

# Hierarchisches Modellieren mit MapModels

Leopold RIEDL und Robert KALASEK

## Zusammenfassung

MapModels ist eine am Institut für Stadt- und Regionalforschung der TU Wien entwickelte visuelle Modellierungsumgebung auf Basis von ArcView und wurde in der Version 2 um die Möglichkeit zur Hierarchisierung (Schachtelung) von Modellen erweitert (SRF, 2002).

## 1 Visuelle Programmierung (VP)

Generell bringen visuelle Repräsentationen Vorteile bei der Modellierung von Prozessen und Zusammenhängen. Vor allem bei der Formalisierung komplexer Strukturen bieten Diagramme einen intuitiveren Zugang zur abgebildeten Information als z.B. rein textliche Beschreibungen gleichen Inhalts (HIRAKAWA et al, 1994).

Während übliche graphische Editierwerkzeuge in erster Linie die Darstellung eines Modells unterstützen, ergänzt MapModels diese um Steuerungs- und Ausführungsmechanismen. Entsprechend den an VP-Systeme gestellten Anforderungen sind Ablaufdiagramme aus Objekten aufgebaute, interaktiv spezifizier- und modifizierbare Modelle, die innerhalb der Benutzerumgebung auch ausführbar sind und konkrete Resultate berechnen (MENZIES, 1998).

VP erfolgt in MapModels durch die Auswahl von Analysebausteinen aus einem (prinzipiell erweiterbaren) Funktionsbestand und deren Platzieren als Knoten im Modell (RIEDL et al, 1998). Die Abfolge der Analyseoperationen erfolgt über gerichteten Kanten, welche mittels Drag-and-Drop zwischen Knoten eingegeben werden. Knoten und Kanten veranschaulichen den Datenfluss indem die Ergebnisse einer Analyseoperation die Eingangsgrößen allfällig nachfolgender Operationen bilden. Speziell inhaltlich orientierten Benutzern, deren Interesse primär dem Analyseergebnis gilt und weniger dem Erlernen einer konventionellen textlichen Programmiersprache, erleichtert dieser Ansatz wesentlich die Aufgabe, konzeptionelle Aspekte des Modells zu erfassen und dabei gleichzeitig praktisch umzusetzen.

## 2 Praxis

Die Stärken von VP haben sich in zahlreichen auf Basis von MapModels (Version 1) realisierten Projekten gezeigt. Nachfolgend sind ausgewählte Beispiele aus sehr unterschiedlichen Anwendungsbereichen angeführt: Entscheidungsunterstützung im Waldbau (RIEDL et al. 2000), Verbreitung von Brutvögeln in Österreich (PLUTZAR et al, 1999), Siedlungsentwicklung in China (PLUTZAR et al, 2000), Kommunale Planung (SANOPOULOS et al, 2001), Landnutzungsklassifizierung aus Satellitenbilddaten (TÖTZER et al, 2000), Standortsuche für Windkraftanlagen (KONRAD et al, 2001).

Intensiv genutzt wurde die Möglichkeit, ein Analysemodell einmal aufzubauen und danach mit unterschiedlichen Eingangsdaten auszuführen. Auf diese Art und Weise können erprobte Analyseverfahren auf verschiedene Raumausschnitte angewandt werden. Ebenso bewährte sich der direkte Zugriff auf die in den Modellknoten festzulegenden Parameter, was im eigentlichen Analyseprozess ein hohes Maß an Interaktivität und Flexibilität erlaubt.

Vergleichbare Ansätze wurden im Kontext raumbezogener Analyse sowohl theoretisch erörtert (ALBRECHT et al, 1996; KIRBY et al, 1990) als auch in unterschiedlichen GIS-Umgebungen implementiert. An dieser Stelle sei auf Produkte wie ERDAS mit dem Spatial Modeler (ERDAS, 1994) oder Idrisi's Macro Modeler (IDRISI32, 2002) verwiesen. Auch ESRI geht mit dem Model Builder der Spatial Analyst-Erweiterung 2.0 von ArcView (ESRI, 2002) einen ersten Schritt in diese Richtung.

