

# Geo-Informationssysteme im Spannungsfeld von Theorie und Praxis

Von Dieter Fritsch, Stuttgart

## 1. Einführung

Geo-Informationssysteme (GIS) durchdringen immer mehr alle Bereiche der Geodisziplinen. Nur durch diese Technologie können so wichtige Fragestellungen wie die eines ganzheitlichen Umweltschutzes, der Transportlogistik, der Versorgung mit lebensnotwendigen Ressourcen und nicht zuletzt die Sicherung von Grund und Boden gelöst und ständig bereitgestellt werden. Das Vermessungswesen nutzt GIS-Technologie nicht nur als Selbstzweck, sondern es kann ebenso als Schnittstelle zwischen verschiedenen Anwendern von raumbezogenen Daten dienen. Somit ergibt sich eine Umorientierung der Arbeiten eines Vermessungsingenieurs, der mehr und mehr zum Geo-Informationsingenieur wird, da eine zunehmende Automatisierung in der Datenerfassung ihn von dieser Aufgabe immer mehr freistellt. Auf diese Weise werden derzeit raumbezogene Datenbanken mit Daten gefüllt, die jedoch wegen der ständigen Veränderung von natürlichen und künstlichen Objekten an der Erdoberfläche fortgeführt werden müssen. Die Einrichtung und Pflege von landumfassenden raumbezogenen Datenbeständen ist natürlich von hohem volkswirtschaftlichen Interesse; nur aktuelle Daten können Planungen und Analysen im aktuellen Umfeld optimal beurteilen.

### 1.1 Historische Betrachtungen

Das Vermessungswesen hat schon seit der Einführung des Grundsteuerkatasters mit Beginn des 19. Jahrhunderts (H.W. Kloos, 1990) ein umfassendes analoges Geo-Informationssystem aufgebaut, welches die Geometrie in Karten und die Attribute in Büchern festschrieb. Aus diesem Grund ist der Vermessungsingenieur im Umgang mit Koordinaten und auch der Fortführung beschreibender Daten geschult; kein anderer wie er ist befähigt, die Grundlagen des Raumbezugs zu liefern sowie den Raumbezug graphisch im großen Maßstab oder auch generalisiert in topographischen Karten darzustellen.

Mit der Einführung des Computers (1935-1938) und der graphischen Datenverarbeitung (gegen Ende der vierziger Jahre) haben sich jedoch die Arbeitsweisen und auch Hilfsmittel drastisch verändert. Der Computer ist mittlerweile aus dem unmittelbaren wie auch mittelbaren Umfeld des Vermessungsingenieurs nicht mehr wegzudenken. Während der fünfziger

Jahre wurden erstmals Versuche im Einsatz der graphischen Datenverarbeitung in der Hessischen Flurbereinigung durchgeführt; die sechziger Jahre waren geprägt von den Vorversuchen der Umstellung der amtlichen Karten und Buchwerke auf die Elektronische Datenverarbeitung. Bereits 1970 wurde das Sollkonzept Automatisierte Liegenschaftskarte (ALK) verabschiedet. Fast gleichzeitig mit der ALK, jedoch als unabhängiges Systemkonzept wurde das Automatisierte Liegenschaftsbuch (ALB) eingeführt. Obwohl diese beiden Umstellungen des Liegenschaftskatasters auf digitale Datenhaltung zu diesem Zeitpunkt als tragfähiges Konzept erschienen, hat man den Kardinalfehler begangen, Geometrie und Thematik isoliert in Datenbanken abzuspeichern. Mit diesen beiden Systemen wurde das Jahrzehnt der Landinformationssysteme (LIS) eingeleitet.

