Zeitschrift: Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik : VPK = Mensuration, photogrammétrie, génie rural

Herausgeber: Schweizerischer Verein für Vermessung und Kulturtechnik (SVVK) = Société suisse des mensurations et améliorations foncières (SSMAF)

Band: 99 (2001)

Heft: 3

Artikel: Modellierung von unscharfen raumbezogenen Phänomenen mit Anwendungsmustern und Normen

Autor: Keller, S.F. / Gnägi, H.R.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-235748

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 23.08.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Modellierung von unscharfen raumbezogenen Phänomenen mit Anwendungsmustern und Normen

Geodatenmodellierung und systemneutrale Schnittstellendienste (die sogenannte «modellbasierte» Methode) sind entscheidende Faktoren für interoperable Geoinformationssysteme und nachhaltige, geoinformationsverarbeitende Anwendungen. In diesem Beitrag wird gezeigt, dass diese modellbasierte Methode auch auf unscharfe raumbezogene Phänomene angewendet werden kann. Es werden drei sogenannte «Anwendungsmuster» vorgeschlagen, die mit den genormten Datenbeschreibungssprachen UML und INTERLIS dokumentiert werden. Der INTERLIS-Text dient dabei als zentrale Definition und notwendige Verbindung zu systemneutralen Schnittstellendiensten, wie z.B. XML. Am Schluss werden zwei Anwendungsbeispiele aus der Raumplanung gezeigt.

La modélisation des données spatiales et les systèmes d'interfaces neutres (méthode basée sur un modèle) sont des facteurs déterminants pour des systèmes d'information géographique inter-opérables et une application durable des informations géographiques. Dans l'article suivant, il est démontré que la méthode basée sur un modèle peut également être appliquée à des phénomènes géoréférencés imprécis. Trois «échantillons d'application» sont proposés qui peuvent être documentés avec les langages de description de données normalisés UML et INTERLIS. Le texte INTERLIS sert dans ce cas comme définition centrale et constitue la liaison nécessaire pour les systèmes d'interfaces neutres, comme par exemple XML. In fine, deux exemples d'application sont présentés dans le domaine de l'aménagement du territoire.

La modellizzazione di geodati e le interfacce indipendenti dai sistemi (i cosiddetti metodi basati su un modello) sono dei fattori determinanti per dei sistemi d'informazione geografica «interoperabili» e delle applicazioni durevoli di elaborazione delle geoinformazioni. In questo contributo si dimostra che questi metodi basati su un modello sono applicabili anche quando i limiti di un determinato fenomeno legato al territorio non sono netti. Si propongono tre modelli applicativi, documentati con i linguaggi normalizzati di descrizione dei dati UML e INTERLIS. Il testo INTERLIS serve come definizione centrale e collegamento necessario con i servizi d'interfaccia indipendenti, come per es. XML. Alla fine, si presentano due esempi di applicazioni presi dalla pianificazione del territorio.

S.F. Keller, H.R. Gnägi

1. Einführung

Zusammen mit der Entwicklung der Informatik- und Kommunikationstechnologien nimmt die Zahl und die Bedeutung der Geoinformationssysteme (GIS), bzw. der geoinformationsverarbeitenden Anwendungen (GIV-Anwendungen) ständig zu. Immer mehr Planungs- und Entscheidungsaktivitäten stützen sich auf Daten mit Raumbezug, sogenannte Geodaten. Unsere Erfahrungen haben gezeigt, dass Geodatenmodellierung und systemneutrale Schnittstellendienste – d.h. die sogenannte «modellbasierte» Methode – der entscheidende Faktor sind für erfolgreiche und nachhaltige GIV-Anwendungen [6].

In diesem Beitrag wird erläutert, wie die modellbasierte Methode auf unscharfe raumbezogene Phänomene angewendet werden kann. Wir schlagen drei sogenannte «Anwendungsmuster» vor, die mit genormten Datenbeschreibungssprachen dokumentiert werden. Anschliessend werden zwei Anwendungsbeispiele aus der Raumplanung gezeigt.