### **3 Erfahrungen**

Die Rückmeldungen aus dem praktischen Einsatz von MapModels bestätigen grundsätzlich den eingeschlagenen Weg. Der klare Eindruck vom Analyseablauf mit den daran beteiligten Objekten und deren funktionalen Abhängigkeiten, den die graphische Darstellung zu vermitteln im Stande ist, wird von den meisten Anwendern als Vorteil gegenüber konventionellen menü- oder kommandozeilen-orientierten Systemen wahrgenommen und geschätzt.

Einerseits wächst der Nutzen der graphischen Repräsentation mit der Modellkomplexität, andererseits setzen Faktoren wie die verfügbare Zeichenfläche (→Bildschirm!) oder die perceptiven und kognitiven Aspekte menschlicher Informationsverarbeitung den Darstellungsmöglichkeiten deutliche Grenzen (MILLER, 1956). Die bisherigen Erfahrungen belegen einen Zusammenhang zwischen der Interpretierbarkeit komplexer Modelle und der Anzahl von Funktionsknoten und Verknüpfungen. Positive Effekte der bildhaften Darstellung verkehren sich ins Gegenteil, wenn die Analysestruktur nicht mehr einfach ablesbar ist.

### **4 Hierarchisierung: Konzept der Submodelle**

Es bedarf daher eines Ansatzes, der es erlaubt, Gruppen von Funktionen zu Teilmodellen zusammenzufassen und diese wiederum – abstrahiert zu einem einfachen Modellknoten – aus anderen Teilmodellen aufzurufen. Bisher waren VP-Systeme im GIS-Umfeld, die Erweiterungsmöglichkeiten des Funktionsumfangs durch benutzerdefinierte Scripts oder die Schachtelung von Funktionen anbieten, nicht vorhanden.

Ähnlich Unterprogrammen in konventionellen Programmiersprachen fungieren Submodelle in MapModels (Version 2) als Sammlung inhaltlich oder funktional zusammengehöriger Teile eines Analysemodells. Auf Ebene des Submodells wird eine formale Ein-/Ausgabeschnittstelle definiert, welche beim Aufruf aus der übergeordneten Ebene durch entsprechende konkrete aktuelle Werte ersetzt wird.

Dieses Design gewährleistet hohe Flexibilität, indem es dem Benutzer erlaubt, auch komplexe Analysemodelle durch den Einsatz von hierarchisch organisierten Teilmodellen

übersichtlich und damit – ganz nebenbei – gut interpretier- und wartbar zu erhalten. Darüber hinaus hilft es durch Mehrfachnutzung bereits vorhandener, in Submodellen implementierter Funktionalität die sonst auftretenden Redundanzen im Modell zu vermeiden. Ein Teilproblem wird also nur *einmal* als Submodell abgebildet und beliebig oft in verschiedene andere Modelle eingebettet.

## 5 Beispiel

Standortbewertung und -suche sind klassische GIS-Anwendungen. Sie erfolgen meist auf der Basis von mehreren Faktoren und Randbedingungen (*factors and constraints*, siehe z.B. EASTMAN et al, 1995). Abbildung 1 zeigt ein denkbare vereinfachtes Bewertungsszenario.

