

Straßennetzgeneralisierung mit STROKES

Birgit Elias, Hannover

ZUSAMMENFASSUNG:

Am ikg (Institut für Kartographie und Geoinformatik der Universität Hannover) ist das Programm STROKES entwickelt worden. Es dient zur automatischen Generalisierung von Straßennetzen und basiert auf einem Ansatz aus der kognitiven Psychologie. Auf Grundlage des Gestaltgesetzes des glatten Verlaufs wird das Straßennetz in einer Knoten- und Kantenstruktur zusammengefügt zu den sogenannten Strokes (engl. Pinselstrich). Diese werden ihrer Bedeutung nach sortiert und können dann mit einem beliebigen Ausdünnungsfaktor reduziert werden. Über geeignete Schwellwerte könne so auch zwei Klassen gewonnen werden: die bedeutenden / erhaltenswerten und die unwichtigen Straßen. Daraus kann eine zusätzliche Klassifizierung von Straßennetzen abgeleitet werden, so z.B. können die Gemeindestraßen des ATKIS Basis DLM, die bisher keine weiterführende Hierarchie besaßen, zusätzlich unterteilt werden in z.B. Sammel- und Anliegerstraßen. Aber auch eine automatische Ableitung der Straßeninformationen für DLM höherer Ordnung ist möglich.

ABSTRACT:

At the ikg (Institute of Cartography and Geoinformatics, University of Hannover) the program system STROKES has been implemented. It is useful for automatic road network generalization and uses an approach from the field of perceptual organization. Based on one of the Gestalt laws - called 'good continuation' grouping principle - the road network given in form of edges and nodes is separated in so called 'strokes'. These lines are sorted according to their importance and can be divided in two classes: the important / retained and the attenuated / deleted road segments.

Using STROKES makes an additional classification of road networks possible, such as the buildup of further hierarchies for ATKIS community roads. But the program also deals with the automatic generation of attenuated road data for digital landscape models of higher degree.

1. Einführung und Motivation

Die Notwendigkeit, Straßennetze in verschiedene Hierarchiestufen zu unterteilen, ist von den Navigationsdaten-Herstellern frühzeitig erkannt und umgesetzt worden. Da die ATKIS-Daten der Landesvermessungsämter einen anderen Anwendungsfokus haben, ist dieser Schritt beim Aufbau der Datenbestände zumindest teilweise versäumt worden. Zwar ist eine hierarchische Einteilung der Straßen anhand ihrer Widmung möglich - es gibt eine Einteilung, die von der Autobahn über Bundes-, Landesstraßen hinunter bis zur Gemeindestraße reicht - jedoch stoppt die Klassifizierung auf der Ebene der Gemeindestraße und damit praktisch bei den meisten Straßen innerhalb der geschlossenen Ortschaften.

Oftmals ist aber gerade eine Unterteilung der Straßen innerhalb der Städte von Interesse: so ist im ATKIS Objektartenkatalog (Basis DLM) das Attribut BDI (Bedeutung innerörtlich) für Straßen vorgesehen und soll unter anderem die sogenannten Sammelstraßen von den unbedeutenderen Anliegerstraßen trennen können. Ebenso zeigen die Internet-Routingdienste die Notwendigkeit, ein Straßennetz untergliedern zu können: Bei einer Anfrage an den Dienst vermitteln erste Übersichtskarten einen groben, ausgedünnten Eindruck des Straßennetzes und führen mittels Zooming zu großmaßstäbigeren Karten mit detaillierterem Inhalt. Dieser hinzugefügte Inhalt kann die Geometrie der Straße selbst sein oder nur eine Erweiterung um

die Beschriftung der relevanten Straßen. Dazu muss aber eine mehrstufige Klassifizierung des Straßennetzes vorliegen.

Da zum jetzigen Zeitpunkt eine weitergehende Klassifizierung der Straßen in ATKIS als die durch die Widmung (Attribut WDM) gegebene nicht existiert, sind automationsgestützte Verfahren zur Erzeugung dieser Hierarchien gefragt, um diese Informationslücke mit möglichst wenig manuellen Aufwand, zügig und für die Datenbestände flächendeckend beheben zu können.

