

Automatische auflösungsabhängige Anpassung variabler Straßenmodelle

J. HELLER¹ & K. PAKZAD¹

AK Bildanalyse

SCHLAGWORTE: Interpretation, wissensbasierte Bildanalyse, Semantische Netze, Auflösung, Skalenraum, Repräsentation, Generalisierung

ZUSAMMENFASSUNG:

In diesem Bericht wird eine Methode zur automatischen Anpassung von Objektmodellen für die Straßenextraktion an eine niedrigere Auflösung vorgestellt. Dabei wird ein manuell erstelltes Objektmodell, das geeignet ist für die Objektextraktion in einer bestimmten Auflösung der Bilddaten, vollautomatisch an eine niedrigere Auflösung adaptiert. Die Objektmodelle werden durch Semantische Netze repräsentiert, die Landschaftsobjekte explizit beschreiben. Die Methoden zur Adaption wurden für Straßen im Vorstadtbereich entwickelt. In diesem Beitrag werden dynamische Relationen verwendet, um die Anzahl der Fahrspuren variabel zu halten.

Anhand eines Beispiels zur Modellierung von Straßen werden die Wirkungsweise und Ergebnisse der Methodik zur automatischen auflösungsabhängigen Anpassung von Objektmodellen für die Extraktion von Straßen aus digitalen Bilddaten an eine niedrigere Bildauflösung demonstriert.

1 Einleitung

Die räumliche Auflösung der zur Verfügung stehenden Bilddaten spielt eine große Rolle bei der Erzeugung geeigneter Objektmodelle für die Extraktion von Landschaftsobjekten. In Luft- und Satellitenbildern hoher Auflösung sind mehr bzw. andere Details erkennbar als in Bildern mit niedrigerer Auflösung. Nicht nur der Typ und die Erkennbarkeit der Objekte ändern sich mit zunehmender Bodenpixelgröße, sondern auch die Ausprägung ihrer Merkmale und damit deren Bedeutung für den Extraktionsprozess. Dementsprechend müssen auch die Objektmodelle, die die Beschreibung der Objekte beinhalten, für die Extraktion desselben Objektes in Bilddaten anderer Auflösung modifiziert werden.

Ein Konzept und Algorithmen zur automatischen auflösungsabhängigen Anpassung von manuell erstellten Modellen für die Straßenextraktion an eine niedrigere Bildauflösung wurden bereits präsentiert (Pakzad & Heller, 2004), (Heller & Pakzad, 2005a), (Heller & Pakzad, 2005b). Die Landschaftsobjekte werden durch Semantische Netze beschrieben, die eine leichte intuitive Erzeugung der Modelle auf eine explizite Art gewährleisten. Die Straßenmodelle integrieren das Objektmodell und das Bildmodell nach Förstner (1993), da sowohl die hierarchischen und räumlichen Beziehungen der Objektteile als auch deren Aussehen im Bild beinhaltet sind. Die Modelle werden im Folgenden als „Objektmodelle“ bezeichnet. Die Methoden zur Anpassung nutzen die Theorie des linearen Skalenraumes, über den eine Vielzahl von Arbeiten existiert, z.B. Florack (1994) und Lindeberg (1994). Die automatische Anpassung konnte bisher jedoch nur für relativ einfache Modelle mit einer festen Anzahl von parallelen linienhaften Objektteilen durchgeführt werden.

¹ Institut für Photogrammetrie und GeoInformation, Universität Hannover, Nienburger Str. 1, 30167 Hannover, e-mail: heller@ipi.uni-hannover.de, pakzad@ipi.uni-hannover.de

Die vorher entwickelten Methoden zur auflösungsabhängigen Anpassung von einfacheren Objektmodellen wurden auf flexiblere Modelle für die Straßenextraktion erweitert, die eine variable Anzahl von Fahrspuren beschreiben. Die erweiterten Methoden werden hier vorgestellt, wobei auf die bisherigen Methoden der Auflösungsanpassung nicht eingegangen wird. In Kapitel 2 wird kurz ein Überblick über die verwendete Strategie zur auflösungsabhängigen Anpassung gegeben. Kapitel 3 gibt eine Beschreibung für den Aufbau variabler Straßenmodelle. Die Methoden werden im Kapitel 4 erläutert. Ein Beispiel für die automatische Anpassung eines Objektmodells für die hohe Auflösung mit einer variablen Anzahl Fahrspuren an eine niedrigere Auflösung wird in Kapitel 5 gegeben. Kapitel 6 schließt diesen Beitrag mit einer Zusammenfassung und einem Ausblick ab.

