

Generalisierung von Mehrzweckkarte und 3d Modell der Stadt Wien

Patrick WEISS, Lionel DORFFNER

(Patrick Weiß, FH Technikum Kärnten, Geoinformation, patrick.weiss@edu.fh-kaernten.ac.at)
(Dipl.Ing. Dr. Lionel Dorffner, Magistrat der Stadt Wien, Magistratsabteilung 41 – Stadtvermessung, dor@m41.magwien.gv.at)

KURZFASSUNG

Die Mehrzweckkarte (MZK) – die digitale Stadtkarte von Wien – bietet eine Fülle an Informationen und ist entsprechend komplex strukturiert. Für viele Aufgaben und Fragestellungen ist dieser Detailreichtum für den Benutzer jedoch ein Zuviel an Information. Um daher die Kunden mit einem, für sie, optimalen Produkt versorgen zu können, ist ein schlanker, ausgedünnter Datenbestand notwendig. Darüber hinaus gibt es noch andere wirtschaftliche Faktoren, welche die Entwicklung einer Anwendung rechtfertigen, die einen Datensatz derartig verändern kann, dass mit einem Minimum an verspeicherten Daten ein Maximum an benötigter Information transportiert wird. Eine solche Anwendung soll die MZK unter Berücksichtigung ihrer speziellen Eigenheiten generalisieren.

1 EINLEITUNG

In etlichen Bereichen ist der Mensch mit seinen perzeptiven Fähigkeiten an seine Grenzen gestoßen. Das Auge kann nur bis zu einem gewissen Grad optische Reize unterscheiden und zuordnen. Oft kommen allerdings Daten zum Einsatz, die mit Details so überladen sind, dass dem Benutzer der Informationsgewinn aus den Daten unnötig erschwert wird.

Viele Anwender müssen mit Daten arbeiten, die nicht primär für diesen Verwendungszweck geschaffen wurden. Es liegt hier ein großes Optimierungspotenzial vor. Diese Arbeit könnte effizienter geschehen, wenn die Anwender Daten zur Verfügung hätten, welche optimal auf den jeweiligen Verwendungszweck abgestimmt wären. Doch nicht nur im Bereich der Ressourcenoptimierung, sondern auch auf der distributiven Seite eines Unternehmens macht es einen großen Unterschied, wie skalierbar ein Datensatz ist. So kann der Unternehmer seine Produktpalette dynamisch erweitern um den Anforderungen des Kunden jederzeit gerecht zu werden.

Die Stadtvermessung der Stadt Wien (Magistratsabteilung 41) ist unter anderem für die Erstellung und Wartung von digitalen Kartengrundlagen für Wien verantwortlich. Eine solche Grundlage ist die Mehrzweckkarte (MZK) (Belada 1994). Die Datenerfassung erfolgt im unmittelbaren Straßenbereich durch terrestrische Vermessung, im übrigen Stadtgebiet durch photogrammetrische Stereoauswertung. Der Aktualisierungszyklus beträgt drei Jahre. In diesem Zeitraum wird das gesamte Stadtgebiet kontrolliert und aktualisiert. Dieser hohe Genauigkeitsgrad macht die MZK zur idealen Grundlage für eine ganze Reihe von Anwendungen (z.B. Straßenbau, Leitungsbetreiber, etc.).

Trotzdem gibt es aber auch Situationen, in denen ein nicht ganz so hoher Detaillierungsgrad notwendig ist. Ein grob strukturierter Datensatz ist die Realnutzungskartierung. Dieser Datensatz basiert auf einer Blockstruktur, welche sich aus den Straßenachsen ergibt. Die Klassifizierung in 42 verschiedene Klassen erfolgt vorwiegend durch Luftbildinterpretation. Viele Klassifizierungen können auch durch Zusammenarbeit mit anderen Dienststellen des Magistrats durchgeführt werden. Die Realnutzungskartierung ist ein Werkzeug zur Dokumentation der Stadtentwicklung. Sie wird alle drei Jahre aktualisiert. Darüber hinaus wird der Datensatz für überregionale Planungsvorhaben verwendet.