Die Entwicklung von Verfahren um Netzwerke, z.B. Straßen- oder Gewässernetze, automatisch auszudünnen, ist seit Jahren Gegenstand der Forschung im Bereich der Generalisierung. Bekannte Forschungsansätze kommen aus dem Bereich der Graphentheorie (Mackaness & Beard 1993) und der Agentensysteme (Morisset & Ruas 1997). Der Ansatz, der hier verfolgt werden soll, basiert auf Erkenntnissen der kognitiven Psychologie (Thomson & Richardsen 1999) und ist erfolgreich in einer prototypischen Generalisierungssoftware des Canada Centre for Remote Sensing (CCRS) zur Ableitung kleinmaßstäbiger Karten in Canada implementiert (CCRS 2004).

2. Vorstellung des Ansatzes

Das hier angewandte Verfahren basiert auf einem der Gestaltgesetze aus der kognitiven Psychologie (Anderson 1989), (Bruce & Green 1990). Die Gestaltgesetze der Wahrnehmung bestimmen, wie Merkmale bereits in der Wahrnehmung zu Einheiten organisiert werden. So erkennen wir in Abb. 1 a) auf den ersten Blick senkrechte Linien, die aus Kreisen oder Rechtecken bestehen, obwohl auch eine waagerechte Gliederung möglich wäre, da die Abstände zwischen den Elementen in beiden Richtungen identisch ist. Die menschliche Wahrnehmung bevorzugt aber die Gruppierung von gleichförmigen Objekten.

Für die Straßennetzgeneralisierung verwenden wir das Gesetz des glatten Verlaufs (siehe Abb. 1 e)), bei dem einzelne Linienelemente, die möglichst geradlinig aneinandergesetzt sind, bei der Wahrnehmung zu einer Gesamtlinie vereinigt werden, wohingegen „abknickende“ Elemente als separate Liniestücke gesehen werden. Diese Gesamtlinien kann man sich als Pinselstriche (im Englischen „Strokes“) vorstellen, die durch eine fließende Handbewegung ohne dabei abzusetzen erzeugt werden.

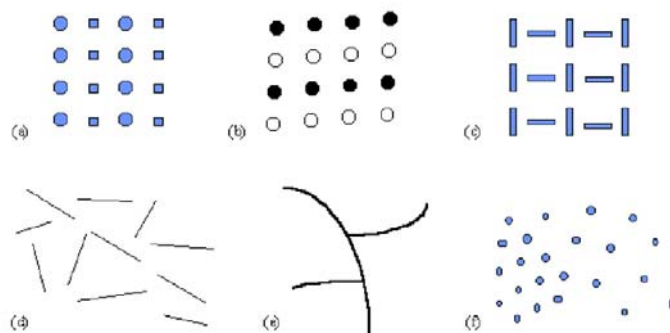


Abb.1: Gestaltgesetze der Wahrnehmung (entnommen aus (Thomson & Richardson 1999))

- a) Ähnlichkeit in Form, b) Ähnlichkeit in Farbe, c) Ähnlichkeit der Orientierung d) Kollinearität, e) Glatter Verlauf, f) Gleichmäßige Dichte

Wir nutzen das Gesetz des glatten Verlaufs für die Straßennetzgeneralisierung, indem wir diese glatten Linien im vorliegendem Straßennetz bestimmen. Die Hypothese ist, dass funktional bedeutsame Straßen (Durchgangsstraßen, Hauptverkehrsstraßen) immer

durchgehend verlaufen, keine scharfen Abzweigungen aufweisen und im Allgemeinen länger sind als unbedeutendere Straßen. Allein durch diese Annahmen ist die Ableitung der relativen Bedeutung der Straßen ohne jegliche thematische Zusatzinformation möglich.