Die achtziger Jahre waren geprägt von vielen Pilotversuchen zur Realisierung der ALK und des ALB. Mit der Einführung einer Plattform für die ALK - der Graphische Interaktive Arbeitsplatz (GIAP) für die ALK wurde als Softwaresystem für den Nutzer zur Verfügung gestellt - folgten weitergehende Betrachtungen zur Umstellung der analogen topographischen Kartenwerke. Mit dem Sollkonzept ATKIS, welches 1988 von der AdV verabschiedet wurde, ist nun ein weit tragfähigeres amtliches GIS eingeleitet worden als dies ALK mit ALB darstellt. Getragen von wesentlich einheitlicheren Modellgrundlagen will ATKIS als Basisinformationssystem für viele weitere Anwender fungieren. Ob die Erwartungen erfüllt werden, muß sich in den nächsten Jahren noch herausstellen. Gleichzeitig mit den vielen Pilotanwendungen im Vermessungswesen wurde an den Hochschulen nun erstmals intensiv über GIS nachgedacht. Hier galt es, vorhandene Konzepte aufzuarbeiten und in die Gerüste der Datenbankforschung zu integrieren. Es zeigte sich recht bald, daß das große Defizit in der GIS-Forschung nicht innerhalb weniger Jahre überwunden werden kann.

Mit Beginn der neunziger Jahren setzte eine Konsolidierung im GIS-Bereich ein. Erstmals wurden Standards erfüllt; sei es im Datenaustausch, der Benutzerschnittstelle oder in der Datenhaltung. Die zweite Hälfte dieses Jahrzehnts wird sich der Vernetzung der raumbezogenen Datenbanken über Kommunikationsdienste sowie der Hinzunahme neuer Medien (Bild, Video, Ton) widmen. Aber letztendlich gilt es, die bisher erfaßten Daten auf längere Zeit zu sichern und nicht durch ständig neue Konzepte und noch bessere Modellvorstellungen die Daten zu konvertieren.

## 1.2 Bedeutung von GIS für das Vermessungswesen

Aufgrund der einleitenden Betrachtungen sind Geo-Informationssysteme (GIS) dem Vermessungsingenieur ein vertrautes Werkzeug, lediglich das Umfeld und die Datenträger haben sich verändert. Ein Vergleich des Arbeitsplatzes bringt dies unmißverständlich zum Ausdruck: Während früher noch eine Doppelrechenmaschine vom Typ BRUNSVIGA ein Ausdruck für das schnelle Rechnen von Koordinaten war, so ersetzt mittlerweile die graphische Workstation das Rechenhilfsmittel von früher unter gleichzeitiger Hinzunahme der automatischen Kartierung der Koordinaten, ihrer Topologiebildung sowie der Zuweisung eines thematischen Modells. GIS ist Gegenwart und Zukunft des Vermessungswesen zugleich - nur GIS wird längerfristig unsere Arbeitsplätze sichern, der Bevölkerung wesentlich transparenter als bisher unsere Produkte zugänglich machen und ganz generell das Vermessungswesen auf ein neue Stufe anheben können. Heute verstehen wir unter GIS die folgende Definition: *Geo-Informationssysteme sind computergestützte Systeme zur Erfassung und Fortführung, Management und Retrieval, Analyse und Simulation sowie Ausgabe und Präsentation von raumbezogenen Daten.*

Global lassen sich die Anforderungen an GIS in vier Punkten zusammenfassen, die natürlich je nach Anwendungsgebiet weiter konkretisiert und durch problemspezifische Aufgaben erweitert werden müssen. Dabei handelt es sich um

- die Fähigkeit, große heterogene Mengen räumlich indizierter Punkt zu verwalten,
- die Möglichkeit, solche Datenbanken hinsichtlich Existenz, Position und Eigenschaften eines großen Spektrums von raumbezogenen Objekten abzufragen,
- die Fähigkeit zur Interaktion,
- die Flexibilität, ein GIS den vielfältigen Anforderungen verschiedener Nutzer anzupassen.

Diese Anforderungen sollten erfüllt werden, da ansonsten die Bezeichnung Geo-Informationssystem nicht sinnvoll erscheinen würde. Das Vermessungswesen ist eine Disziplin, die genau diese Anforderungen mit definiert und sie daher zur Grundvoraussetzung gemacht hat.