2 Strategie

Unter Kenntnis der Zielauflösung wird das vorgegebene Objektmodell für die hohe Bildauflösung in Objektteile mit ähnlichem Skalenverhalten und in Gruppen von Objektteilen zerlegt, die bei der Auflösungsänderung miteinander interagieren. Die Erscheinung der Objektteile in der Zielauflösung wird über sog. Skalenmodelle prädiziert, die sowohl analytische als auch empirische Methoden nutzen. Diese Skalenmodelle werden für jeden Objekttyp erstellt und berücksichtigen auch eventuelle Skalenraumereignisse wie Auslöschung und Verschmelzung mehrerer Objekte. Die adaptierten Objektteile werden in einem letzten Schritt zu einem kompletten Objektmodell fusioniert, das für die Extraktion des Landschaftsobjektes in der niedrigeren Zielauflösung geeignet ist. Das Konzept der Strategie ist in Abb.1 dargestellt. Für eine detaillierte Beschreibung der Strategie siehe Pakzad & Heller (2004).

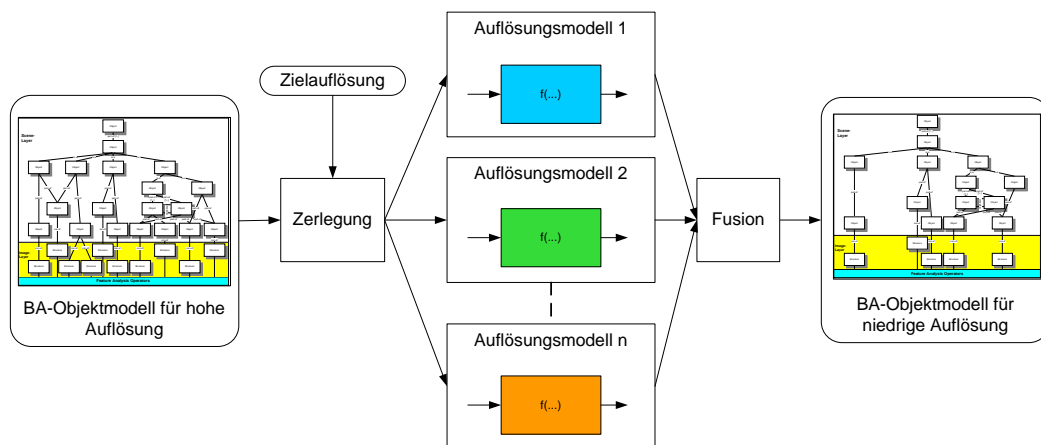


Abb. 1: Strategie zur skalenabhängigen Anpassung von Objektmodellen

3 Variable Straßenmodelle

Unter „variablen Objektmodellen“ verstehen wir Modelle zur Objektextraktion, bei denen die Anzahl von gleichartigen Teilobjekten im Semantischen Netz (Konzeptnetz) variabel ist. Dadurch können beispielsweise mehrere Fahrspuren in einem einzigen Straßenmodell beschrieben werden. Die Kenntnis der tatsächlich zu extrahierenden Fahrspuren eines konkreten Objektes ist dadurch nicht erforderlich. Mit demselben Modell können sowohl einspurige als auch mehrspurige Straßentypen beschrieben werden. Die variable Anzahl kann über so genannte „dynamische Relationen“ von Teilobjekten im Semantischen Netz

umgesetzt werden, die sowohl hierarchische als auch räumliche Beziehungen beschreiben können. Die Anzahl der damit beschriebenen Teilobjekte ist nur durch einen maximalen und/oder minimalen Wert beschränkt. Abb. 2 zeigt einen Ausschnitt aus dem in Kapitel 5 vorgestellten Beispiel-Straßenmodell: eine dynamische Relation, die mehrere parallel verlaufende Fahrspuren (gegeben durch Fahrspurmarkierungen) beschreibt.