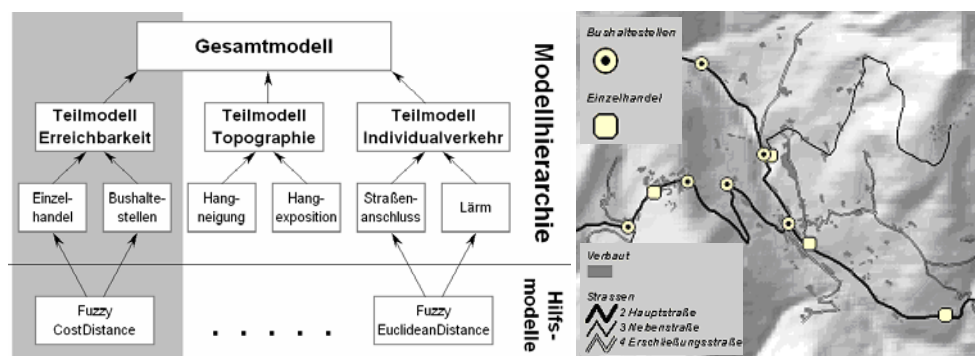


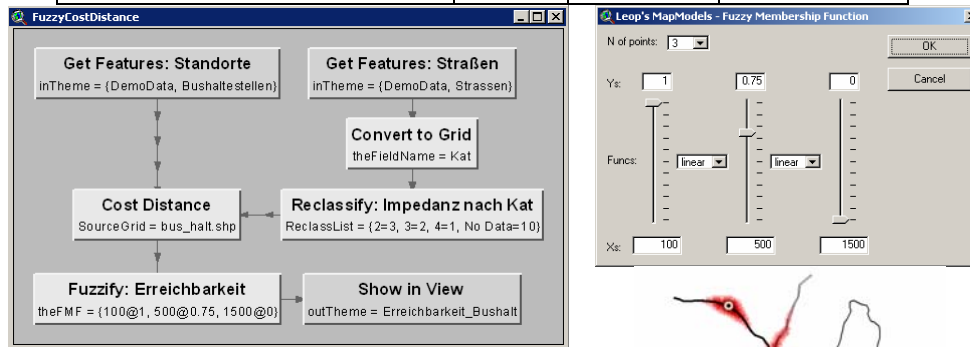
Abb. 1: Beispiel einer Modellhierarchie zur Standortbewertung und Beispielsregion

Die Gesamtbewertung wird in diesem hypothetischen Beispiel aus drei Teilbewertungen abgeleitet (Erreichbarkeit, Topographie und Individualverkehr), welche ihrerseits auf entsprechenden untergeordneten Faktoren aufbauen. Dieser hierarchische Modellaufbau wird in der Folge anhand des Teilmodells „Erreichbarkeit“ (Abbildung 1 grau unterlegt) exemplarisch Schritt für Schritt entwickelt. Gegeben sei eine Region mit Höhenmodell, Straßen, Bushaltestellen und Standorten von Einzelhandelseinrichtungen (Abbildung 1 rechtes Bild).

Die Erreichbarkeit von Bushaltestellen wird über einen CostDistance-Ansatz modelliert: Hierbei wird für jede Rasterzelle der kürzeste Weg zum nächsten Zielobjekt gesucht, wobei die Kosten zur Wegüberwindung in Abhängigkeit von der Straßenkategorie durch Aufsummieren von Impedanzen (Widerstandswerten) ermittelt wird. Dieser Idee liegt folgende Überlegung zu Grunde: Eine höherrangige Straße wird von einem Fußgänger aufgrund ihres höheren Verkehrsaufkommens eher gemieden, wohingegen er entlang einer Nebenstraße bereit ist, längere Strecken zurückzulegen. Im Gegenteil hierzu wird der Autofahrer die höherrangigen Straßen bevorzugen, um schneller zu seinem Ziel zu gelangen (siehe Tabelle 1). Der Widerstand für Nicht-Straßenzellen wird auf einen vergleichsweise hohen Wert (hier im Beispiel: 10) gesetzt und fungiert als eine Art Barriere.

