

Aspektkarten - Integriert räumlich-symbolische Repräsentationsstrukturen*

Thomas Barkowsky, Christian Freksa,
Bettina Berendt, Stephanie Kelter
Fachbereich Informatik
Universität Hamburg
Vogt-Kölln-Str. 30
22527 Hamburg

(barkowsky, freksa, berendt, kelter)@informatik.uni-hamburg.de

Zusammenfassung

Der Beitrag behandelt (geographische) Karten als eine besondere Form komplexer Wissensrepräsentationen. In Karten sind verschiedene Aspekte der repräsentierten Objekte in unterschiedlichen Repräsentationsformen innerhalb *eines* Repräsentationsmediums *integriert* dargestellt. Die Prinzipien derartiger integrierter Repräsentationen werden anhand repräsentationstheoretischer Konzepte eingeführt. Die Verschränkung bildhafter und symbolischer Anteile räumlich strukturierter Karten wird dargestellt, und die Probleme, die sich bei der Verwendung solcher Darstellungen ergeben können, werden aufgezeigt. Speziell wird die der Repräsentationsform inhärente Möglichkeit, Kartenelemente unterschiedlich zu interpretieren, behandelt. Sodann werden die Vorteile der Erzeugung spezifischer *Aspektkarten* aus einer gegebenen Karte diskutiert. Ein entsprechendes Verarbeitungsmodell wird skizziert. Abschließend werden Querbezüge zwischen dem hier vorgestellten Ansatz und den in der Informatik und kognitiven Psychologie entwickelten hierarchischen bzw. hybriden Modellen der Repräsentation räumlicher und raumbezogener Informationen aufgezeigt.

*Das hier beschriebene Vorhaben wird von der Deutschen Forschungsgemeinschaft im Rahmen des Schwerpunktprogrammes Raumkognition gefördert (AZ Fr806/8-1).

1 Einleitung

In der Kognitionswissenschaft wurde vielfach zwischen zwei Repräsentationsformen unterschieden, den propositionalen und den analogischen¹ (vgl. Sloman, 1971, 1975; Palmer, 1978). Bei analogischen Repräsentationen wird der repräsentierte Aspekt (eine n -stellige Relation; $n \geq 1$) der Objekte durch ein Merkmal dargestellt, das gewisse inhärente Constraints mit dem repräsentierten Aspekt gemeinsam hat. Bei propositionalen Repräsentationen ist dies nicht gefordert. Dies kann dazu führen, daß die entsprechenden Relationen explizit angegeben werden müssen.

Palmer (1978) unterscheidet drei Stufen der Übereinstimmung eines repräsentierenden Merkmals mit dem repräsentierten Aspekt: (1) “funktionaler Isomorphismus” (wenn die Repräsentation effektiv die gleichen Eigenschaften aufweist); (2) “natürlicher Isomorphismus” (wenn diese Eigenschaften durch analogische Abbildungen zustande kommen); (3) “physikalischer Isomorphismus” (wenn die analogische Abbildung durch Verwendung derselben physikalischen Variablen in dem Weltausschnitt und der Repräsentation bewirkt wird). Diese Begriffsbildung läßt sich von Isomorphismen auf Homomorphismen reduzieren, bei denen die Erhaltung der einschlägigen Eigenschaften nur in Richtung der Repräsentationsabbildung, nicht jedoch in der Gegenrichtung gefordert wird.

Wenn mehr als ein Aspekt repräsentiert wird, können unterschiedliche Repräsentationsformate für die verschiedenen Aspekte verwendet werden. Komplexe Repräsentationen in einem *einzigem* Repräsentationsmedium bezeichnen wir als *integrierte Repräsentationen*. Ein Beispiel für solche Repräsentationen ist etwa unsere Notenschrift, bei der die Dauer des Klangs als propositional, die Tonhöhe (genauer: die Grundfrequenz des Klangs) hingegen durch die Höhe des Notenkopfes auf den Notenlinien als analogisch dargestellt betrachtet werden kann (hierbei sehen wir von den Vorzeichen in der Notenschrift ab, die die Tonhöhe - gewissermaßen propositional - variieren können). Integrierte Repräsentationen unterscheiden wir von *hybriden* Repräsentationen, bei denen es sich um komplexe Repräsentationen handelt, bei denen die verschiedenen Aspekte unter Verwendung verschiedener Repräsentationsformate in *verschiedenen* Repräsentationsmedien dargestellt sind (vgl. Habel, 1990).

Im folgenden befassen wir uns mit geographischen Karten, einem anderen aus dem Alltag vertrauten, aber theoretisch besonders interessanten Typ integrierter Repräsentationen. Bei einer Landkarte beispielsweise finden wir zugleich physikalischen Homomorphismus (bestimmte räumliche Eigenschaften eines Gebietes werden räumlich repräsentiert), natürlichen Homomorphismus (z.B. Bevölkerungsdichte wird durch Graustufen dargestellt) und rein funktionalen Homomorphismus vor (z.B. grüner Strich für die Darstellung des Merkmals “landschaftlich

¹In Anlehnung an den englischen Begriff *analogical* sprechen wir, um eine Verwechslung mit dem u.a. in der Informatik gängigen Begriffspaar analog vs. digital zu vermeiden, von *analogischen* anstelle von analogen Repräsentationen (vgl. Strube et al., 1996)

schön” entlang einer Wegstrecke).

Karten haben als Artefakte zur Vermittlung raumbezogener Informationen eine lange Tradition, die bis ins zweite Jahrtausend v. Chr. zurückreicht (vgl. Bagrow, 1951). Dabei werden gewöhnlich *topographische* Karten, bei denen es sich um die möglichst detaillierte, maßstabstreue Wiedergabe eines Geländes handelt, und *thematische* (oder *angewandte*) Karten unterschieden. Letztere stellen neben räumlichen Merkmalen auch gewisse, im Hinblick auf einen bestimmten Verwendungszweck relevante sonstige raumbezogene Eigenschaften oder Vorgänge eines Gebietes dar; bekannte Beispiele sind Bodennutzungskarten, Niederschlagskarten und nautische Karten.

Als Erweiterung thematischer Karten kann der Kartentyp der schematischen Karte angesehen werden. Schematische Karten stellen - ähnlich wie thematische Karten - spezifische Gesichtspunkte einer geographischen Region in den Vordergrund; sie bauen jedoch nicht streng auf einer topographischen Grundlage auf, sondern variieren zur Herausstellung bestimmter Aspekte die räumliche Grundstruktur der Karte. Beispielhaft seien hier polyfokale Kartennetzprojektionen zur lupenartigen Vergrößerung bestimmter räumlicher Regionen (z.B. Ortskerne) oder die Anpassung von Ländergrößen an nicht-räumliche Parameter (z.B. Bevölkerungszahl) genannt.

Im Hinblick auf die vielfältigen Möglichkeiten, räumliche und raumbezogene Gegebenheiten durch Karten darzustellen, wird deutlich, daß Karten ihren geographischen Gegenstand nicht nach einem einfachen Prinzip abbilden, sondern daß sie eher ein Mittel sind, Wissen über ein Gebiet mit den in ihm enthaltenen Objekten unter bestimmten Gesichtspunkten zu veranschaulichen (vgl. Head, 1991). Karten stellen die Grundlage für die Generierung, Ableitung und Integration verschiedener Konzeptualisierungen räumlicher Entitäten dar. In diesem Sinne gibt es keine universelle Karte, sondern jede Karte – so detailliert sie auch sein mag – bietet immer nur eine bestimmte konzeptuelle Sicht auf die in ihr repräsentierten Objekte, sie stellt immer nur gewisse *Aspekte* des repräsentierten Gebietes dar. Diese Vorstellung liegt dem hier verwendeten Begriff ‘Aspektkarte’ zugrunde.

