

## 1. Einleitung

Die moderne Datenverarbeitung hat unsere Methoden, räumliche Daten zu verwalten, auszuwerten und darzustellen, grundlegend verändert. Die rasant Entwicklung der Technik fasziniert die meisten. Übereinstimmend sind aber Experten heute der Auffassung, daß nicht mehr die Geräte - die sogenannte Hardware - den Einsatz begrenzen (FRANKLIN 1991). Mit rasender Geschwindigkeit kommen neue Modelle auf den Markt, die Rechnerleistung verdoppelt sich beinahe jährlich und die Preise sinken. Es erstaunt daher nicht, daß diese Entwicklung die Aufmerksamkeit der Kartographen, die die Möglichkeiten der elektronischen Datenverarbeitung schon lange nutzen, auf sich zieht. Das unterstreicht die Wichtigkeit einer Bemerkung von Waldo TOBLER, der darauf hinweist, daß die Halbwertszeit der heutigen Technologie wohl im Bereich von drei bis fünf Jahren liegt, die Halbwertszeit der Theorie der Auswertung räumlicher Daten und der Kartographie aber eher zwischen 15 und 30 Jahren (MOELLERING 1991). Auch MOELLERING weist auf die Nutzlosigkeit einer kartographischen Theorie hin, die vor allem durch den Stand der Reproduktionstechnik und der Datenverarbeitung bestimmt ist. Hier soll daher versucht werden, einige Gedanken zum Verhältnis Datenbanken und Kartographie anzustellen, die nicht vom zufälligen Stand der heutigen Hilfsmittel abhängig sind, sondern die Speicherung und graphische Kommunikation grundsätzlich betreffen, wobei Methoden der Datenbank-Theorie auf die Kartographie angewendet werden sollen.

Wenn man annimmt, daß die Geräte heute - oder doch in sehr absehbarer Zukunft - nicht mehr, wie in der Vergangenheit, die Grenzen setzen, so fragt sich natürlich, was denn Kartographie heute begrenzt. Klarerweise sind es die Programme - die Software - die den Einsatz moderner Datenverarbeitung in der Kartographie limitieren. Aber auch die Kenntnisse und Fähigkeiten der Kartographen, um existierende Programme richtig anzuwenden, setzen Grenzen. Natürlich kann man nun nach mehr Ausbildung und besseren Programmen rufen. Man kann aber auch fragen, was denn die Ursache für die Schwierigkeiten mit der Erstellung von Programmen im allgemeinen, für die sogenannte Software-Krise, und von Programmen für die Kartographie im speziellen, sind.

Programme beruhen auf einem theoretischen Verständnis einer Aufgabe, das nachher in abstrakte Anweisungen an eine Maschine übersetzt wird, um sehr viele gleichartige, konkrete Aufgaben nach dieser Anweisung ausführen zu können. Die Anforderung an die Präzision der Anweisungen ist wesentlich höher als wenn ein geschulter Kartograph diese ausführt; Computer besitzen bekanntlich keinen "gesunden Menschenverstand" und kein allgemeines Verständnis der Ziele eines Kartenbenutzers und dessen übliche Beschränkungen. Was für die Programmierung benötigt wird, ist eine Theorie der Kartographie, oder wenigstens großer Teile davon. Eine solche Theorie muß (zumindest) zwei Dinge leisten:

- Das Gesamtproblem muß in verstehbare Teilprobleme aufgeteilt werden, die voneinander möglichst unabhängig sind. Damit wird die Komplexität der Aufgabe vermindert und eine erfolgreiche Bearbeitung der Probleme möglich.
- Die Theorie muß einen Rahmen bieten, in dem Teilprobleme analysiert und Lösungen formal beschrieben werden können.

Dieser Beitrag schlägt vor, die Methoden der Modellierung von Daten, die von der Datenbank-Forschung entwickelt wurden, auf kartographische Probleme anzuwenden. Es wird gezeigt, wie die kartographische Aufgabe in diesem Bezugsrahmen aufzufassen ist und welche formalen Methoden dann anwendbar werden. Damit werden diese Aufgaben einer gezielten und fundierten Diskussion zugänglich und die Begriffe, mindestens im Prinzip, formal definierbar.

## 2. Transformation von Daten zur Graphik

Es wird angenommen, daß ein Geographisches Informationssystem (GIS) vorhanden ist, in dem Daten, die ein Modell der Realität beschreiben, gespeichert sind; solche GIS werden heute an vielen Stellen für manche verschiedene Aufgaben erstellt. Die Daten werden mit mancherlei Methoden erfaßt

- 1) Diese Arbeit wurde unterstützt von der amerikanischen National Science Foundation durch ihren Beitrag an das NCGIA (Grant SES 88-10917) und von der Intergraph Corporation, USA.

(Siehe Beitrag von KRAUS K., S. 45 - 50, in diesem Band) und nach den Anforderungen der Anwendung, z.B. topographische Kartierung, modelliert und generalisiert. Diese Daten sind nicht in erster Linie für die graphische Ausgabe, für die Erstellung von Karten gesammelt, strukturiert und gespeichert worden, sondern für irgendwelche andere Zwecke, z.B. für Analysen, Planung oder Verwaltung. In diesem Sinne ist ein GIS von einer kartographischen Datenbank (FRANK 1991) zu unterscheiden, in der Daten als Grundlage für die Produktion von Karten gespeichert werden.