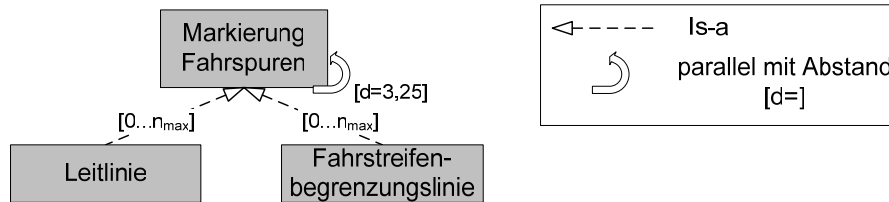


Abb. 2: Dynamische Relation für mehrere Fahrspuren

4 Methodik der auflösungsabhängigen Anpassung variabler Straßenmodelle

Die Methoden zur Anpassung von einfachen Objektmodellen mit einer festen Anzahl von parallelen linienhaften Objektteilen sind in Heller & Pakzad (2005a) ausführlich beschrieben. In diesem Beitrag werden die Besonderheiten in den Algorithmen, die sich durch die Integration von dynamischen Relationen ergeben, erläutert und veranschaulicht.

4.1. Zerlegung

Das manuell erstellte Semantische Netz der hohen Auflösung wird in diesem ersten Teilschritt der automatischen Anpassung in einzelne Objektteile bzw. Gruppen von Objektteilen zerlegt. Wenn benachbarte Objektteile sich gegenseitig in ihrem Skalenverhalten aufgrund ihrer räumlichen Nähe zueinander beeinflussen, müssen diese Objektteile bei der Anpassung in den Skalenmodellen zusammen betrachtet werden. Diese gegenseitige Beeinflussung bewirkt eine Interaktion der Objektteile in der Zielauflösung. Ob eine Interaktion benachbarter Objektteile vorliegt, kann über den Vergleich der Distanz zwischen den Objektteilen und dem räumlichen Einflussbereich der Auflösungsänderung festgestellt werden. Die Auflösungsänderung ist durch die Zielauflösung gegeben und bestimmt die zugehörige Größe des Skalenparameters σ_i im linearen Skalenraum, der durch die Filterung mit dem Gauß-Kernel unterschiedlicher Breite gebildet wird. Die Größe des Skalenparameters σ_i der Zielskala wiederum bestimmt die jeweilige Breite des Gauß-Filters.

Wenn keine Interaktion zu benachbarten Objektteilen vorliegt, muss die Breite des Gauß-Filters mit der zugehörigen Distanz der dynamischen Relation, die eine räumliche Beziehung beschreibt, nur ein Mal verglichen werden. Aufgrund der Gleichheit der Distanzen für die Objektteile der dynamischen Relation gilt diese Entscheidung zur Gruppierung für alle Objektteile gleichermaßen, obwohl deren Anzahl unbekannt ist. Wenn also eine Interaktion vorliegt, werden alle Objektteile, die die dynamische Relation beschreibt, zu einer einzigen Gruppe zusammengefasst, die in dem folgenden Teilschritt im Skalenmodell gemeinsam betrachtet wird. Diese Gruppe wird nachfolgend als Interaktions-Gruppe bezeichnet. Falls keine Interaktion in der Zielauflösung zu erwarten ist, werden alle Objektteile als Einzellinien behandelt. Dann ist eine Prädiktion des Aussehens der Linien in der Zielauflösung nur für eine einzige Linie erforderlich und für alle Einzellinien gültig, da alle Objektteile der dynamischen Relation gleichartig sind und dieselben Attributwerte besitzen.

Wenn Interaktion zwischen den Randobjekten der dynamischen Gruppe und dem benachbarten Objektteil auftritt, obwohl keine Interaktion innerhalb der Gruppe vorliegt, bilden das Nachbarobjekt und das Randobjekt eine eigene Interaktions-Gruppe. Dieser Fall ist dann separat zu betrachten.

