die optimale Bearbeitungsskala ist definiert als die Ebene, bei der die beiden Kennwerte gleich sind. Diese Methode wird an einem Beispiel zur Detektierung von Gebäuden aus Laserscannerdaten erfolgreich eingesetzt.

Summary: *Automatic determination of working scales for the multi-scale analysis of very high resolution remote sensing data.* For the analysis of the relatively new very high resolution remote sensing data new methods are needed. In the last several years segment-based methods were frequently used for this purpose. Such a method is implemented in the Software eCognition which is often used in German speaking countries. Compared to the rapid development of new segmentation algorithm, there is a deficit in the development of methods for the evaluation of segmentation results. Therefore, there is still a strong need for further research. The choice of the parameter for the segmentation (especially the scale parameter) and of the class-specific working scale is a time consuming task. An approach for the determination of the class-specific working scale or the layer of a segment pyramid, respectively, is presented in this paper. For this purpose two relatively simple measures are used (*Qsplit* and *Qmerge*). The best working scale is defined as the layer of the segment pyramid where the two measures are equal. The approach was successfully applied to the detection of building from laser scanning data.

1 Einleitung

Die Auswertung der neuen hoch auflösenden Fernerkundungsdaten, welche von Satelliten- und Flugzeug-gestützten Sensoren aufgenommen werden, stellt augenblicklich ein aktuelles Forschungsgebiet dar. Neben den multispektralen Daten sind auch im verstärkten Maße Digitale Oberflächen Model-

le (DOM) verfügbar, die durch unterschiedliche Sensoren (z. B. Radar, Laser) erfasst werden. Die Daten erfordern neue Auswerteverfahren, die wiederum neue Anwendungen erschließen und zu einem erhöhten Bedarf bzw. einer erhöhten Nutzung hoch auflösender Daten führt (Abb. 1). Besondere Bedeutung hat die Entwicklung von operationellen und automatisierten Standardaus-

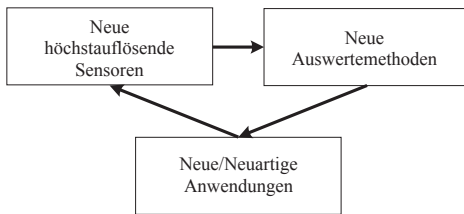


Abb. 1: Idealisierte Kausalkette in der Entwicklung der Fernerkundung (nach EHLERS 2002).

werteverfahren. Nur so kann das Potenzial der Daten für entsprechende Anwendungen voll genutzt werden.

Ein Ansatz zur Auswertung hoch auflösender Fernerkundungsdaten ist die Anwendung von Segment-basierten Methoden. Bei diesen Methoden wird das Bild durch Segmentierungsverfahren in Segmente unterteilt. Segmente sind eine räumlich zusammenhängende Menge von Pixeln. Die Segmente sind im Vergleich zu den Nachbarregionen einheitlicher und homogener bezüglich einer bestimmten Charakteristik (z. B. Grauwert, Textur, Form). Die anschließende Klassifizierung erfolgt auf der Grundlage der Segmente. Besonders im deutschsprachigen Raum werden in den letzten Jahren für die Analyse hoch auflösender Fernerkundungsdaten Segment-basierte Methoden auf der Grundlage der Software eCognition (www.definiens-imaging.com) eingesetzt. Die Methode besitzt aber die folgenden Mängel bzw. Schwächen:

- Die Segmentierungsparameter müssen hierbei durch einen iterativen und zeitaufwendigen Prozess bestimmt werden (SCHIEWE & TUFTE 2001).
- Besonders bei natürlichen Objekten ist die Übertragung von Segmentierungsparametern ohne eine Anpassung nicht möglich (LEUKERT 2002).
- Die Bewertung der Qualität der Segmente erfolgt in der Regel visuell. Quantitative Bewertungsmethoden der Segmentierungsqualität existieren nur in Ansätzen (NEUBERT & MEINEL 2002).
- Die Wahl der Bearbeitungsskalen im Sinne einer multi-skaligen Analyse (siehe z. B. SCHIEWE 2002), die in Abhängigkeit der betrachteten topographischen Objekte va-

riabel sind, erfolgt nicht automatisiert und zum Teil intuitiv.

In diesem Aufsatz wird eine quantitative Bewertungsmethode vorgestellt und daraus optimale objektklassen-spezifische Bearbeitungsskalen bzw. Segmentierungsparameter bestimmt.

Kapitel 2 beschreibt die Segment-basierte Methode zur Auswertung hoch auflösender Fernerkundungsdaten und geht kurz auf das genutzte Segmentierungsverfahren ein. In Kapitel 3 wird ein allgemeiner Überblick über die Möglichkeiten der Bewertung der Segmentierungsqualität gegeben. Das konkrete Bewertungsverfahren und die Bestimmung der Bearbeitungsskalen wird in Kapitel 4 beschrieben und anhand zweier Beispiele zur Detektierung von Gebäuden und der Bestimmung der Flächen in einem künstlich erzeugten Datensatz demonstriert (Kapitel 5).

2 Die Segment-basierte Methode zur Auswertung hoch auflösender Fernerkundungsdaten

Das grobe Ablaufschema der Segment-basierten Methode ist in Abb. 2 dargestellt. Nach einer möglichen Datenaufbereitung erfolgt die Segmentierung, die im folgenden Abschnitt näher erläutert wird. Die anschließende Bewertung dient zur Wahl der Objektklassen-spezifischen Bearbeitungsskalen, die für die Klassifizierung genutzt werden. Dieses Bewertungsverfahren wird in Kapitel 3 beschrieben. Für die Klassifizierung der Segmente können unterschiedliche Merkmale, wie zum Beispiel Formparameter (Größe, Umfang, usw.), Nachbarschaftsbeziehungen und spektrale Eigenschaften (z. B. Mittelwert innerhalb des Segmentes) genutzt werden.

Bei dieser Methode ist die Segmentierung bzw. die Wahl der Segmentierungsparameter von entscheidender Bedeutung, da die Segmente die Basis der Klassifizierung bilden (Abb. 2). Die Bewertung der Qualität der Segmente erfolgt in der Regel visuell.