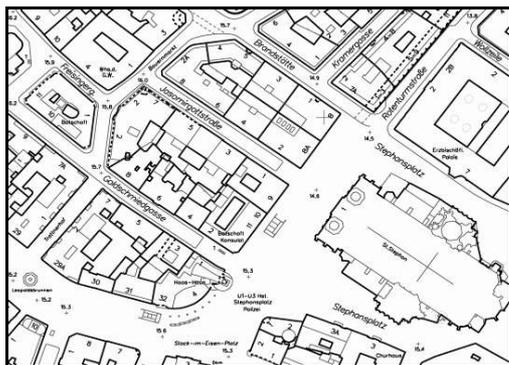


Abb.1: MZK, Ausschnitt



Abb.2: Realnutzungskartierung, Ausschnitt

Es ist also deutlich ein Bedürfnis nach einem Produkt vorhanden, welches den Bereich zwischen einer sehr genauen MZK und einer sehr groben Realnutzungskartierung abdeckt. Das Ergebnis einer Machbarkeitsstudie zeigte, dass eine MZK, welche bis zu einem gewissen Grad generalisiert ist, diesen Bereich optimal abdecken könnte.

Dieser Artikel befasst sich nun mit der Frage, inwieweit es möglich ist, einen Datensatz, in diesem Fall die MZK, weitestgehend automatisiert zu verändern, sodass mit einem Minimum an verspeicherten Daten ein Maximum an benötigter Information transportiert wird. Das Resultat soll primär als Grundlage zur weiteren EDV-technischen Bearbeitung dienen und muss somit nicht sämtlichen kartographischen Ansprüchen genügen. Aus diesem Grund werden gewisse kartographische Bearbeitungen, wie zum Beispiel Verdrängung, vergrößerte Darstellung und dergleichen, nicht berücksichtigt. Zur weiteren Bearbeitung am Bildschirm werden Maßstäbe ab 1:2000 angestrebt.

2 PROBLEMSTELLUNG

Im Rahmen der Erstellung der MZK werden die einzelnen Geometrien kodiert erfasst und gespeichert. Eine Reihe von Codes ermöglicht die Zuordnung jeder Geometrie zu einer Feature-Klasse. Ein Folgeprodukt der Mehrzweckkarte ist die Flächenmehrzweckkarte (FMZK). Diese Karte besteht aus Flächen, welche durch teilautomatisierte Bearbeitung der Daten der MZK gewonnen werden. Dabei werden aus den Linien der MZK klassifizierte Flächen generiert, welche das gesamte Stadtgebiet lückenlos und topologisch korrekt abdecken. Die Aktualität der FMZK entspricht dabei der Aktualität der zugrunde liegenden MZK. Das Baukörpermodell (BKM) (Dorffner und Zöchling 2003) setzt wiederum auf der FMZK auf. Unter einem Baukörper versteht man in diesem Zusammenhang ein Prisma, welches als Grundfläche eine einzelne Gebäudeteilfläche aus der FMZK hat. Die Höhe des Prismas ist photogrammetrisch erfasst.



Abb.3: FMZK, Ausschnitt

MZK, FMZK und 3d Modell liegen flächendeckend für ganz Wien vor. Der Datenbestand besteht aus kodierten Linien und Flächen mit einer Reihe von topologischen Beziehungen zueinander. Es gibt eine Vielzahl von Layern, welche jeweils eine Informationsebene darstellen. Gerade aufgrund dieser Layerstruktur hat sich der Einsatz von herkömmlichen Generalisierungsalgorithmen als nicht zufrieden stellend erwiesen, da ein reines geometrisches Generalisieren jedes einzelnen Layers die komplexen räumlichen Zusammenhänge zerstört. Weiters besteht die Notwendigkeit gewisse Feature-Klassen mit einer höheren Priorität in Bezug auf die maximale Verschiebung der Geometrien auszustatten. Nicht zuletzt soll die zu erzielende Reduktion der Datenmenge Vorteile im Speicherplatzbedarf und ein performantes Handling der Daten bringen.

Unter Generalisierung versteht man „... eine Auswahl des Wichtigsten, Wesentlichen und dessen zielgerichtete Verallgemeinerung, bei der es darauf ankommt, auf der Karte die Wirklichkeit in ihren wichtigsten, typischen Zügen und charakteristischen Besonderheiten entsprechend der Zweckbestimmung, der Thematik und dem Maßstab der Karte abzubilden“ (A. Hettner, 1910).