4.2. Skalenmodelle

Skalenereignisse

Bei dynamischen Relationen mit parallelen linienhaften Objektteilen können die Skalenereignisse Annihilation (Auslöschung) und Verschmelzung auftreten. Skalenereignisse treten nur ein, wenn Interaktion vorliegt. Falls die Objektteile der dynamischen Relation bei Interaktion als eine einzige Gruppe in den Skalenmodellen betrachtet und Randobjekte nicht miteinbezogen werden müssen (s.o.), tritt für alle Objektteile das Skalenereignis gleichzeitig auf.

Ob eine Verschmelzung der Linien in der Interaktions-Gruppe für die Zielauflösung vorliegt, wird durch die Breite, den Kontrast und die Distanz der Linien bestimmt. Das Ereignis der Verschmelzung kann daher bereits mit zwei Linien vorhergesagt werden und ist auf die gesamte Gruppe übertragbar.

Wenn Einzellinien nach der Zerlegung vorliegen, gelten die gleichen Bedingungen für alle Objektteile bezüglich einer möglichen Annihilation. Daher ist die Betrachtung einer einzigen Linie als Muster in den Skalenmodellen ausreichend.

Das Ereignis der Annihilation für eine Interaktions-Gruppe ist allerdings von einem zusätzlichen Parameter abhängig: die Anzahl n der Objektteile. Annihilation tritt ein, wenn der Kontrast des Objektes zum Hintergrund in der Zielauflösung einen sehr kleinen Wert annimmt und die Extraktion mit dem Bildanalyse-Operator fehlschlägt. Der Kontrast der Liniengruppe wird durch die tatsächliche Anzahl der Linien im Objekt beeinflusst. Je mehr Objektteile beteiligt sind (bei ansonsten gleichen Attributen), desto später im Skalenraum wird die Annihilation eintreten, da der Grauwert größer ist. Dasselbe gilt auch für kleinere Abstände zwischen den Linien. Das Vorliegen einer Annihilation ist damit nicht eindeutig für eine unbegrenzte Anzahl von Objektteilen vorhersagbar. Aus diesem Grunde ist eine Begrenzung der maximalen Anzahl der Objektteile als Randbedingung für den manuellen Aufbau der Objektmodelle nötig, um eine automatisierte Adaption durchführen zu können.

Attribute

Für Einzellinien der dynamischen Relationen, die keine Annihilation erfahren, kann die Bestimmung der Attribute wie in Heller & Pakzad (2005) aus dem Gradientenbild erfolgen. Auch hier ist die Prädiktion des Aussehens, d.h. der Attributwerte, einer einzigen Muster-Linie für alle Objektteile der dynamischen Relation ausreichend.

Die Breite und der Grauwert der Interaktions-Gruppe, in der eine Verschmelzung stattgefunden hat, werden dagegen von der konkreten Anzahl der Linien beeinflusst. Da die Anzahl der Objektteile variabel ist, kann sich im Konzeptnetz der Zielauflösung ein Wertebereich für die einzelnen Attribute ergeben. Solange die Skalenereignisse für alle Objektteile gleichermaßen eingetreten sind, können die minimale und die maximale Anzahl der gleichartigen Objektteile in den Skalenmodellen betrachtet und deren Werte als Grenzen im Semantischen Netz der Zielauflösung angegeben werden, in denen sich die tatsächlichen Attributwerte bewegen. Wenn trotz Interaktion keine Verschmelzung vorliegt, können der Grauwert und die Breite in der Zielauflösung wie bei Einzellinien bestimmt werden.

4.3. Fusion zum Objektmodell der Zielauflösung

Die Struktur des Semantischen Netzes der Zielauflösung verändert sich nur, wenn Skalenergebnisse eingetreten sind. Mit Skalenergebnissen ändern sich die Objekttypen und die Gesamtzahl der Knoten des Netzes wird geringer.