Es wird nun gewünscht, die Daten aus dem GIS graphisch darzustellen - also eine Karte zu produzieren. Die Aufgabe kann als Transformation von einer gespeicherten Repräsentation eines Teiles der Realität zu einer graphischen Darstellung aufgefaßt werden, sodaß diese graphische Darstellung die Information kommuniziert, die in der Datenbank enthalten ist und an der ein Benutzer interessiert ist. Es sind nun die Details dieser Transformation zu untersuchen, zuvor sei aber noch ein Hinweis auf die generelle Schwierigkeit der Aufgabe erlaubt. Die Aufgabe einer vollautomatisch ablaufenden Kartenproduktion ist - wenn man dafür die Maßstäbe der Spitzenkartographie ansetzt - heute ohne Interaktion nicht zu lösen. In der Literatur wurde darüber ausgiebig diskutiert, ob dies prinzipiell unmöglich sei oder nicht. Vollständig automatische Kartographie ist wahrscheinlich von ähnlichem Schwierigkeitsgrad, wie das Verständnis menschlicher (natürlicher) Sprache, das Erkennen von Bildern, etc., über deren Lösbarkeit in der Informatikliteratur diskutiert wird. Die Forscher im Bereich "Künstliche Intelligenz" vermuten, daß eine Lösung eines dieser Probleme auch die Lösung der anderen wesentlich erleichtern würde (darum wird die ganze Gruppe dieser Aufgaben auch als "AI hard" bezeichnet). Leider ist für keines dieser Probleme ein grundsätzlicher Durchbruch in Sicht.

Alle diese Aufgaben, nicht nur die automatische Produktion von Karten, haben aber praktische Lösungen, wenn man die Breite der Aufgabenstellung beschneidet, d.h. eine beschränkte Klasse von Anwendungen untersucht und weniger hohe Ansprüche an die Qualität setzt. - Praktisch stellt sich am Schluß die Frage, ob die Qualität für die Anwendung ausreicht oder nicht. Zum Beispiel sind die Einschränkungen der Programme, die gesprochene Sprache verstehen noch so erheblich, daß ein praktischer Einsatz nur ausnahmsweise angezeigt ist, hingegen macht die Erkennung von Handschrift rasche Fortschritte und wird schon praktisch eingesetzt.

### 3. GIS und Karte als verschiedene Modelle der Welt

Menschen formen im Kopf Modelle der Welt, der Realität, oder von Teilen davon, je nach den Anforderungen der Aufgaben, die sie zu lösen haben. Diese mentalen Modelle können nicht direkt kommuniziert werden, weshalb Repräsentationen dieser Modelle als sprachliche Beschreibung, als Liste, als Datensatz oder als Karte erstellt werden. Solche Repräsentationen können mit technischen Mitteln manipuliert werden, wobei die elektronische Datenverarbeitung eine besondere Stellung einnimmt. In der traditionellen Kartographie ist die Speicherung der Daten an die graphische Repräsentation gebunden und nur wenig Verarbeitungsschritte sind möglich ohne Intervention eines Menschen, der die Zeichen interpretiert und umformt.

Diese Trennung von Speicherung, Verarbeitung und kartographischer Präsentation ist die entscheidende technische Änderung im Produktionsprozeß der Karte, welche nicht nur die kartographische Produktion beeinflusst, sondern auch einen neuen Gesichtspunkt für die Theorie der Kartographie ermöglicht, indem der abstrakte Karteninhalt und dessen konkrete graphische Darstellung voneinander getrennt werden können. Insbesondere ist in dieser Sichtweise die kartographische Darstellung nicht besonders bevorzugt, sondern eine unter verschiedenen Repräsentationen.

In der Datenbanktheorie werden ähnliche Ansätze seit längerer Zeit verfolgt. Insbesondere werden verschiedene Methoden der Modellierung von Informationen untersucht (z.B. das relationale Datenmodell oder das Entity-Relationship-Model) und Transformationen von Daten von einem in ein anderes Modell beschrieben. Solche Transformationen sind unter bestimmten Bedingungen verlustfrei und können dann rückgängig gemacht werden, in anderen Fällen nicht. Darstellungen, die nur einen Teil der Original-Information enthalten, also vereinfacht wurden, werden oft Views oder Benutzer-Sichten genannt. Sie sind nützlich, um für bestimmte Benutzergruppen Informationen den Bedürfnissen entsprechend darzustellen und die Benutzer nicht mit für sie irrelevanten Daten zu verwirren. Kartographische Darstellungen lassen sich als spezieller Fall einer Benutzer-Sicht auffassen (BUTTENFIELD, DeLOTTO 1989).

Zusammenfassend kann man feststellen, daß eine moderne kartographische Theorie gespeicherte kartographische Daten einerseits und graphische Repräsentationen auf der Karte andererseits unter-

scheiden muß. Es gilt zu beschreiben, welche Daten für eine Karte notwendig sind und davon getrennt zu diskutieren, wie diese kartographisch am besten präsentiert werden, sodaß der menschliche Benutzer sie optimal versteht und verwenden kann.

#### 4. Verschiedene Modelle für GIS und Kartographie

GIS und kartographische Datenbanken können am besten nach ihrem Verwendungszweck unterschieden werden. Als kartographische Datenbank soll eine Datenbank bezeichnet werden, die in erster Linie für die Erstellung von graphischen Karten aufgebaut wurde. Geographische Datenbanken mit den zugehörigen Programmen, die für irgendwelche andere Zwecke geschaffen werden, sollen generell mit GIS bezeichnet werden.

Einem GIS und einer kartographischen Datenbank liegen sehr verschiedene Modelle der Realität zugrunde. Aus dem Unterschied im Benutzerkreis, für den sie geplant sind, folgt ein Unterschied in der Art der Modellierung.