In den folgenden Teilen dieses Beitrags werden wir zunächst untersuchen, auf welche Weise Karten räumliche und nicht-räumliche Aspekte von konkreten Entitäten darstellen und welche Möglichkeiten der Weiterverarbeitung der enthaltenen Informationen sie bieten. Besonders der Gesichtspunkt der Integration räumlicher und symbolischer Darstellungsanteile in Karten soll hier untersucht werden. Daraus ergeben sich dann Überlegungen zu den Prinzipien einer Systemarchitektur, die spezifisch kartographische Eigenschaften der Darstellung und Verarbeitung räumlicher Information ausnutzt.

2 Räumliche und nicht-räumliche Informationen in Karten

Unter einer *Karte* verstehen wir in dieser Arbeit eine Darstellung räumlicher Gegebenheiten in einem räumlichen Repräsentationsmedium (vgl. auch Habel, 1996). Dabei wird die Räumlichkeit des repräsentierten Weltausschnittes zumindest teilweise durch die Räumlichkeit des Mediums wiedergegeben, und zwar durch eine *bildhaft-analogische* Repräsentation.

Der Begriff ‘räumlich’ bezieht sich hierbei auf (ein-, zwei- oder dreidimensionale) physische Ausdehnung, die zum Beispiel durch topologische oder metrische Relationen oder durch Nachbarschafts- oder Anordnungsrelationen beschrieben werden kann. Wir sprechen von der ‘räumlichen Struktur’ eines Mediums, wenn dieses Medium dem physischen Raum bezüglich räumlicher Operationen homomorph ist.

Beispiele für Karten in diesem Sinne sind Landkarten, Stadtpläne, Baupläne und in bezug auf ausgewählte Aspekte auch Schaltpläne. Flußdiagramme, abstrakte Gemälde oder Musiknoten hingegen erfüllen diese Spezifikation im allgemeinen nicht. Bei Landkarten und Stadtplänen etwa wird die horizontale räumliche Ausdehnung des dargestellten Weltausschnittes auf dem räumlich ausgedehnten Medium Papier bildhaft repräsentiert.

Mit einer *bildhaft-analogischen* Repräsentation (kurz: *bildhafte* Repräsentation) meinen wir eine analogische Abbildung auf ein räumliches Repräsentationsmedium (natürlicher oder physikalischer Homomorphismus) derart, daß die räumlichen Aspekte des Repräsentationsmediums an der analogischen Abbildung mitwirken. Das Attribut ‘bildhaft’ beschreibt also den Sachverhalt, daß die räumlichen Dimensionen des Repräsentationsmediums Aspekte einer repräsentierten Welt auf analogische Weise wiedergeben. Wir betrachten hier zunächst 2-dimensionale externe Repräsentationsmedien wie Landkarten, deren räumliche Eigenschaften gut bekannt sind; zur Untersuchung 3-dimensionaler Modelle siehe (Rieser, dieser Band); zur Untersuchung räumlicher mentaler Modelle siehe (Knauff et al., dieser Band) und zur Untersuchung (interner) kognitiver Karten siehe (Wender et al., dieser Band).

Eine geographische Karte ist eine Abbildung bestimmter Aspekte (z.B. Höheninformation) eines Weltausschnitts und seiner geographischen Objekte (z.B. Städte, Länder, Flüsse) auf ein planes Darstellungsmedium (z.B. Papier). Diese Aspekte werden in der Karte zum Teil durch symbolische, zum Teil durch bildhafte Darstellungsmittel repräsentiert. *Symbolisch* bedeutet hierbei, daß Zeichen verwendet werden, deren Bedeutung per Konvention festgelegt ist, während sich der bildhafte Anteil über die räumliche Analogie zwischen der Domäne und ihrer Darstellung ergibt. Die Art und Weise, in der die symbolischen Kartenbestandteile zu interpretieren sind, wird teilweise durch eine Legende erläutert. Bei dem Anteil, dessen Interpretation nicht in der Legende vorgegeben ist, wird an

ein allgemeines Kartenverständnis des Betrachters appelliert (z.B. Schummerung: Flächenschattierungen zur Darstellung von Reliefinformation).

Die wesentlichen Parameter einer geographischen Karte sind

- das verwendete Projektionsverfahren, d.h. die Art und Weise, wie die Abbildung des Erdoberflächenausschnitts in die Darstellungsebene durchgeführt wird,
- die Abbildungsfunktion, insbesondere der Verkleinerungsmaßstab dieser Abbildung und
- die Auswahl der darzustellenden Aspekte und die Art ihrer Darstellung in der Karte.

In der Kartographie werden verschiedene Projektionsverfahren (Kegel-, Zylinder- oder azimutale Projektion) benutzt, um einen Ausschnitt der gewölbten Erdoberfläche in eine plane Darstellungsfläche abzubilden. Durch die Projektion von der gewölbten Erdoberfläche auf das plane Repräsentationsmedium entstehen Verzerrungen, d.h. bestimmte räumliche Beziehungen zwischen den Repräsentanten der dargestellten Objekte entsprechen nicht den räumlichen Beziehungen zwischen diesen Objekten selbst. Je nach verwendeter Projektion sind die kartographischen Abbildungen winkel-, flächen-, oder längentreu.

Neben diesen projektionsbedingten Verzerrungen enthalten Karten, die nicht auf topographischer Grundlage erstellt werden, oft auch Verzerrungen, die durch die Repräsentation funktionaler Aspekte induziert werden oder auf Abstraktionen von lokalen räumlichen Eigenschaften beruhen. Ein Beispiel für derartige Verzerrungen bieten schematische Karten, wie sie für Streckennetzdarstellungen des öffentlichen Personennahverkehrs verwendet werden. In derartigen schematischen Karten ist die Art und Auswahl der dargestellten Aspekte nicht durch einen an den Kartenmaßstab angepaßten Detaillierungsgrad gegeben, sondern vorrangig durch den Verwendungszweck bestimmt, der über die Karte kommuniziert werden soll.

Für die Entwicklung des in dieser Arbeit vorgestellten Ansatzes ist entscheidend, daß einerseits zwar unterschiedliche Aspekte der Domäne 'geographischer Raum' in die Ebene abgebildet werden (z.B. unterschiedliche Projektionen, Skalierungen, thematische Aspekte), daß andererseits aber die Darstellung immer in einem räumlichen Medium – mit zwar teilweise abweichenden, dennoch immanent räumlichen Aspekten – stattfindet. Die Gemeinsamkeit aller möglichen Projektionen, Informationen in ein Medium mit einer räumlichen Grundstruktur abzubilden, gestattet es, die verschiedenartigen Darstellungen miteinander in Beziehung zu setzen und sie im Hinblick auf ihre unterschiedlichen Abbildungseigenschaften zu vergleichen.

Der wechselseitige Abgleich zwischen Karten mit verschiedenen räumlichen Grundstrukturen ist jedoch keine triviale Operation. Als ein Beispiel hierfür

können die im Zusammenhang mit Maßstabsänderungen erforderlichen kartographischen Generalisierungsoperationen dienen. So werden etwa mehrere Objekte beim Übergang auf einen Kartenmaßstab mit geringerer Auflösung zu einem neuen Objekt zusammengefaßt (das keine unmittelbare Entsprechung auf der ursprünglichen Karte hat) und an einer neuen Position im Kontext der neuen Karte plaziert. Auf diese Weise ist die Veränderung des Vergrößerungsmaßstabs keine einfache, reversible Operation, sondern resultiert in Modifikationen und Deplazierungen der dargestellten Objekte.

Die Frage der Projektion eines Ausschnitts der gewölbten Erdoberfläche in die Ebene betrifft nur die Übertragung von Informationen von der zweidimensionalen Erdoberfläche auf die ebenfalls zweidimensionale Kartenoberfläche. Eigentlich handelt es sich bei den darzustellen geographischen Entitäten um – von der Erdwölbung separate – räumlich dreidimensionale Objekte (z.B. Erhebungen oder Bebauungsobjekte). Die Höheninformation der geographischen Entitäten wird in gewöhnlichen Karten allgemein als Attribut eines (zweidimensionalen) Gebietes angesehen und somit als Merkmal des jeweiligen geographischen Ortes in der Karte kodiert (z.B. durch unterschiedliche Farbgebung oder durch spezielle Symbole, etwa für Unterführungen unter Verkehrswegen).