Bei Vorliegen einer Verschmelzung muss in der Fusion der präzidierten Objektteile zu einem einheitlichen Semantischen Netz für die Zielauflösung die Verschiebung der Position der Interaktions-Gruppe berücksichtigt werden. Die Distanz der Interaktions-Gruppe $L1$ zu einem benachbarten Objektteil $L2$ ergibt sich dabei aus den Distanzen d_{Rel} der dynamischen Relation und der Anzahl n der beteiligten Objektteile:

$$d_{\sigma_i L1, L2} = d_{\sigma_0 L1, L2} + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n-1} d_{Rel} = d_{\sigma_0 L1, L2} + \frac{(n-1) \cdot d_{Rel}}{2}, \text{ für } n > 0 \quad (1)$$

5 Beispiel

Ein Objektmodell für die hohe Auflösung muss bestimmte Randbedingungen erfüllen, um automatisch anpassungsfähig zu sein, siehe Pakzad & Heller (2004). Ein Beispiel für ein Semantisches Netz für die Straßenextraktion mit einer dynamischen Relation für eine variable Anzahl von Fahrspuren, das die Randbedingungen erfüllt, zeigt Abb. 3. Das Modell wurde für Bildauflösungen von 3-5cm erzeugt.

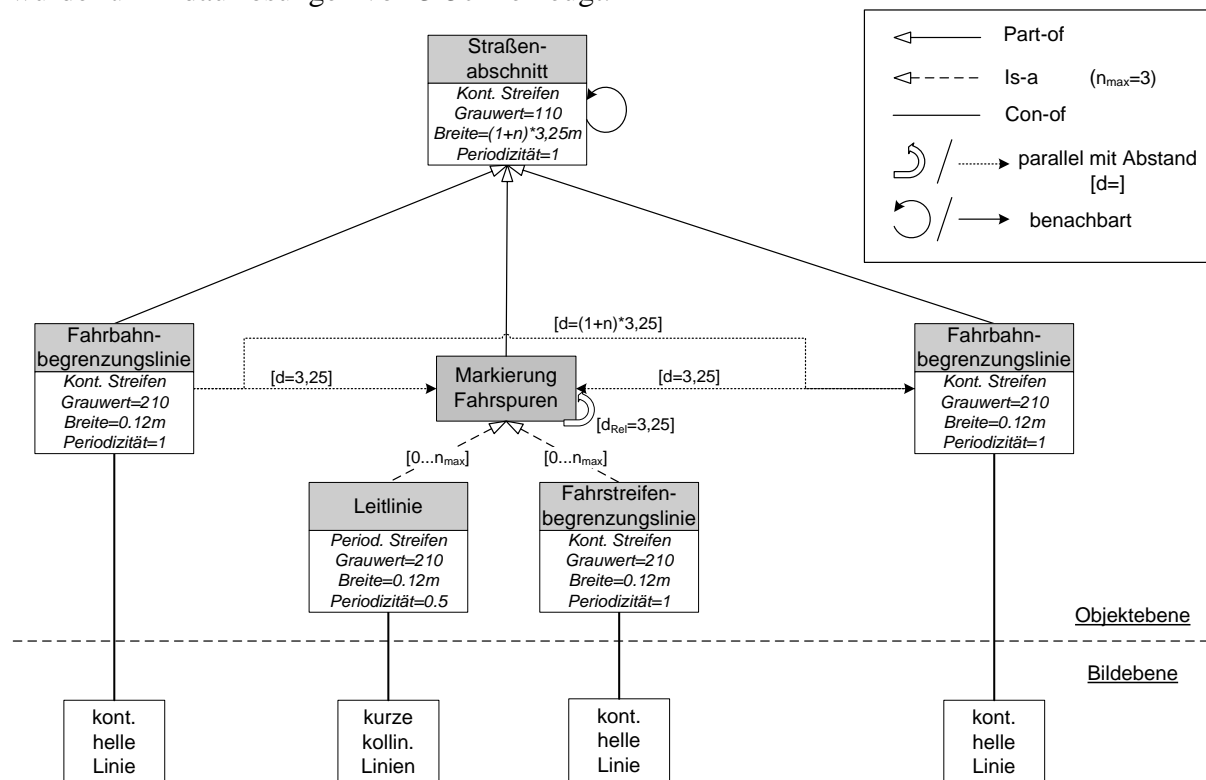


Abb. 3: Variables Straßenmodell für 3-5cm Bildauflösung

Im hochauflösten Bildbereich können Straßen vor allem über Fahrbahnmarkierungen modelliert werden. Modelliert ist hier ein Straßenabschnitt mit zwei festen Fahrbahnbegrenzungen und einer dazwischen liegenden variablen Anzahl von Fahrspurmarkierungen, die über die dynamische Relation realisiert wird. Die Markierungen liegen parallel zueinander mit einer festgelegten Distanz. Die Fahrspurmarkierungen können

dabei sowohl Leitlinien (gestrichelte Markierung) als auch Fahrstreifenbegrenzungen (durchgezogene Markierung) sein. Außer der Periodizität (gestrichelt, durchgezogen) haben die Markierungen dieselben Attributwerte. Damit haben sie auch ein ähnliches Aussehen im Bild, das in der Bildebene des Modells beschrieben ist.