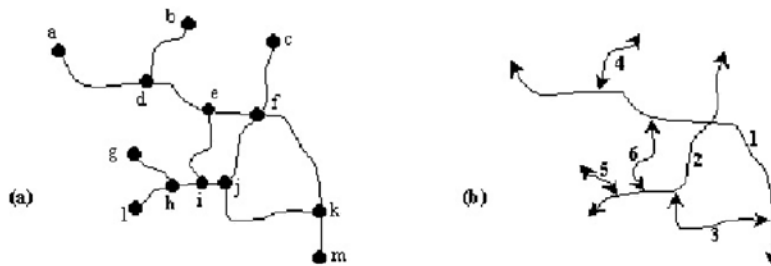


Abb. 2: Bildung der „Strokes“ aus Straßennetz – a) erst Knoten und Kanten, b) dann gruppierte Linienstücke (Graphik entnommen aus (Thomson & Richardson 1999))

Für die Einteilung in Strokes muss das Straßennetz in Form von Knoten und Kanten vorliegen. Die Einzelstücke der Straßen werden im Ablauf des Programms zu Strokes zusammengefügt (Abb. 2), solange bis das gesamte Straßennetz eingeteilt ist.

Als Maß für die Bedeutung der einzelnen Strokes wird deren absolute Länge als Kriterium herangezogen. Um eine Generalisierung, in diesem Fall eine Ausdünnung des Gesamtnetzes ermöglichen, müssen die Linienstücke zuerst nach ihrer Wichtigkeit (hier Länge) angeordnet werden. Im nächsten Schritt wird der Ausdünnungsgrad festgelegt: je nach Bedarf kann eine beliebige Prozentzahl an Strokes erhalten und der Rest gelöscht werden. Das Ergebnis der verschiedenen Ausdünnungsstufen kann an dem Beispiel aus Abb. 3 nachvollzogen werden. Ein Zusammenhang zwischen Ausdünnung und erzieltm Maßstab besteht über das „Töpfersche Wurzelkriterium“ (Pillewizer & Töpfer 1964).

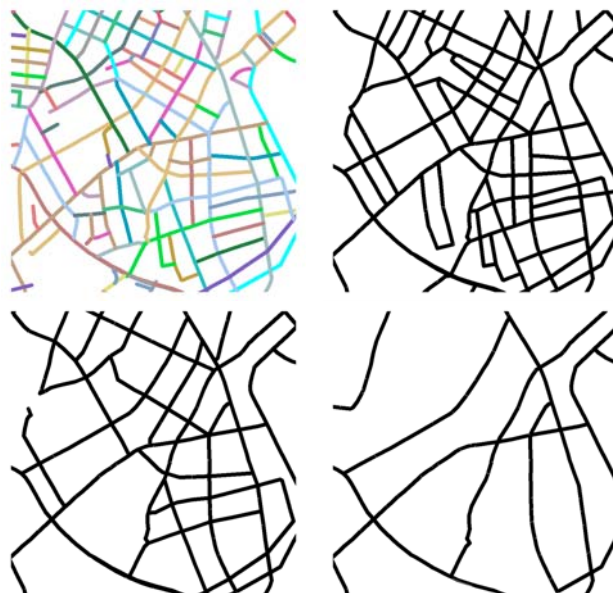


Abb. 3: Ausdünnung der Strokes (ATKIS Basis DLM Straßen – Ausschnitt aus Hannover) – oben links: Gesamtnetz in verschiedene Strokes zusammengefasst, oben rechts: Erhaltung von 30%, unten links: Erhaltung 15 %, unten rechts: Erhaltung von 5%

3. Implementierung STROKES

Der Ansatz zur Straßennetzwerkgeneralisierung für die Klassifizierung von ATKIS-Straßen ist in der Programmiersprache Java implementiert worden.

3.1 Beschreibung des Algorithmus

Die ATKIS-Daten werden in Form von Knoten und Kanten in das Programm eingelesen. Es wird ein vollständiger Straßendatensatz benötigt, der über die Attributierung der Daten (Objektart und Widmung (WDM)) eingeteilt wird in ein übergeordnetes Restnetz (zur späteren Überprüfung der Netzverbindung, siehe unten) und die zu prozessierenden Daten (z.B. WDM = 1307 (Gemeindestraßen)).