GIS können für die verschiedensten Anwendungen erstellt werden und enthalten dann jeweils verschiedene Daten. Es wird zwar oft von Mehrzweck-GIS (oder Mehrzweckkataster) gesprochen, in jedem Fall werden aber die zugrundeliegenden Datensammlungen für einen bestimmten Verwendungszweck angelegt. Das sind oft administrative Aufgaben, z.B. die Berechnung von Grundstücks-Steuern, oder die Verwaltung von Ressourcen, wobei oft analytische Auswertungen von Modellen notwendig sind. Beispiele sind die hydraulische Berechnung eines Abwassernetzes, der Unterhalt eines Telefon-Leitungsnetzes oder die Verfolgung der Bevölkerungsentwicklung. Die graphische Präsentation ist dann sekundär. Wenn dieselben Daten nachher auch für andere Aufgaben herangezogen werden können, so spart das Kosten und steigert die Effizienz des Systems.

Topographische Karten sind grundsätzlich für eine Mehrzahl von Benutzern ausgelegt und enthalten eine Reihe von, durch Konventionen festgelegte Informationen, von denen man annimmt, daß sie für eine große Zahl von Benutzern wesentlich sind. Nur in Ausnahmefällen werden mehrere topographische Kartenreihen mit gleichem Maßstab und unterschiedlichen Inhalten für unterschiedliche Benutzergruppen angeboten.

Der wesentlichere Unterschied ist, daß GIS Modelle der Realität für analytische Auswertungen, kartographische Datenbanken dagegen graphische Mo-

delle speichern (FRANK 1984a, b und 1991). Die Modelle in den kartographischen Datenbanken sind damit abgeleitete und bereits graphisch codierte Modelle. Das wird deutlich, wenn Daten analytisch ausgewertet werden sollen. Zahlreiche Methoden der Kartographie, die zur Verbesserung der graphischen Darstellung dienen, behindern die analytischen Auswertungen oder die logische Datenabfrage. Zum Beispiel ist die Ableitung eines Digitalen Geländemodelles (DGM) aus Höhenkurven schwierig. Grundsätzlich sind Höhenkurven wenig geeignet für analytische Auswertungen und aus graphischen Gründen sind die konkreten Höhenkurvenlinien einer Karte außerdem unvollständig und häufig unterbrochen.

Im folgenden werden die Begriffe kartographische Datenbank und GIS in diesem engen Sinne verwendet. Die heutige Praxis benötigt diesen scharfen Unterschied oft nicht, da die Systeme "hybrid" sind, und Aspekte sowohl eines (analytisch) orientierten GIS enthalten als auch zur Produktion von Karten dienen sollen. GIS-Datenbanken enthalten oft und zu einem guten Teil graphische Daten (z.B. Anweisungen für die Platzierung von Parzellennummern in einem Kataster) und kartographische Datenbanken sind oft eher als Modelle der Welt codiert, denn als graphische Objektverwaltungen. Zum Schluß der Ausführung sollte deutlich werden, was die Gründe für diese durchaus nützliche und sinnvolle Entwicklung sind.

#### 5. Datenbank und Karte modellieren dieselbe Realität

Wenn aus einer Datenbank eine Karte abgeleitet wird (sei es nun eine kartographische Datenbank oder ein GIS), so stellen Karte und Datenbank Ausschnitte derselben Realität dar. Dabei kann natürlich die Karte nicht mehr darstellen, als in der Datenbank enthalten war; im Falle einer kartographischen Datenbank, die für die Erstellung einer einzigen Karte erstellt wurde, wie das etwa bei topographischen Diensten vorkommt, wird die Karte auch (fast) alle Daten aus der Datenbank darstellen.

Es stellt sich nun die Frage, in welcher Hinsicht Karte und Datenbank ähnlich sein müssen. Ziel ist die Kommunikation bestimmter Sachverhalte, beispielsweise die Mitteilung "Wien liegt an der Donau" oder "Innsbruck ist Hauptstadt Tirols". Diese Sachverhalte sind in der Datenbank enthalten, als Beziehung zwischen den Objekten oder als Beziehung zwischen einem Objekt und einem Datenwert. Dieselben Sachverhalte werden nun graphisch aus-

gedrückt, indem das Symbol für die Stadt Wien nahe am Symbol für die Donau plaziert wird, oder indem für die Stadt Innsbruck das Symbol für eine Landeshauptstadt gewählt wird, sodaß der menschliche Leser der Karte die richtige Information erhält. Die Karte und die Datenbank müssen beide dieselben Beziehungen ausdrücken (und keine anderen), und diese müssen mit der Realität übereinstimmen.

Die Gesamtheit dieser Beziehungen kann als die Struktur des Modelles bezeichnet werden und wir postulieren, daß diese Struktur, daß heißt diese Beziehungen, bei der Transformation von einem Modell in ein anderes, erhalten bleiben muß. Diese Struktur ist gerade die Information, an der der Benutzer interessiert ist: Die Karte soll die Lage von Objekten im Verhältnis zu anderen Objekten wiedergeben.

Unter der Bezeichnung "semantic networks" (FINDLER 1979) hat man in AI-Forschung solche Beziehungen als Netze dargestellt und gezeigt, daß Informationen in dieser Art sehr flexibel dargestellt werden können. Es ist gelungen, gewisse menschliche Denkprozesse als Operationen an solchen semantischen Netzen zu simulieren.