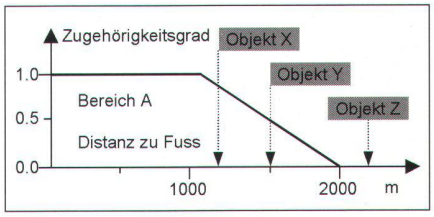

Abb. 1: Zugehörigkeitsfunktion (Sicherheit) am Beispiel des Distanzkriteriums «Zumutbarer Arbeitsweg».

Im Hinblick auf eine nachhaltige Geodatenbewirtschaftung ist es wichtig, dass Fachleuten Klarheit über die genaue Struktur und die Bedeutung (Semantik) der Daten besteht. Auf internationaler Ebene führten solche Überlegungen zur grafischen Beschreibungssprache Unified Modeling Language (UML). Der Datentransfer ist damit allerdings nicht abgedeckt.

In einem Datenmodellierungsprozess ist es daher sinnvoll, in einem ersten formalisierten Schritt UML-Klassendiagramme einzusetzen. Diese Definition wird dann in die praxiserprobte Datenbeschreibungssprache «INTERLIS» [9] umgesetzt. Die Generierung eines Transferformats erfolgt anschliessend automatisch dank Ableitungsregeln [4]. Damit ist es in der Schweiz gelungen, wichtige Forderungen der Interoperabilität zu erfüllen [7].

2. Modellierung von Unschärfe

Viele Übergänge natürlicher Phänomene sind fliessend, wie z.B. das Einzugsgebiet eines Einkaufszentrums oder Schadstoffablagerungen. Diesen Phänomenen stehen rechtlich-ökonomische Bedürfnisse gegenüber, welche in der Regel diskrete Werte verlangen, wie z.B. «parzellenscharfe», verbindliche Bauzonen.

Die Theorie der Fuzzy-Logik verspricht nun, die Analyse und Synthese von (raumbezogenen) Phänomenen mit qualitati-

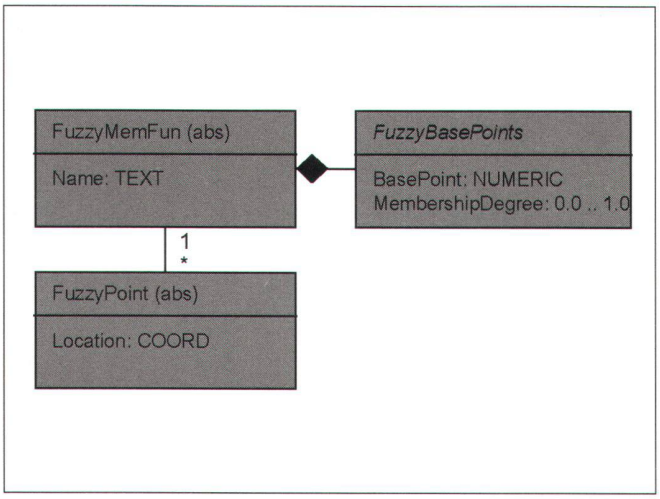

Abb. 2: Das Anwendungsmuster FuzzyPoint.

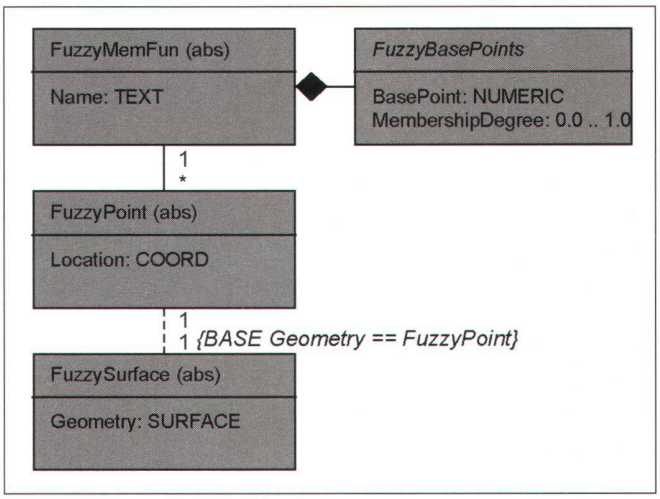

Abb. 3: Das Anwendungsmuster FuzzySurface.