Jede (geographische) Karte kann als höherdimensional aufgefaßt werden, wenn man die symbolisch dargestellten Merkmale als abstrakte Dimensionen betrachtet. In diesem Sinne spannen beispielsweise die Teildarstellungen geographischer Eigenschaften innerhalb eines rasterbasierten Geographischen Informationssystems (GIS) einen hochdimensionalen geographischen Raum auf.

Kartographische Darstellungen sind nicht auf die Repräsentation geographischer Objekte und deren Eigenschaften beschränkt. Die Variation der Randbedingungen geographischer Kartographie (z.B. Dimensionalität, Art der Domäne, Auffassung der räumlichen Grundstruktur) liefert interessante Möglichkeiten der Wissensdarstellung durch die Übertragung geographischer Konzepte auf nichtgeographische Domänen. Stellvertretend sei hier die Repräsentation anatomischer Strukturen im Bereich der Medizin angeführt (Meyer-Fujara & Schlüpmann, 1995). In dreidimensionalen Kartierungen anatomischer Objekte werden alle räumlichen Dimensionen gleichermaßen berücksichtigt, so daß Visualisierungen beliebiger Ansichten generiert werden können (Höhne et al., 1995).

3 Integration bildhafter und symbolischer Darstellungsmittel

Karten integrieren bildhaft-räumliche und symbolische Darstellungselemente innerhalb eines räumlichen Mediums. Hierbei können (geographische) Entitäten als ganze in unterschiedlichem Grade bildhaft bzw. symbolisch repräsentiert werden. Darüber hinaus besitzen einzelne Kartensymbole oft zugleich bildhafte und

symbolische Eigenschaften.

3.1 Vom Bild zur räumlichen Symbolstruktur

Bei kartographischen Darstellungen können in unterschiedlichem Ausmaß bildhafte und symbolische Darstellungsmittel eingesetzt werden. Als extreme Ausprägung einer rein bildhaften Karte kann beispielsweise eine Luftbildaufnahme eines geographischen Terrains angesehen werden. In einer solchen ‘Karte’ sind keine Symbole enthalten und die in ihr repräsentierten Objekte können ausschließlich über ihren bildhaften Informationsgehalt interpretiert werden.

Als Extrembeispiel für eine rein symbolische Darstellung kann eine Repräsentation geographischer Objekte dienen, wie sie intern in einem Geographischen Informationssystem (GIS) verwendet wird, wobei der Anordnung der Symbole keine Bedeutung zukommt. Die Objekte können hierbei in einer Liste verzeichnet sein, die neben dem symbolischen Namen des jeweiligen Objekts die Koordinaten seiner Lokalisierung enthält, aus denen räumliche Anordnungen rekonstruiert werden können.

Beide Extreme kartographischer Darstellung benötigen keine Legende, da in beiden Fällen nicht die Notwendigkeit der Vermittlung zwischen bildhaften und symbolischen Kartenbestandteilen besteht. Im ersten Fall der Luftbildaufnahme sind überhaupt keine Symbole involviert, die zu erklären wären, wohingegen im zweiten Fall ausschließlich Symbole ohne bildhaften Anteil zur Repräsentation verwendet worden sind.

Die beiden beschriebenen extremen Darstellungen geographischer Information sind aber keine Karten nach unserer Definition: Geographische Karten enthalten sowohl bildhafte als auch symbolische Anteile und sie besitzen eine Legende, die dazu dient, zwischen der bildhaft- räumlichen Darstellung in der Karte und der symbolischen Bedeutung der dargestellten Entitäten zu vermitteln. Von einer Karte in unserem Sinne kann im Falle der rein symbolischen Informationen erst die Rede sein, wenn wir diese zusammen mit ihrer räumlichen Rekonstruktion (zum Beispiel auf einem Bildschirm) als Repräsentation ansehen. Im folgenden gehen wir davon aus, daß eine Karte sowohl bildhafte als auch symbolische Anteile enthält.

Eine geographische Karte repräsentiert geographische Gegebenheiten auch in dem Sinne bildhaft, daß die in ihr enthaltenen Darstellungselemente sich an einem bestimmten Ort auf dem Darstellungsmedium befinden und dieser Ort zumeist (nicht immer) als analogische Darstellung zu interpretieren ist. Das bedeutet, daß die in der Karte verwendeten symbolischen Darstellungselemente an dem der Lage der repräsentierten Entität entsprechenden Ort in der Karte lokalisiert sind. Diese Eigenschaft geographischer Karten ermöglicht es einerseits, die Bedeutung von an bestimmten Orten lokalisierten Kartenelementen mit Hilfe der Legende über ihren Symbolgehalt zu ermitteln, und andererseits, die räumliche Lokalisierung der dargestellten Entitäten und ihre Beziehungen zu anderen Objekten über die

räumliche Grundstruktur des Mediums ‘Karte’ zu bestimmen (vgl. Barkowsky et al., 1996).

Die Verknüpfung zwischen symbolischen Darstellungselementen und der bildhaft-räumlichen Struktur der Karte geschieht aber nicht ausschließlich über die Lokalisierung der Symbole. Denn die meisten kartographischen Entitäten (Symbole) besitzen selbst eine bildhafte Gestalt, über die sie – auf einer anderen Stufe – an der bildhaft-räumlichen Struktur der Karte partizipieren.

3.2 Bildhafte und symbolische Anteile von Kartenelementen

Die beschriebenen extremen Ausprägungen rein bildhafter bzw. rein symbolischer ‘Karten’ lassen sich auch auf einzelne Kartenelemente übertragen. Als Beispiel für ein rein bildhaftes Kartenelement kann hier eine Photographie (z.B. einer Sehenswürdigkeit in einer touristischen Karte) dienen, die mit Hilfe eines Symbols (z.B. eines Lokalisierungs Pfeils) in der Karte räumlich zugeordnet oder direkt an entsprechender Stelle in der Karte plaziert ist. Ein rein symbolisches Element wäre beispielsweise eine natürlichsprachliche Anmerkung in der Karte mit der entsprechenden Lokalisierungsinformation (z.B. “Brücke für Fahrzeuge über 2,8 t gesperrt”).

Auch diese beiden Extreme bildhafter bzw. symbolischer Kartenelemente sind eher untypische Beispiele für Elemente kartographischer Darstellungen. Die meisten kartographischen Elemente integrieren bildhafte und symbolische Eigenschaften, wobei Lageinformationen bildhaft und Typinformationen symbolisch dargestellt werden. Ein Beispiel ist die Kodierung von Verkehrswegen in geographischen Karten. Die Form der einen Verkehrsweg darstellenden Linie auf der Karte gibt den Verlauf des dargestellten Verkehrsweges bildhaft wieder; Farbkodierung und Breite hingegen symbolisieren einen (abstrakten) Typ eines Verkehrsweges (und geben allenfalls indirekt einen Hinweis etwa auf dessen Breite). Wir finden also in einzelnen Elementen von Karten rekursiv Strukturen, die unsere Anforderungen an Karten erfüllen. Dies verleiht Karten ein besonderes Ausdruckspotential.

Als ein weiteres Beispiel für diesen Gesichtspunkt kann die Einfärbung eines Gebietes in der Karte dienen, das eine bestimmte Bodenbewirtschaftung beschreibt (z.B. orange = Getreideanbau). Hierbei trägt die Farbe symbolischen Gehalt und ihre Bedeutung kann aus der Legende ermittelt werden. Räumliche Eigenschaften des durch die Farbe beschriebenen Gebietes (Ausdehnung, Größe, Form, etc.) müssen aber über den bildhaften Anteil des Objektes in der Karte bestimmt werden.

