

Verfahren der automatischen Dateninterpretation

Monika Sester, Institut für Kartographie und Geoinformatik, Universität Hannover

Zusammenfassung

Verfahren der Dateninterpretation sind für die Lösung komplexer Fragestellungen bezüglich raumbezogener Daten unerlässlich. In dem Beitrag werden Verfahren und Anwendungen der automatischen Dateninterpretation vorgestellt. Solche Verfahren werden für das automatische „Verstehen“ digitaler Bilder seit langem eingesetzt. Sie sind dort weiterhin allerdings noch Forschungsgegenstand, speziell was die Interpretation sehr komplexer Szenen angeht, etwa kompletten Luftbildern. Dass auch digitale Vektordatenbestände solcher Interpretationsmethoden bedürfen, wird erst in jüngerer Zeit erkannt und untersucht. Nach einer Vorstellung der Komponenten eines Interpretationssystems werden Beispiele für die Interpretation von Vektordaten vorgestellt.

1 Einführung

Generell geht es bei Interpretationsproblemen darum, in einem Datenbestand oder Sachverhalt vorhandenes implizites Wissen explizit zu machen. Die Interpretation raumbezogener Datenbestände erfolgt typischerweise im Bereich der Kartographie, Geoinformatik und der Bildanalyse bzw. Photogrammetrie. Das Lesen einer Karte oder das Betrachten eines Luftbildes erfordert Techniken der Interpretation, die dem Menschen geläufig sind und die er ohne größere Anstrengungen zu vollbringen in der Lage ist. Allerdings ist diese scheinbar einfache Aufgabe keine Selbstverständlichkeit. Betrachtet man Kartenwerke anderer Länder, so stellt sich eine räumliche Vorstellung oft nicht unmittelbar ein. Auch benötigt man eine gewisse Gewöhnung und

Übung, um aus einem Höhenlinienplan direkt die Information über die dritte Dimension sowie Geländeformen zu sehen und zu verstehen. Ähnliches gilt für die Betrachtung von Bildern und das Erkennen von Objekten darin: Nur Bekanntes kann eindeutig identifiziert werden. Soll dieser Vorgang automatisiert werden, so gilt es, das menschliche Verhalten nachzubilden.

Die Schwierigkeit bei der Automation der Bildinterpretation ist offensichtlich. Aus einer Ansammlung von Grauwerten sind Objekte zu detektieren, zu messen und zu benennen, das heißt zu identifizieren. Die Frage stellt sich allerdings, warum auch GIS-Daten ebenfalls einer Interpretation bedürfen. Diese Daten sind ja durch einen Interpretationsschritt (Objekterfassung) in einen digitalen Datenbestand umgesetzt worden, der damit nur interpretierte bzw. bezeichnete Objekte enthält.

Dies bedeutet aber auch, dass die Vorgaben für die initiale Interpretation der Daten (die Erfassung) direkt das Ergebnis beeinflussen. Unterschiedliche Erfassungsvorschriften führen somit zu unterschiedlichen Datenbeständen. Ein topographischer Datenbestand beispielsweise wird mit dem Modell einer topographischen Karte erfasst. Ein GDF-Datensatz dient der Navigation von Fahrzeugen, ihm liegt daher wiederum ein anderes Weltbild zugrunde.

Allerdings lassen sich aus den Daten für andere Anwendungen durchaus noch weitere Informationen ableiten. Beispielsweise kann die Information über eine Siedlung aus der Ansammlung einzelner Gebäude geschlossen werden, ohne dass ein explizites geometrisches Objekt *Siedlung* existiert. Auf ähnliche Weise können aus rein linienhaft modellierten Straßenstücken die Objekte *Kreuzung* identifiziert und nach ihrem Kreuzungsgrad klassifiziert werden. Sollen Datenbestände über die ursprüngliche Ziel- und Aufgabenstellung hinaus genutzt werden, so müssen diese auf der Basis eines anderen Modells oder Weltbildes verstanden bzw. inter-

Deutsche Gesellschaft für Kartographie, Kartographische Schriften, Band 7: Visualisierung und Erschließung von Geodaten. Beiträge des Seminars GEOVIS 2003, 27.–28. Februar 2003, Hannover, 153–161

pretiert werden. So können dann etwa Katasterdaten für die Generierung topographischer Datenbestände genutzt werden, indem ein Modell der topographischen Objekte in den Katasterdaten erstellt und genutzt wird.

Die automatische Interpretation von Geo-Objekten ermöglicht es somit prinzipiell, Datenbestände wieder zu verwenden. Weiterhin erlauben Methoden des *data mining*, gänzlich unbekannt Zusammenhänge in den Daten offenzulegen. Im *spatial data mining* erfolgt ein Fokus auf die Detektion räumlicher Beziehungen (Koperski und Han 1995).