ven Aspekten der Unschärfe zu erweitern [11]. Zentrales Element dabei sind die unscharfen Mengen (fuzzy sets). Über eine Zugehörigkeitsfunktion (fuzzy membership function, auch Sicherheit oder Schärfe genannt) wird – im Gegensatz zur konventionellen zweiwertigen Booleschen Logik – die partielle Zugehörigkeit eines Elements zu einer unscharfen Menge bewertet. Diese Werte werden im Bereich zwischen Null (= keine Zugehörigkeit) und Eins (= volle Zugehörigkeit) angegeben.
Es können Aussagen wie folgt diskretisiert werden (aus [1], S.195):

- Objekt X gehört wahrscheinlich zu Bereich A.
- Objekt Y gehört vielleicht zu A oder B.
- Objekt Z gehört sicher nicht zu Bereich A.

Als Beispiel sei das Distanzkriterium «Zumutbarer Arbeitsweg» angeführt, z.B. von einer öffentlichen Verkehrshaltestelle zum Arbeitsplatz. Nach 1100 Meter sinkt die zumutbare Distanz zu Fuss linear auf 0.0 bei 2000 Meter ab (Abb. 2).
Die Definition von unscharfen Mengen lautet nach [10] (S.3, etwas modifiziert):
Sei X eine Menge von Elementen, die auf Grund einer unscharfen Aussage zu bewerten sind, dann heisst $A = \{ (x, s_A(x)), x \in X \}$ *unscharfe Menge A auf den Elementen von X. Die Zugehörigkeitsfunktion* $s_A: X \rightarrow [0, 1]$, *die jedem Element x aus X eine Zahl* $s_A(x)$ *im Intervall [0,1] zuordnet, repräsentiert den Grad der Zugehörigkeit (Sicherheit, Schärfe) von x zu A; das heisst eine unscharfe Menge kann als Menge geordneter Paare* $(x, s_A(x))$ *betrachtet werden. Besteht der Wertebereich der Zugehörigkeitsfunktion aus der zweielementigen Menge {0,1}, dann ist A der Grenzfall, also eine gewöhnliche Menge und kann als Sonderfall der unscharfen Menge gelten («scharfe» Menge).*

2.1 Zugehörigkeitsfunktionen

Die unscharfen Mengen, bzw. deren Zugehörigkeitsfunktionen sind aus Sicht der Daten der wichtigste Aspekt der Bearbeitung von Unschärfe und von zugeordneten Operationen [11].
Bartelme [1] (S.197) stellt fest, dass die Wahl der geeigneten Zugehörigkeitsfunktion mühsam sein kann. Er verweist aber auch auf die Ähnlichkeit mit Interpolationsfunktionen und den entsprechenden Lösungsansätzen.
Bei der allgemeinen Beschreibung von (Un-) Schärfe (bzw. (Un-) Sicherheit) stützen wir uns auf Arbeiten aus der Elektrotechnikindustrie: anhand des Normenentwurfs 1131-7 des IEC [5] kann die konzeptionelle Beschreibung eindimensionaler, unscharfer Mengen direkt in INTERLIS beschrieben werden. Dazu benötigen wir Stützpunkte:

```
STRUCTURE FuzzyBasePoint (ABSTRACT) =
  BasePoint (ABSTRACT): NUMERIC; !! pi
  MembershipDegree: 0.0 .. 1.0;  !! pj
END FuzzyBasePoint;
```