In diesem Aufsatz wird ein Verfahren zur Evaluierung der Segmentierung vorgestellt, welches erstmals für hoch auflösende Daten

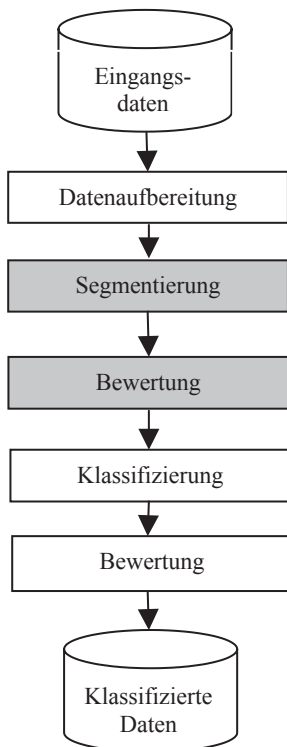


Abb. 2: Grobes Ablaufschema der Segment-basierten Auswertung.

angewendet wird. Wendet man dieses Verfahren auf die durch unterschiedliche Parametereinstellungen erzeugte Segmentpyramide an, dann lässt sich die Wahl der objekt-klassen-spezifischen Bearbeitungsskalen für die anschließende Klassifizierung automatisieren.

2.1 Das Segmentierungsverfahren

Für die Bildsegmentierung wird im Programmpaket eCognition ein neu entwickeltes und patentiertes „Multiresolution Segmentation“ Verfahren basierend auf einer region-merging Technik eingesetzt. Das Optimierungsverfahren minimiert die gewichtete Heterogenität ($n h$) der erzeugten Bildobjekt-Primitive, wobei n die Größe der Segmente und h die Heterogenität darstellt. Zwei benachbarte Segmente werden vereinigt, wenn der Anstieg der definierten Heterogenität minimal im Vergleich zu den an-

deren Vereinigungsmöglichkeiten ist. Wenn der kleinste Anstieg an Heterogenität einen Schwellenwert (sog. scale parameter) überschreitet, wird der Prozess beendet. Über den Schwellenwert lässt sich die Größe der erzeugten Segmente variieren. Die Heterogenität kann über die Eingangsdaten (häufig Spektralwerte aber auch z. B. Höhenwerte) und/oder geometrische Eigenschaften (Kompaktheit, Form) definiert werden.

Die Heterogenität der Eingangswerte (h_E) ist die Summe der Standardabweichungen (σ) der Spektralwerte in jeder Datenebene, gewichtet mit einem Gewichtungsfaktor (w), der für jede Datenebene definiert werden kann.

$$h_E = \sum_l^n w_n \cdot \sigma_n$$

w : Gewichtungsfaktor
 σ : Standardabweichung
 n : Anzahl der Datenebene

Die Kompaktheit (h_K) wird über das Verhältnis der Grenzlänge (l , Länge der Segmentgrenze) zur Quadratwurzel der Anzahl der Pixel je Segment (n) bestimmt.

$$h_K = \frac{l}{\sqrt{n}}$$

l : Grenzlänge
 n : Anzahl der Pixel je Segment

Als weiterer Parameter zur Beschreibung der geometrischen Eigenschaften dient die Form (h_F), die definiert ist durch das Verhältnis der Grenzlänge (l) zur kürzesten möglichen Grenzlänge definiert durch das kleinste umschließende Rechteck (b , bounding box) für das Segment parallel zum Raster.

$$h_F = \frac{l}{b}$$

l : Grenzlänge
 b : kürzeste mögliche Grenzlänge

Die Gewichtung der einzelnen Parameter kann für jede Segmentierung vom Benutzer

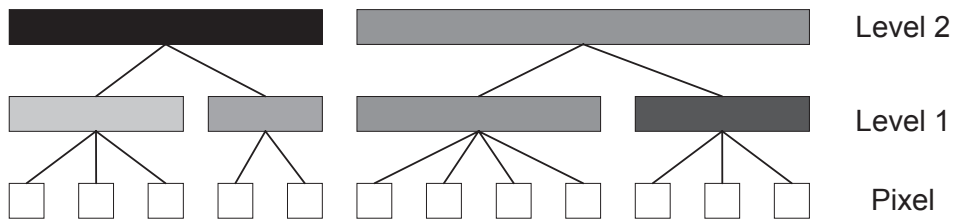


Abb. 3: Hierarchisches Netz der Bildobjekt-Primitive (Segmentpyramide) auf unterschiedlichen Segmentierungsebenen.

bestimmt werden. BAATZ & SCHÄPE (2000) beschreiben die Methode detaillierter.

Durch die Variation der Eingangsdaten für die Segmentierung sowie der oben genannten Parameter kann man Bildobjekt-Primitive erzeugen. Diese entsprechen Objekten und/oder Teilen von Objekten auf unterschiedlichen Abstraktionsebenen (Segmentierungsebenen). Die Grenzen eines Ober-Bildobjekt-Primitivs sind konsistent mit den Grenzen der entsprechenden Unter-Bildobjekt-Primitive (Abb. 3).

Jedes Bildobjekt-Primitiv kann in Beziehung zu seinen Nachbarn und die entsprechenden Unter-Bildobjekt-Primitive gesetzt werden. Man erzeugt ein hierarchisches Netz von Bildobjekt-Primitiven, welche sich auf unterschiedlichen Segmentierungsebenen befinden (Abb. 3). Diese Segmentierungsmodelle bilden eine Segmentpyramide.

Die Software wurde schon in zahlreichen Studien für unterschiedliche Fragestellungen eingesetzt (Tab. 1).

Tab. 1: Überblick über bisherige Anwendungsgebiete der Software eCognition.

Anwendung	Autoren
Forstwirtschaft	DE KOK (2001), DE KOK et al. (2000)
Urbane Räume	BAUER & STEINOCHER (2001), BAUER & STEINOCHER (1999), HOFMANN (2001a), HOFMANN (2001b), MEINEL et al. (2001), PILZ & STROBEL (2002)
Limnologie	ANDRESEN et al. (2002)
Aktualisierung von GIS Daten	HOFFMANN et al. (2001), HOFFMANN et al. (2000b), HOFFMANN et al. (2000a), SCHIEWE & TUFTE (2002)
Extraktion von Geländeoberflächen	SCHIEWE (2001)
Klassifizierung von Bio- toptypen	LESER (2002b), LESER (2002a), NEUBERT & MEINEL (2002), SCHIEWE et al. (2001)
Nukleare Kontrolle	NIMEYER & CANTY (2001), NIEMEYER et al. (1999)

3 Methoden zur Evaluierung des Segmentierungsergebnisses

Es gibt unterschiedliche Methoden zur Evaluierung von Segmentierungsergebnissen. Im Vergleich zu der vorhandenen und weiterhin steigenden großen Anzahl von unterschiedlichen Segmentierungsalgorithmen ist die Entwicklung von Evaluierungsmethoden aber deutlich geringer.