Die Aufgabe der automatischen Interpretation wird mit der zunehmenden Verfügbarkeit digitaler Datenbestände immer dringlicher und stellt eine sehr große Herausforderung, aber auch eine höchst aktuelle Fragestellung dar. Nur dann ist eine Wiederverwendbarkeit der typischerweise sehr aufwändig erhobenen Datenbestände möglich.

In vorliegendem Aufsatz wird zunächst ein Überblick über mögliche Interpretationsverfahren gegeben, wobei der Schwerpunkt auf modellbasierten Ansätzen liegt. Die nötigen Voraussetzungen werden dargelegt. Schließlich wird anhand aktueller Beispiele aus Arbeiten am Institut für Kartographie und Geoinformatik eine Anwendung dieser Verfahren vorgestellt.

2 Interpretationsverfahren

Interpretationsverfahren lassen sich nach überwachten und unüberwachten Verfahren unterscheiden. Zu den unüberwachten Verfahren zählen Cluster-Methoden, die eine Unterteilung von Objekten in unterschiedliche Klassen vornehmen, mit dem Ziel, die Ähnlichkeit innerhalb der Klassen zu maximieren, gleichzeitig aber die Ähnlichkeit zwischen den unterschiedlichen Klassen zu minimieren. In Abschnitt 3.2 wird ein Beispiel für ein unüberwachtes Verfahren gegeben.

Überwachte Verfahren bedürfen typischerweise eines Modells, das mit den zu interpretierenden Daten zur Deckung gebracht wird. In diesem Beitrag erfolgt eine Konzentration auf die überwachten Verfahren. Diese erfordern eine Reihe von Voraussetzungen, die im folgenden beschrieben werden:

die Repräsentation der Modelle, die Gewinnung der Modelle und schließlich die Zuordnung von Modell und zu interpretierendem Datensatz, der eigentliche Interpretationsschritt.

2.1 Modellrepräsentation

Für die modellbasierte Interpretation lassen sich verschiedene Modelltypen unterscheiden: spezifische, generische und parametrische Modelle.

Spezifische Modelle bezeichnen und beschreiben ein einzelnes Realweltobjekt (eine Objektinstanz) und ermöglichen eine eindeutige Identifikation desselben. Die Beschreibungen von Objekten in einem GIS können beispielsweise als spezifische Modelle bezeichnet werden.

Generische Modelle auf der anderen Seite sind sehr allgemein und beschreiben ganze Klassen von Objekten, etwa die Klasse der Gebäude, Tische oder Stühle. Generische Beschreibungen sind sehr flexibel, indem sie ermöglichen, nicht nur jeweils ein bestimmtes Objekt zu beschreiben, sondern alle Objekte einer gegebenen Klasse. Ein Beispiel für eine generische Beschreibung ist etwa eine funktionale Beschreibung: ein Haus ist etwas, das einem Menschen Schutz gewährt, ein Stuhl ist etwas, worauf man sitzen kann (Stark und Bowyer 1991). Diese sehr flexiblen Modelle sind jedoch oft schwierig softwaretechnisch umzusetzen.

Parametrische Modelle sind eine Zwischenform zwischen generischen und spezifischen Modellen. Hier sind die Objekte zum einen sehr allgemein in Form einer Ansammlung von Eigenschaften oder Parametern beschrieben, deren Wertebereiche jedoch frei bzw. in gewissem Rahmen flexibel sind. Ein simples Beispiel ist die Beschreibung eines Rechtecks über seine zwei Parameter Länge und Breite. Mittels dieser einfachen Beschreibung lassen sich alle Arten von Rechtecken modellieren. In ähnlicher Weise können Grundrisse von Gebäuden (Sester und Förstner 1989), Straßen oder auch 3D-Gebäude (Haala 1996) parametrisch sehr effizient modelliert werden.

Entsprechend der jeweiligen Aufgabe sind eher generische oder spezifische Modelle einzusetzen. Für den Allgemeinfall einer Bildinterpretation, wo es um eine Bedeutungszuweisung aller Bildbereiche geht,

sind sicherlich generische Modelle attraktiv. Diese ermöglichen prinzipiell, *alle* in einem Bild enthaltenen Gebäude, Straßen oder Verkehrszeichen zu erkennen. Sollen allerdings ganz bestimmte Objekte identifiziert werden, so müssen diese Objekte mit ihren spezifischen Charakteristika modelliert vorliegen. Ein Beispiel hierfür ist die automatische Registrierung von Luft- oder Satellitenbildern mittels natürlichen oder künstlichen Objekten als Passpunkten (Sester, Hild und Fritsch, 1998, Läbe und Henze 2002).