Die beispielhafte Anpassung wird hier anhand einer Zielauflösung von $\sigma_t = 50$ demonstriert, das einer Auflösungsänderung zu einer Bodenpixelgröße von etwa 5m entspricht. Die Anzahl der maximal möglichen Fahrspuren wird auf die realistische Größe von 4 begrenzt, d.h. $n_{\max}=3$. Diese Begrenzung ist notwendig für eine sichere Prädiktion der Verschmelzung der Fahrspurmarkierungen in der Zielauflösung. Für die Bestimmung der Grenzen der Wertebereiche der Attribute werden die minimale Konstellation mit den beiden feststehenden Fahrbahnbegrenzungen ($n_{\min}=0$) und die maximale Konstellation mit 3 zusätzlichen Fahrspurmarkierungen (hier Leitlinien), insgesamt also 5 Markierungen betrachtet. Dazu wird die Szene, die das Semantische Netz mit den Attributen in den Knoten und Kanten beschreibt, in einem synthetisch erzeugten Rasterbild simuliert. Ein Ausschnitt aus dem erzeugten synthetischen Bild zur Simulation mit drei Leitlinien zeigt Abb.4a). Die Simulation beschränkt sich dabei auf Teile der Linien, da diese konstant parallel verlaufen.

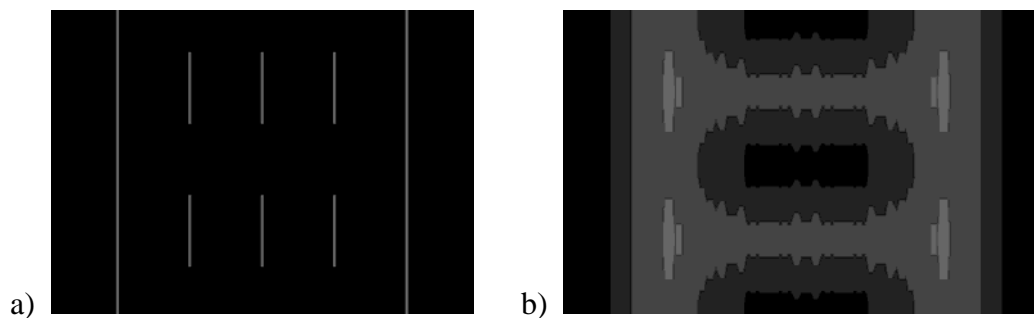


Abb 4: Synthetisches Bild der Simulation mit 5 Fahrbahnmarkierungen in
a) der Ausgangsskala $\sigma=0$ und b) der Zielskala $\sigma_t=50$

Die Zerlegung des Modells ergibt eine einzige Gruppe mit allen Markierungen, da sie alle dieselbe Distanz (entsprechend einer Fahrspur von 3,25m) zueinander aufweisen und diese von der Breite des Gauß-Filters in der Zielskala übertroffen wird. Alle Objektteile der niedrigsten Hierarchiestufe, d.h. die Fahrbahnmarkierungen, interagieren also bei der vorgegebenen Auflösungsänderung miteinander.