Nach ZHANG (1996) kann man 3 Evaluierungsmethoden unterscheiden. Dies sind die analytische, die empirische Güte und die empirische Diskrepanz Methode. Die von ZHANG (1996) beschriebene Einteilung ist in Abb. 4 im Rahmen des generellen Ablaufschemas der Evaluierung dargestellt. Die eigentliche Segmentierung erfolgt in dem in der Abb. 4 grau hinterlegten Bereich. In Abhängigkeit von der Verfügbarkeit bzw. Nutzung von a priori Informationen kann man auch eine Gliederung in unüberwachte und überwachte Methoden vornehmen.

Bei der analytischen Methode wird der Segmentierungsalgorithmus in seinem Prinzip, seiner Komplexität usw. betrachtet (ZHANG 1996). Die Schwierigkeit hierbei ist

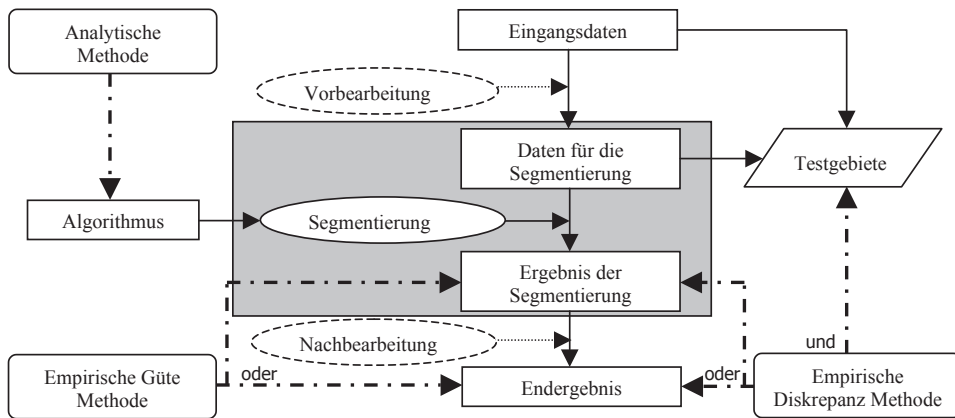


Abb. 4: Evaluierungsmethoden der Segmentierung (nach ZHANG 1996).

das Fehlen einer allgemeinen Theorie der Segmentierungsverfahren (HARALICK & SHAPIRO 1992). Die empirische Güte-Methode bewertet das Ergebnis der Segmentierung direkt oder nach einer Nachbearbeitung. Die Bewertung erfolgt durch Gütekriterien. Ein a priori Wissen über die korrekte Segmentierung muss nicht vorhanden sein. LEVINE & NAZIF (1985) nutzen z. B. als Kriterien die Uniformität innerhalb der Regionen und den Kontrast zwischen benachbarten Regionen. Bei der empirischen Diskrepanz-Methode wird das Ergebnis der Segmentierung direkt oder nach einer Nachbearbeitung mit einer korrekten Segmentierung bzw. mit Testgebieten, abgeleitet aus den Eingangsdaten oder den Daten für die Segmentierung (nach der Vorbearbeitung), verglichen. Durch die Nutzung von Testgebieten sind diese Methoden allgemein anzuwenden (EVERINGHAM et al. 2002). YASNOFF et al. (1977) nutzen z. B. die Anzahl der falsch klassifizierten Pixel und deren Position zur Berechnung des Anteils der falsch klassifizierten Fläche und des Abstandes des falsch klassifizierten Pixels zum räumlich (euklidische Distanz) am nächsten gelegenen Pixel, welches zur falsch klassifizierten Klasse gehört (pixel distance error). Es besteht auch die Möglichkeit, Objektkenngrößen (z. B. Fläche, Umfang) zu vergleichen (z. B. YANG et al. 1995). Nicht alle Evaluierungsmethoden können eindeutig einer der drei Kategorien zugeordnet werden. Die

Methode von EVERINGHAM et al. (2001) ähnelt z. B. den empirischen Diskrepanz-Methoden, aber sie definiert nicht nur eine Diskrepanzmetrik und evaluiert die Segmentierung in einem Diskrepanz/Parameter Merkmalsraum, sondern die Evaluierung basiert auf einem mehrdimensionalen Tauglichkeit/Aufwand Merkmalsraum. Einen allgemeinen Rahmen für die Bewertung von Segmentierungsergebnissen stellen ZHANG & GERBRANDS (1994) vor. Er ist den Empirischen-Diskrepanz-Methoden zuzuordnen. Als Kriterium wird die Genauigkeit der Bestimmung von Objektkenngrößen vorgeschlagen.

Einen Überblick über weitere Methoden geben ZHANG & GERBRANDS (1994) sowie ZHANG (1996).

4 Automatisierte Bestimmung der objektklassen-spezifischen Bearbeitungsskalen durch Segmentierungsevaluierung

Die im Folgenden verwendete Methode bestimmt die Diskrepanz zwischen Testgebieten und dem Segmentierungsergebnis. Sie ist also den empirischen Diskrepanz-Methoden zuzurechnen. Hierbei erfolgt eine Unterscheidung in zwei mögliche Fehler:

- Ein „reales“ Objekt wird in mehrere Segmente unterteilt (oversegmentation).
- Ein Segment beinhaltet mehrere Objekte (undersegmentation).