Es gibt bereits viele Ansätze Geodaten automatisiert zu generalisieren (ESRI 1996; Weibel 1997; Meng 2002; Ware *et al.* 2003). Douglas und Peucker (Douglas und Peucker 1973) entwickelten als eine der ersten einen Algorithmus zur Vereinfachung von Geometrien. Obwohl dieser Algorithmus sehr viele Anwendungsmöglichkeiten fand, zeigte Weibel (Weibel 1995), dass der Algorithmus zwar zur Generalisierung einzelner Geometrien, nicht aber zur Generalisierung eines ganzen (konzeptionellen) Modells geeignet war. Harrie (Harrie 2004) entwickelte ein Verfahren, welches auf Bedingungen gestützte Optimierungstechniken verwendet, um Geodaten in Echtzeit zu generalisieren. Aber auch dieser Ansatz bearbeitet nur einzelne Geometrien. Steiniger und Meier (Steiniger und Meier 2004) entwickelten eine Methode, die gut geeignet ist Linien zu generalisieren, allerdings nicht auf die MZK angewendet werden kann, da zum einen das Aufrechterhalten der topologischen Beziehungen einen hohen Aufwand bedeuten würde, zum anderen würde die charakteristische Struktur der MZK verloren gehen. Gerade in den letzten Jahren sind viele neue Methoden entwickelt worden, welche versuchen Geodaten mit den verschiedensten Datenstrukturen zu generalisieren. Gold (Gold *et al.* 2001) beispielsweise arbeitet mit Durchschnittsachsentransformation (engl: Medial Axis Transform) um ein Polygon auf das entsprechende Skelett zu reduzieren. Das Skelett eines Polygons besteht dabei aus den Kreismittelpunkten aller maximalen Kreise, welche in das Polygon projiziert werden können. Bei dieser Art der Generalisierung werden topologische Zusammenhänge bewahrt. Gold's Ziel war es unter anderem eine Methode zu entwickeln, die keine (oder so wenige wie möglich) Parameter enthält, über die sich die Generalisierung steuern lässt (Weibel 1995). Dieser Umstand wirkt sich in einem System zur Generalisierung der MZK eher nachteilig aus, da es aufgrund variierender Zielmaßstäbe und der Vielfalt an unterschiedlichen Feature-Klassen durchaus erwünscht ist die einzelnen Vorgänge gezielt zu beeinflussen. Harrie und Sarjakoski (Harrie und Sarjakoski 2002) entwickelten ein System, welches gut geeignet zu sein scheint, die Daten der MZK zu bearbeiten. Es basiert auf Bedingungen und der Schwerpunkt liegt auf der graphischen Generalisierung. Allerdings soll in einer generalisierten MZK keine Verdrängung oder Vergrößerung von Objekten stattfinden.

Keine dieser Ideen ist daher direkt auf die MZK anwendbar. Eine Reihe von Experimenten und analytischen Betrachtungen zeigte, dass sich die oben diskutierten Generalisierungsalgorithmen nicht gut eignen, um zusammenhängende Strukturen, wie bei der MZK, zu generalisieren. Um zu gewährleisten, dass die charakteristischen Eigenschaften der MZK bestehen bleiben, muss der hier benötigte Algorithmus Rücksicht auf die Zusammenhänge in der Layerstruktur der MZK nehmen.

3 LÖSUNGSANSATZ

Um die verschiedenen Eigenheiten der MZK optimal auszunutzen, werden im realisierten Lösungsansatz die 240 geometrisch relevanten Feature-Klassen der MZK in mehreren Schritten bearbeitet.

Im ersten Schritt soll die Datendichte reduziert werden, indem gewisse Elemente gelöscht werden. Ein Entscheidungsfindungsprozess gab vor, welche Feature-Klassen im Zielmaßstab nicht mehr von Relevanz sind. Beispielsweise können Kanalgitter ab einem Maßstab von 1:2000 vernachlässigt werden. Insgesamt können 30 Feature-Klassen auf diesem Weg entfernt werden. Nach dem Löschen der betroffenen Geometrien muss jedes mal sichergestellt werden, dass die gesamte Topologie konsistent bleibt.