**Tab. 1:** Über Reclassify berechnete Widerstände zur Wegüberwindung einer Rasterzelle

Straßenkategorie	Wert	Impedanzen (Widerstände)	
		zu Fuß	per Auto
Hauptstraße (2. Ordnung)	2	3	1
Nebenstraße (3. Ordnung)	3	2	2
Erschließungsstraße (4. Ordnung)	4	1	3
keine Straße	No Data	10	10



**Abb. 2:** Erreichbarkeitsmodell für Bushaltestellen  
*links oben: MapModel,*  
*rechts oben: Fuzzy Membership,*  
*rechts unten: Ergebnis (fußläufig; siehe Text)*

Anschließend erfolgt eine Transformation dieser Kostenwerte in Erreichbarkeitswerte mit Hilfe einer sog. *Fuzzy Membership Function*. Das Ergebnis liegt im Bereich zwischen 1 (gut erreichbar, dunkle Signatur in Abbildung 2) und 0 (nicht erreichbar, helle Signatur). Wenn nun ein Modell zur Abbildung von Versorgungsqualität basierend auf der Erreichbarkeit von Bushaltestellen *und* Einzelhandelseinrichtungen erstellt werden soll, dann läge es nahe das obige Modell einfach zu duplizieren, die Parameter entsprechend anzupassen, und die beiden Teilergebnisse zu einer Gesamterreichbarkeit zu verknüpfen, was jedoch die erwähnten Probleme nach sich zieht (Redundanz, Platzbedarf, Unübersichtlichkeit). Eleganter ist der zweimalige Aufruf des Modells FuzzyCostDistance mit unterschiedlichen Eingabeparametern, da ja beiden Fällen die gleiche Modellstruktur zu Grunde liegt. Prinzipiell kann jeder Ein- und Ausgabeparameter eines MapModels-Knotens als Übergabeparameter definiert werden. Für die Beantwortung der o.g. Fragestellungen müssen drei Parameter variabel gehalten werden: Zielstandorte, Impedanzen und Fuzzifizierung. Die Festlegung, welche der Eingabeparameter als variable Parameter für das Gesamtmodell fungieren sollen, erfolgt über eine spezielle Dialogbox, welche dem Anwender zu jedem Knoten die potentiellen Input- und Outputparameter zur Auswahl anbietet (Abbildung 3).

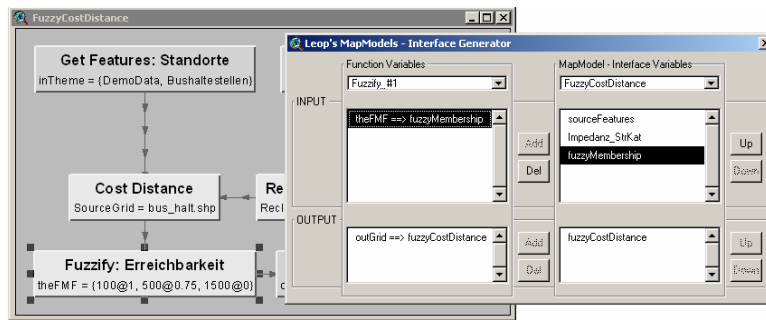


Abb. 3: MapModels Interface Generator (Dialogbox zur Schnittstellendefinition)