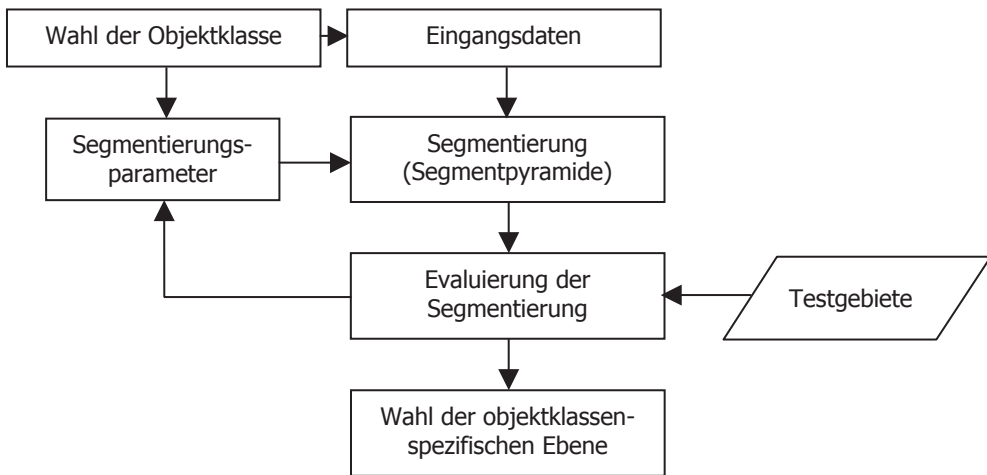


Abb. 5: Ablaufschema der Bestimmung der objektklassen-spezifischen Bearbeitungsskala.

Der erst genannte Fehler kann relativ leicht korrigiert werden, da bei der Klassifizierung den Segmenten die entsprechende Objektklasse zugeordnet wird. Umfasst ein Segment dagegen mehrere Objekte, muss die Segmentierung mit veränderten Parametern und möglicherweise neuen Eingangsdaten erneut durchgeführt werden.

Abb. 5 zeigt das Ablaufschema der Methode. Ausgehend von der zu bestimmenden Objektklasse werden die Eingangsdaten (z. B. Spektralkanäle) und die Segmentierungsparameter (z. B. Gewichtungsfaktoren) gewählt. Mit unterschiedlichen Schwellenwerten für die Segmentierung wird eine Segmentpyramide erzeugt. Die Evaluierung erfolgt mit Testgebieten und das Ergebnis führt zur Wahl der objektklassen-spezifischen Bearbeitungsskala bzw. Segmentierungsebene. Es besteht natürlich auch die Möglichkeit, unterschiedliche Eingangsdaten und Segmentierungsparameter zu evaluieren und so eine optimale Kombination zu bestimmen.

Die Evaluierungsmethode basiert auf den Qualitätskennwerten Q_{split} und Q_{merge} (SCHOUTEN & KLEIN GEBBINCK 1995, SCHOUTEN et al. 1994). Q_{split} ist das Maß für die Zersplitterung eines „realen“ Objektes in unterschiedliche Segmente. Die Qualität der Segmentierung bezüglich des Zusammenfallens mehrerer „realer“ Objekte in

ein Segment wird durch Q_{merge} bestimmt. Q_{split} wird folgendermaßen berechnet:

$$Q_{split}_i = \frac{n \text{ cov}_{ik}}{nin_i}$$

Für jedes Testgebiet (i) wird das Verhältnis der Anzahl der Pixel ($n \text{ cov}_{ik}$) des **größten** Segmentes (k), welches Teil des Testgebietes ist und der Anzahl der Pixel des Testgebietes (nin_i) ermittelt. Wenn das Testgebiet komplett innerhalb eines Segmentes liegt, dann ist die Qualität der Segmentierung bezüglich der Zersplitterung für dieses Testgebiete maximal ($Q_{split} = 1$). Q_{merge} berechnet sich:

$$Q_{merge}_k = \frac{n \text{ cov}_{ki}}{nin_k}$$

Für jedes Segment (k) wird das Verhältnis der Anzahl der Pixel ($n \text{ cov}_{ki}$) des **größten** Testgebietes (i), welches Teil des Segmentes ist und der Anzahl der Pixel des Segmentes (nin_k) ermittelt.

Abb. 6 zeigt ein stark vereinfachtes Beispiel einer Segmentierung zur Erläuterung der Berechnung der Kennwerte.

Im linken Teil der Abbildung ist das Ergebnis einer Segmentierung dargestellt und im rechten Teil der Abbildung das Testgebiet, welches das Objekt darstellt. Das Rechteck im linken Teil der Abbildung soll die Lage und Größe des Testgebietes im Zu-

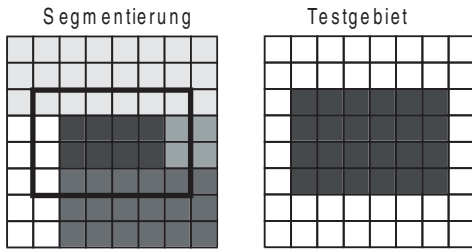


Abb. 6: Beispiel zur Bestimmung der Qualitätskennwerte der Segmentierung.

sammenhang mit dem Segmentierungsergebnis verdeutlichen. Die Berechnung der Kennwerte erfolgt nun folgendermaßen:

Berechnung von Q_{split}_i :

$n_{in_i} = 24$ Pixel (Anzahl der Pixel des Testgebietes i)

$ncov_{ik} = 8$ Pixel (Anzahl der Pixel des größten Segmentes k der Segmentierung, welches sich räumlich mit dem Testgebiet i überschneidet)

$$Q_{split}_i = 8/24 = 1/3$$

Berechnung von Q_{merge}_k :

$$Q_{merge_1} = 6/24 = 1/4$$

$$Q_{merge_2} = 2/4 = 1/2$$

$$Q_{merge_3} = 8/8 = 1$$

$$Q_{merge_4} = 6/18 = 1/3$$

Der Gesamtwert wird durch die Bildung des Mittelwertes ermittelt.

$$Q_{merge} = 0,52$$

Wenn man mit dem beschriebenen Segmentierungsverfahren eine Segmentpyramide

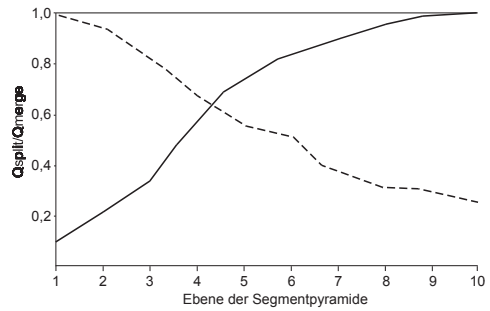


Abb. 7: Beispielhafte graphische Darstellung der Qualitätskennwerte Q_{split} (durchgezogene Linie) und Q_{merge} (gestrichelte Linie) in Bezug zu den Ebenen der Segmentpyramide.

erzeugt, kann man die Kennwerte in Beziehung zu den Segmentierungsebenen graphisch darstellen (Abb. 7).