In der Mathematik wurden Abbildungen zwischen Strukturen eingehend untersucht. Eine Abbildung oder Transformation zwischen Mengen, in denen analoge Strukturen bestehen, die bei der Abbildung erhalten bleiben, heißt Morphismus. Es werden dabei zwei Mengen mit je einer Beziehung zwischen ihren Elementen vorausgesetzt. Nun sollen die Elemente der einen Menge so in die Elemente der anderen Menge abgebildet werden, daß die Beziehungen erhalten bleiben.

Gegeben zwei Mengen A bestehend aus  $\{a_1, a_2, a_3, \dots\}$  und B bestehend aus  $\{b_1, b_2, b_3, \dots\}$ . In jeder Menge bestehen Operationen  $f$  in A und  $g$  in B, mit  $f(a_i) = a_j$  und  $g(b_m) = b_n$ . Eine Abbildung  $h$  von A auf B wird homomorph genannt, wenn sie die Elemente von A in Elemente von B überführt, sodaß  $h(f(a_i)) = g(h(a_i))$  ist. Das heißt, es ist gleichgültig, ob die Operation an den Objekten in A (z.B. der Realität) vorgenommen wird und das Ergebnis nach B transformiert wird, oder ob die Objekte gleich nach B (z.B. die Karte) transformiert werden und die entsprechende Operation dort durchgeführt wird. Das ist genau unser Problem: Die Beziehung "Wien liegt an der Donau" soll sowohl für die originale Datensammlung als auch nach der kartographischen Transformation für die Karte gelten.

Die Schwierigkeit besteht nun darin, diese Struktur zu erfassen und in graphisch kommunizierende Zeichen zu übersetzen. In einer Karte wird Information über die räumliche Lage von Objekten wohl in erster Linie als topologische Beziehungen ("Wien liegt an der Donau", "München liegt in Deutschland") vom Benutzer gelesen, hingegen sind solche Sachverhalte typischerweise in der Datenbank nicht explizit, sondern nur implizit enthalten, indem Punkte, Linien und Flächen koordinatenmäßig festgelegt sind. So ist die Position von Wien und München gegeben, ist der Verlauf der Donau oder die Grenze Deutschlands mit Koordinaten festgelegt etc. Will man feststellen, ob München innerhalb Deutschlands liegt, muß man dies durch Vergleich der Grenzkoordinaten mit der Position der Stadt tun [dazu dient der sogenannte "Point in Polygon"-Algorithmus (PREPARATA 1985)]. Der Leser der Karte erfaßt diese Information graphisch viel unmittelbarer, muß aber zum gleichen Ergebnis kommen. Generell werden Benutzer einer Karte nur in den seltensten Fällen Koordinaten daraus herauslesen.

Zusätzliche Schwierigkeiten entstehen, indem nicht nur einfach topologische Relationen (z.B. innerhalb, benachbart, schneidet etc.) aus einer Karte herausgelesen werden, sondern auch unscharfe metrische Beziehungen, etwa: "München liegt im Süden Deutschlands", "Mödling ist nahe bei Wien" etc. In einer thematischen Karte kann sichtbar werden, daß eine Variable von Süden nach Norden zunimmt. Natürlich sind solche Beziehungen in einer Datenbank nicht explizit gespeichert, ja können nicht enthalten sein, weil es zuviele davon gibt. Allein zwischen  $n$  Städten auf einer Karte bestehen  $O(n^2)$  Distanz und Richtungsbezüge; die Speicherung der  $n$  Koordinatenpaare und die Berechnung der Richtung oder Distanz, wenn sie benötigt wird, ist wesentlich einfacher.

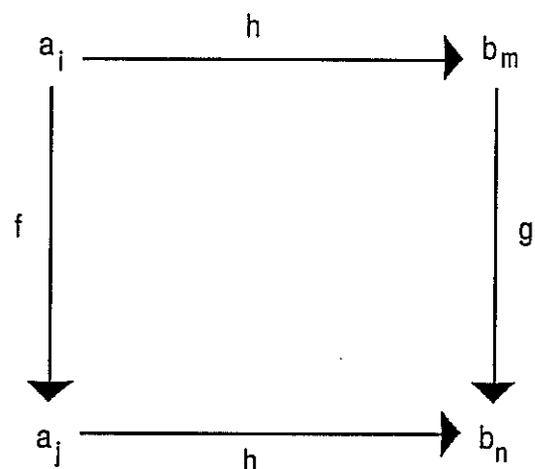


Abb. 1: Homomorphe Abbildung  $h$

## 6. Bestandteile der kartographischen Transformation

Die Transformation, die den Inhalt einer Datenbank in eine Karte überführt, zerfällt in mehrere Schritte. Es scheint möglich zu sein, thematisch und graphisch bestimmte Schritte zu unterscheiden, nämlich die Auswahl der Objekttypen, die Auswahl der Attribute, die darzustellen sind, die Auswahl der gespeicherten Objekte dieser Typen, die effektiv dargestellt werden sollen und Operationen, die zur Verbesserung der graphischen Kommunikation dienen, inhaltlich aber nichts ändern. Als selbstverständlich wird hier die Maßstabstransformation vorausgesetzt, die die metrische Information ins gewünschte Projektionssystem und in den gewünschten Maßstab umrechnet und bei Verwendung moderner Datenverarbeitung vollständig automatisch abläuft.