Die Beschreibungen können in unterschiedlicher Art abgelegt sein und reichen von einfachen Attribut-Wert-Listen bis hin zu reichhaltigen Beschreibungen in Form Semantischer Netze (Quillian 1968). Während erste Form eine sehr flache Struktur darstellt, welche die Objekte primär über ihre Eigenschaften (unäre Attribute) modelliert, können mit semantischen Netzen auch komplexe Beziehungen beschrieben werden, etwa Generalisierung, Teil-von-Hierarchien oder Assoziationen (Jones 1997). Typischerweise gewinnen Geoobjekte erst durch eine Beschreibung des räumlichen Kontexts ihre eigentliche Bedeutung. Ein rotes Rechteck in einem Orthobild des Maßstabs 1 : 10 000 kann zum einen ein Gebäudedach darstellen, andererseits auch einen Tennisplatz. Für eine Entscheidung zwischen diesen Hypothesen muss der Kontext herangezogen werden, etwa das Vorhandensein eines Kamins in der Mitte der Fläche.

Als Merkmale für die Objektbeschreibungen können jegliche Arten von charakteristischen und diskriminierenden (unterscheidenden) Eigenschaften in Frage. Im Falle von Bildern sind es die Grau- oder Farbwerte der Bildelemente oder abgeleitete geometrische Größen wie Kantenelemente, Richtung, Form, Länglichkeit usw. Falls vorhanden, können natürlich auch thematische Informationen eingesetzt werden. Als weitere Charakteristika können auch Relationen genutzt werden, etwa die Distanz zwischen zwei Objekten oder topologische Relationen wie das Enthaltensein.

2.2 Modellakquisition

Die Gewinnung der benötigten Modelle ist auf mehrere Arten möglich. Zunächst können die Modelle „von Hand“ aufgestellt werden. Dies ist eine adäquate und viel praktizierte Möglichkeit, wenn die

Art der Objekte klar ist, ihre Eigenschaften bekannt sind und die Anzahl der zu modellierenden Objekte überschaubar bleibt. Die gewählten Objekteigenschaften müssen spezifisch und diskriminierend genug sein, um eine schnelle und eindeutige Interpretation zu ermöglichen. Weiterhin können existierende Modelle, etwa die spezifischen Modelle eines GIS-Datenbestands, gewählt werden.

Die Festlegung von Modellbeschreibungen, das heißt die Entscheidung über die Art der Modelle und ihre Merkmale, ist jedoch typischerweise nicht trivial. Eine Möglichkeit zur automatischen Gewinnung sind Verfahren des Maschinellen Lernens (Michalski et al. 1984). Es existieren in diesem Teilgebiet der Künstlichen Intelligenz eine Vielzahl von Methoden, die eine automatische Identifikation von klassifizierenden Eigenschaften ermöglichen. In Sester (1995) wird eine Möglichkeit der Nutzung von Lernverfahren für die automatische Bestimmung von Modellen für die Bildanalyse beschrieben.

2.3 Modellzuordnung

Die eigentliche Interpretation kann erfolgen, indem eine bekannte Beschreibung – das Modell – mit der noch nicht interpretierten Beschreibung in Zusammenhang gebracht wird, das heißt zugeordnet oder „gematcht“ wird. Elementare Voraussetzung ist natürlich, dass Modell und zu interpretierender Datenbestand in einer vergleichbaren Repräsentation vorliegen. Eine Zuordnung kann sehr einfach sein, etwa wenn nach einer bestimmten Adresse oder einem Namen gesucht wird, was durch eine einfache Abfrage ermittelt werden kann. Oft lässt sich allerdings durch eine einzige Anfrage kein eindeutiges Ergebnis erzielen, etwa wenn es darum geht, eine Reihenhaussiedlung durch eine charakteristische Anordnung von einer gewissen Anzahl von Gebäuden zu identifizieren. Hier muss eine Korrespondenz zwischen allen Objektteilen bzw. Aspekten der Modellbeschreibung und den zu interpretierenden Daten gefunden werden, ein Vorgang, der typischerweise mittels Suchverfahren gelöst wird (Russell und Norvig 1995). Um die üblicherweise sehr aufwändigen Suchverfahren in ihrer Komplexität zu beschränken, werden Heuristiken eingesetzt, etwa nach den wichtigsten bzw. einzigartigsten Elementen zuerst suchen.

3 Anwendungen von automatischer Dateninterpretation

Im Folgenden werden einige Anwendungen der automatischen Interpretation von Vektordaten skizziert. Anhand von Beispielen wird deren Nützlichkeit belegt.

3.1 Interpretation für on-line-Datenanalyse

Geo-Informationssysteme dienen der Erfassung, Verwaltung, Analyse und Präsentation raumbezogener Daten (Bill 1996). Sie stellen damit Methoden bereit, raumbezogene Datensätze zu inspizieren und durch intelligente Verknüpfung zu neuen Ergebnissen und Erkenntnissen zu kommen. Typischerweise werden in GIS-Produkten eine Reihe von Werkzeugen bereitgestellt, mit welchen interaktiv auch komplexe Analysen durchgeführt werden können. Bei heutigen Systemen liegt der Schwerpunkt auf der Interaktion durch den Nutzer. Ziel einer automatischen Datenanalyse ist es, diese Prozesse zu automatisieren. Damit wird es möglich, automatisch etwa eine Standortanalyse durchzuführen oder einen Planungsaufgabe zu lösen. Voraussetzung sind Methoden und Modelle, die bestehende Daten interpretieren und so neues Wissen ableiten können.