Die optimale objektklassenspezifische Ebene (Bearbeitungsskala) ist definiert als die Ebene, bei dem die beiden Kennwerte gleich sind (Schnittpunkt der beiden Graphen).

5 Beispiele

5.1 Künstlicher Datensatz

Zur Veranschaulichung und zum Test des Verfahrens wird dieses auf einen künstlich erzeugten Datensatz angewendet (Abb. 8 Nr. 1). Jede Fläche hat einen unterschiedlichen Wert, ist aber in sich homogen. Da alle Flächen klar voneinander abgrenzbar und in sich homogen sind, kommt es nie zu einer Vereinigung mehrere Objekte innerhalb eines Segmentes (Q_{merge} immer 1).

Als Testgebiete für die rechteckigen Flächen dienen die in der Abb. 8 dargestellten

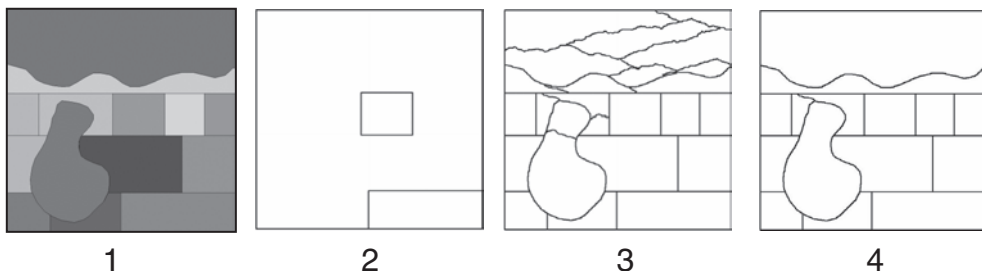


Abb. 8: Künstlich erzeugter Datensatz (1), Testgebiete für die rechteckigen Flächen (2), Segmentierungsebene 3 (3) und Segmentierungsebene 8 (4).

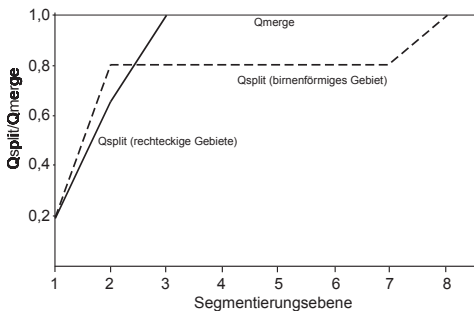


Abb. 9: Diagramm der Qualitätskennwerte Q_{split} und Q_{merge} für die 2 rechteckigen Testgebiete (durchgezogene Linie) und das birnenförmige Testgebiet (gestrichelte Linie).

Flächen (Nr. 2). Die Kurve für Q_{split} schneidet Q_{merge} bei der Segmentierungsebene 3 (Abb. 9) ($Q_{split} = 1$, da Q_{merge} immer 1). Betrachtet man die Segmentierungsebene visuell zeigt sich (Abb. 8, Nr. 3), dass die rechteckigen Flächen optimal segmentiert werden aber größere und unregelmäßige Flächen weiterhin in einzelne Segmente unterteilt sind. Wenn nur die birnenförmige Fläche als Testgebiet genutzt wird, ergibt sich als optimale Bearbeitungsskala die Segmentierungsebene 8 (Abb. 9). Eine Fläche wird aber weiterhin geteilt (Abb. 8, Nr. 4).

Es zeigt sich, dass die Testgebiete in ihrer ungefähren Größe und Form repräsentativ für die entsprechenden Objektklassen sein müssen. Nur so kann mit dieser Methode eine korrekte Bestimmung der objektklassen-spezifischen Segmentierungsebenen und somit die Wahl der Bearbeitungsskalen für die Analyse erfolgen.

5.2 Anwendungsbeispiel: Detektierung von Gebäuden

Die Umrisse von Gebäuden und die Gebäudehöhen stellen wichtige Informationen in urbanen Gebieten dar. Diese Informationen finden z. B. verschiedene Anwendungen in den Bereichen Stadtplanung, Telekommunikation (z. B. Funknetzplanung), Vermessung und Umweltschutz (z. B. stadtklimatologische Fragestellungen). Weitere Anwendungen werden z. B. von MÜLLER (2001) beschrieben. Obwohl große wissenschaftliche

Fortschritte zur automatischen Ableitung von Stadtmodellen gemacht wurden, sind diese für die praktische Anwendung aber nicht zuverlässig genug und erfordern zu viel manuelle Nachbearbeitung (BRENNER 2001).

Zur Detektierung von Gebäuden stellen Höhendaten eine sehr nützliche Ergänzung dar. Objekte, die sich von ihrer Umgebung in der Höhe unterscheiden (wie z. B. Gebäude), können durch die Nutzung der Höhendaten detektiert werden. Die multispektralen Daten liefern wichtige Informationen, um zum Beispiel Bäume von Gebäuden oder Grasflächen von Parkplätzen, die auf einem Höhenniveau liegen, zu unterscheiden. Die gemeinsame Nutzung der multispektralen Bilddaten und der Höhendaten stellt eine sinnvolle Kombination dar (siehe z. B. GERKE et al. 2001, HAALA & BRENNER 1999). Die in dieser Arbeit eingesetzte Software wurde auch schon erfolgreich zur Gebäudedetektierung eingesetzt (siehe z. B. HOFMANN, A.D. et al. 2002, HOFMANN, P. 2001a). Hier wird nur die Segmentierung betrachtet, ohne näher auf die anschließende Klassifizierung in Gebäude und nicht Gebäude (z. B. Vegetation) einzugehen, da die Segmente die räumliche Einheit der Klassifizierung darstellen.