Wir verwenden die aussagekräftigeren Attributsnamen «BasePoint» und «MembershipDegree» anstelle von «pi» und «pj». Laut IEC 1131-7 sind Zugehörigkeitsfunktionen stückweise linear. Die Stützpunkte («BasePoint»/«MembershipDegree») müssen gemäss ihrer Reihenfolge auf der Trägerlinie angegeben werden, d.h. geordnet nach den Werten des Attributs «BasePoint». Die Zugehörigkeitsfunktion ist linear zwischen aufeinanderfolgenden Stützpunkten. Damit lassen sich die gängigsten Funktionen definieren, beispielsweise eine Rampe wie in Abb. 1. Das Beispiel «Zumutbarer Arbeitsweg» wäre demnach mit den folgenden Stützpunktwerten definiert: (1100, 1.0) (2000, 0.0). Die Klasse FuzzyMemFun der Zugehörigkeitsfunktionen wird mit INTERLIS so beschrieben:

```
CLASS FuzzyMemFun (ABSTRACT) =
  Name (ABSTRACT): TEXT;
  Base: LIST OF
    FuzzyBasePoint;
END FuzzyMemFun;
```

Wir nennen Datenschemata (Datenmodelle) wie FuzzyMemFun «Anwendungsmuster» analog zum «Entwurfsmuster»[3] aus dem Bereich des Software-Engineering.

2.2 Unscharfe Punkte und Flächen

Unschärfe kann auf die thematischen, die geometrischen und die zeitlichen Attri-

bute von Geodaten zutreffen. Nachdem nun mit FuzzyMemFun eine allgemein verwendbare Datenstruktur für thematische bzw. eindimensionale geometrische Attribute vorliegt, können wir uns der Beschreibung geometrischer Attribute von unscharfen Objekten zuwenden.

Die allgemeine Datenstruktur für die Verwaltung einer unscharfen ebenen Punktmenge A muss gemäss der im Abschnitt 2.1 gegebenen Definition einerseits eine Definition der zur unscharfen Menge gehörenden Punkte enthalten (z.B. durch die Angabe des Randpolygons) und andererseits eine Definition der Sicherheit (Zugehörigkeitsfunktion) s_A: $A \rightarrow [0, 1]$. Wir wollen uns hier nun damit begnügen, zwei wesentliche Spezialfälle von Datenstrukturen zu erörtern.

Die erste spezielle Datenstruktur für unscharfe Flächen greift zurück auf eine Feststellung in [1] (S.199):

Es ist offensichtlich, dass [unscharfe] Flächen nicht im üblichen Sinn durch Grenzpolygone repräsentiert werden können, sondern dass eine punktorientierte Speicherung vorzuziehen ist. Dies hat auch konzeptionelle Vorteile: In vielen Themenbereichen, wo Fuzzy-Logik erfolgreich angewendet werden kann, hat man punktförmige Primärdaten, etwa Bodenproben oder ähnliche Messungen mit Stichprobencharakter, vorliegen.

Dem entspricht eine Datenstruktur, welche einer-seits endlich viele Punkte $a_i \in A$ ($i = 1,\ldots,n \in N$) der unscharfen Menge A zusammen mit dem Zugehörigkeitswert $s(a_i)$ ($i = 1,\ldots,n \in N$) an diesen Stellen umfasst und andererseits eine Beschreibung der Interpolationsfunktion $\tilde{s}$ beinhaltet mit Hilfe derselben eine Schätzung $\tilde{s}$ (a)

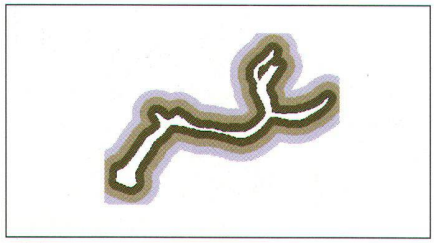

Abb. 4: Das sog. «epsilon-Band» um ein weiss dargestelltes Objekt, dessen unscharfe Grenze mit drei grauen Bändern dargestellt ist (aus: [2]).