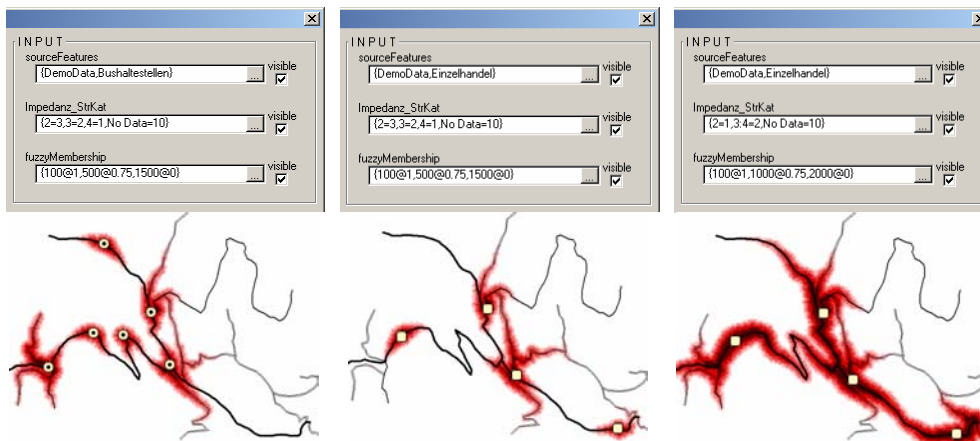


Abb. 4: Verschiedene Aufrufe des Submodells „FuzzyCostDistance“  
 links: Bushaltestellen (fußläufig); Mitte: Einzelhandel (fußläufig); rechts: Einzelhandel (mit Auto); oben: Dialogbox mit den aktuellen Parameter; unten: Ergebnis des Modells.

Die linke Hälfte der Dialogbox in Abbildung 3 zeigt die In- und Outputs des markierten Modellknotens an (hier: „Fuzzify: Erreichbarkeit“). Mit der Schaltfläche „Add“ werden diese als Parameter des Modells festgelegt und mit „Del“ wieder aus der Parameterliste entfernt. Optional können Parameter bei ihrer Definition umbenannt werden (z.B. outGrid → fuzzyCostDistance).

Das Submodell „FuzzyCostDistance“ wird danach zweimal in die übergeordnete Modellebene „Teilmodell Erreichbarkeit“ eingebettet und mit jeweils unterschiedlichen aktuellen Parameterwerten versehen (siehe Abbildungen 1, 4 und 5). Die Verknüpfung der beiden Teilergebnisse erfolgt mittels *Fuzzy Overlay*. Der Faktor *gamma* regelt das Ausmaß der wechselseitigen Kompensation der eingehende *Fuzzy Sets*: *gamma*=0 bewirkt keine Kompensation und entspricht somit einem logischen UND, *gamma*=1 entspricht voller Kompensation, also einem logischen ODER (siehe BENEDIKT et al, 1999).