Der Datensatz

Als Beispieldaten werden in dieser Arbeit Daten des Multi-Sensor-Systems TopoSys II der Firma TopoSys eingesetzt (TOPOSYS 2002). Dieses System integriert einen Laserscanner und eine multispektrale Kamera. Abgedeckt wird ein Teil der Stadt Ravensburg. Die Datenaufnahme erfolgte am 23. 4. 2001 in einer Flughöhe von ca. 830 m über Grund (1250 m über NN). Neben den multispektralen Daten (4 Kanäle im sichtbaren und nahen Infrarot Bereich) mit einer Bodenpixelgröße von 0,5 m (Abb. 10) stehen first und last pulse Daten (Gitterweite 1 m) zur Verfügung. Ein normalisiertes Digitales Oberflächen Modell (nDOM) ist nicht verfügbar. Im rechten Teil der Abb. 10 ist ein radiometrischer Fehler, der sich zu diesem Zeitpunkt noch im experimentellen Stadium



Abb. 10: Ausschnitt des multispektralen Datensatzes (115 m × 125 m).

befindlichen multispektralen Kamera, erkennbar.

Segmentierung und Bestimmung der optimalen Bearbeitungsskala

Die Segmentierung erfolgt auf der Grundlage der first-pulse Laserscannerdaten. Die Werte für die Gewichtung der Eingangsdaten (hier die Höhendaten) und der Formhomogenität werden für die einzelnen Segmentierungsebenen nicht verändert. Durch die Wahl aufsteigender Schwellenwerte (scale parameter) wird eine Segmentpyramide erzeugt.

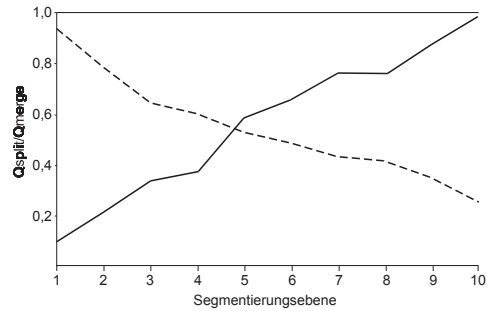


Abb. 12: Diagramm der Qualitätskennwerte Q_{split} (durchgezogene Linie) und Q_{merge} (gestrichelte Linie).

Da keine Daten zu den Gebäuden zur Verfügung stehen, werden die Testgebäude auf der Grundlage der multispektralen Bilddaten am Bildschirm digitalisiert (Abb. 11). Diese Gebäude dienen dann zur Bestimmung der optimalen objektklassen-spezifischen Ebene.

Abb. 12 zeigt das Diagramm für die Qualitätskennwerte Q_{split} und Q_{merge} . Die beiden Kurven schneiden sich zwischen der Segmentierungsebene 4 und 5. Der visuelle Vergleich der beiden Segmentierungsebenen zeigt, dass sich nur innerhalb und zwischen den Testgebäuden Veränderungen bezüglich der Segmente ergeben (Abb. 13). Die Umrisse der Testgebäude bleiben unverändert. Vergleicht man die Segmentierungsebene 5 und 6 visuell, dann zeigen sich negative Veränderungen der Segmente bezüglich der Abgrenzung der Gebäude (Abb. 14). Als opti-

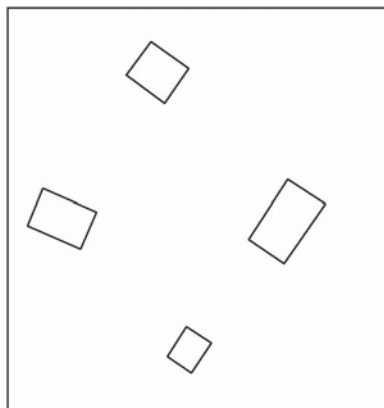


Abb. 11: Am Bildschirm digitalisierte Testgebäude (rechts) auf der Grundlage der Bilddaten (links).

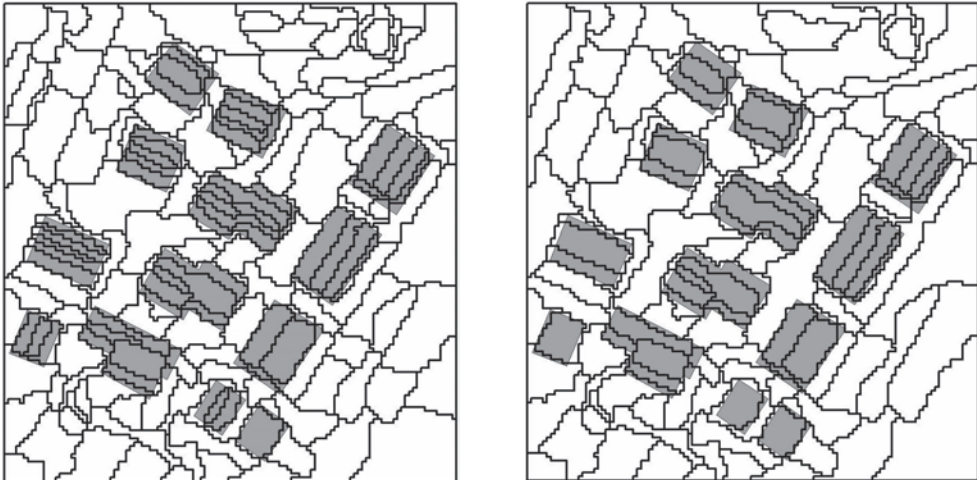


Abb. 13: Vergleich der Segmentierungsebenen 4 (links) und 5 (rechts).

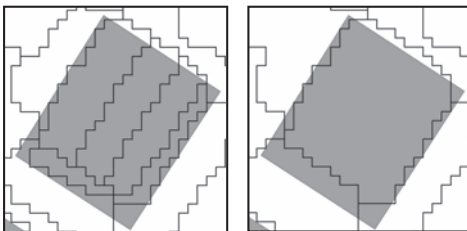


Abb. 14: Veränderungen der Segmentgrenzen am Beispiel eines Gebäudes (hellgraue Fläche) für die Segmentierungsebene 5 (links) und 6 (rechts).

male Bearbeitungsskala für die Detektierung der Gebäude ist die Segmentierungsebene 5 bestimmt worden.

Diese Bearbeitungsskala gilt nur für die Gebäude, deren Größe ungefähr der der Testgebäude entspricht und die eine rechteckige Form aufweisen. Für andere Gebäude (z. B. große Lagerhallen) ergeben sich andere objekt-spezifische Bearbeitungsskalen bzw. Ebenen in der Segmentpyramide. Die Klassifizierung muss dann auf unterschiedlichen Ebenen der Segmentpyramide stattfinden.