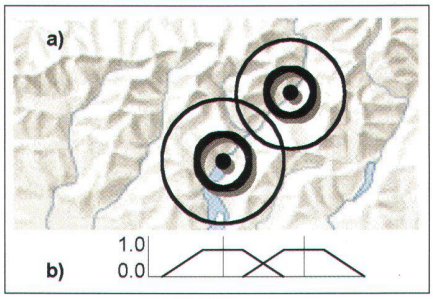

Abb. 5: Erreichbarkeit von Einkaufszentren als Beispiel für das Anwendungsmuster FuzzyPoint. (Grundlagedaten: Copyright Bundesamt für Landestopographie, Wabern.)

an einem beliebigen Punkt $a \in A$ berechnet werden kann. Damit können dann Teilflächen von A mit gleicher Sicherheit (Zugehörigkeitsfunktion) bestimmt werden durch Interpolation, insbesondere der «scharfe» oder «sichere» Teil der unscharfen Menge A:

$$\tilde{A}^* = \{ a \in A \mid \tilde{s}(a) = 1 \}.$$

Die Analogie zum digitalen Geländemodell liegt auf der Hand: auch dort können Flächen gleicher Höhe durch Interpolation aus endlich vielen Punktkoten berechnet werden.

Eine andere spezielle Datenstruktur drängt sich auf für eine spezielle Art von Flächen, bei denen nur der Rand unscharf ist. Praktisch ist dabei zu denken an Fehlerbänder (vgl. das «epsilon»-Band in Abb. 4) oder an Küstenlinien. Das Anwendungsmuster FuzzySurface ist für die Verwaltung von unscharfen Flächenstücken dieser Art vorgesehen. Dieses Anwendungsmuster wollen wir im Detail ansehen. Dazu benötigen wir allerdings unscharfe Punkte.

Als unscharfen Punkt betrachten wir ein kreisförmiges Flächenstück mit dem Punkt als Zentrum, über dessen Radius eine Zugehörigkeitsfunktion definiert ist. Die wiederverwendbare Datenstruktur für die Verwaltung von unscharfen Punkten nennen wir FuzzyPoint. Sie baut auf dem Anwendungsmuster FuzzyMemFun auf (siehe Abb. 2).

Dieses UML-Klassendiagramm wird nun in INTERLIS umgesetzt; dazu müssen u.a. die Attribute mit wohldefinierten Attributtypen präzisiert werden. Der INTERLIS-Text des Anwendungsmusters FuzzyMemFun wurde oben bereits gezeigt; auf weitere explizit festgehaltene Konsistenzangaben verzichten wir an dieser Stelle:

```
CLASS FuzzyPoint (ABSTRACT) =
  FuzzyRadius: -> FuzzyMemFun;
  Location (ABSTRACT): COORD;
END FuzzyPoint;
```

Nun zum Anwendungsmuster FuzzySurface für Flächenstücke mit unscharfem Rand. Wir gehen davon aus, dass der «scharfe» oder «sichere» Teil eines unscharfen Flächenstücks durch seine Randkurve definiert ist und dass der Unschärfeverlauf (oder die Sicherheit oder die Zugehörigkeitsfunktion) von den Stützpunkten dieser Randkurve nach aussen festgelegt wird. Die Wahl der Stützpunkte muss diese Annahme berücksichtigen. Man hätte auch den Rand als Ort grösster Ambivalenz (Zugehörigkeitswert = 0.5) wählen können. Zwischen zwei aufeinanderfolgenden Stützpunkten ist die Zugehörigkeitsfunktion gemäss dem Verlauf der Kante zu interpolieren. Unser Anwendungsmuster hat also zu berücksichtigen, dass das Randpolygon der unscharfen Fläche dieses Typs unscharfe Ecken hat. Daher formulieren wir eine Konsistenzbedingung, welche verlangt, dass die Stützpunkte der Randkurven dem Anwendungsmuster FuzzyPoint entsprechen (vgl. Abb. 3).