Für jeden Knoten werden die abgehenden Kanten und die Knickwinkel dazwischen bestimmt. Ausgehend von einem freiem Startknoten hangelt sich der Algorithmus von Knoten zu Knoten und sucht immer das nächste, möglichst geradlinig anschließende Verbindungsstück. Sollte kein Linienstück mit einem Knickwinkel unter dem definierten, maximal zulässigem Grenzwinkel von 30° vorhanden sein, wird die Stroke-Bildung abgeschlossen und ein neues Linienstück begonnen. Alle bereits verwendeten Elemente werden aus dem Suchraum entfernt. Die erzeugten Strokes werden gespeichert und ihrer Länge nach sortiert. Über den eingegebenen Ausdünnungs-Parameter wird bestimmt, welche Strokes als wichtig/erhaltenswert und welche als unwichtig/unbedeutend klassifiziert werden sollen. Die Zuordnung erfolgt als neues Attribut für die Daten, das in Anlehnung an den ATKIS-Objektartenkatalog als BDI (Bedeutung innerörtlich) bezeichnet wird und die beiden Ausprägungen 2001 = Sammelstraßen (bedeutend) und 2002 = Anliegerstraßen (unbedeutend) annehmen kann.

Da eine Ausdünnung, die ausschließlich auf Basis der Stroke-Länge erfolgt, den Netzzusammenhang der Straßendaten zerstören würde, läuft im Programm eine nachfolgende Überprüfung zur Gewährleistung der Netzverbindungen ab. Dazu werden die erhaltenen Strokes überprüft, ob eine Verbindung zu gleichwertigen Strokes oder zum übergeordnetem Restnetz (d.h. alle anderen höherwertigen Straßen, wie Autobahnen, Bundesstraßen, etc.) besteht. Ist dieses nicht der Fall, werden zwei Möglichkeiten überprüft: zum einen, ob es sich um einen Overshot handelt, d.b. das freihängende Stroke-Ende kann beseitigt werden, indem der Stroke auf die letzte Kreuzung zurückgeschnitten wird. Alternativ wird geprüft, ob besser eine neue Verbindung hergestellt werden muss. Dazu wird auf den aussortierten Strokes eine kürzeste Wegeverbindung zum nächsten erhaltenen Stroke-Stück oder dem übergeordnetem Restnetz gesucht. Die ermittelten Straßenstücke werden unattribuiert und zu den erhaltenswerten Straßenelementen dazugefügt (siehe Abb. 4).



Abb. 4: Erhaltung der Netzverbindung – links: Ergebnis nach Strokes-Ausdünnung (rot: Sammelstraßen, grau: Anliegerstraßen), mitte: Berechnung von nachträglichen Verbindungen (grün) und zu löschenden Overshots (blau), rechts: Änderung des Ergebnisses (Overshot gelöscht, Verbindung hinzugefügt)

3.2 Ablauf des Programms

Das Programm ist in Java (aktuell Version 1.4.2) implementiert und läuft damit Plattform-unabhängig und kann im Batch-Betrieb verarbeitet werden. Zur Zeit wird die Eingabe der Parameter umgestellt auf eine Steuerdatei, die im Vorfeld konfiguriert werden muss. Einstellgrößen sind die Quell- und Ausgabedateien, Objektart und Widmung der zu prozessierenden und der als Restnetz zu verwendenden Daten, die Vergabe der Kennziffern für das Attribut BDI, sowie die maximal zugelassenen Längen für Overshots und die Verbindungssuche.