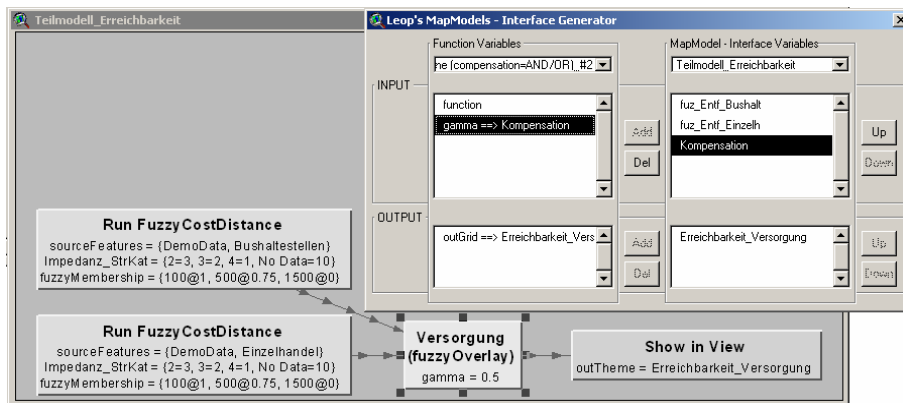


Abb. 5: MapModel „Teilmmodell Erreichbarkeit“ mit Schnittstellendefinition

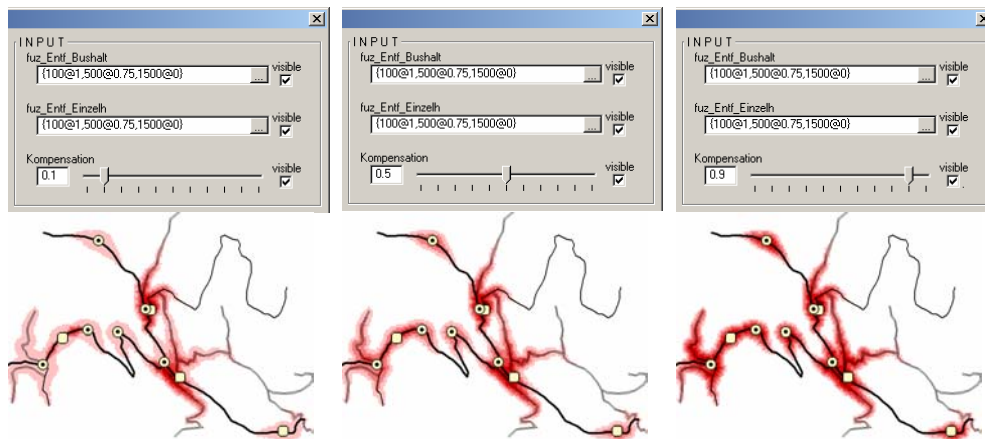


Abb. 6: Ergebnisse des MapModels „Erreichbarkeit“ (fußläufig)  
 von links nach rechts mit zunehmend kompensatorischer Verknüpfung: 0.1 → 0.5 → 0.9

Dieses MapModel wird nun in ein Gesamtmodell als einfacher Knoten mit drei Ein- und einem Ausgabeparameter eingebettet. Mögliche Resultate zeigt Abbildung 6. Analog könnten nun die beiden Teilmodelle „Topographie“ und „Individualverkehr“ implementiert und mit dem soeben erstellten Modell verknüpft werden (z.B. durch gewichtete Überlagerung).

## 6 Conclusio, weitere Features und Ausblick

Die Modularisierung und Hierarchisierung von Modellen verbessert die Nachvollziehbarkeit und Wartbarkeit von räumlichen Analysemodellen. Weiters bietet MapModels 2 die projektübergreifende, gemeinsame Nutzung von (Teil-)Modellen in Form von Modellbibliotheken an (*model sharing*). Andere Weiterentwicklungen gegenüber der Version 1 sind:

- Möglichkeit zum Copy/Paste von Modellteilen innerhalb und zwischen Modellen,

- MapModels 2 steht als ArcView-Extension (\*.avx) zur Verfügung,
  - überarbeitete optische Umsetzung im graphischen Benutzer-Interface,
  - Funktionen können farbkodierten, hierarchisch organisierten Klassen zugeordnet werden.
- In weiterer Folge ist die Verwaltung von sog. Szenarios geplant. Diese Funktionalität bewirkt die gleichzeitige Veränderung eines Bündels von Modellparametern, was z.B. beim Vergleich verschiedener Modellvarianten praktisch sein sollte (*what-if-analysis*).

## 7 Workshop und Danksagung

Nach einer Einführung in die VP mit MapModels wird das Anwendungspotential anhand des Beispiels aus Abb. 1 online demonstriert. Den zweiten Teil bildet eine konkrete Anwendung aus der ökologischen Planung in Form einer Bewertung wasserbaulicher Maßnahmen zur Anhebung des (Grund-)Wasserspiegels entlang der Iller (Referentin: Petra Thres, TGU-Koblenz, der die Autoren herzlich für ihre wertvollen Kommentare & Anregungen danken).