Betrachten wir die Aufgaben des Vermessungswesens im speziellen, so läßt sich leicht nachvollziehen, daß die Datenerfassung und -fortführung

als eine der Hauptaufgaben in GIS das größte Investitionsvolumen ausmacht. Abschätzungen belaufen sich auf mehr als 80 %. Aus diesem Grund ist Eile geboten, die derzeit konzipierten amtlichen Basisinformationssysteme wie ALK mit ALB sowie ATKIS flächendeckend mit Daten zu füllen. Es handelt sich dabei sicherlich um ein Jahrhundertwerk, welches aber erst dann als erfolgreich gewertet werden kann, wenn anderen Disziplinen und auch der Bevölkerung der Wert von solchen Dienstleistungen immer wieder vor Augen geführt wird.

### **1.3 Verkehrsmanagement als Anwendung**

Es ist allgemein bekannt, daß die freie Mobilität einer Gesellschaft zu einem der Grundbedürfnisse geworden ist. Ganz konkret möchten wir uns zu beliebigen Zeitpunkten von A nach B bewegen können. Obgleich im Zuge des Ausbaus der Kommunikation die Mobilität zumindest im geschäftlichen Bereich reduziert werden kann, liegt auf der Hand, daß sich der Individualverkehr bis über die Jahrtausendwende hinweg nochmals kräftig steigern wird. Verkehrsexperten rechnen mit einer Zunahme des Luftverkehrs von bis zu 140 %, die Anzahl der PKW wird bis zum Jahre 2000 die 80 Millionen-Marke überschritten haben und das bei einem stetigen Ausbau des Öffentlichen Personennahverkehrs sowie der Umleitung von Gütern von der Straße auf die Schiene. Es ist ferner bekannt, daß 85 % des Verkehrsaufkommens über die Straße abgewickelt werden. Diese Mobilität zu sichern, ihre Grenzen zu erkennen und die Umwelt zu bewahren, sind Herausforderungen an die Gesellschaft 2000.

Unter diesen Fakten ist jedem sofort der Einsatz von Geo-Informationssystemen bewußt. Die Berechnung von kürzesten Wegen zwischen A und B unter verschiedenen Randbedingungen ist nur ein Aspekt, der jedoch für sich schon theoretisch anspruchsvoll genug ist. Viel komplexer sind die Zusammenhänge der Umleitung von Verkehrsströmen auf verschiedene Verkehrssysteme sowie ihre Auswirkungen auf die Umwelt. Hier gibt es nur Ansätze; eine Lösung unseres Verkehrsproblems ist bei weitem noch nicht in Sicht.

## **2. Theoretische Vorgaben und Konzepte**

Geo-Informationssysteme sind ein Konstrukt, an dem verschiedene Disziplinen konzipieren sowie experimentieren. Lange Zeit war die Entwicklung von GIS-Produkten der datenverarbeitenden Industrie vorbehalten, die mit Mitteln der Energieversorger vektororientierte Produkte mit Nicht-Standard-Datenbanken entwickelte und kommerziell anbot. Erst

seit Mitte der achtziger Jahre gelang es, die Forschung für das Fachgebiet Geo-Informationssysteme zu interessieren und nach und nach theoretische Vorgaben für die Entwicklung von GIS-Produkten zu erhalten.