Analog zum Anwendungsmuster FuzzyPoint lässt sich aus dem UML-Diagramm die entsprechende INTERLIS-Beschreibung erarbeiten:

```
CLASS FuzzySurface (ABSTRACT)=
  Geometry: SURFACE;
MANDATORY CONSTRAINT
  BASE Geometry
  RESTRICTED TO FuzzyPoint;
END FuzzySurface;
```

Erwähnenswert ist hier die Wahl des Typs SURFACE, der eine Klasse von sich möglicherweise überlappenden Einzelflächen (englisch surfaces, regions) bezeichnet. Man beachte, dass uns INTERLIS bereits bei der UML-Datenbeschreibung zugute

kommt, denn damit ist eine zweckmässige Auswahl von wenigen notwendigen Datentypen wie SURFACE vorgegeben.
Die vorgeschlagene Datenstruktur kann nun beurteilt werden. Abb. 4 zeigt ein Objekt mit unscharfem Rand, bei dem drei Bänder mit verschiedenen Grautönen dargestellt sind. Man beachte, dass die Breiten der Bänder konstant sind, d.h., dass für dieses Objekt offenbar von jedem Stützpunkt der Randkurve ein- und dieselbe Zugehörigkeitsfunktion in Anspruch genommen wird. Bei unserem Anwendungsmuster hingegen kann ein Objekt eine oder mehrere Zugehörigkeitsfunktionen enthalten. Wenn also eine Zugehörigkeitsfunktion für mehrere Stützpunkte gelten soll, dann muss sie nicht dupliziert werden.

3. Anwendungsbeispiele

Mit den drei Anwendungsmustern FuzzyMemFun, FuzzyPoint und FuzzySurface haben wir die notwendige Vorarbeit geleistet, um exemplarisch die Modellierungsmöglichkeiten unscharfer Phänomene zeigen zu können.
In einem ersten Anwendungsbeispiel soll das Einzugsgebiet von zwei Einkaufszentren beschrieben werden. In Abb. 5a ist dieser Sachverhalt mit je zwei konzentrischen Kreisen dargestellt, die den Übergang von «zugehörig» zu «nicht zugehörig» darstellen. In Abb. 5b sind die entsprechenden Zugehörigkeitsfunktionen angedeutet. Zur Verwaltung solcher Daten eignet sich das Anwendungsmuster FuzzyPoint.
Ein zweites Beispiel aus der kantonalen Richtplanung soll den Einsatz des Anwendungsmusters FuzzySurface zeigen. In der Richtplanung sind die Grenzen und Zielsetzungen oft unscharf zu verstehen. Andernfalls wäre eine weitere Bebauung unseres dicht besiedelten Gebietes nicht mehr möglich. Abb. 6 zeigt den Ausschnitt aus einem Richtplan: Ein Naturschutzgebiet (schraffiert) liegt nahe an Landwirtschafts- und Siedlungsgebieten. Verschiedene Fragestellungen könnten sich jetzt bezüglich des Naturschutzgebiets stellen: Wie nahe darf daran gebaut

Abb. 6: Ausschnitt aus einem Richtplan mit Naturschutzgebiet (schraffiert) im Landwirtschafts- und Siedlungsgebiet. (Quelle: Kanton Aargau, www.ag.ch/raumplanung.)

werden? Wo sind touristische Infrastrukturen zu planen? Die entsprechenden Daten können nun mit dem Anwendungsmuster FuzzySurface verwaltet werden.