Besonders interessant ist die doppelte Funktion der Kartenelemente, einerseits Symbol, andererseits Bildbestandteil zu sein, wenn wir diskrete (hier: nicht-flächige) Symbole betrachten, die gemeinsam mit gleichgearteten Symbolen eine

Flächeneigenschaft in der Karte repräsentieren. Betrachten wir als Beispiel das in Karten verwendete Symbol für ‘Laubwald’ (ähnlich dem Buchstaben Ω). In diesem Falle ist die Lokalisierung jedes einzelnen Symbols in der Karte ohne Bedeutung; vielmehr ist die Gruppierung mehrerer gleicher Symbole als Oberflächenstrukturierung (Textur, vgl. Neumann & Stiehl, 1993) einer Fläche zu interpretieren, um mittels der Verteilung der individuellen Symbole auf die räumliche Gestalt der durch diese Symbole repräsentierten Entität (hier: eines Laubwaldes) zu schließen.

4 Interpretation von Karten

Wir haben skizziert, auf welche Weise räumliche und nicht-räumliche Aspekte geographischer Entitäten in Karten repräsentiert werden. Im folgenden werden wir der Frage nachgehen, wie die in Karten kodierten Informationen extrahiert und verwendet werden können, um neues Wissen zu inferieren.

Die vorrangige Funktion von Inferenzprozessen auf Karten ist die Ermittlung räumlicher Relationen zwischen den repräsentierten Entitäten (Distanzen, Flächeninhalte, Orientierungen, Verbindungsmöglichkeiten, etc.) auf der Basis der räumlichen Grundstruktur der Karte. Die Bestimmung räumlicher Relationen zwischen Objekten setzt die vorherige Identifikation von Objekten im jeweiligen Kontext der Karte voraus.

Karten eröffnen als räumliche Repräsentationsmedien vielfältige Möglichkeiten, Objekte zu identifizieren und über ihre räumliche Anordnung zueinander in Beziehung zu setzen. Diese Möglichkeit, kartographische Elemente verschiedentlich aufeinander zu beziehen, ist ein wesentlicher Grund für die Leistungsfähigkeit kartographischer Darstellungen (vgl. Freksa & Barkowsky, 1996). Allerdings ist die Interpretation von Karten durchaus kein so simpler Prozeß, wie es zunächst scheinen mag.

4.1 Identifikation von Objekten

Die Gesichtspunkte, die für die Identifikation von Objekten in Karten eine Rolle spielen, lassen sich in Anlehnung an die Prinzipien der Gestaltpsychologie (vgl. Rock & Palmer, 1990) gliedern in (1) die Gruppierung von diskreten Einzelsymbolen zu flächigen Objekten, (2) die Differenzierung zwischen Vordergrundobjekten und dem jeweiligen Hintergrund, vor dem sie dargestellt werden und (3) die Identifikation von Objektgrenzen nach bestimmten Kriterien.

Ein Beispiel für die Gruppierung von diskreten Symbolen haben wir bereits im vorigen Abschnitt vorgestellt. Die Einzelsymbole für Laub- und Nadelwald werden je nach ihrer Anordnung in der Karte zu Gebieten zusammengefaßt, die Laub-, Nadel- oder Mischwaldflächen repräsentieren.

Die Differenzierung zwischen Vorder- und Hintergrundobjekten (*Figur* vs. *Grund*) geht im Kontext der Interpretation von Karten hinsichtlich ihrer Komplexität weit über die aus der kognitiven Psychologie bekannten ambiguen Figuren (z.B. Kanizsa, 1979) hinaus. So können in der Betrachtung einer Karte je nach Fragestellung immer wieder andere Objekte und Objektkonfigurationen in den Vordergrund treten, wobei die verbleibenden Kartenelemente jeweils den Einbettungskontext dieser Konfigurationen als Bildhintergrund liefern (z.B. Pratt, 1993). In ganz ähnlicher Weise bilden immer wieder wechselnde flächige und linienförmige Objekte Grenzen von Kartengebieten und definieren somit neue Objekte, die als solche in der Karte nicht als individuelle Entitäten aufgeführt sind. Als Beispiel hierfür kann die Identifikation eines von stehenden und fließenden Gewässern umgrenzten Hochwassergebietes dienen.

Die Identifikation von Objekten in Karten ist eine wesentliche Voraussetzung für die im folgenden beschriebenen, an der Inferenz mit Karten beteiligten Verfahren.

4.2 Eigenschaften von Kartenelementen

Wir sind davon ausgegangen, daß eine Karte mehrfache Interpretationsmöglichkeiten hinsichtlich der in ihr dargestellten Objekte und ihrer Relationen bietet. Diese Interpretationen können unterschiedliche Aspekte betreffen und durchaus miteinander verträglich sein. Allerdings können in Karten aufgrund der Bildhaftigkeit der Darstellung nicht explizit angegebene Relationen emergieren, und sie unterliegen damit den Problemen der Überrepräsentation (vgl. Wang, 1995). Das bedeutet vor allem, daß nicht alle räumlichen Relationen von dargestellten Entitäten zur Interpretation herangezogen werden dürfen.

Bei der Interpretation von Karten entstehen Probleme der Fehlinterpretation durch Überrepräsentation dadurch, daß symbolische Anteile dargestellter Kartenelemente als bildhafte Anteile interpretiert werden. Ein Beispiel hierfür ist die oben erwähnte Kodierung der Art eines Verkehrsweges durch seine lokale Form und seine Breite. Während in Karten mit sehr großem Maßstab die Breite von Straßen die tatsächliche Breite der Straße beschreibt, mithin bildhaft zu interpretieren ist, stellt die Breite des Straßensymbols in Karten mit kleinem Maßstab in der Regel die Zugehörigkeit der Straße zu einem Straßentyp dar (Land-, Bundesstraße, Autobahn etc.) und ist daher strikt gesehen ausschließlich symbolisch zu interpretieren.²

Für eine sinnvolle Interpretation von in einer Karte enthaltenen Informationen ist es daher erforderlich, genau zu differenzieren, welche Bestandteile von Kar-

²Räumliche Ausprägungen symbolischer Darstellungselemente (z.B. die Größe eines Kreises, die anzeigt, daß eine Stadt zu einer bestimmten Klasse hinsichtlich ihrer Einwohnerzahl gehört) werden hier dem symbolischen Anteil kartographischer Symbole zugeordnet, da sie nicht analog der räumlichen Grundstruktur der Karte zu interpretieren sind, sondern die räumliche Ausdehnung unmittelbar zur Kodierung symbolischer Inhalte benutzen (vgl. Bertin, 1982).

tenentitäten ausschließlich bildhaft, welche ausschließlich symbolisch, und welche sowohl bezüglich bildhaft als auch bezüglich symbolisch dargestellter Aspekte interpretiert werden dürfen. Dabei ist zu beachten, daß symbolische Darstellungen in dem räumlichen Repräsentationsmedium immer Raum beanspruchen, was zu Interferenzen mit der bildhaften Interpretation führen kann.

Die Möglichkeit der mehrfachen Interpretation einer gegebenen Karte unter verschiedenen Fragestellungen läßt es oft wünschenswert erscheinen, die möglichen Interpretationen einzuschränken, wenn eine problemspezifische kartographische Darstellung benötigt wird. So wird beispielsweise eine Straßenkarte auf der Basis einer topographischen Karte erzeugt, wobei von zahlreichen für den Verwendungskontext der Straßenkarte irrelevanten Informationen abstrahiert wird (z.B. Höheninformation, Vegetation etc.). Eine durch Abstraktion erzeugte spezifische Karte läßt zwar somit weniger Interpretationsmöglichkeiten zu, läßt dafür aber die Objekte des jeweiligen Interesses deutlicher erkennbar und leichter verarbeitbar werden.

4.3 Kombination von Informationen aus verschiedenen Karten

Bislang haben wir nur Inferenzprozesse erwähnt, die jeweils auf einer einzigen Karte basieren. Eine wichtige Form der Inferenz mit Karten besteht jedoch in der Kombination von Informationen aus verschiedenen Karten. Hierbei werden Objekte aus zwei oder mehr Karten in einer neuen kartographischen Darstellung kombiniert, um sie räumlich zueinander in Beziehung zu setzen.