In den Skalenmodellen werden zuerst mögliche Skalenergebnisse in der Interaktions-Gruppe untersucht. In der Zielauflösung 5m liegt eine Verschmelzung aller Fahrbahnmarkierungen vor. Der Eintritt der Annihilation wird durch den resultierenden Kontrast in der Mitte der Liniengruppe bestimmt, der mit der Anzahl der an der Gruppe beteiligten Linien variiert. Bei sehr großen Skalenparametern σ ist der korrespondierende Gauß-Filter ebenfalls sehr groß und kann mehrere Linien mit ihren Abständen überdecken. In einer Liniengruppe, in der Interaktion vorkommt, wird daher in der Zielskala der Grauwert einer Liniengruppe mit vielen Linien höher oder gleich hoch ausfallen im Vergleich zu einer Gruppe mit wenigen Linien. Der Grauwert ist abhängig von der Anzahl der Objektteile in der tatsächlichen Szene. In dem hier präsentierten Beispiel ist der Grauwert der Liniengruppe für die minimale Konfiguration (2 Linien) und die maximale Konfiguration (5 Linien) identisch, da mit der Größe des Gauß-Filters von $\sigma_t = 50$ eine unterschiedliche Anzahl von Linien keine signifikante Auswirkung auf den Grauwert hat. Der Kontrast bleibt in der Zielauflösung groß genug, um das Objekt noch extrahieren zu können, so dass keine Annihilation auftritt. In der

Zielauflösung von 5m ist nur noch ein einziges Objektteil vorhanden, in das alle Objektteile der niedrigsten Hierarchie verschmolzen sind. In Abb. 4b) ist das synthetische Bild der Liniengruppe mit 5 Fahrbahnmarkierungen in der Zielskala (Target Scale) $\sigma_t = 50$ im linearen Skalenraum dargestellt.

Bei der Verschmelzung von kontinuierlichen Linien und periodischen Linien entsteht ein Objekt, das dem Objekttyp „kontinuierliche Linie“ zugeordnet werden kann. Abb. 5 verdeutlicht den entstandenen Objekttyp in der Zielauflösung. Die Periodizität der resultierenden Liniengruppe beträgt daher 1. Zu beachten ist, dass die erkennbaren Grauwertunterschiede im Originalbild sehr gering sind - Abb. 5 zeigt eine radiometrisch angepasste Darstellung. Die Konstellation mit drei periodischen Linien entspricht dem Extremfall des Anteils periodischer Linien. Das Ergebnis der Simulation dieser Konstellation ist eine Verschmelzung zu einer kontinuierlichen Linie und ist für alle Kombinationen von gestrichelten und durchgezogenen Linien gültig. Da sich ausschließlich derselbe Objekttyp bei der Verschmelzung von kontinuierlichen Linien ergeben kann, erübrigt sich die Simulation mit allen anderen Kombinationen. Aufgrund derselben eingetretenen Skalenergebnisse haben alle Ergebnisnetze die gleiche Struktur. Somit ergibt sich nur ein Semantisches Netz als Ergebnis der automatischen Anpassung. Nur ein einziges Objektteil verbleibt aufgrund der Verschmelzung. Sämtliche räumliche Relationen und zugehörige Distanzen entfallen damit. Das mit der automatischen Anpassung erzeugte Semantische Netz der Zielauflösung von 5m zeigt Abb. 6.

Das Aussehen der verbleibenden Objektteile wird über die Werte der Attribute ebenfalls in den Skalenmodellen prädictiert. Der Kontrast hat für alle Konfigurationen denselben Betrag und wird aus dem synthetischen Bild, das nach der Gauß-Filterung in die Zielauflösung von 5m (Abb. 5) überführt wurde, entnommen. Mit Hilfe des Gradientenbildes im Skalenraum bei $\sigma_t = 50$ wird die Breite der Interaktions-Gruppe berechnet. Die Breite der Liniengruppe variiert je nach Anzahl der beteiligten Linien. Hier muss das Ergebnis ein Wertebereich für die Breite im angepassten Semantischen Netz der Zielauflösung sein, der durch die minimale und maximale Konfiguration begrenzt wird.

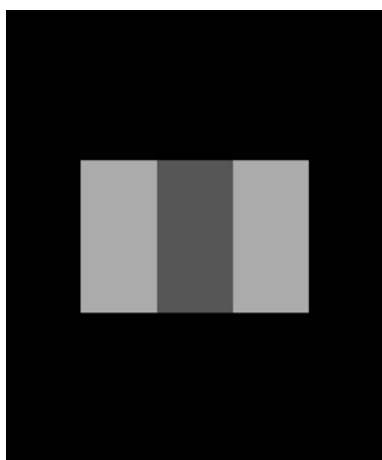


Abb 5: Synthetisches Bild der Simulation mit 5 Fahrbahnmarkierungen in der Zielauflösung 5m/pel