3.2 Interpretation als Voraussetzung für die Generalisierung

Im Bereich der Generalisierung raumbezogener Daten wird schon seit vielen Jahren geforscht. Inzwischen ist eine Reihe von Verfahren entwickelt worden, die auch schon operationell zur Verfügung stehen. Insbesondere Aufgaben der Liniengeneralisierung oder der Generalisierung von Gebäuden lassen sich heute weitestgehend vollautomatisch lösen. Die Ansätze basieren allerdings typischerweise auf der Annahme, dass sich jedes Objekt für sich generalisieren lässt. Dies ist für die angesprochenen Fragestellungen zutreffend. Allerdings gibt es eine Reihe von Problemen, die durch alleinige Betrachtung eines einzelnen Objektes nicht lösbar sind. Die Generalisierung eines Straßennetzes beispielsweise kann nicht allein auf einer Betrachtung der Attribute eines Straßenelements beruhen, sondern muss darüber hinaus die Funktion eines Straßennetzes – die Verkehrsverbindung – mit einbezie-

hen. Weiterhin muss die Aggregation von Siedlungsflächen das einschließende Straßennetz mit berücksichtigen. Die Zuordnung eines Gebäude zu einem Siedlungsgebiet kann nur aus seiner räumlichen Nachbarschaft geschlossen werden. Das bedeutet, dass die Generalisierung eine Interpretation des räumlichen Kontexts erfordert.

In Sester, Anders und Walter (2000) wird ein Verfahren vorgestellt, das aus einem Katasterdatensatz einen Datenbestand geringerer Auflösung – einen topographischen Datenbestand 1 : 25 000 – ableitet. Genutzt wird hier eine Ableitungsvorschrift in Form eines semantischen Netzes, welche auf die Originaldaten angewandt wird. Die eigentliche Interpretation der Daten kann sich in diesem Fall auf thematische Analysen und ein topologisches Nachbarschaftsmaß begnügen, da diese Information bereits ausreicht, die eigentliche Generalisierung in Form der Aggregation durchzuführen.

Im Folgenden wird die Notwendigkeit der Interpretation für die Generalisierungsoperation *Typifizierung* beschrieben. Diese umfasst die Ausdünnung eines Datensatzes mit besonderer Berücksichtigung der räumlichen Verteilung der Objekte. Gegebene Objekte sind dabei so zu reduzieren, dass die räumlichen Verhältnisse der Originalszene erhalten bleiben. Dichte Gebiete sollen weiterhin als solche erkennbar bleiben, genauso wie lockere Anordnungen wahrnehmbar bleiben sollen. Eine Reduktion kann daher nicht zufällig erfolgen, sondern sie muss die unterschiedliche Verteilung der Objekte berücksichtigen. Dafür ist diese jedoch zunächst zu identifizieren. Dies kann mit Hilfe von Cluster-Methoden erfolgen. Der Gesamtprozess untergliedert sich in drei Teile: Zunächst werden mittels Clustering die Gruppen von Objekten bestimmt, die ähnliche Dichtewerte aufweisen. Aus diesen können im zweiten Schritt dann Objekte eliminiert werden. Schließlich müssen die Objekte innerhalb der Gruppen neu verteilt werden, gemäß der ursprünglichen Dichteverteilung. Ein ähnliches Verfahren beschreibt Regnault (1996), allerdings bezogen auf lineare Anordnungen von Objekten.

3.2.1 Cluster-Erkennung

Typische Cluster-Verfahren (auch als unüberwachte Klassifizierung bezeichnet) benötigen Vorinfor-

mation, etwa die Anzahl der zu erwartenden Cluster, die Dichte der Cluster oder Abstände zwischen den Clustern. Solche Schwellenwerte müssen über Erfahrungswerte oder Testläufe mit dem Datensatz ermittelt werden. Wünschenswert sind jedoch Verfahren, die ohne Schwellenwerte auskommen. Anders (2002) entwickelte hierfür ein parameterfreies Clustering-Verfahren, das Regelmäßigkeiten in den Daten erkennt, wobei im Folgenden die Regelmäßigkeit auf die räumliche Nachbarschaft bezogen wird.

Das Verfahren baut eine Hierarchie von Nachbarschaftsgraphen auf und bildet innerhalb dieser Hierarchie sukzessive Objektgruppen. Das Kriterium für die Bildung einer Gruppe (Cluster) ist hierbei ein medianbasiertes Ähnlichkeitsmaß. Für die Cluster-Bestimmung ist es von großer Bedeutung, dass die eingesetzten Nachbarschaftsgraphen folgende Hierarchie bilden: Nächster-Nachbar-Graph – Relativer Nachbarschaftsgraph – Gabriel-Graph – Delaunay-Triangulation.