## 2.1 Datenstrukturen

Die Bereitstellung von geeigneten Datenstrukturen für GIS ist heute gelöst. Ganz generell wird dabei in ein geometrisch-topologisches sowie ein thematisches Modell unterschieden, gleichermaßen für Vektor- als auch Rasterdaten (R. Bill/D. Fritsch, 1994). Eine komprimierte und auch gut strukturierte Form ist derzeit für die Geometrie nur durch Vektorrepräsentationen möglich. Betrachten wir Knoten, Kanten und Flächen als Entities der Vektorwelt, so sind ihre Relationships (Beziehungen) untereinander als planarer Graph zu interpretieren. Die Anbindung der Thematik an die Geometrie erfolgt durch Objektidentifikatoren (O.ID) - die Attributwerte des entsprechenden thematischen Inhalts können in 2D-Tabellen (Matrizen) eingetragen werden. Erst die Anbindung von Thematik an den Raumbezug macht den Wert eines Geo-Informationssystems aus - auf diese Weise wird überhaupt erst eine Verknüpfung von verschiedenen Themata ermöglicht. Genau hier liegt die Bedeutung von Geo-Informationssystemen, indem nun erstmals interdisziplinäre Sichtweisen und auch Modellbildungen (z. B. zur Verkehrsbewertung) stattfinden können.

## 2.2 Datenbankmodelle

Die Abbildung von Datenstrukturen in Datenbankmodelle wird auch als Konversion von konzeptionellen in logische Datenmodelle bezeichnet. An dieser Schnittstelle wird in enger Abstimmung bzw. in Kooperation mit der Informatik zusammengearbeitet, um optimale Datenbankmanagementsysteme (DBMS) für raumbezogene Daten zur Verfügung stellen zu können. Derzeit zeichnet sich ein Trend zur Integration von Standard-Datenbanken in GIS ab. Insbesondere das relationale Datenmodell mit seiner zugehörigen Abfragesprache (Structured Query Language, SQL) wird in GIS-Produkte integriert. Es steht außer Frage, daß nur die Produkte längerfristig Erfolg haben werden, die ihre Daten bestmöglichst (Geometrie und Thematik) auf Standard-Datenbanken abbilden. Nur dann können Charakteristika wie die Redundanzfreiheit der Daten, die Gewährung von Vielfach- bzw. Mehrbenutzerzugriffen, Batch- und

interaktiver Betrieb, Datensicherheit und -integrität gewährleistet werden.

Ein ganz wesentlicher Gesichtspunkt ist dabei das Transaktionskonzept, welches die Sicherheit der Daten im Mehrbenutzerbetrieb garantiert. Darunter wird eine ununterbrochene Folge von Datenmanipulationsbefehlen verstanden, die die Datenbank von einem logisch konsistenten in einen neuen logisch konsistenten Zustand überführt. Kann ein Eintrag in eine Datenbank erfolgreich abgeschlossen werden, so hat sich ihr Zustand geändert - bei nicht erfolgreichem Abschluß wird der Ursprungszustand wieder eingesetzt. Dies gilt für alle Grundfunktionen: *Einfügen (Insert)*, *Ändern (Modify)*, *Löschen (Delete)*.

### 2.3 Analysen kürzester Wege

Innerhalb des Verkehrsmanagements stellt sich immer wieder die Frage nach dem kürzesten Weg zwischen zwei Punkten  $A, B$  bzw. das Rundreiseproblem (Travelling Salesman Problem) ist zu lösen, um möglichst schnell das Ziel zu erreichen oder Güter ohne Zwischenfälle anzuliefern. Dieses Problem taucht auch bei *Netzinformationssystemen* auf, bei denen die Ver-/Entsorgung mit Elektrizität, Gas, Wasser, Fernwärme als das von der Öffentlichkeit in Anspruch genommene Gut im Vordergrund steht. Aufgrund des geometrisch-topologischen Datenmodells lassen sich ausgehend von der Graphentheorie verschiedene Algorithmen angeben, die das Problem der Berechnung kürzester Wege lösen können.

#### Einführende Definitionen

Ein *Graph* ist ein Quadrupel  $G=G(K, E, \alpha, \omega)$ . Dabei seien  $K$  und  $E$  disjunkte Mengen und  $\alpha$  und  $\omega$  Abbildungen von  $E$  in  $K$ .  $K$  heißt Knotenmenge,  $E$  Kantenmenge,  $\alpha(E)$  heißt Anfangsknoten von  $E$ ,  $\omega(E)$  Endknoten von  $E$ . Ein Kantenzug, bei dem alle Kanten verschieden sind, heißt *Weg*.