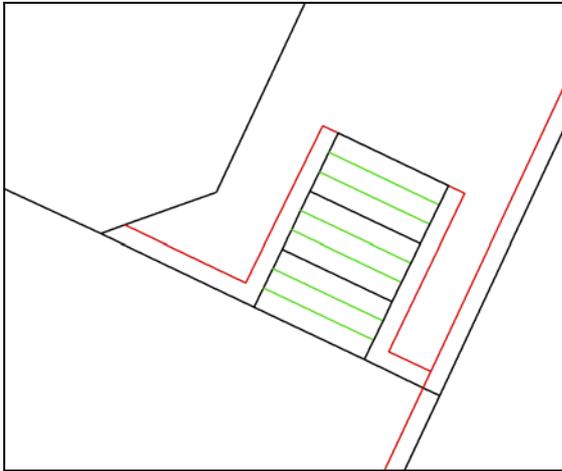


Abb.4a: Stiege, MZK Ausschnitt

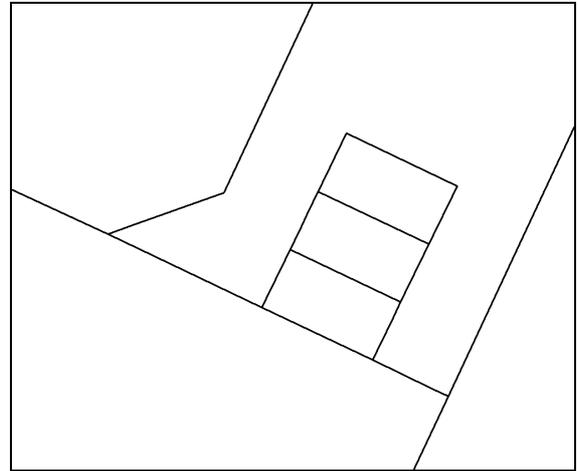


Abb.4b: Stiege generalisiert, MZK Ausschnitt

Abbildung 4a zeigt eine Stiege wie sie in der MZK sehr häufig vorkommt. Die einzelnen Stufen haben zwei verschiedene Codes. Der Grund dafür ist, dass man bereits auf Auszeichnungen im Maßstab 1:2000 auf diese Stufen verzichten wollte und daher dazu übergang Stufen schon bei der Erfassung zwei verschiedene Codes zuzuweisen. Somit können diese Stufen gezielt selektiert und gelöscht werden. Weiters sieht man in Abbildung 4a mehrere Mauern. Eine Mauer besteht prinzipiell aus zwei parallel zueinander verlaufenden Linien. Eine Mauerlinie wird terrestrisch vermessen, die andere Linie wird per Algorithmus generiert. Auch diese beiden Linien haben unterschiedliche Codes, was wiederum ein schnelles Selektieren und Entfernen der generierten Mauerlinien ermöglicht. Abbildung 4b zeigt die Situation nach dem Entfernen bestimmter Feature-Klassen.

Der zweite Schritt behandelt Flächen, welche einen so kleinen Flächeninhalt aufweisen, dass sie im Zielmaßstab nicht mehr relevant sind. Nach einer Reihe von Experimenten hat sich ein Flächeninhalt von 7 m² als gut geeigneter Schwellwert herausgestellt. Für jede dieser Flächen bis 7 m² wird die längste Kante bestimmt, die Teil der Umfahung dieser kleinen Fläche ist. Danach wird der Nachbar ermittelt, der an dieser Kante angrenzt. Die so bestimmte Kante wird aufgelöst und die kleine Fläche wird mit dem Nachbar vereinigt, wobei die Attribute der kleinen Fläche aus dem Datenbestand verschwinden.