## 8 Literatur

- ALBRECHT J., BRÖSAMLE H., EHLERS M. (1996): *VGIS – a Graphical Front-End for User-Oriented Analytical GIS-Operations*, in: Kraus, Waldhäusl (Hrsg.): Proceedings of the 18th Congress of ISPRS, Vienna, Austria, 1996.
- BENEDIKT J., REINBERG S., RIEDL L. (1999): *Sprechen Sie Geographie? – Operationalisierung natürlich-sprachlicher geographischer Konzepte mit visuell-sprachlichen EDV-Werkzeugen*. In: Stobl/Blaschke (Hrsg.): AGIT XI, Salzburg 1999.
- EASTMAN J.R., KYEM P., TOLEDANO J., JIN W. (1995): *GIS and Decision Making*, United Nations Institute for Training and Research (UNITAR), Geneva, Switzerland.
- ERDAS (1994): *Imagine Production Tour Guides*, ERDAS IMAGINE Ver.8.1, Erdas Inc., Atlanta, Georgia, 1994.
- ESRI (2002): *ModelBuilder*. In: <http://www.esri.com>; (last visited: April 2002).
- HIRAKAWA M., ICHIKAWA T. (1994): *Visual Language Studies – A Perspective*. Software Concepts and Tools, Vol. 15/1994.
- Idrisi32 (2002): *Macro Modeler*. In: <http://www.clarklabs.org> (last visited: April 2002)
- KIRBY C., PAZNER M. (1990): *Graphic Map Algebra*. In: Brassel, Kishimoto (Hrsg.): Proceedings of the 4<sup>th</sup> Symposium on Spatial Data Handling, Zürich, 1990.
- KONRAD C., RIEDL L. (2001): *Frische Brise – GIS-gestützte Standortsuche für Windkraftanlagen im Nordschwarzwald*. In: GeoBIT 8/2001, Wichman Verlag.
- MENZIES T. (1998): *Evaluation Issues for Visual Programming Languages*. AI-Department, School of Computer Sciences and Engineering, <http://www.cse.unsw.edu.au>, 1998
- MILLER G. (1956): *The Magical Number Seven, Plus or Minus Two: Some Limits on Our Capacity for Processing Information*. In: The Psychological Review, 1956, vol. 63, pp. 81-97 (accessed in April 2002 via <http://www.well.com/user/smalin/miller.html>).
- PLUTZAR C., GRÜBLER A., STOJANOVIC V., RIEDL L., POSPISCHIL W. (2000): *A GIS-based Approach for Modeling the Spatial and Temporal Development of Night-time Lights*. In: Stobl/Blaschke/Griesebner (Hrsg.) AGIT XII, 2000, Wichmann Verlag, Heidelberg.

- PLUTZAR C., MOSER D., RIEDL L., SAUBERER N. (1999): *Modellierung der potentiellen Verbreitung von Brutvögeln in Österreich mit MapModels*. In: Strobl/Blaschke (Hrsg.) AGIT XI, 1999 Wichmann Verlag, Heidelberg.
- RIEDL L., KALASEK R. (1998): *MapModels – Programmieren mit Datenflussgraphen*. In: Strobl/ Dollinger (Hrsg.): AGIT X, 1998, Wichmann Verlag Heidelberg.
- RIEDL L., VACIK H., KALASEK R. (2000): *MapModels: a new approach for spatial decision support in silvicultural decision making*. In: Computers and Electronics in Agriculture 27, pp 400-412.
- SANOPOULOS A., RIEDL L. (2001): *FläwiCheck – GIS-gestützte Überprüfung von Flächenwidmungsplänen*. In: M. Schrenk (Hrsg.): Beiträge zum Symp. Corp2001, Wien 2001.
- SRF (2002): <http://srf.tuwien.ac.at/MapModels/MapModels.htm>. MapModels-Homepage mit Download der Demoversion, Demodaten und Dokumentation.
- TGU-Koblenz (2002): <http://www.tgu-online.de>. Homepage der TGU – Technologieberatung Grundwasser und Umwelt GmbH, Koblenz (last visited: April 2002).
- TOMLIN C. D. (1990): *Geographic Information Systems and Cartographic Modelling*. Prentice-Hall, Englewood Cliff, New Jersey, 1990.
- TÖTZER T., RIEDL L., STEINNOCHER K. (2000): *Räumliche Nachklassifikation von Landbedeckungsdaten mit MapModels*. In: M. Schrenk (Hrsg.): Beiträge zum Symposium Corp2000, Wien, 2000.