Damit können *bottom-up*-Cluster aggregiert werden, indem die Ergebnisse einer Stufe in die nächsthöhere Hierarchiestufe eingebracht werden. Auf diese Weise können im Nachbarschaftsgraphen Näherungen für Cluster gefunden werden, die in den folgenden Graphen verfeinert werden. Als Ergebnis stehen schließlich die Cluster zusammen mit ihren Charakteristika zur Verfügung. Für die folgende Verarbeitung wichtigste abgeleitete Ei-

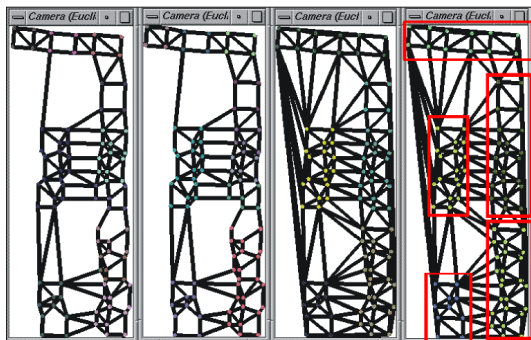


Abb. 1: Sequenz des hierarchischen Clusterings auf den Nachbarschaftsgraphen. Rechts: Ergebnis mit fünf identifizierten separaten Clustern.

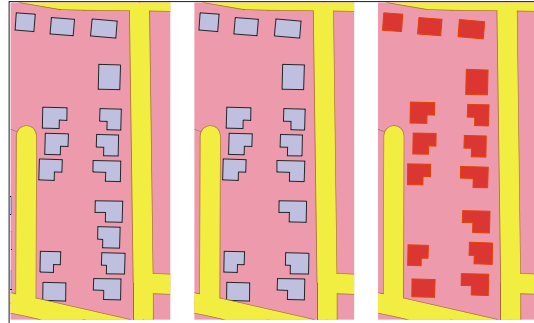


Abb. 2: links: Ausgangssituation; Mitte: Elimination des zweiten Objekts aus dem Cluster unten rechts; rechts: Situation nach der Verdrängung.

genschaft ist hierbei die mittlere Cluster-Dichte und der mittlere Cluster-Abstand.

3.2.2 Objekte eliminieren

Sind die Cluster identifiziert, so werden in ihnen Objekte eliminiert. Die Auswahl kann zufällig erfolgen und entsprechend dem vorgegebenen Reduzierungsmaß durchgeführt werden. Durch die zufällige Entfernung von Objekten entstehen jedoch Lücken. Diese müssen anschließend derart geschlossen werden, dass die ursprünglichen Dichteverhältnisse der Situation wieder eingehalten sind.

3.2.3 Neuordnung der Objekte durch Verdrängung

Nach der Reduktion der Objekte innerhalb der Cluster gilt es, diese entsprechend der vorab bestimmten mittleren Cluster-Dichte bzw. des Cluster-Abstands neu anzuordnen. Dies kann mit Hilfe des Programmsystems PUSH (Sester 2001) zur Verdrängung von Objekten auf der Basis der Methode der kleinsten Quadrate erfolgen.

Abbildung 1 zeigt die Resultate des hierarchischen Clusterings mit den unterschiedlichen Nachbarschaftsgraphen. Rechts ist das Ergebnis mit fünf Clustern wiedergegeben.

Die Reduktion erfolgt anschließend nach der folgenden Strategie. Im Cluster mit der größten Anzahl an Objekten wird reduziert – in diesem Beispiel wird ein Objekt aus dem Vierer-Cluster rechts unten eliminiert (Abb. 2, Mitte). Das Entfernen des zweiten Objektes von oben macht eine Neu-Anordnung

der Objekte des Clusters erforderlich. Dies wurde mit dem Programm PUSH erreicht, wobei die Cluster und der mittlere Cluster-Abstand als Eingabe-größen mit eingingen. Deutlich ist zu beobachten, dass der Freiraum ausgenutzt wird, wobei die Objektgruppen und ihre charakteristischen Distanzen erhalten bleiben (Abb. 2, rechts).

Wichtig ist zu sehen, dass die Frage der Auswahl eines zu eliminierenden Objektes innerhalb des Clusters von untergeordneter Bedeutung ist. Unabhängig von der Wahl des entfernten Objekts bleibt die Charakteristik des Clusters erhalten, da ja die ursprünglichen Abstände eingehalten werden. Allerdings kann die absolute Position des Clusters insgesamt variieren.