Bei diesem Vorgang werden die den beiden Karten zugrundeliegenden räumlichen Grundstrukturen miteinander abgeglichen; mit Rückblick auf die oben beschriebenen projektionsbedingten und funktionalen Verzerrungen wird deutlich, daß hierin im allgemeinen Fall eine Interpretationsleistung besteht, die mit unvollständigem und unsicherem Wissen operiert, wenn die Grundstrukturen der Karten nicht identisch oder nicht vollständig ineinander konvertierbar sind. Im einfachsten Fall besteht die Kombination verschiedener kartographischer Darstellungen in der Identifikation der entsprechenden Orte in zwei oder mehr räumlich identisch strukturierten Karten, wie es etwa in rasterbasierten Geographischen Informationssystemen der Fall ist.

5 Auswahl von repräsentierten Aspekten

Wir haben erläutert, auf welche Weise Karten Informationen über räumliche Entitäten darstellen und wie die in Karten dargestellten Informationen genutzt werden können. Hierbei haben wir vor allem auf die Verknüpfung zwischen symbolisch kodierenden Darstellungselementen und der bildhaft-räumlichen Struktur des Mediums *Karte* hingewiesen. Eingangs wurde auch schon darauf hingewiesen,

daß jede Karte nur immer eine bestimmte Auswahl von Aspekten der repräsentierten Objekte darstellt. Mit dieser Thematik wollen wir uns jetzt etwas genauer beschäftigen.

Anhand von Beispielen haben wir betrachtet, in welcher Weise geographische Entitäten und ihre Eigenschaften in einer Karte repräsentiert werden können. Dabei kann ein Objekt in der Karte über verschiedene bildhafte und symbolische Mechanismen Träger sehr verschiedenartiger Informationen über die betreffende Entität sein. Die einzelnen kartographischen Bestandteile sind in dem Medium 'Karte' bildhaft-räumlich organisiert, so daß es möglich ist, mittels dieser räumlichen Organisationsform Beziehungen zwischen den repräsentierten Objekten abzuleiten. Auf diese Weise sind die verschiedenen Merkmale geographischer Objekte sowie die räumlichen Relationen zwischen ihnen direkt oder indirekt aus der Karte zu entnehmen.

Die in einer Karte repräsentierten Objektmerkmale und -relationen nennen wir *Aspekte*. Ein Aspekt entspricht damit einer bestimmten Sichtweise auf die in der Karte repräsentierten Entitäten. Im Zusammenhang mit dem Problem der informationellen Überbestimmtheit des bildhaften Repräsentationsmediums 'Karte' haben wir gesehen, daß die Extraktion von Eigenschaften aus der Karte zu falschen Schlußfolgerungen führen kann. Eine Karte kann bestimmte Aspekte thematisieren und andere ignorieren. Unter repräsentationstheoretischen Gesichtspunkten (vgl. Palmer, 1978) bedeutet das, daß Objekte und Relationen zwischen Objekten in mehr oder weniger starkem Umfang in der Karte kodiert sein können.

Eine topographische Karte ist ein Beispiel für eine Karte mit einem reichen Aspektgehalt. In ihr sind sehr vielfältige Informationen über die geographischen Objekte und deren Verhältnisse untereinander enthalten. Als Beispiel für eine eher aspektarme Karte kann die oben angesprochene schematische Verkehrsnetz-karte dienen. In ihr sind vorrangig Informationen über topologische Relationen und grobe Richtungsverläufe bestimmter Verkehrsmittel enthalten. Viele Aspekte, die in bezug auf die dargestellten Entitäten (Bahnstrecken, Stationen, etc.) in einem anderen Zusammenhang von Interesse sein könnten, sind in ihr nicht enthalten (wie z.B. Distanzen zwischen abgebildeten Entitäten, räumliche Ausdehnung, Orientierung einzelner Stationen, etc.).

Es ist somit möglich, eine Karte je nach gewünschtem Informationsgehalt mit mehr oder weniger Aspekten anzureichern. Eine kartographische Skizze stellt ein Beispiel für eine besondere Form kartographischer Darstellung dar, in der von allen für den Kommunikationszweck (z.B. die Beschreibung eines Weges) unwichtigen Aspekten abstrahiert wird, und nur die relevanten Aspekte erhalten bleiben und betont werden. Unter diesem Gesichtspunkt ist es auch möglich, 'Karten' zu erzeugen, die jeweils nur einen einzigen Aspekt (oder einige wenige Aspekte) beinhalten. Reduziert man die Darstellung eines Streckennetzes auf die informatische Datenstruktur eines ungerichteten Graphen, so erhält man eine 'Karte', die ausschließlich die topologische Information der Verbindungen der

Haltestellen untereinander enthält.

Ein weiteres Beispiel für die Reduzierung des aspektuellen Gehalts einer Karte stellt der Vorgang der kartographischen Generalisierung dar, der bei der Erzeugung einer Karte eines kleineren Maßstabs (d.h. mit geringerer Auflösung) aus einer detaillierteren Karte angewendet wird. Objekte in der Karte werden hierbei im allgemeinen nicht nur skaliert, sondern werden hinsichtlich der Wahl der Darstellungssymbole, Bezeichner etc. an den neuen Maßstab angepaßt, wobei von Detailaspekten der Objekte abgesehen wird. Das Ziel hierbei ist es, eine gleichmäßige Informationsdichte in Karten unterschiedlichen Maßstabs herzustellen (vgl. Frank & Timpf, 1994).

Bevor wir im folgenden auf die Darstellung und Verarbeitung von Aspekten in einem operationalen Modell eingehen, stellt sich die Frage, nach welchen Kriterien Aspekte aus einer komplexen Darstellung isoliert bzw. in einer gemeinsamen Repräsentation kombiniert werden sollen.

Hier kann grundsätzlich zwischen Aspekten unterschieden werden, die durch Festlegung bestimmter räumlicher Kriterien entstehen und solchen, die durch Beschränkung auf bestimmte Arten von Objekten zustande kommen. Beispiele für räumliche Aspekte wären die Lokalisierung, Größe, Orientierung, Form etc. der repräsentierten Objekte. Objektbasierte Aspektbildung hingegen bedeutet die Beschränkung auf die Darstellung von Merkmalen ganz bestimmter Klassen von Objekten. So sind in der bereits erwähnten schematischen Streckennetzkarte nur sehr wenige Klassen von Objekten enthalten (Haltestellen, Bahnlinien, Objektnamen, etc.).

Bezüglich der Integration bzw. Separierung von Aspekten ist die Frage von Interesse, welche Aspekte überhaupt in sinnvoller Weise voneinander trennbar sind und in welchem Umfang verschiedene Aspekte in einer Karte kombiniert werden können. Unter diesem Gesichtspunkt kann beispielsweise auch die getrennte Verarbeitung der räumlichen Dimensionen als Aspektbildung verstanden werden (vgl. Jungert 1988).

Wichtig für die Frage der Auswahl der darzustellenden Aspekte ist der Gesichtspunkt, für welchen Zweck die Aspektdarstellung verwendet werden soll. Empirische kognitionspsychologische Untersuchungen geben Anlaß zu der Vermutung, daß für die Planung einer konkreten Handlung (Greifbewegung) verschiedene Aspekte eines Objektes in Betracht gezogen werden, so etwa neben der räumlichen Position auch seine Form, seine Größe oder sein Gewicht, wohl kaum aber die Farbe (vgl. *pragmatic representations* (Jeannerod, 1994)).

In diesem Sinne kann die Zusammenstellung von Aspekten von Entitäten in einer gemeinsamen Darstellung unmittelbar durch die Aufgabe bestimmt sein, die mittels dieser Repräsentation gelöst werden soll. Die Möglichkeit, hierfür Informationen über verschiedene Aspekte zur Verfügung zu haben und gemäß des zu bearbeitenden Problems aufeinander beziehen zu können, irrelevante Informationen hingegen auszublenden, liefert die Basis für eine hochgradig problemadäquate Darstellung des jeweils interessierenden Sachverhalts. Zur Anpassung kognitiver

Repräsentationen an die Aufgabenstellung vgl. (Kaup et al., dieser Band).