Zur Dateneingabe müssen die ATKIS-Straßendaten in Form von ESRI-Shape- und Datenbank-Files vorliegen. In der Tabelle müssen die Objekt-ID, die Objektart (OAR) und die Widmung der Straße (WDM) gegeben sein. Nach der Prozessierung werden die Ergebnisse in ein Textfile geschrieben, das aus der Objekt-ID und dem Bedeutungs-Attribut besteht. Dadurch ist eine direkte Zuordnung der Attribute zu den Originalattributen in der Datenbank möglich. Zur Visualisierung kann diese Textdatei mit den Originaldaten z.B. in ArcGIS verlinkt werden (siehe Abb. 5). Eine direkte Ausgabe der Ergebnisse in ein Datenbank-File, welches dann mit der Original Shape-Datei dargestellt werden kann, wird zur Zeit implementiert.

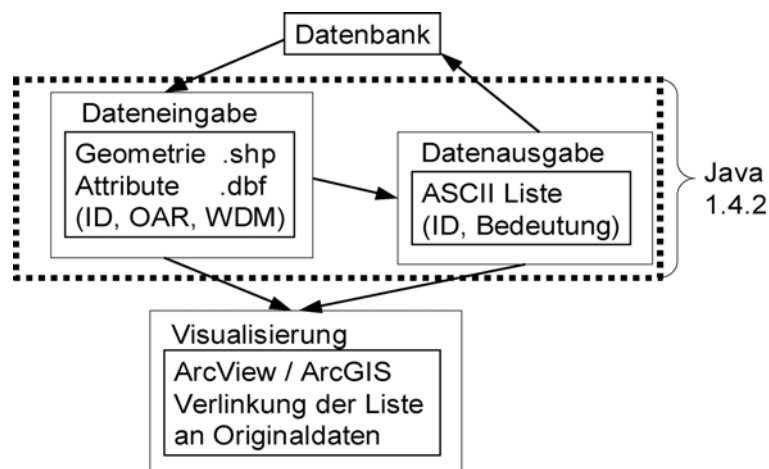


Abb. 5: Übersicht STROKES - Ein-/Ausgabe des Programms

4. Beispiele

4.1 Belegung des Attributs BDI für ATKIS-Straßen

Die Straßendaten vom vollständigen Stadtgebiets Hannovers sind mit dem Programm prozessiert worden, um zu untersuchen, ob eine automatische Zuordnung des Attributs BDI (Bedeutung innerörtlich) für das ATKIS Basis DLM möglich ist. Durch verschiedene Tests wurde ein optimaler Ausdünnungsfaktor von 2% bestimmt, d.h. 2% aller berechneten Strokes werden als „bedeutend“ eingestuft und mit dem Attribut BDI = 2001 (Sammelstraßen), alle

anderen mit dem Wert BDI = 2002 (Anliegerstraßen) versehen. Das Programm liefert vollständig automatisch zufrieden stellende Ergebnisse (siehe Abb. 6).

Besonderes Augenmerk bei der Prozessierung erfordern allerdings die komplexen Straßen im ATKIS Basis DLM: der Straßenkörper (Objektart 3105) sollte in die Berechnung einbezogen werden, wohingegen die dazugehörigen Fahrbahnen (3106) entfernt werden müssen. Da ein Löschen der Fahrbahnen aus dem Datensatz aber bereits vor der Prozessierung zu einer mangelhaften Netzverbindung der Straßen untereinander führt, müssen diese Daten mindestens in das übergeordnete Restnetz eingefügt werden. Dabei führen die parallel beieinander liegenden Fahrbahnen und der Straßenkörper aber später bei der Verbindungssuche zu ungewollten Lücken im Netz. Prinzipiell müsste eine gesonderte Handhabung der entstehenden Problemfälle in das Programm integriert werden, da diese noch aussteht, können komplexe Straßen zu Fehlern im Ergebnis führen.