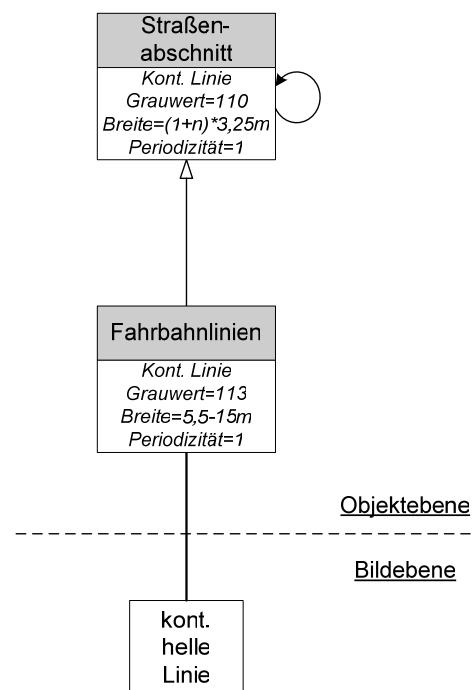


Abb 6: Variables Straßenmodell in der Zielauflösung 5m/pel

6 Ausblick

In diesem Beitrag wurden neue Algorithmen als Weiterentwicklung der bestehenden Methoden zur Anpassung von Bildanalyse-Objektmodellen für die Extraktion von Straßen aus Luft- und Satellitenbildern an eine gegebene niedrigere Bildauflösung vorgestellt. Die Methoden zielen auf die automatische Anpassung von variablen Straßenmodellen, die eine variable Anzahl gleichartiger Objektteile durch die Verwendung dynamischer Relationen zulassen. Ein Beispiel zur automatischen Anpassung eines variablen Straßenmodells verdeutlicht die präsentierten Algorithmen.

Zukünftig sollen die Methoden zur auflösungsabhängigen Anpassung von Straßenmodellen auf realistischere Objektmodelle erweitert werden. Die Modellierung des typischen Netzwerkcharakters von Straßen gehört ebenso dazu wie die Einbeziehung von Kontextobjekten in die Modelle für eine zuverlässigere Objektextraktion. Weiterhin werden die Beispiel-Objektmodelle in das wissensbasierte Interpretationssystem GeoAIDA (Bückner, 2004) implementiert und bewertet. Die Extraktionsergebnisse in realen Luft- und Satellitenbildern unterschiedlicher Auflösungen können dann zur Verifikation der entwickelten Verfahren herangezogen werden.

Dank

Die Arbeit, die zum vorliegenden Beitrag führte, wird durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) unter dem Kennzeichen HE 1822/13 gefördert.

7 Literaturverzeichnis

BÜCKNER, J., PAHL, M., STAHLHUT, O., LIEDTKE, C.-E., 2002: A Knowledge-Based System for Context Dependent Evaluation of Remote Sensing Data - DAGM2002, Springer Verlag, Berlin, S. 58-65.

FLORACK, L., HAAR ROMENY, B., KOENDERINK, J., VIERGEVER, M., 1994: Linear Scale-Space - Journal of Mathematical Imaging and Vision, 4(4), S. 325-351.

FÖRSTNER, W., 1993: A future of photogrammetric research - NGT Geodesia, 93 (8), S. 372-383.

HELLER, J., PAKZAD, K., 2005A: Adaption of Object Models for Road Extraction in Images of Different Resolution – Intern. Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Inform. Sciences, Band XXXVI-8/W27. 3rd URBAN Symposium, Tempe, USA, 6 S., CD.

HELLER, J., PAKZAD, K., 2005B: Scale-Dependent Adaption of Object Models for Road Extraction - akzeptiert für 'Object Extraction for 3D City Models, Road Databases and Traffic Monitoring – Concepts, Algorithms, and Evaluation', 29-30. August 2005, Wien, 6 S.

LINDBERG, T., 1994: Scale-Space Theory in Computer Vision - Kluwer Academic Publishers, 423 S.

PAKZAD, K., HELLER, J., 2004: Automatic Scale Adaptation of Semantic Nets - International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Band XXXV, Teil B3, S. 325-330, Istanbul.

(ebenfalls in: Publikationen der DGPF. Band 13. Halle, S. 67-76.)