Ein weiteres Beispiel für Aspektkarten ist aus der neurowissenschaftlichen Forschung zur frühen visuellen Wahrnehmung bekannt: Aspekte wie Farbe, Form, Bewegungs- und Tiefeninformation der auf die Retina abgebildeten Objekte werden separiert und in spezifischen neuronalen Repräsentationsstrukturen (sog. retinotopen Karten) voneinander getrennt abgelegt, um in nachfolgenden Prozessen weiterverarbeitet zu werden (vgl. z.B. Livingstone & Hubel, 1988). Damit sind retinotop Karten ein Beispiel für eine raumbezogene Aspektseparierung.

6 Überlegungen zu einer Architektur

Wir haben gesehen, daß innerhalb einer Karte unterschiedliche Aspekte in verschränkter Weise dargestellt sein können und daß die Isolierung von Aspekten aus einer kartographischen Darstellung unter verschiedenen Gesichtspunkten sinnvoll sein kann. Wir werden daher nun der Frage nachgehen, in welcher Weise die Repräsentation und Verarbeitung einzelner Aspekte organisiert werden kann.

6.1 Repräsentationsstruktur: Aspektkarten

Aspekte, die in einer gegebenen Karte dargestellt sind, lassen sich durch die Interpretation der Kartenbestandteile in ihrem räumlichen Zusammenhang aus der Karte ablesen. Wesentliches Organisationskriterium für die in einer Karte dargestellten Aspekte ist die räumliche Grundstruktur der Karte. Es liegt daher nahe, die in einer Karte dargestellten Aspekte im einzelnen in einem räumlichen Repräsentationsformat zu organisieren.

Eine solche räumliche Organisationsstruktur, in der ein oder mehrere Aspekte kartographischer Entitäten dargestellt sind, nennen wir eine *Aspektkarte*. In diesem Sinne kann jede kartographische Darstellung als Aspektkarte aufgefaßt werden, da sie ein Raumrelationen erhaltendes Repräsentationsmedium ist und in ihr mehr oder minder viele Aspekte kartographischer Entitäten dargestellt sind. Im besonderen werden uns hier allerdings im weiteren Aspektkarten interessieren, die nur wenige (oder nur einzelne) verschiedene Aspekte darstellen und die Interpretationsmöglichkeiten durch die Angabe spezifischer Prozesse in sinnvoller Weise einschränken. Das Problem der Fehlinterpretation kartographischer Inhalte soll auf diese Weise ausgeschlossen oder zumindest erkennbar gemacht werden.

Diese spezifischen Aspektkarten sind als Bestandteil einer Repräsentationsarchitektur zur Verarbeitung räumlichen Wissens vorgesehen, die auf der Konstruktion spezifischer Aspektkarten und deren Weiterverarbeitung zur Lösung räumlicher Problemstellungen beruht.

Allen in dieser Architektur organisierten Aspektkarten ist somit eine räumliche Organisationsstruktur gemeinsam. Diese räumliche Grundstruktur kann bei

verschiedenen Aspektkarten (je nach Art der Information, die sie darstellen) unterschiedlich organisiert sein. Ähnlich den Verzerrungen bei geographischen Karten, die durch unterschiedliche Projektionsverfahren entstehen, sind hier unterschiedliche räumliche Konzeptionen realisierbar, die sich je nach Ursprung der Aspekte, die in ihnen dargestellt sind (z.B. unvollständige Informationen), oder in bezug auf den funktionalen Zusammenhang, in dem die repräsentierten Entitäten stehen, unterscheiden.

Entscheidend für das architektonische Kriterium, daß allen Aspektdarstellungen eine (d.h. nicht notwendigerweise dieselbe) räumliche Organisationsstruktur zugrunde liegt, ist die Möglichkeit, daß die unterschiedlichen Aspektkarten aufgrund ihrer räumlichen Struktur bei Bedarf leicht aufeinander bezogen und miteinander verknüpft werden können.

6.2 Operatoren zur Aspektisolation und -kombination

Die Verarbeitung der in Aspektkarten organisierten Informationen geschieht mittels spezifischer *Operatoren*, die die Inhalte der verschiedenen Aspektkarten miteinander verknüpfen.

Hierbei unterscheiden wir zwei Arten von Operatoren:

- Operatoren zur Extraktion von Aspekten aus bestehenden Aspektkarten und
- Operatoren zur Kombination von Aspekten aus verschiedenen Aspektkarten in einer gemeinsamen Karte.

Operatoren zur Extraktion von Aspekten. Aspekte werden mittels spezifischer Operatoren aus bestehenden Aspektkarten ermittelt und in einer eigenen Aspektdarstellung repräsentiert. Auf diese Weise können aus einer einzigen Karte viele neue Aspektkarten erzeugt werden, die Informationen für sehr spezifische Fragestellungen unmittelbar zur Verfügung stellen.

Die räumliche Struktur der resultierenden Aspektkarte wird hierbei auf die für die darzustellenden Sachverhalte notwendigen strukturellen Merkmale eingeschränkt. Auf diese Weise wird einerseits das für bildhafte Repräsentationen spezifische Problem der Überrepräsentation vermieden; andererseits ist durch die möglichst geringe strukturelle Beschränkung des Darstellungsmediums die Verknüpfbarkeit von Aspektkarten mit differierenden räumlichen Repräsentationseigenschaften sichergestellt.

Operatoren zur Kombination von Aspektkarten. Die in verschiedenen Aspektkarten enthaltenen Informationen lassen sich durch spezifische Operatoren im Sinne einer konkreten Fragestellung zu einer einzigen Aspektkarte kombinieren. Auf diese Weise lassen sich je nach Bedarf problemspezifische Informations-

darstellungen generieren, wenn die dafür benötigten Teilaspekte bereits in einzelnen Darstellungen vorliegen.

Für die Verknüpfung verschiedener Aspektkarten sind möglicherweise voneinander abweichende Repräsentationsstrukturen zueinander in Beziehung zu setzen. Für die Verknüpfbarkeit zweier differierender Strukturen ist es deshalb erforderlich, daß die beiden Aspektkarten strukturelle Redundanzen aufweisen. Wenn beispielsweise eine Wegskizze die für die jeweilige Beschreibungsaufgabe wesentlichen Landmarken und deren Verbindungen aufzeigt um weitere Aspekte aus einer topographischen Karte angereichert werden soll, so werden die Eigenschaften der Lokalisiertheit der in der Skizze enthaltenen Landmarken und die der Orientierung der Verbindungswege zwischen den Landmarken genutzt werden, um weitere geographische Objekte an der jeweils korrekten Position in der Skizze zu plazieren.

Die räumliche Grundstruktur der resultierenden Aspektkarte wird wiederum nur die für die Darstellung der jeweiligen Aspekte erforderlichen Eigenschaften aufweisen. Es ist somit möglich, daß die resultierende Karte strukturell ärmer ist als jede der Karten, aus deren Kombination sie entstanden ist. Wenn alle Aspekte der kombinierten Karten in der neuen Aspektkarte dargestellt sein sollen, wird die resultierende Karte alle strukturellen Eigenschaften der an der Kombination beteiligten Karten in sich vereinigen.

In der Interaktion dieser beiden Typen von Operatoren mit den entsprechenden Aspektkarten entsteht ein System von Repräsentationen und zugehörigen Verarbeitungsverfahren, das es gestattet, räumliche Informationen, die zunächst nur in einer kompakten Aspektdarstellung vorliegen (Primärkarte), gezielt zu extrahieren und im Sinne der jeweiligen Fragestellung weiterzuverarbeiten.

7 Verwandte Modellansätze

Bei dem hier skizzierten Architekturmodell für die Verarbeitung räumlichen Wissens steht der Gesichtspunkt der integrierten Darstellung separierter räumlicher und symbolischer Aspekte von geographischen Entitäten innerhalb eines raumbezogenen organisatorischen Gesamtkontextes im Vordergrund. Der Ansatz unterscheidet sich in wesentlichen Punkten von bestehenden informatischen Modellierungsansätzen zur Darstellung kartographischen Wissens.