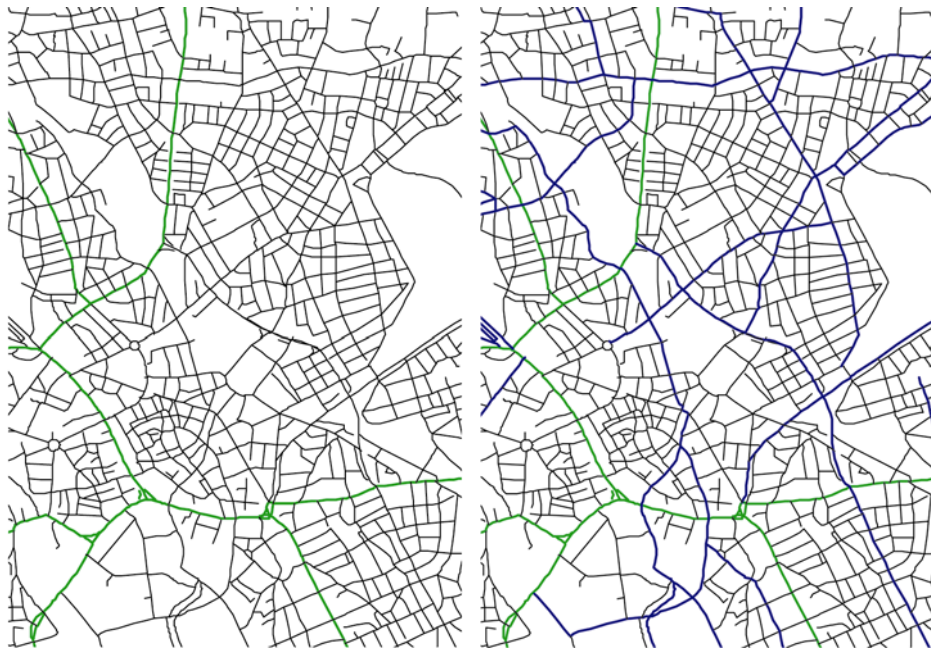


Abb. 6: ATKIS-Straßen Hannover – links: einheitliches Gemeindestraßennetz (grau), rechts: prozessierte „Sammelstraßen“ hervorgehoben (blau) (grün: übergeordnetes Restnetz)

4.2 Ausdünnung eines Wegenetz

Eine weitere Anwendungsmöglichkeit des Generalisierungsansatzes stellt die Ausdünnung des Wegenetzes (Objektart 3102) dar, wie sie z.B. bei einem Übergang vom Basis DLM zum DLM 50 gefordert sein könnte.

In Abb. 7 ist als Beispiel das ländliche Wegenetz des TK 50 Kartenblattes „Buchholz in der Nordheide“ aufgeführt. Bei dieser Art der Prozessierung wird das Wegenetz als zu prozessierender Datensatz und alle weiteren Straßen (von der Gemeindestraße bis zur Autobahn) als übergeordnetes Restnetz für die Erhaltung der Netzverbindung verwendet. Die Ausdünnung kann in beliebigen Stufen erfolgen.