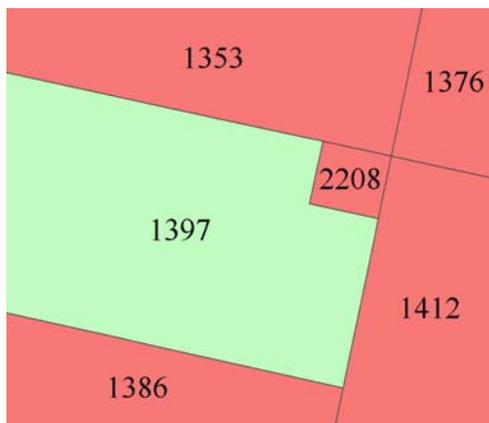


Abb.5a: Innenhof

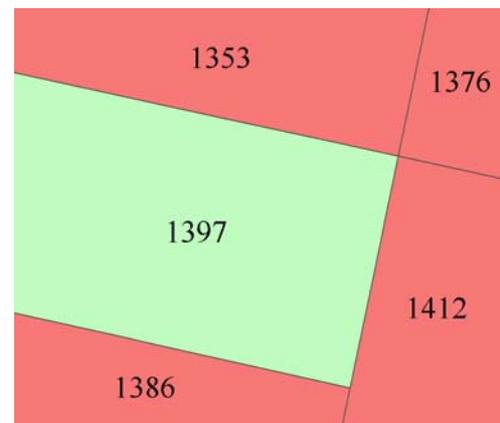


Abb.5b: Innenhof generalisiert

Abbildung 5a zeigt fünf Gebäudeflächen (rot) und eine Innenhoffläche (grün). Angenommen der Flächeninhalt der Fläche mit der ID 2208 liegt unter dem Schwellwert von 7 m², so ist diese Fläche für die weitere Bearbeitung in diesem Schritt qualifiziert. Die Fläche mit der ID 2208 besitzt drei Kanten, eine als Grenze zur Fläche 1353, die zweite als Grenze zur Fläche 1412 und die dritte Kante trennt sie von der Fläche mit der ID 1397. Als erstes wird die längste dieser drei Kanten bestimmt. In diesem Fall ist es die Kante

zum Nachbarn mit der ID 1397. Die Flächen 1397 und 2208 werden in weiterer Folge vereinigt. Dabei werden sowohl die Attribute der kleineren Fläche, als auch die Kante zwischen den beiden Polygonen aus der Datenbank entfernt. Abbildung 5b zeigt die Situation nach erfolgter Generalisierung.

Der Detailreichtum der Mehrzweckkarte spiegelt sich auch in einer sehr fein abgestuften Klassifizierung wider, welche in einer Fülle an Feature-Klassen resultiert. Auch hier soll der Grundgedanke der Generalisierung angewendet werden. So werden im nächsten Schritt die Codes jener Linien zusammengefasst, welche im Zielmaßstab ähnliches darstellen. Beispielsweise werden sämtliche Einfahrten und Eingänge, welche in der Mehrzweckkarte mit eigenen Codes versehen sind, entsprechend ihrer Umgebung umkodiert und dem übergeordneten Feature zugeordnet. Der Code „Eingang zu Hauslinie“ wird daher auf den Code „Hauslinie“ umkodiert. Die ehemalige Eingangslinie wird mit den angrenzenden Hauslinien zu einem einzelnen Feature zusammengefasst und als solches in der Datenbank gespeichert. Insgesamt werden 85 Feature-Klassen zu 4 Feature-Klassen aggregiert. Zusätzlich werden mehrere Features als einzelnes Feature gespeichert. Dadurch reduziert sich auch die Anzahl der Datensätze mitunter beträchtlich, was sich ebenfalls positiv auf den notwendigen Speicherbedarf auswirkt.

Im vierten Schritt erfolgt die kontrollierte, geometrische Vereinfachung der Linienfeatures, mit dem Ziel, das unruhige Kartenbild zu „glätten“. Dies soll erreicht werden, indem gezielt nach bestimmten Mustern gesucht wird, durch welche das Kartenbild überladen wirkt. Dabei handelt es sich um Mauervorsprünge, Stufen und anderen Vorbauten. Jedes Feature wird einzeln analysiert. Dabei werden die einzelnen Segmente eines jeden Features mit einer Reihe von vordefinierten Mustern verglichen. Beispielsweise können auf diesem Weg U-förmige Features erkannt werden. Nach Erkennung eines Musters wird getestet, ob die entsprechenden Segmente gewisse vordefinierte Kriterien hinsichtlich Länge und Richtung (Orientierung) erfüllen. Eine einzelne Stufe vor dem Eingang eines Hauses beispielsweise stellt so ein U-förmiges Muster dar. Nach erfolgter Erkennung wird nun diese U-Form hinsichtlich der Länge und Ausrichtung (Orientierung) der einzelnen Segmente untersucht. Sind alle Werte innerhalb eines definierten Bereichs, so wird dieses Segment einer bestimmten Bearbeitung unterzogen und somit vereinfacht. Für jedes Muster, welches erkannt werden kann, gibt es bestimmte Verarbeitungsschritte, die auf das Feature wirken, wenn die entsprechenden Kriterien erfüllt sind. Eine weitere Möglichkeit diesen Prozess zu steuern ist es, unterschiedliche Kriterien bei der Verarbeitung eines Features anzusetzen, in Abhängigkeit vom Datentyp des Features.