7.1 Geographische Informationssysteme (GIS)

Geographische Informationssysteme dienen der Erfassung, Speicherung, Verarbeitung und Darstellung geographischer Informationen, wobei das Medium der Landkarte auch hier als Modell für die Repräsentation und Verarbeitung herangezogen wird. Dennoch ist die Art und Intention der Verarbeitung räumlicher

Informationen in einigen Punkten von dem hier vorgestellten Modell grundsätzlich verschieden:

- Die in (vektorbasierten) Geographischen Informationssystemen enthaltenen Informationen sind vorrangig objektorientiert organisiert. Das bedeutet, daß diskrete Objekte mit all ihren für den Verwendungskontext des Systems relevanten Eigenschaften in dem System repräsentiert sind, wobei die möglichen Sichtweisen auf ein räumliches Szenario gemäß der vorgegebenen Objektsegregationen determiniert sind. Wir haben argumentiert, daß in der Interpretation einer Karte vielfältige Zuordnungs- und Separierungsmöglichkeiten gemäß der jeweils aktuellen Fragestellung sinnvoll sein können. Aus diesem Grunde schlagen wir eine Repräsentations- und Verarbeitungsarchitektur vor, der keine objekt- sondern eine eher aspektbezogene Sicht auf kartographisches Wissen zugrunde liegt. Auf diese Weise kann die für ein aktuelles Problem jeweils relevante Informationszuordnung durch spezifische Operatoren generiert werden.
- Geographische Informationssysteme arbeiten auf der Basis exakter geographischer Daten, die beispielsweise auf der Basis von Satellitenaufnahmen, GPS-Informationen (global positioning system) oder konventionell erhobenen geodätischen Meßdaten beruhen. Die Verarbeitung von unsicherem und unvollständigem oder skizzenhaftem räumlichen Wissen, das jeweils nur einige ‘Aspekte’ beschreibt, ist hier nicht vorgesehen. Ebenso ist der einer GIS-Repräsentation zugrundeliegende Raum im allgemeinen metrisch exakt; funktional bedingte räumliche Verzerrungen sind nicht darstellbar.
- Die Informationsdarstellung in Geographischen Informationssystemen ist vorrangig technisch motiviert. Kognitive Gesichtspunkte fließen hier lediglich in die Gestaltung der Benutzungs- und Präsentationsschnittstelle ein (z.B. Frank & Timpf, 1994). Das hier skizzierte Architekturmodell ist in seiner Motivation stark durch kognitionswissenschaftliche Ansätze beeinflusst und will einen Beitrag zu Modellierungsaufgaben kognitiver Prozesse leisten. Exemplarisch seien hier die Gesichtspunkte kognitiver räumlicher Verzerrungen (z.B. Tversky, 1992), der Bedeutung spezifischer Wissensrepräsentationen zu Planung von konkreten Handlungen (Jeannerod, 1994) oder der Aspektsegregation in der frühen visuellen Wahrnehmung (Livingstone & Hubel, 1988; Treisman & Gormican, 1988) erwähnt.

7.2 Naive Geographie

Die ‘Naive Geographie’ (Egenhofer & Mark, 1995) verfolgt das Ziel, formale Modelle für die Modellierung geographischen Alltagsverständnisses zu schaffen; hierbei wird daran gedacht, in der Entwicklung künftiger Geographischer In-

formationssysteme Verfahren umzusetzen, die dem allgemeinen geographischen Verständnis entgegenkommen.

Einige der Postulate der Naiven Geographie decken sich mit den hier vorgeschlagenen Auffassungen. Vor allem die Grundannahmen, daß

- geographische Information in der Regel nur unvollständig vorliegt,
- oft vielgestaltige Konzeptualisierungen geographischen Raumes verwendet werden,
- geographisches Wissen in unterschiedlichem Detaillierungsgrad verarbeitet werden muß, und daß
- es keine eindeutigen Differenzierungskriterien zwischen Objekten gibt,

kommen dem Aspektkartenmodell sehr nahe.

Da das Aspektkartenmodell jedoch nicht auf die Verarbeitung geographisch-kartographischen Wissens beschränkt ist, sondern sich eher als ein allgemeiner Ansatz zur Darstellung und Verarbeitung räumlicher Information versteht, weicht es grundsätzlich von den Vorschlägen der Naiven Geographie ab (z.B. in Fragen der Dimensionalität und Annahmen, die in der ontologischen Beschränkung auf geographische Objekte begründet sind).

7.3 Diagrammatisches Schließen

Im Bereich des Diagrammatischen Schließens werden strukturelle Eigenschaften bildhafter Darstellungen ausgenutzt, um Operationen zu erleichtern, die auf bestimmten inhärenten Eigenschaften des Raumes beruhen.

Die Vorteile bildhafter Repräsentationen basieren auf

- der Lokalisierung der Information innerhalb des Mediums (vgl. Larkin & Simon, 1987),
- den emergenten Eigenschaften von Bildern (vgl. Koedinger, 1992), sowie
- den strukturbedingten Einschränkungen, die Bilder aufweisen (vgl. Hauge-land, 1985).

In bezug auf die diagrammatische Darstellung bestimmter Aspekte ist besonders von Interesse, durch welche Datenstrukturen die jeweils benötigte diagrammatische Eigenschaft realisiert wird. Da keine der bekannten Strukturen alle bildhaften Relationen und Prozesse gleich gut modelliert (vgl. Sloman, 1985), liegt die Verwendung spezifischer Repräsentationsmedien nahe, die jeweils für sehr spezifische Aspekte geeignet sind (Barkowsky, 1996). So sind beispielsweise für punktbezogene Skalierungs-, Rotations- oder Orientierungsaufgaben zirkuläre Strukturen ideal (vgl. Funt, 1980), während sich in rechtwinkligen Rasterstrukturen vor allen geradlinige Translationen oder rechtwinklige Orientierungsoperationen gut realisieren lassen.

7.4 Hierarchische Repräsentationen

Man kann davon ausgehen, daß das menschliche Raumrepräsentationssystem nicht nur für die Darstellung räumlicher Relationen zwischen einzelnen Objekten, sondern auch für die Repräsentation der räumlichen Anordnung einzelner Bestandteile von Objekten untereinander zuständig ist (vgl. Kosslyn, 1987; Kosslyn et al., 1990). Im Ansatz der *computational imagery* (Glasgow & Papadias, 1992) wird dieser Gesichtspunkt durch die Verwendung sog. symbolischer Arrays modelliert. In einer baumartigen Hierarchie sind Repräsentationen verschiedener Granularitätsstufen desselben Objekts enthalten, auf die bei Bedarf – je nach Anforderung – zugegriffen werden kann. Auf diese Weise entsteht eine hybride bildhaft-propositionale Repräsentationsstruktur (vgl. auch Habel et al., 1995).

Diese Organisation eröffnet einerseits einige Flexibilität im Umgang mit den dargestellten Objekten, bringt jedoch andererseits die Beschränkung auf vorgefertigte Hierarchien von Objektteilen mit sich. Die vorgestellte Architektur der Aspektkarten gestattet es, unterschiedliche Aspekte mittels ihrer räumlichen Organisation je nach Anforderung aufeinander zu beziehen, ohne durch vorgegebene Organisationsschemata restringiert zu sein.

Ein weiterer wesentlicher Unterschied zum *computational imagery* Ansatz besteht in der Zuordnung räumlicher und nicht-räumlicher Objekteigenschaften. Ausgehend von der strikten Trennung von Informationen zu Objekteigenschaften (‘what’-System) und Objektlokation (‘where’-System) errichten Glasgow und Papadias zwei getrennte Repräsentationsstrukturen (vgl. Farah et al., 1988; Landau & Jackendoff, 1993). Die eindeutige Zuordnung von Objekteigenschaften (z.B. Größe, Form etc.) zu einem der beiden Teilsysteme ist jedoch oft nicht möglich. Aus diesem Grunde scheint es plausibel, Bedeutungsaspekte von repräsentierten Objekten jeweils eng mit der Information über ihre räumliche Lokalisierung zu verknüpfen, um so einen gemeinsamen Bezugsrahmen zur Verfügung zu stellen, über den räumliche und nicht-räumliche Aspekte zueinander in Beziehung gesetzt werden können.