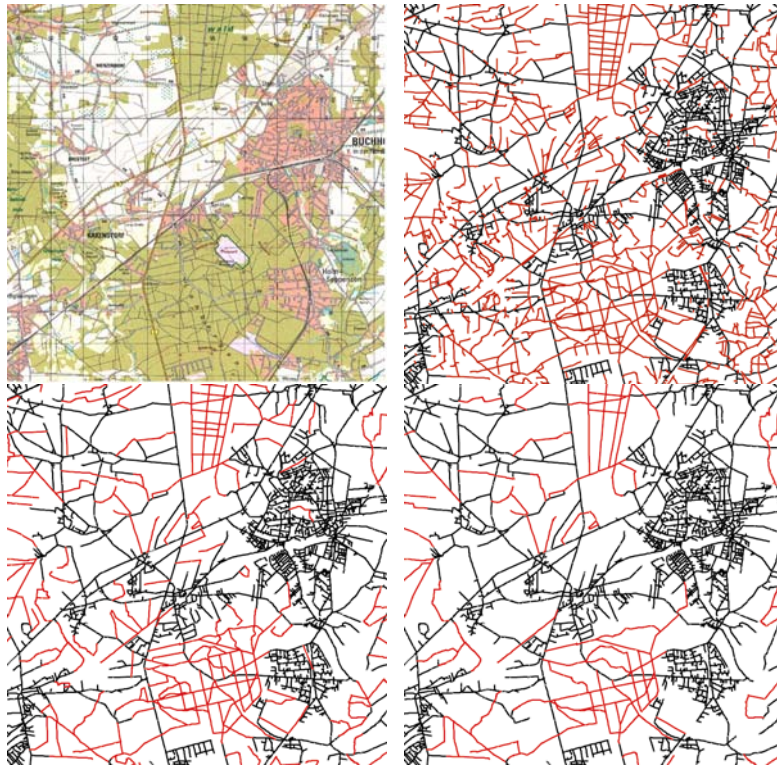


Abb. 7: Ausdünnung des Wegenetz – links oben: TK 50 Kartenblatt: Buchholz in der Nordheide, rechts oben: ATKIS Basis DLM, vollständiges Straßen- (schwarz) und Wegenetz (rot), links unten: Ausdünnungsstufe der Wege 20 %, rechts unten: Ausdünnungsstufe 10%

5. Zusammenfassung

Mit Hilfe des Programmsystems STROKES können Straßennetze ohne zusätzlich thematische Information generalisiert werden. Das Programm wurde speziell für die Verarbeitung von ATKIS-Daten konzipiert. Dabei wird ein Ansatz aus der kognitiven Psychologie - das Gestaltgesetz des glatten Verlaufs - verwendet, um für gleichartige Straßen eine weitere Hierarchie aufbauen zu können. Bei der Prozessierung werden die Daten in jeweils zwei Gruppen unterteilt: die bedeutenden / erhaltenswerten und die unwichtigen Straßen. Die Grenze zwischen diesen beiden Gruppen kann frei über den Ausdünnungsgrad bestimmt werden.

Durch Anwendung dieses Programms ist eine weitgehend automatische Zuordnung des Attributs BDI (Bedeutung innerörtlich) für die Gemeindestraßen des ATKIS-Straßennetz möglich. Des Weiteren kann diese zusätzliche Hierarchie zum Aufbau einer Zooming-Funktion für ATKIS-Daten (analog zu den bereits bestehenden Internet-Routingdiensten) auch für innerstädtische Bereiche dienen. Weitere Anwendungen wie die Generalisierung des ländlichen Wegenetzes für die Ableitung eines ausgedünnten DLM 50 oder die generelle Generalisierung der Gemeindestraßen und Wege für höhere DLM sind möglich.

Danksagung

Die Arbeit ist im Rahmen der Forschungsk Kooperation des ikg (Institut für Kartographie und Geoinformatik, Universität Hannover) mit der LGN (Landesvermessung und

Geobasisinformation Niedersachsen) entstanden. Wir danken der LGN für die Bereitstellung der ATKIS Daten.

Literatur

- Anderson, J. 1989:* Kognitive Psychologie – Eine Einführung, 2. Aufl., Spektrum-der-Wissenschaft-Verlagsgesellschaft, Heidelberg, 1989.
- Bruce, V. & Green, P. 1990:* Visual Perception – Physiology, Psychology and Ecology, 2. Aufl., Lawrence Erlbaum Associates Ltd., 1990.
- CCRS 2004:* Generalization of Road Networks, URL: http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/ccrs/rd/apps/map/gen/genrn_e.html, besucht am 12.01.04.
- Mackaness, W. & Beard, M. 1993:* Use of Graph Theory to Support Map Generalization, Cartography and Geographic Information Systems, Vol. 20, No. 4, pp.210-221, 1993.
- Morisset, B. & Ruas, A. 1997:* Simulation and Agent Modelling for Road Selection in Generalisation, Proceedings ICC '97, Stockholm, Schweden.
- Thomson, R. & Richardson, D., 1999:* The 'Good Continuation' Principle of Perceptual Organization applied to the Generalization of Road Networks, Proceedings ICC, Ottawa, Canada, 1999.
- Pillewizer, W. & Töpfer, F., 1964:* Das Auswahlgesetz, ein Mittel zur kartographischen Generalisierung, Kartographische Nachrichten, Heft 4, August 1964.