3.3 Interpretation für on-demand mapping; skizzenbasierte Eingabe

Digitale Datenbestände erlauben eine sehr flexible Nutzung der Daten für unterschiedliche Fragestellungen. So können etwa ad-hoc-Karten für ganz spezielle Problemstellungen erstellt werden, die weder einen Anspruch auf Allgemeingültigkeit noch auf Dauerhaftigkeit haben. Es geht dabei lediglich darum, ein momentanes Problem mit verfügbaren Daten optimal zu lösen. So könnte etwa auf der Basis eines topographischen Datensatzes in Kombination mit Gelben Seiten eine Karte generiert werden, welche Schuhgeschäfte in einer Hannover in der Nähe des Hauptbahnhofes anzeigt und möglicherweise den kürzesten Weg dorthin berechnet. Solche Anfragen sind höchst situations-, personen- und standortabhängig. Eine generelle Karte oder Darstellung hierfür ist nicht sinnvoll. Sie hat aber durchaus in der jeweiligen Situation für den Nutzer einen sehr hohen Wert. Solche Arten von Anfragen sind gerade im Kontext von *location based services* von größter Bedeutung. Die Erstellung solcher ad-hoc Karten erfordert, dass – entsprechend dem jeweils in der Situation vorliegenden Nutzermodell – eine Interpretation der verfügbaren Datenbestände durchgeführt und eine Lösung präsentiert wird.

Diese Fragestellung wird am Institut für Kartographie und Geoinformatik der Universität Hannover (ikg) im Rahmen des EU-Projekts SPIRIT erforscht. SPIRIT steht für *Spatial Information Retrieval in*

the Internet (Jones et al. 2002). Generelles Ziel des Projektes ist es, Internetsuchmaschinen um raumbezogenes Wissen zu erweitern und Anfragen zu erlauben, die heute Suchmaschinen noch nicht lösen können. Eine Anfrage könnte etwa lauten: „Suche nach einem Urlaubsgebiet in der Nähe eines großen Binnensees mit der Möglichkeit, Radtouren durchzuführen“. Ziel des Teilprojekts am ikg ist es, Mechanismen zu entwickeln, die eine automatische, applikationsabhängige Interpretation von digitalen räumlichen Datenbeständen erlauben. Raumbezogene Daten und Internetseiten, die raumbezogene Information enthalten, sollen auf diese Weise vorinterpretiert werden. Diese Interpretation wird dann in Form von Metadaten dem Nutzer bzw. Suchmaschinen bereitgestellt.

Der generelle Anfragetyp für SPIRIT lautet dabei:
object — related_to — place

Dabei geht es zunächst darum, die Orte (*place*) eindeutig zu beschreiben und hierbei auch unscharfe Begriffe bzw. alternative Namen zuzulassen (etwa Deutschlands Hauptstadt – Berlin; Florenz – Firenze – Florence). Daneben spielen die Relationen eine sehr große Rolle. Daher ist die Voraussetzung für die Entwicklung von sehr generischen oder allgemeinen Interpretationsmechanismen die Verfügbarkeit allgemeiner Beschreibungen von raumbezogenen Daten und ihren Eigenschaften. Von besonderer Bedeutung sind hier die topologischen Eigenschaften wie Nachbarschaft, Enthaltensein oder Überlappung (Egenhofer und Franzosa 1995), da diese die Basis der meisten raumbezogenen Anfragen darstellen.

Die Interpretation von GIS-Daten ermöglicht zum einen den direkten Zugriff auf die thematischen Informationen bzw. auf die direkt aus der Geometrie ableitbaren attributiven Daten. Eine Herausforderung allerdings bleiben die geometrisch-topologischen bzw. kontextbezogenen Informationen. Der Unterschied soll anhand eines kleinen Beispiels verdeutlicht werden. Auf der Suche nach einer Immobilie lassen sich verschiedene Auswahlkriterien über Anfragen formulieren:

1. Ein Einfamilienhaus mit großem Grundstück
2. Ein großes Grundstück mit freistehendem Einfamilienhaus

3. Ein großes Grundstück mit freistehendem Einfamilienhaus im Norden der Stadt in der Nähe eines Parks

Diese Anfragen spiegeln eine zunehmende Komplexität für eine automatische Interpretation raumbezogener Daten wider.

Die erste Anfrage benötigt Information über die Art des Gebäudes und die Größe des Grundstücks. Letztere kann zum einen direkt in einem GIS als Grundstücksattribut gespeichert bereits vorliegen oder durch einfache Berechnung ermittelt werden. Anschließend können mögliche Kandidaten durch SQL-Anfragen bestimmt werden.

Anfrage 2 benötigt topologische Informationen, die das Verhältnis eines Gebäudes zu einem Nachbargebäude bzw. zum Grundstück angeben. Hier sind räumliche Prädikate wie *inside* (EFH, Grundstück) bzw. *disjoint* (EFH, Nachbargebäude) nötig, welche für das gesuchte Gebäude erfüllt sein müssen. Heutige GIS-Produkte ermöglichen solche Anfragen. Auch existieren für moderne Datenbanksystemen wie ORACLE räumliche Erweiterungen, welche diese Prädikate ebenfalls bestimmen und nutzen können. Typischerweise muss diese Anfrage allerdings über Suchverfahren gelöst werden, wo die Lösung als optimale Kombination der gesuchten Eigenschaften gefunden wird.