Ein Feature kann aus beliebig vielen Segmenten bestehen. Um sicherzustellen, dass auch alle Kombinationen von Mustern innerhalb eines Features gesucht werden, wird jedes Feature von Anfang bis zum Ende durchlaufen. Dabei wird eine Art Fenster über das Feature geschoben. Jene Segmente im Fenster werden mit den vordefinierten Mustern verglichen. Beginnend mit dem Muster mit der größten Länge wird der Inhalt rekursiv durchlaufen. Die Fenstergröße ist variabel und richtet sich nach der Anzahl der Segmente des Features. Die aktuelle Implementierung analysiert und erkennt Muster mit einer Länge von bis zu fünf Segmenten. Findet eine Vereinfachung statt, ändert sich der Inhalt des Fensters und der Vergleich beginnt erneut. Findet keine Vereinfachung statt, wird das Fenster weitergeschoben. Die Bearbeitung eines Features endet, wenn das Fenster am Ende des Features angelangt ist.



Abb.6a: Situation vor Durchführung von Schritt 4



Abb.6b: Situation nach Durchführung von Schritt 4

Abbildung 6a zeigt eine Situation mit Gebäudeflächen (rot) und eingeschlossenen Innenhofflächen (grün, hellgrau) wie sie nach den ersten drei Bearbeitungsschritten aussieht. Es sind deutlich die Vorsprünge zu sehen, die in den Innenhof ragen. Sie lassen das Bild kantig und unruhig wirken. Nach Durchführung von Schritt 4 erhalten wir das Bild in Abbildung 6b. Die Vorsprünge wurden entfernt, was das Kartenbild merklich ruhiger macht.

Zusätzlich wird nach erfolgreicher Durchführung eines jeden der vier Bearbeitungsschritte eine Prüfung durchgeführt, welche die Konsistenz der Daten, insbesondere der Topologie, gewährleistet. Zuletzt müssen entstandene Fehler, wie zum Beispiel overshoots (überstehende Liniensegmente) oder undershoots (zu kurz geratene Liniensegmente) bereinigt werden. Dies kann zum Teil durch automatisches Snapping gemacht werden, das heißt die fehlerhafte Linie wird beispielsweise automatisch verkürzt, wenn der Überstand kleiner als ein Sollwert ist. Fehler, welche sich nicht mit einem automatischen Snapping bereinigen lassen, werden markiert und dem Bearbeiter zur genaueren Ansicht angezeigt.

Sämtliche Folgeprodukte der MZK profitieren ebenfalls von dieser Vereinfachung. So kann beispielsweise aus den generalisierten MZK Daten ad hoc auch ein generalisiertes Baukörpermodell erstellt werden.

Die Umsetzung erfolgte mittels ESRI ArcGIS 9 und VisualBasic for Applications (VBA). Die Wahl fiel auf VBA, weil damit ein schnelles Testen kleinerer Programmteile möglich ist und keine eigene Entwicklungsumgebung notwendig ist. Zusätzlich ist es sehr einfach den Sourcecode nach Abschluss der Programmierarbeit auf VisualBasic .NET zu portieren, um eine vollwertige Extension für ArcGIS zu erzeugen.

Die einzelnen Programmteile wurden als Funktionen implementiert, da somit größtmögliche Modularität und Wiederverwendbarkeit gewährleistet ist. Ein Frontend, welches Eingaben vom Benutzer entgegen nimmt, steuert diese Funktionen. Der Ablauf des Programms sieht vor, dass die oben genannten Schritte der Reihe nach abgearbeitet werden. Die Reihenfolge ist dabei entscheidend, da eine Funktion jeweils die Ergebnisse der vorherigen Berechnung ausnutzt.