Ein Quintupel  $G=G(K, E, \alpha, \omega, \beta')$  mit  $\beta' : E \mapsto \mathfrak{N}$  heißt *gewichteter Graph*. Gilt in einem gewichteten Graphen  $\forall k \neq k' \in E : \alpha(k) \neq \alpha(k')$  oder  $\omega(k) \neq \omega(k')$  (es existieren keine parallelen Kanten), dann wird jede Kante  $k \in E$  durch das Paar  $\alpha(k), \omega(k) \in K \times K$  eindeutig beschrieben.  $\beta'$  wird erweitert zu  $\beta$  von  $K \times K \mapsto \mathfrak{N} \cup \infty$  mit  $\beta(u, v) := \beta'(k)$ , falls  $\alpha(k) = u$  und  $\omega(k) = v$  gilt, und  $\beta(u, v) := \infty$  falls es keine Kante gibt, die sowohl  $u$  als Anfangsknoten als auch  $v$  als Endknoten hat. Es genügt also  $(K, \beta)$  anzugeben, um  $G$  zu

```

For i:=1 to n do
  for j:=1 to n do
    for k:=1 to n do

```

$$\beta(v_i, v_j) := \min\{\beta(v_i, v_k), \beta(v_j, v_k) + \beta(v_i, v_k)\}$$

beschreiben. Sei  $\beta : K \times K \mapsto \mathbb{N}_0^+$  dann heißt  $\beta(u, v)$  die Länge der Kante  $(u, v)$ . Die Matrix  $\beta_{u,v \in K}$  heißt Adjazenz-Matrix.  $d(u, v)$  sei der kürzeste Weg von  $u$  nach  $v$ .

Der Tripelalgorithmus

Es sei  $K$  endlich und angeordnet  $K := \{v_1, \dots, v_n\}$ ,  $G = (K, \beta)$  ein gewichteter Graph ohne parallele Kanten und  $\beta \geq 0$ . Der Tripelalgorithmus vergleicht die Länge aller Kanten mit den Längen aller möglicher Umwege und senkt die Gewichtung einer Kante, falls der Umweg kürzer ist.

```

For i:=1 to n do
  for j:=1 to i-1 do
    for k:=1 to i-1 do

```

$$\beta(v_j, v_i) := \min\{\beta(v_j, v_k), \beta(v_j, v_k) + \beta(v_i, v_k)\}$$

**Satz:** *Der Tripel-Algorithmus berechnet alle kürzesten Wege im gewichteten Graphen.*

**Beweisskizze:** 1.) -Durch Induktion wird bewiesen, daß das Resultat des Algorithmus unabhängig ist von der Anordnung der  $v_i$ .  
 2.) Nach Durchführung des Algorithmus ist  $\beta(u, v) = d(u, v) \forall u, v$ .

**Bewertung:** Der Zeitbedarf des Algorithmus ist  $O(n^3)$ . Selbst wenn nur zwischen zwei Knoten der kürzeste Weg gesucht wird, muß der Algorithmus alle Knotentripel bearbeiten. Die Zahl der unnötigen Vergleiche wächst sehr schnell mit  $n$ . Der Algorithmus benötigt gerade bei dünn besetzten Adjazenz-Matrizen unverhältnismäßig viel Speicherplatz, seine Implementierung ist jedoch einfach.

Der Dantzig-Algorithmus

Der Algorithmus von Dantzig ist eine modifizierte Form des Tripelalgorithmus. Seine Ausführung lautet wie folgt:

**Bewertung:** Der Zeitbedarf dieses Algorithmus sinkt gegenüber des Trippel-Algorithmus um etwa die Hälfte ab, ist aber immer noch  $O(n^3)$ .