Die letzte Anfrage erfordert darüber hinaus kontextuelle Information bezüglich der relativen räumlichen Lage („nördlich“) und enthält Begriffe, die typischerweise für Menschen leicht, für Maschinen hingegen schwierig zu beantworten sind („in der Nähe“). Für das optimale Zusammenspiel der verschiedenen Bedingungen sind in der Regel Suchverfahren nötig.

Die Übersetzung von für Menschen einfach zu belegenden Begriffen ist nicht trivial, da sie immer im jeweiligen Kontext gesehen werden müssen. Weitere Begriffe sind etwa „zentral“ oder „in Fußweite“. Diese Begriffe müssen in eine maschinenverarbeitbare Form übertragen werden, typischerweise in ein Distanzmaß. Im Theater „in der Nähe des Orchestergrabens“ zu sitzen kann in eine Distanz von ca. 1-5 m übersetzt werden. Ein „Bungalow in der Nähe des Strandes“ kann für Abstände bis zu 1 km noch realistischerweise reklamiert werden, während

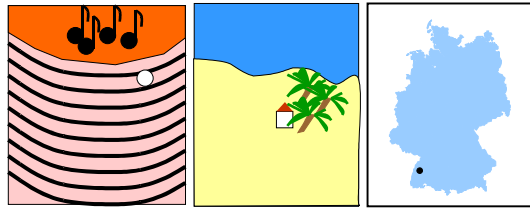


Abb. 3: Darstellung des Begriffs „in der Nähe“ in verschiedenen räumlichen Kontexten. In der Nähe a) des Orchestergrabens, b) des Strandes, c) der französischen Grenze.

„in der Nähe der französischen Grenze“ sich bis in den Bereich von mehreren km erstrecken kann. Diese Prädikate sind daher im Kontext zu sehen und weiterhin auch noch höchst subjektiv. Für den einen stellt 1 km als Distanz bereits eine kleine Wanderung dar, während dies für andere lediglich ein kurzer Fußmarsch bedeutet.

An dieser Stelle helfen alternative Eingabemodalitäten (Skizzen), die eine raumbezogene Anfrage direkt als solche vermitteln und nicht zunächst in eine eindimensionale, abstrakte Form – den sprachlichen Ausdruck – transformieren (Blaser et al. 2000). Daraus können die relativen Beziehungen zwischen den gezeichneten Objekten einer Szene leichter entnommen und in Maßzahlen übersetzt werden. Die Beispiele in Abbildung 3 mögen die verschiedenen Nachbarschaften verdeutlichen.

Die relativen Beziehungen zwischen den Objekten können aus diesen Skizzen direkter interpretiert werden, als es der rein sprachliche Ausdruck könnte. Insbesondere können auch konkretere Maße entnommen werden.

Skizzen müssen natürlich vom System verstanden, das heißt interpretiert werden. Neben dem Erkennen und Identifizieren der Objekte selbst gilt es, die abgebildeten Beziehungen zu interpretieren. Hierfür müssen Methoden entwickelt werden, welche die verschiedenen Interpretationsmöglichkeiten in eine eindeutige Form bringen. So kann die Skizze in Abbildung 3 zum einen als ein Objekt innerhalb von Deutschland, ein Objekt im Südwesten Deutschlands oder eben als ein Objekt an der französischen Grenze verstanden werden. Für eine eindeutige In-

terpretation müssen die möglichen Hypothesen zunächst aufgestellt werden, um anschließend entweder durch Auswahllisten oder aus dem Kontext eindeutig gemacht werden zu können, wenn etwa die Rede vom Schwarzwald sein könnte.

Auf Grund der erwarteten Bedeutung der Skizzen als alternative Nutzerschnittstelle wird im Rahmen des Projektes SPIRIT deren Einsatz untersucht. Konventionelle GIS-Produkte sind darauf ausgelegt, dass der Nutzer seine Eingaben strukturiert mittels Maus bzw. Menüs durchführt. Steht ein Mensch vor dem Problem, einen räumlichen Bezug erklären zu müssen, greift er oft zu einer Skizze, die es sehr schnell und prägnant erlaubt, etwa einen Weg zu beschreiben. Räumliche Sachverhalte lassen sich eben durch die „lineare“ Sprache nicht immer leicht beschreiben. Solche Eingabemodalitäten stellen eine Alternative für zukünftige Fußgänger-Navigationssysteme dar. Mit ihnen wird es möglich, sehr schnell einen raumbezogenen Sachverhalt in Form einer Skizze zu „beschreiben“, was mit Worten etwas umständlich und langwierig wäre.