4 ERGEBNISSE UND AUSBLICK

Eine erste Implementierung dieses Prozesses lieferte viel versprechende Ergebnisse. Die generalisierten Daten entsprechen bereits in hohem Maß den Erwartungen. Eine starke Reduktion von Punkten und Linien und das Zusammenfassen einzelner Features bringen eine erhebliche Ersparnis im Speicherbedarf der Daten. In innerstädtischen Gebieten werden ungefähr ein Drittel aller Punkte eingespart und circa zwei Drittel aller Linien. Dabei kann man von einer Ersparnis im Speicherbedarf von circa 60 – 70 % ausgehen. Aber auch das optische Erscheinungsbild der Daten für Maßstäbe ab 1:2000 wird signifikant verbessert. Das Kartenbild wirkt ruhiger und nicht mehr überladen und eignet sich somit hervorragend für die rasche Bearbeitung größerer Gebiete und die Beantwortung räumlich ausgedehnter Fragestellungen.

Der weitere Verlauf des Projektes sieht eine Justierung der einzelnen Parameter vor. Auch ist eine Erweiterung der Liste von vordefinierten Mustern denkbar. Ausserdem wurde angedacht die Höheninformation des Blockmodells einer separaten Generalisierung zu unterziehen, um auf diesem Weg auch das dreidimensionale Erscheinungsbild des Modells neuen Verwendungszwecken zuzuführen. Momentan liegt der Fokus der Analyse der einzelnen Features auf den Baublöcken. In einer nächsten Erweiterung soll auch der Straßenraum detailliert untersucht werden.

Es bleibt abzuwarten, welche Auswirkungen diese neuen Möglichkeiten auf die Produktpalette und die Dienstleistungen der MA41 haben. Die Vielseitigkeit von derart veränderten Daten liegt auf der Hand. So kann beispielsweise ein generalisierter Datensatz von ganz Wien, welcher zur Evidenzhaltung in den Aktualisierungszyklus eingebunden wurde, für eine Fülle von Anwendungen verwendet werden. Insbesondere die Webapplikationen des Magistrats, wie zum Beispiel die Basisdaten für die Stadtplansuche, können in hohem Ausmaß von diesem optimierten Datensatz profitieren.

5 LITERATUR

- Belada, P. (1994). Die Mehrzweckstadtkarte, geometrische Grundlage für das Wiener GIS - Stand des Projektes. AGIT, Salzburg.
- Dorffner, L. und A. Zöchling (2003). Das 3D Modell von Wien – Erzeugung und Fortführung auf Basis der Wiener Mehrzweckkarte. CORP, Wien.
- Douglas, D. H. und T. K. Peucker (1973). "Algorithms for the reduction of the number of points." *The Canadian Cartographer* 10: 112-122.
- ESRI (1996). *Automation of Map Generalization - The Cutting-Edge Technology*. ESRI White Paper Series, Environmental Systems Research Institute.
- Gold, C., D. Thibault und Z. Liu (2001). *Map Generalization by Skeleton Retraction*. International Cartographic Conference (ICC 2001), Int. Cartographic Association.
- Harrie, L. (2004). *Using Simultaneous Graphic Generalisation in a System for Real-Time Maps*. ICA Workshop on 'Generalisation and Multiple representation' 20-21 August 2004, Leicester.
- Harrie, L. und T. Sarjakoski (2002). "Simultaneous Graphic Generalization of Vector Data Sets." *GeoInformatica* 6(3): 233-261.
- Meng, L. (2002). *Generalisierung von Geodaten – Notwendigkeiten, Möglichkeiten und Hemmnisse*. München, Technische Universität München.
- Steiniger, S. und S. Meier (2004). "Snakes: a technique for line smoothing and displacement in map generalisation."
- Ware, M. J., C. B. Jones und N. Thomas (2003). "Automated map generalization with multiple operators: a simulated annealing approach." *International Journal of Geographical Information Science* 17(8): 743-769.
- Weibel, R. (1995). *Three essential building blocks for automated generalization*. London, Taylor and Francis.
- Weibel, R. (1997). *Generalization of Spatial Data: Principles and Selected Algorithms*. Algorithmic Foundations of Geographic Information Systems. M. v. Kreveld, J. Nievergelt, T. Roos und P. Widmayer. Berlin, Springer Verlag: 99-152.