4. Schlussfolgerungen

Mit UML und INTERLIS können verschiedenste Anwendungsdatenmodelle definiert werden. Datenbeschriebe für («parzellenscharfe») Zonenpläne werden z.B. seit 1996 in mehreren Schweizer Kantonen genutzt.
Mit der Geodatenmodellierung und systemneutralen Schnittstellendiensten haben wir Werkzeuge in der Hand, mit denen auch unscharfe raumbezogene Phänomene nachhaltig verwaltet werden können. Der breiten Anwendbarkeit der Fuzzy-Logik setzt die Datenmodellierung grundsätzlich kaum Grenzen. Das Forschungs- und Anwendungsfeld der Geodatenmodellierung ist daher noch weit offen.

Referenzen:

[1] Bartelme, N. (1995): Geoinformatik – Modelle – Strukturen – Funktionen. Springer Verlag, 414 S. [dritte revidierte Auflage, 2000, 419 S.]

[2] Blaschke, Th. (1997): Unschärfe und GIS: «‹Exakte› Planung mit unscharfen Daten?» In: Schrenk, M. (Hrsg.): Computergestützte Raumplanung – Beiträge zum Symposium CORP'97; Selbstverlag, TU Wien, 39–51. [www.corp.at/corp97/html/blaschke.htm].

[3] Gamma, E., R. Helm, R. Johnson, J. Vlissides (1996): Entwurfsmuster: Elemente wiederverwendbarer objektorientierter Software. Addison-Wesley, 430 S.

[4] Gnaegi, H.R. und S.F. Keller (2000): Best practices in GIS projects: INTERLIS as a tool for communication and geospatial data integration. In: Conference of European Statisticians. Work Session on Methodological Issues Involving the Integration of Statistics and Geography, Neuchâtel, 10–12 april 2000. [www.unece.org/stats/documents/2000.04.gis.htm].

[5] IEC TC65/WG7/TF8 (1997): International Electrotechnical Commission (IEC), Technical Committee No. 65 Industrial Process Measurement and Control Sub-Committee 65 B: Devices. IEC 1131 – Programmable Controllers Part 7 – Fuzzy Control Programming, Committee Draft 1.0, Rel. 1997-01-19. [www.iec.ch].

[6] Kaufmann, J. und J. Dorfschmid (2001 im Druck): Überlegungen zum Nutzen- und Einsparungspotenzial von Geo-Standards, Reihe «Berichte aus der L+T», Nr. 17, Bundesamt für Landestopographie, Wabern. [www.swisstopo.ch].

[7] Keller, S.F. (2000): INTERLIS und OpenGIS. In: Vermessung – Photogrammetrie – Kulturtechnik, 4/2000. [www.vpk.ch].

[9] SNV – Schweizerische Normenvereinigung (1998): SN 612030: INTERLIS – Modellierungssprache und Datentransfermethode, SNV, Zürich–Winterthur [www.snv.ch und www.interlis.ch]

[10] Wolf, W. und G. Peyke (1999): Genauere Aussagen in der Geographie durch Betrachtung der Unschärfe – Plädoyer für eine vermehrte Anwendung der Fuzzy-Theorie. In: Schultz, H.-D. (Hrsg.): Quodlibet Geographicum. Berlin, 159–179.

[11] Zimmermann, H.-J., J. Angstenberger, K. Lieven, R. Weber (1993): Fuzzy-Technologien: Prinzipien, Werkzeuge, Potenziale. VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf.

S.F. Keller
KOGIS – Koordinationsstelle für GIS des Bundes und Eidg. Vermessungsdirektion
Bundesamt für Landestopographie
Seftigenstrasse 264
CH-3084 Wabern
stefan.keller@lt.admin.ch

H.R. Gnägi
Eidg. Technische Hochschule Zürich
Institut für Geodäsie und Photogrammetrie
ETH Hönggerberg
CH-8093 Zürich
gnaegi@geod.baug.ethz.ch