Im Projekt wird die relative Nützlichkeit der jeweiligen Eingabemodalität intensiv untersucht, um ein Konzept erstellen zu können, welches alle möglichen Interaktionen optimal zusammenführt und nutzt.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Im Beitrag wurde zunächst die Notwendigkeit von Interpretationsmechanismen für die automatische Analyse raumbezogener Daten motiviert. Die nötigen Grundlagen für eine modellbasierte Interpretation wurden beschrieben, bevor Beispiele präsentiert wurden, die Anwendungen dieser Verfahren zeigen. Im Rahmen des Projekts SPIRIT wird an dieser Thematik am Institut für Kartographie und Geoinformatik intensiv geforscht. Dort steht zunächst die Bereitstellung entsprechender Modelle in Form von Ontologien im Vordergrund. Diese sollen anschließend für die Interpretation von existierenden GIS-Datenbeständen genutzt werden, um weitergehende, reichere Metadaten bereitzustellen, welche die Objekte und Daten besser zu beschreiben in der Lage sind. Mit Hilfe solcher Interpretationsmechanismen können Datenhersteller angereicherte Metadaten über die Inhalte ihrer Datenbestände

automatisch aus ihren Daten extrahieren und diese ihren Kunden im Internet zur Verfügung stellen.

Weiterhin werden die Ontologien auch für die skizzenbasierte Eingabe benötigt. Im Rahmen der vorgegebenen Ontologien soll es möglich werden, komplizierte räumliche Sachverhalte durch Skizzen und intelligente Menüs einfacher beschreiben zu können.

5 Literatur

- Anders, K.-H.* (2002): Hierarchisches, parameterfreies Clustering für die Interpretation raumbezogener Daten. Dissertation, eingereicht an der Universität Stuttgart.
- Blaser, A., Sester, M., Egenhofer, M. J.* (2000): Visualization in an early stage of the problem solving process in GIS. *Computers and Geosciences*, Vol. 26, No. 1, 57–66.
- Bill, R.* (1996): Grundlagen der Geo-Informationssysteme: Hardware, Software und Daten, Band I, Wichmann, Karlsruhe.
- Egenhofer, M. J., Franzosa, R. D.* (1995): On the equivalence of topological relations. *International Journal of GIS*, vol. 9, no. 2, 133–152.
- Haala, N.* (1996): Gebäuderekonstruktion durch Kombination von Bild- und Höhendaten. Vol. C460, Deutsche Geodätische Kommission, München.
- Jones, C. B.* (1997): *Geographical information systems and computer cartography*. Addison Wesley Longman Ltd., Harlow.
- Jones, C. B. et al.* (2002): Spatial information retrieval and geographical ontologies: an overview of the SPIRIT project. In: SIGIR 2002, Proceedings of the 25th Annual International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval, August 11–15, 2002, Tampere, Finland. ACM Press, 387–388. http://www.geo-spirit.org/SPIRIT_project_overview.pdf
- Koperski, K., Han, J.* (1995): Discovery of spatial association rules in geographic databases. In: Egenhofer, Herring (ed.), *Advances in Spatial Databases '95*, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 951, Springer Verlag, Heidelberg, 47–66.
- Läbe, T., Henze, M.* (2002): Automatische äußere Orientierung in der Orthophotoproduktion – ein Erfahrungsbericht. In: Seyfert (Hrsg.), *Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung*, Band 11, 245–252.
- Michalski, R. S., Carbonell, J. G., Mitchell, T. M.* (1984): *Machine learning – an artificial intelligence approach*. Springer-Verlag, Berlin.

- Quillian*, M. R. (1968): Semantic memory. In: Minsky (ed.), *Semantic Information Processing*, MIT Press, Cambridge, MA.
- Regnauld*, N. (1996): Recognition of building clusters for generalization. In: Kraak, Molenaar [1996], 4B.1–4B.14.
- Russell*, S. J., *Norvig*, P. (1995): *Artificial intelligence: a modern approach*. Prentice Hall.
- Sester*, M., *Förstner*, W. (1989): Object location based on uncertain models. In: *Mustererkennung 1989*, Informatik-Fachberichte, Nr. 219, Springer-Verlag, 457–464.
- Sester*, M. (1995): Lernen struktureller Modelle für die Bildanalyse. In: Vol. C441, Deutsche Geodätische Kommission, München.
- Sester*, M., *Hild*, H., *Fritsch*, D. (1998): Definition of ground-control features for image registration using GIS data. In: Schenk, Habib (ed.): *Symposium on Object Recognition and Scene Classification from Multispectral and Multisensor Pixels*, Columbus, OH, IAPRS vol. 32/3, 537–543.
- Sester*, M., *Anders*, K.-H., *Walter*, V. (2000): Linking objects of different spatial data sets by integration and aggregation. *GeoInformatica*, Vol. 2, Nr. 4, 335–358.
- Sester*, M. (2001): Maßstabsabhängige Darstellungen in digitalen raumbezogenen Datenbeständen. Habilitationsschrift, Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen, Universität Stuttgart, Reihe C, Nr. 544.
- Stark*, L., *Bowyer*, K. (1991): Achieving generalized object recognition through reasoning about association of function to structure. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 13, (10), 1097–1104.