Dank

Wir bedanken uns bei den Mitgliedern der Hamburger Raumkognitions-Projekte, sowie bei den Veranstaltern und Teilnehmern einer Reihe von Workshops für vielfältige Anregungen und interessante Diskussionen. Besonders hervorgehoben seien der ESF GISDATA Workshop on “Spatial models for geographic objects with indeterminate boundaries” in Baden (vgl. Burrough & Frank, 1996), der Berliner Workshop “Propositionale und analoge Modelle zu Perspektive in Sprache und Raum” (April 1996), sowie das NCGIA specialist meeting on “Formal Models of Common-Sense Geographic Worlds” in San Marcos, Texas (Oktober 1996). Wir bedanken uns weiterhin bei den anonymen Gutachtern für ihre wert-

volle Kritik.

Literatur

- Bagrow, L., (1951). *Die Geschichte der Kartographie*. Berlin: Safari-Verlag.
- Barkowsky, T. (1996). *Bildhaftigkeit und ihre Operationalisierung*. Diplomarbeit, Fachbereich Informatik, Universität Hamburg.
- Barkowsky, T., Röhrig, R. & Freksa, C. (1996). Operationalizing diagrammaticity. In *ECAI-96 Workshop W13 Representations and processes between vision and natural language* (pp. 11–16). Budapest.
- Bertin, J. (1982). *Graphische Darstellungen*. Berlin, New York: Walter de Gruyter.
- Burrough, P. & Frank, A. (1996) (Eds.). *Geographic objects with indeterminate boundaries*. London: Taylor & Francis.
- Egenhofer, M., Mark, D. (1995). Naive geography, in Frank, A. & Kuhn, W., Eds., *Spatial information theory. A theoretical basis for GIS, LNCS 988*. Berlin: Springer.
- Farah, M. J., Hammond, K. M., Levine, D. N. & Calvanio, R. (1988). Visual and spatial mental imagery: Dissociable systems of representation. *Cognitive Psychology*, 20, 439–462.
- Frank, A.U., Timpf, S. (1994). Multiple representations for cartographic objects in a multi-scale tree – An intelligent graphical zoom. *Comput. & Graphics*, 18, 823–829.
- Freksa, C. & Barkowsky, T. (1996). On the relation between spatial concepts and geographic objects. In Burrough & Frank, 1996.
- Funt, B. (1980). Problem-Solving with Diagrammatic Representations. *Artificial Intelligence* 13, 201–230.
- Glasgow, J. & Papadias, D. (1992). Computational imagery, *Cognitive Science*, 16, 355–394.
- Habel, C. (1990). Propositional and depictorial representations of spatial knowledge: the case of path concepts. In R. Studer (Ed.), *Natural Language and Logic. Lecture Notes in Artificial Intelligence* (pp. 94–117). Berlin: Springer.

- Habel, C., Pribbenow, S., Simmons, G. (1995). Partonomies and depictions: A hybrid approach. In: Glasgow, J., Narayanan, N.H., Chandrasekaran, B. (Eds.). *Diagrammatic reasoning: Cognitive and computational perspectives*. Menlo Park, California: AAAI Press / The MIT Press.
- Habel, C. (1996). Räumliche Repräsentationsformate für die Sprachproduktion – eine Fallstudie. In Meyer-Klabunde, R., v. Stutterheim, C. (Eds.). *Proceedings of a Workshop on Conceptual and Semantic Knowledge in Language Production*. Heidelberg, Mannheim: Arbeiten aus dem Sonderforschungsbereich 245 “Sprache und Situation”. Bericht Nr. 92, 57–86.
- Haugeland, J. (1985). *Artificial Intelligence - The very idea*. Cambridge, Mass.: MIT-Press.
- Head, C.G. (1991). Mapping as language or semiotic system: review and comment, In D.M. Mark & A.U. Frank (Eds.), *Cognitive and linguistic aspects of geographic space* (pp. 237–262). Kluwer Academic Publishers.
- Höhne, K.H., Pommert, A., Riemer, M., Schiemann, T., Schubert, R., Tiede, U. & Lierse, W. (1995). Dreidimensionale medizinische Atlanten. *uni hh Forschung, XXX*, 43–48.
- Jeannerod, M. (1994). The representing brain: Neural correlates of motor intention and imagery. *Behavioral and Brain Sciences, 17*, 187–245.
- Jungert, E. (1988). Extended symbolic projections as a knowledge structure for spatial reasoning. In J. Kittler (Ed.), *Pattern recognition*. Cambridge, UK.
- Kanizsa, G. (1979). *Organization in vision*. New York: Praeger.
- Koedinger, K. (1992). Emergent properties and structural constraints: advantages of diagrammatic representations for reasoning and learning. In: Narayanan, N. H. (ed.) (1992). *Reasoning with diagrammatic representations*, Technical Report SS-92-02, Menlo Park, CA: AAAI Press.
- Kosslyn, S.M., Flynn, R.A., Amsterdam, J.B., Wang, G. (1990). Components of high-level vision: A cognitive neuroscience analysis and accounts of neurological syndromes. *Cognition, 34*, 203–277.
- Kosslyn, S.M. (1987). Seeing and imagining in the cerebral hemispheres: A computational approach. *Psychological Review, 94*, 148–175.
- Landau, B., Jackendoff, R. (1993). “What” and “Where” in spatial language and spatial cognition. *Behavioral and Brain Sciences, 16*, 217–265.
- Larkin, J. & Simon, H. (1987). Why a diagram is (sometimes) worth ten thousand words. *Cognitive Science, 11*, 65–99.

- Livingstone, M. & Hubel, D. (1988). Segregation of form, color, movement, and depth: anatomy, physiology, and perception. *Science*, *240*, 740–749.
- Meyer-Fujara, J., Schlüpmann, M. (1995). Space-related aspects of a representation system for anatomical knowledge. In L. Dreschler-Fischer & S. Pribbenow (Eds.), *KI-95 Activities: Workshops, posters, demos*. Gesellschaft für Informatik, Bonn.
- Neumann, H., Stiehl, S. (1993). Modelle der frühen visuellen Informationsverarbeitung. In Görz, G., Hg. *Einführung in die künstliche Intelligenz*. Bonn, Paris, Reading, Mass. u.a.: Addison-Wesley.
- Palmer, S.E. (1978). Fundamental aspects of cognitive representation. In E. Rosch & B.B. Lloyd (Eds.), *Cognition and categorization* (pp. 259–303). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Pratt, I. (1993). Map semantics. In Frank, A. & Campari, I., Eds., *Spatial information theory. A theoretical basis for GIS, LNCS 716*. Berlin: Springer.
- Rock, I. & Palmer, S.E. (1990). The legacy of gestalt psychology, *Scientific American*, *263*, 48–61.
- Sloman, A. (1971). Interactions between philosophy and artificial intelligence: the role of intuition and non-logical reasoning in intelligence. *Artificial Intelligence* *2*, 209–225.
- Sloman, A. (1975). Afterthoughts on analogical representations. *Proc. Theoretical Issues in Natural Language Processing* (pp. 164–168). Cambridge, MA.
- Sloman, A. (1985). Why we need many knowledge representation formalisms. In Bramer, M. (Ed.), *Research and development in expert systems*. Cambridge University Press.
- Strube, G., Becker, B., Freksa, C., Hahn, U., Opwis, K., Palm, G., Hg. (1996). *Wörterbuch der Kognitionswissenschaft*. Stuttgart: Klett-Cotta.
- Treisman, A. & Gormican, S. (1988). Feature analysis in early vision: Evidence from search asymmetries. *Psychological Review*, *95*, 15–48.
- Tversky, B. (1992). Distortions in cognitive maps. *Geoforum*, *23*, 131–138.
- Wang, D. (1995). *Studies on the formal semantics of pictures*. ILLC Dissertation Series 1995–4, Institute for Logic, Language and Computation, Universiteit van Amsterdam.