Für die Erstellung der Karte muß zuerst entschieden werden, welche Objekttypen aus der Datenbank in der Karte erscheinen sollen; es muß festgelegt werden, ob Straßen, Kanäle, Gemeindegrenzen oder Hochspannungsleitungen aufscheinen sollen. Für diese wiederum müssen die Attribute, die die kartographische Darstellung beeinflussen sollen, ausgewählt werden; z.B. ob und welche Straßenklassen zu unterscheiden sind oder ob die elektrische Spannung in der Hochspannungsleitung die Darstellung beeinflussen soll. Dies ist nicht einfach eine Auflistung der Objekte und eine Auswahl der interessierenden Attribute [diese Operation wird in der Terminologie des relationalen Datenmodells (PREPARATA 1985, ULLMANN 1982) "Projektion" genannt]. Es kann sich um eine Anzahl beliebig komplexer Ausdrücke handeln, die zu einer Anzahl von relationalen Tabellen führen (je eine für jeden Objekt-Typ der auf der Karte erscheinen soll). Zum Beispiel werden aus verschiedenen Tabellen für Dörfer, Städte, Hauptstädte etc. Daten ausgewählt und in einer einzelnen Tabelle für Siedlungen mit einem Attribut für die Bevölkerungszahl und einem anderen Attribut, das angibt, ob es sich um eine Provinz oder Landeshauptstadt handelt, zusammengefaßt. Dies kann durch Operationen auf dem relationalen Datenbank-Schema abstrakt beschrieben werden, ohne auf die tatsächlich gespeicherten Objekte Bezug zu nehmen.

Danach müssen aus der Sammlung der einzelnen Objekte in der Datenbank diejenigen ausgewählt werden, die auf der Karte aufscheinen sollen. Es wird oft angenommen, daß eine solche Auswahl nach dem Wert eines Attributes des Objektes erfolgen kann, z.B. können Siedlungen mit einem Grenzwert für die minimale Einwohnerzahl ausgewählt

werden (MÜLLER 1990). Dies ist im wesentlichen eine "select"-Operation in der Terminologie der relationalen Datenbanken, kann aber auch kompliziertere Bedingungen verwenden.

Diese Operation der Objekt-Auswahl ist selbstverständlich nicht ausreichend für die Erstellung einer Karte. Sie berücksichtigt nicht die Beschränkungen der kartographischen Kommunikation und entspricht nicht den Erwartungen des Kartenbenutzers, der sich zum Beispiel im Gelände orientieren will. In Gebieten, die weniger dicht bevölkert sind, werden auch weniger wichtige Elemente für die Orientierung bedeutsam. Kartographen vermeiden "leere" Flächen und stellen auf Karten kleinen Maßstabs in menschenleeren Gegenden auch noch sehr kleine Siedlungen dar (zum Beispiel die winzigen Siedlungen in Nordkanada, Grönland, Alaska und Sibirien), wogegen auf den gleichen Karten Siedlungen, die um mehrere Größenordnungen größer sind, nicht dargestellt werden. In einem speziellen Fall sind zum Beispiel auf einer Karte im Maßstab 1 : 34 Mill. Dörfer mit weniger als 10.000 Einwohner dargestellt, wogegen Großstädte mit 300.000 Einwohner in dicht besiedelten Gebieten fehlen.

Dann müssen für die Objekte und ihre Attributwerte Übersetzungen in graphische Symbole festgelegt werden. Die Kartenlegende gibt im Generellen an, wie ein Objekt dargestellt werden soll. Nach dieser Legende werden die geometrischen Daten in der Datenbank in graphische Daten umgewandelt, die die Ausgabe der Karte steuern. Es werden also die Positionen und Größen von Städten in die entsprechenden Punktsymbole umgewandelt und die Liniensymbole für die Straßen, entsprechend der Straßenklassifizierung, ausgewählt sowie die graphischen Anweisungen produziert. Die Namen von Objekten werden von Attributwerten in Zeichenketten umgewandelt und plaziert.

Bei allen diesen Transformationen muß sichergestellt werden, daß die Beschränkungen des graphischen Ausdrucks respektiert und die Regeln der (karto-)graphischen Kommunikation berücksichtigt werden. So kann weggelassen werden, was wegen beschränkter Auflösung keinesfalls dargestellt werden kann. Dann muß vermieden werden, daß sich graphische Symbole überdecken etc. Kartographen haben Generalisierungsmethoden entwickelt, um auf einer gegebenen Kartenfläche räumliche Informationen optimal zu kommunizieren. Teilweise ist es auch gelungen, solche Methoden zu automatisieren und in kartographische Programme einzubauen (FREEMAN, AHN 1984; BUTTENFIELD, McMASTER 1991; BEARD 1991).

Die Schwierigkeit besteht darin, daß es sich hierbei nicht um einen linearen Prozeß handelt, in dem ein Schritt nach dem anderen vorgenommen werden kann, sondern daß eine Rückkoppelung notwendig ist und der letzte Schritt (die graphische Darstellung) den ersten (die Auswahl der darzustellenden Objekttypen) beeinflussen muß. Gut ausgebildete Kartographen mit viel Erfahrung können diese Rückkoppelung ohne weiteres leisten, eine sinnvolle Programmierung ist aber bis heute noch nicht gelungen.

## 7. Ableitung einer Karte aus einem kartographischen Modell

Betrachten wir den in der kartographischen Literatur ausgiebig diskutierten Fall, daß aus einer bestehenden Karte eine andere, meist mit kleinerem Maßstab, abzuleiten ist. Dies entspricht der manuellen Arbeitsweise, die gegeben ist, wenn Speicherung und kartographische Darstellung eins sind. Auf die digitale Kartographie übertragen heißt das, daß man aus einer digital gespeicherten Karte eines Maßstabes einen Folgemaßstab abzuleiten hat. Die Transformation der Koordinaten ist offensichtlich kein Problem und kann leicht bewerkstelligt werden. Damit hat man aber bekanntlich noch keine Karte im kleineren Maßstab, vielmehr ist die schwierige Aufgabe der kartographischen Generalisierung des Karteninhaltes zu lösen für die es, bisher jedenfalls, noch keine umfassenden und allgemeingültigen algorithmischen Verfahren gibt. Wohl wurden inzwischen wichtige Teilprobleme von verschiedenen Autoren bearbeitet, eine operationelle Gesamtlösung ist jedoch nicht in Sicht.