5.3 Ausblick

Das hier beschriebene Verfahren erfordert die Auswahl von repräsentativen Testgebie-

ten (Größe und Form) für die entsprechenden Objektklassen. Nur so kann eine korrekte Bestimmung der objektklassen-spezifischen Segmentierungsebenen und somit die Wahl der Bearbeitungsskalen für die Analyse erfolgen. Die Auswahl dieser Testgebiete erfolgt manuell. Durch die Entwicklung bzw. Nutzung von Methoden zur automatischen Ableitung von Testgebieten aus vorhandenen GIS-Daten kann der Grad der Automatisierung weiter erhöht werden.

6 Danksagung

Die verwendeten Bild- und Höhendaten wurden freundlicherweise von der Fa. TopoSys GmbH zur Verfügung gestellt.

7 Literatur

- ANDRESEN, T., MOTT, C., SCHÜPFERLING, R., ZIMMERMANN, S. & SCHNEIDER, T., 2002: Objektorientierte Analyse von Fernerkundungsdaten zur Erfassung aquatischer/terrestrischer Parameter. – In: BLASCHKE, T. (Hrsg.): Fernerkundung und GIS: Neue Sensoren – innovative Methoden. – pp. 222–2232, Wichmann, Heidelberg.
- BAATZ, M. & SCHÄPE, A., 2000: Multiresolution Segmentation – an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation. –

- In: STROBL, S., BLASCHKE, T. & GRIESEBNER, G. (Hrsg.): *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XII*. – pp. 12–29, Wichmann, Heidelberg.
- BAUER, T. & STEINNOCHER, K., 2001: Per-parcel classification in urban areas applying a rule-based technique. – *Geo-Informationssysteme*, **14** (6): 24–27.
- BAUER, T. & STEINNOCHER, K., 1999: Objektbasierte Auswertung von hochauflösenden Fernerkundungsdaten in urbanen Räumen. – In: STROBEL, J. & BLASCHKE, T. (Hrsg.): *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XI. Beiträge zum AGIT-Symposium Salzburg 1999*. – pp. 30–38, Herbert Wichmann, Karlsruhe.
- BRENNER, C., 2001: City models – automation in research und practice. – In: FRITSCH, D. & SPILLER, R. (Hrsg.): *Photogrammetric Week 2001*. – pp. 149–158.
- DE KOK, R., 2001: Objektorientierte Bildanalyse. Ein Lösungsansatz für den automatisierten Einsatz sehr hoch auflösender Satellitendaten für forstliche Fragestellungen. 148 S., Technische Universität München, München.
- DE KOK, R., BUCK, A., SCHNEIDER, T. & AMMER, U., 2000: Analysis of image objects from VHR imagery for forest GIS updating in the Bavarian Alps. – In: BEEK, K.J. & MOLENAAR, M. (Hrsg.): *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. XXXIII, Part B3*, pp. 222–229, Amsterdam, The Netherlands.
- EHLERS, M., 2002: Fernerkundung für GIS-Anwender – Sensoren und Methoden zwischen Anspruch und Wirklichkeit. – In: BLASCHKE, T. (Hrsg.): *Fernerkundung und GIS: Neue Sensoren – innovative Methoden*. – pp. 110–23, Wichmann, Heidelberg.
- EVERINGHAM, M., MULLER, H. & THOMAS, B., 2001: Evaluating image segmentation algorithms using monotonic hulls in fitness/cost space. – In: COOTES, T. & TAYLOR, C. (Hrsg.): *Proceedings of the 12th British Machine Vision Conference (BMVC2001)*. – 363–372.
- EVERINGHAM, M., MULLER, H. & THOMAS, B.T., 2002: Algorithm evaluation by probabilistic fitness/cost analysis and application to image segmentation. – In: SUTER, D. & BAB-HADIASHAR, A. (Hrsg.): *Proceedings of the 5th Asian Conference on Computer Vision (ACCV2002)*. – Asian Federation of Computer Vision Societies (AFCV), pp. 580–586.
- GERKE, M., STRAUB, B.-M. & KOCH, A., 2001: Automatic detection of buildings and trees from aerial imagery using different levels of abstraction. – In: DGPF Tagung Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation: Geodaten schaffen Verbindungen. – DGPF, Konstanz.
- HAALA, N. & BRENNER, C., 1999: Extraction of buildings and trees in urban environments. – *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, **54** (2–3): 130–137.
- HARALICK, R.M. & SHAPIRO, L.G., 1992: *Computer and Robot Vision*. – 1, 672 S., Addison-Wesley, Reading.
- HOFFMANN, A., VAN DER VEGT, J.W. & LEHMANN, F., 2000a: Die automatisierte Aktualisierung von Karten: Neue Methoden mit Daten der digitalen Kamera HRSC-A. – *Kartographische Nachrichten*, **50** (5): 211–217.
- HOFFMANN, A., VAN DER VEGT, J.W. & LEHMANN, F., 2001: Die automatisierte Aktualisierung von Karten: Neue Methoden mit Daten der digitalen Kamera HRSC-A. – In: ALBERTZ, J. (Hrsg.): *20. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF im Rahmen der InterGeo 2000*. – pp. 394–401, DGPF, Berlin.
- HOFMANN, A.D., MAAS, H.-G. & SCHULZE, M., 2002: Nachbarschaftsbasierte Segmentierung in Flugzeuglaserscannerdaten. – In: SEYFERT, E. (Hrsg.): *Zu neuen Märkten auf neuen Wegen mit neuer Technik. Vorträge 22. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF*. 24.–26. September 2002 in Neubrandenburg. – pp. 271–278, DGPF.
- HOFMANN, P., 2001a: Detecting buildings and roads from IKONOS data using additional elevation information. – *Geo-Informationssysteme*, **14** (6): 28–33.
- HOFMANN, P., 2001b: Detecting informal settlements from IKONOS image data using methods of object oriented image analysis – an example from Cape Town (South Africa). – In: JÜRGENS, C. (Hrsg.): *Remote sensing of urban areas/Fernerkundung in urbanen Räumen* 35. – pp. 107–118, Regensburg.
- LESER, C., 2002a: Biotoptypenkartierung anhand hochauflösender Flugzeugscannerdaten – Entwicklung operationeller Methoden unter komplizierten Rahmenbedingungen. – In: SEYFERT, E. (Hrsg.): *Zu neuen Märkten auf neuen Wegen mit neuer Technik. Vorträge 22. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF*. 24.–26. September 2002 in Neubrandenburg. – pp. 175–183, DGPF.
- LESER, C., 2002b: Operationelle Biotoptypenkartierung mit HRSC-Daten – Probleme und Lösungsansätze. – In: BLASCHKE, T. (Hrsg.): *Fernerkundung und GIS: Neue Sensoren – innovative Methoden*. – pp. 88–97, Wichmann, Heidelberg.