Die Aufgabe besteht darin, aus einem digital (d.h. durch Koordinaten bestimmten) Modell einer Karte ein anderes Modell abzuleiten. Diese Aufgabe ist zu vergleichen mit der Aufgabe, aus einem GIS-Modell der Realität eine Karte abzuleiten. Es wird im allgemeinen angenommen, daß die Ableitung einer Karte aus einer bestehenden Karte einfacher ist, als aus einem GIS-Modell. Dies muß nicht unbedingt zutreffen:

Der Vorteil einer vorliegenden Karte wird darin gesehen, daß viele Schritte der kartographischen Generalisierung bereits ausgeführt sind und übernommen werden können. Es scheint ökonomischer zu sein, vorher geleistete Arbeit weiterzuverwenden, als immer wieder am Anfang anzufangen. Dies ist sicher richtig, wenn es sich um wertvolle, menschliche Arbeit handelt. Wenn es sich dagegen um Rechenleistung eines Computers handelt, sind wahrscheinlich eher die Einfachheit der Programmierung

ein besseres Kriterium für die Optimierung: Rechenleistung ist heute im wesentlichen kostenlos und nur in Ausnahmefällen die kritische Ressource.

Die Nachteile, eine digitale Karte anstelle eines direkten Modelles der Welt zu benutzen, liegen darin, daß in vielen Fällen zuerst die digitale Karte "gelesen" werden muß, um zu erkennen, welche Sachverhalte ausgedrückt wurden und erst dann entschieden werden kann, wie diese behandelt werden müssen. Dies ist vergleichbar mit anderen Problemen, die "AI hard" sind, d.h. die mit der Erkennung von Mustern und dem Entschlüsseln von Informationen aus natürlicher Sprache verbunden sind. Die Ableitung eines Folgemaßstabes aus einer Karte ist kein rein graphischer Prozeß, bei dem graphische Symbole umgesetzt und reduziert werden, sondern es ist ein Prozeß, bei dem die Karte interpretiert und eine neue kartographische Darstellung dieser Interpretation gezeichnet wird. Die Ableitung einer Karte aus einem GIS hingegen erfolgt nach den oben beschriebenen Schritten der Auswahl und Darstellung und benötigt keinen Interpretations-Schritt, da die Daten in einer eindeutigen Form vorliegen, die die für die Ausgabe notwendige Information, für den Algorithmus richtig codiert, enthält.

Aus dem Vorangehenden folgt, daß die Ableitung einer Karte eines Folgemaßstabes aus einer Karte schwieriger sein muß, als die Ableitung aus einer Datenbank, die speziell für topographische Karten erstellt wurde. Eine optimale Speicherung kartographischer Daten ist daher nicht ein graphisches Modell sondern ein Modell, das (einem GIS vergleichbar) ein Modell der Realität sein will. Natürlich muß ein solches kartographisches GIS die speziellen Aspekte der Realität, die für die topographische Kartographie relevant sind, enthalten. In dieses Modell sollten dann zusätzliche kartographische Anweisungen (nicht unbedingt deren Ergebnisse) integriert werden. Solche Anweisungen speichern beispielsweise manuelle Generalisierungsschritte des Kartographen, sodaß sie bei einer späteren Bearbeitung automatisch wiederholt werden können; am wichtigsten sind die Anweisungen zur Platzierung von Namen (DOERSCHLER, FREEMAN 1992), da sie einen großen Anteil der Bearbeitungszeit ausmachen.

## 8. Welche Eingaben verlangen kartographische Darstellungsregeln?

Die oben benutzte Unterscheidung von kartographischen Daten und effektiver Darstellung in einer Karte kann unmittelbar benutzt werden, um die Regeln für die kartographische Darstellung zu klassifizieren. Der eine Prototyp von Regeln benötigt die

Daten in der kartographischen Datenbank, d.h. die Beschreibung des Modelles der Realität. Der andere Typus von Regeln operiert rein auf dem graphischen Bild und verbessert dieses, ohne sich auf die Bedeutung der graphischen Elemente abzustützen. Im allgemeinen werden Regeln beider Arten von Eingaben erwartet; es wäre aber nützlich zu untersuchen, ob es möglich ist, eine weitgehende Trennung zu finden. Man findet gleich, daß die Modellorientierten Regeln der Kartographie zuerst anzuwenden sind - wie oben als Sequenz von Auswahl und anschließend Darstellung ausgeführt - und die graphischen Regeln daran anschließend. Die notwendige Rückkoppelung zeigt sich, indem in einem Teil der Fälle eine spätere Regel ein Problem entdecken kann, es aber nicht mehr lösen kann, sondern es mit dieser zusätzlichen Information versehen an eine der vorangehenden Regeln zurückweist.

Im wesentlichen können kartographische Regeln damit in drei Gruppen unterteilt werden:

1. Regeln, die generell anwendbar sind, unabhängig von den effektiv vorliegenden Daten. Solche Regeln werden in den ersten Schritten des Kartenentwurfes angewendet und beeinflussen, was in der Kartenlegende festgelegt wird.
2. Regeln, die die Auswahl, Reklassifizierung und auf andere Modelle bezogene Umformungen bezwecken.
3. Regeln, die das graphische Bild verbessern.

Zur ersten Gruppe gehören die allgemeinen Regeln der Kartographie, die zum Beispiel sagen, daß nicht mehr als sieben verschiedene Werte in einer Klassifizierung durch Farbtöne darzustellen sind, oder daß ein nominaler Wert an einem Punkt nicht durch drei unterschiedliche Größen desselben Symbolen darzustellen sei (BERTIN 1983, IMHOF 1972).

Zur zweiten Gruppe gehören Regeln, die die Auswahl der Daten für eine bestimmte Karte besorgen und dabei auf die Sachverhalte im Modell abstellen. Sie können dabei auch auf Muster und lokale Dichte abstellen und zum Beispiel die Übernahme eines Hauses von der Absenz anderer Häuser in der unmittelbaren Umgebung abhängig machen. Generell scheint es möglich zu sein, Regeln die auf die lokale Dichte abstellen, hier einzubeziehen. So sollte etwa eine flexible Regel für die Auswahl von Siedlungen möglich sein, die auch winzige Siedlungen in menschenleeren Gegenden berücksichtigt, und zwar ausschließlich mittels Informationen aus dem Modell.

Die dritte Gruppe enthält Regeln, die einzig auf der graphischen Darstellung operieren. Zum Beispiel sind eine ganze Reihe von Vereinfachungen nur durch die Auflösung diktiert und beeinflussen die effektive graphische Darstellung nicht. Es ist daher trivial, Punkte wegzulassen, die mit der gegebenen graphischen Auflösung nichts zur Darstellung beitragen können. Diese Operation beruht nur auf graphischen Überlegungen. Ähnlich ist das Weglassen von Gebieten, die zu klein sind, um sichtbar zu werden, zu beurteilen. Aber auch manche Verdrängungsregeln sind rein graphisch motiviert.

## 9. Zusammenfassung und Ausblick

Die Trennung von Datenspeicherung und graphischer Darstellung ist die entscheidende Änderung, welche die moderne Kartographie von der traditionellen unterscheiden muß. Dabei geht es nicht in erster Linie um eine technische Entwicklung, die heute in rascher Folge die kartographische Praxis beeinflußt, sondern um einen theoretisch bedeutsamen Schritt.

Die Methoden der Datenbank-Theorie zur Beschreibung der gespeicherten Daten lassen sich direkt auf kartographische Daten anwenden und manche der speziellen kartographischen Operationen lassen sich als Folgen von Datenbank-Operationen beschreiben (z.B. als Ausdrücke der relationalen Algebra). Damit lassen sich diese Operationen in einem formal wohldefinierten System, der relationalen Algebra (JULLMAN 1982), beschreiben - und es kann auch untersucht werden, welche Aspekte der kartographischen Arbeit damit nicht erfaßt werden.

Es wäre insbesondere nützlich, zu untersuchen, welches Modell der Realität einer topographischen Karte zugrundeliegt und ein Datenbank-Schema für ein topographisches Informationssystem zu entwerfen. Mit einem solchen Schema kann dann im Detail geklärt werden, welche Daten vorliegen und in einem Algorithmus verwendet werden können. Man kommt damit auch zu einer Klassifizierung der kartographischen Regeln, die entweder auf die Daten im Datenbank-Schema, auf die Daten, die in der Datenbank in der durch das Schema beschriebenen Art gespeichert sind, oder auf die graphische Darstellung dieser Daten abstellen. Regeln, die sich als Mischformen darstellen, können dann in ihre einzelnen Bestandteile nach dieser Klassifizierung unterteilt werden.

Zum Schluß eine allgemeine Bemerkung, die den heutigen Stand der Kartographie vielleicht in eine

weitere Perspektive zu stellen vermag. Die moderne Datenverarbeitung hat unsere Methoden, räumliche Daten zu verwalten, auszuwerten und darzustellen, grundlegend verändert und alle Anzeichen deuten darauf, daß wir erst am Beginn einer Entwicklung stehen, die noch lange weitergehen kann und die unseren Begriff von Kartographie weiter verändern wird. Vielleicht kann man unsere Situation mit der Entwicklung und Einführung des Automobils vergleichen. Es ist dann schwierig, zu entscheiden, ob die Entwicklung der Datenverarbeitung erst den Stand vergleichbar der Automobil-Technologie von 1910 oder schon den Stand 1940 erreicht hat - man bedenke aber dabei, daß die umfassende Umwandlung unserer Siedlungsräume, der sozialen Beziehungen etc. durch das Automobil erst nach dem Zweiten Weltkrieg stattfand, während die "Hardware" schon damals einen sehr beachtlichen Stand aufwies. - Was wird diese Entwicklung der Kartographie noch alles bringen?

## 10. Literaturverzeichnis

- BEARD K (1991), Theory of the Cartographic Line Revisited: Implications for Automated Generalization. In: Cartographica, 28, 4, pp 32 - 58.
- BERTIN J (1983), Semiology of Graphics. Madison, WI, The Univ. of Wisconsin Press.
- BUTTENFIELD B P, DeLOTTO J S (1989), Multiple Representations. In: Initiative 3 Specialist Meeting Report, No. 89-3. NCGIA.
- BUTTENFIELD B, McMASTER R (ed.) (1991), Rule based cartographic generalization. London, Longman.
- DOERSCHLER J S, FREEMAN H (1992), A Rule-Based System for Dense-Map Name Placement. In: Communications of the ACM, 35, 1, p. 68.
- FINDLER N V (1979), Associative Networks: Representation and Use of Knowledge by Computers, XVII ed. New York, Acad. Press.
- FRANK A U (1984a), Computer assisted cartography: graphics or geometry? In: ASCE Journ. of Surveying Engineering, 110, 2, pp 159 - 168.
- FRANK A U (1984b), Computergestützte Planerstellung - Graphik oder Geometrie? In: Vermess., Photogramm., Kulturtechn., 84, 12, S. 385.