- LEUKERT, K., 2002: Untersuchung zur Segmentierung von Satellitenbilddaten für die Extraktion von GIS-Objekten. – In: SEYFERT, E. (Hrsg.): Zu neuen Märkten auf neuen Wegen mit neuer Technik. Vorträge 22. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF. 24.-26. September 2002 in Neubrandenburg. – pp. 237–244, DGPF.
- LEVINE, M.D. & NAZIF, A.M., 1985: Dynamic measurement of computer generated image segmentations. – *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, PAMI-7* (2): 155–164.
- MEINEL, G., NEUBERT, M. & REDER, J., 2001: The potential use of very high resolution satellite data for urban areas – first experiences with IKONOS data, their classification and application in urban planning and environmental monitoring. – In: JÜRGENS, C. (Hrsg.): Remote sensing of urban areas/Fernerkundung in urbanen Räumen. – 35: 196–205, Regensburg.
- MÜLLER, H., 2001: 3D-Stadtmodelle Techniken und Anwendungen. – In: ALBERTZ, J. (Hrsg.): 20. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF im Rahmen der InterGeo 2000. – pp. 113–120, DGPF, Berlin.
- NEUBERT, M. & MEINEL, G., 2002: Fortführung von Geobasisdaten durch die segmentbasierte Auswertung von IKONOS-Daten – erste Ergebnisse. – In: SEYFERT, E. (Hrsg.): Zu neuen Märkten auf neuen Wegen mit neuer Technik. Vorträge 22. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF. 24.-26. September 2002 in Neubrandenburg. – pp. 403–408, DGPF.
- NIEMEYER, I. & CANTY, J., 2001: Knowledge-based analysis of change images by object-oriented post-classification. – In: JÜRGENS, C. (Hrsg.): Remote sensing of urban areas/Fernerkundung in urbanen Räumen. – 35: 232–240, Regensburg.
- NIEMEYER, I., CANTY, M.J. & BAATZ, M., 1999: Fractal-hierarchical recognition for safeguards purposes. – 2nd International Symposium Operationalization of Remote Sensing, ITC, Enschede.
- PILZ, H. & STROBEL, J., 2002: Versiegelungsanalyse auf Basis digitaler Farborthofotos mittels objektorientierter Bildverarbeitung. – In: BLASCHKE, T. (Hrsg.): Fernerkundung und GIS: Neue Sensoren – innovative Methoden. – pp. 159–168, Wichmann, Heidelberg.
- SCHIEWE, J., 2001: Ein regionen-basiertes Verfahren zur Extraktion der Geländeoberfläche aus Digitalen Oberflächen-Modellen. – *Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation*, 2001(2): 81–90.
- SCHIEWE, J., 2002: Konzeption einer Vernetzung von Segmentierungs- und Klassifizierungsverfahren. – In: SEYFERT, E. (Hrsg.): Zu neuen Märkten auf neuen Wegen mit neuer Technik. Vorträge 22. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF. 24.-26. September 2002 in Neubrandenburg. – pp. 405–412, DGPF.
- SCHIEWE, J. & TUFTE, L., 2001: Multi-skalige Klassifizierung von hochauflösenden Bilddaten. – In: ALBERTZ, J. (Hrsg.): 20. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF im Rahmen der InterGeo 2000. – pp. 44402–409, DGPF, Berlin.
- SCHIEWE, J. & TUFTE, L., 2002: Potenzial regionen-basierter Verfahren für die integrative Auswertung von GIS- und Fernerkundungsdaten. – In: BLASCHKE, T. (Hrsg.): Fernerkundung und GIS: Neue Sensoren – innovative Methoden. – pp. 42–52, Wichmann, Heidelberg.
- SCHIEWE, J., TUFTE, L. & EHLERS, M., 2001: Potential and problems of multi-scale segmentation methods in remote sensing. – *Geo-Informations-Systeme*, 14 (6): 34–39.
- SCHOUTEN, T.E. & KLEIN GEBBINCK, M.S., 1995: Quality measures for image segmentation using generated images. – *Image and Signal Processing for Remote Sensing II (S.P.I.E)*, Washington.
- SCHOUTEN, T.E., KLEIN GEBBINCK, M.S., SCHOENMAKERS, R.P.H.M. & WILKINSON, G.G., 1994: Finding thresholds for image segmentation. – *Image and Signal Processing for Remote Sensing (S.P.I.E.)*, Rome.
- TOPOSYS, 2002: www.toposys.de.
- YANG, L., ALBREGTSEN, F., LÖNNESTAD, T. & GRÖTTUM, P., 1995: A supervised approach to the evaluation of image segmentation methods. – In: HLAVAC, V. & SARA, R. (Hrsg.): CAIP'95 Proceedings. – 970, 649–654, Springer, Berlin.
- YASNOFF, W.A., MUI, J.K. & BACUS, J.W., 1977: Error measures for scene segmentation. – *Pattern Recognition*, 9: 217–231.
- ZHANG, Y.J., 1996: A survey on evaluation methods for image segmentation. – *Pattern Recognition*, 29 (8): 1335–1346.
- ZHANG, Y.J. & GERBRANDS, J.J., 1994: Objective and quantitative segmentation evaluation and comparison. – *Signal Processing*, 39 (1–2): 43–54.

Anschrift des Verfassers:

Dipl.-Geogr. LARS TUFTE
Steinstraße 81, D-44534 Lünen
Tel.: 0174-9360385
e-mail: tufte@gis-berater.de

Manuskript eingereicht: Februar 2003
Angenommen: April 2003