FRANK A U (1991), Design of Cartographic Databases. In: MÜLLER J-C (ed.), ICA Handbook Cartography. Elsevier.

FRANKLIN Wm. R. (1991), Computer Systems and Low-Level Data Structures for GIS. In: MAGUIRE D J, GOODSCHILD M F, RHIND D W (eds.), Geogr. Inform. Systems: Principles and Applications, p. 215. Longman.

FREEMAN H, AHN J (1984), Autonap - An Expert System for Automatic Map Name Placement. In: Proc. Int. Symp. on Spatial Data Handling, pp 544 - 569. Zürich.

IMHOF E (1972), Thematische Kartographie. Berlin, de Gruyter.

MOELLERING H (1991), Whither Analytical Cartography? In: Cartogr. and GIS, 18, 1, pp 7 - 9.

MÜLLER J C (1990), Rule Based Generalization: Potentials and Impediments. In: BRASSEL K (ed.), Proc. 4th Int. Symp. on Spatial Data Handling, 1, pp 317 - 334. Zürich, Int. Geogr. Union IGU, Comm. on Geogr. Inform. Systems.

PREPARATA F (1985), Computational Geometry. New York, Springer Verlag.

ULLMAN J D (ed.) (1982), Principles of Database Systems, 2nd Ed. Rockville, Computer Science Press.

## Zusammenfassung

*Die Anwendung von Überlegungen und Methoden aus der Datenbanktheorie erlaubt es, das Verhältnis zwischen Kartographie und Datenbanken besser zu verstehen. In dem Beitrag wird vorgeschlagen, die Methoden der Modellierung von Daten, die von der Datenbank-Forschung entwickelt wurden, auf kartographische Probleme anzuwenden. Daraus ergibt sich eine formal fundierte Behandlungsweise von kartographischen Problemen in einer Datenbankumgebung. Die Aufgabe der Kartographie in einer solchen Umgebung kann als Transformation von einer gespeicherten Repräsentation eines Teiles der Realität zu einer graphischen Darstellung aufgefaßt werden, wobei diese graphische Darstellung mit der für den jeweiligen Benutzer interessanten Information kommuniziert, die dazu in der Datenbank enthalten ist.*

**Summary**

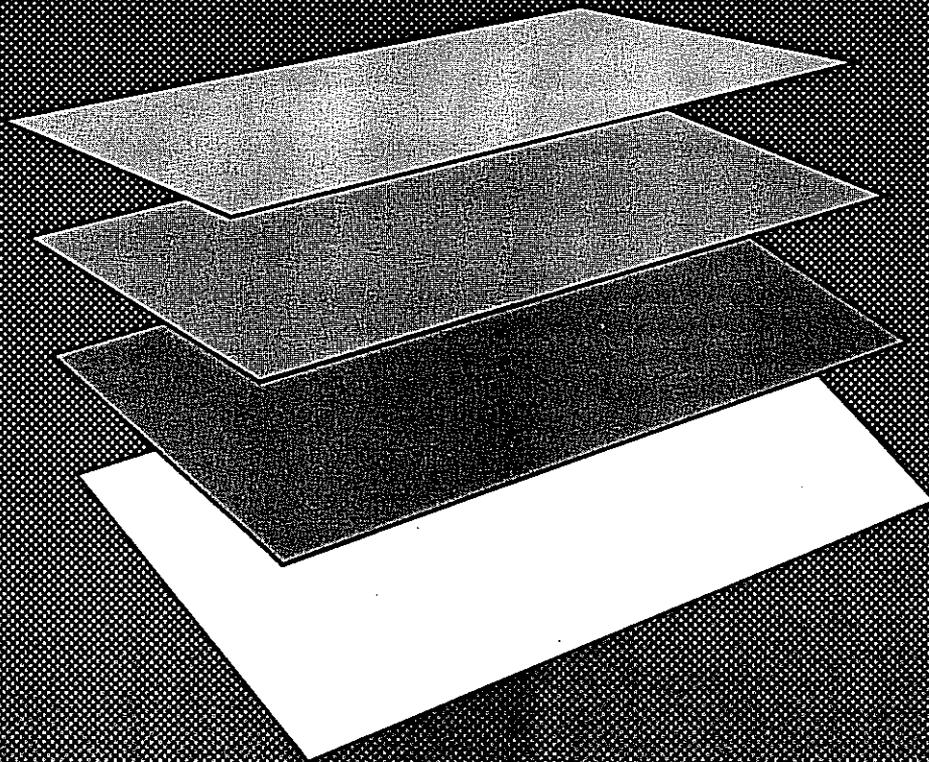
*The usage of data bank theories and methods allows us to understand the relationship between cartography and data banks. This paper shows a possible application of data modeling methods that were developed for data bank research applied to cartographic problems. The result is a formal fundamental treatment of cartographic problems in a data bank environment. The task for cartography in such a surrounding can be seen in the transformation of spatial data representation as a part of reality embedded in a graphic description, where as this graphic description is interactively communicating with the user.*

Wiener Schriften zur Geographie und Kartographie

Band 6

# GIS und Kartographie

Wiener Symposium 1991



Institut für Geographie der Universität Wien  
Ordinariat für Geographie und Kartographie