Der Dijkstra-Algorithmus

Sei  $K$  endlich, die Ordnung von  $K = n$ ,  $G = G(K, \beta)$  ein gewichteter Graph ohne parallele Kanten  $\beta \geq =$  und ein Knoten  $s$  sei ausgezeichnet (Startpunkt). Gesucht wird  $d(s, v)$  für alle bzw. für ein spezielles  $v \in K$ . Ferner sei  $M_0 := \{v \in K \mid d(s, v) \text{ bereits errechnet}\}$ . Im  $n$ -ten Schritt wird das  $v$  in  $M_0$  angenommen, welches den kürzesten Abstand zu  $s$  hat. Der Algorithmus lautet daher:

Start:  $M_0 := \{s\}$  (Procedure set Startknoten)  
 $n \rightarrow n+1$ : Bestimme die Kante  $(u, v)$  mit  $u \in M_0, v \notin M_0$  ( $v$  benachbart) und  
 $d(s, u) + \beta(u, v) \leq d(s, u') + \beta(u', v') \quad \forall u' \in M_0, v' \notin M_0$   
 $M_0 := M_0 \cup \{v\}$ ,  
 $d(s, v) := d(s, u) + \beta(u, v)$

**Satz:** Der Dijkstra-Algorithmus berechnet  $d(s, v)$  für alle  $v \in K$ . Ist kein Weg zwischen den Knoten vorhanden, so gilt  $\beta(s, v) = \infty$

**Beweis:** Durch Induktion nach  $n$ .

$n \rightarrow n+1$ : Nach Induktionsvoraussetzung gilt für alle  $u \in M_0$ , daß das oben bestimmte  $d(s, u)$  der kürzeste Weg von  $s$  nach  $u$  sei. Der Beweis wird indirekt geführt.

**Annahme:** Der durch den Algorithmus hinzugewonnene Knoten  $v$  hat einen kürzeren Abstand zu  $s$  als  $d(s, v)$ . Sei  $(u', v')$  die erste Kante des kürzeren Weges  $w'$  von  $s$  nach  $v$  mit  $u' \in M_0, v' \notin M_0$ .

Dann gilt

$|w'| < d(s, u) + \beta(u, v) \leq d(s, u') + \beta(u', v')$  und  $d(s, u') + \beta(u', v') \leq |w'|$ , da dies ein Teilweg von  $w'$  ist. Daraus folgt ein Widerspruch zu  $|w'| < d(s, v)$ .

**Bewertung:** Der Zeitbedarf dieses Algorithmus ist  $O(n^2)$ . Sucht man allerdings alle kürzesten Wege aller Knoten untereinander, so muß der Algorithmus  $n$  mal mit wechselnden Startknoten wiederholt werden, der Zeitbedarf steigt also auf  $O(n^3)$ . Möchte man nur den kürzesten Weg von  $s$  nach  $z$  berechnen, so kann der Algorithmus abgebrochen werden, wenn  $z \in M_0$  ist. Der Algorithmus benötigt gerade bei dünn besetzten Adjazenz-Matrizen wenig Speicherplatz.



**Fazit:** Möchte man die kürzesten Abstände aller Knoten voneinander berechnen ohne deren Weg genau zu kennen, sind der Tripelalgorithmus und der Algorithmus von Dantzig dem Dijkstra-Algorithmus besonders wegen ihrer Unkompliziertheit überlegen. Der Dijkstra-Algorithmus ist jedoch wegen der schnelleren Ausführung und des wesentlich geringeren Speicherplatzes vorzuziehen. Außerdem kann der Dijkstra-Algorithmus nicht nur den Wert des kürzesten Weges, sondern auch dessen Verlauf auf einfache Weise bestimmen. Dies ist bei Tripelalgorithmen wesentlich schwieriger.

### 3. Schluß und Ausblick

Der vorliegende Beitrag zeigt, daß Geo-Informationssysteme sich an klar definierten theoretischen Modellvorstellungen orientieren. Demzufolge entsprechen die amtlichen Basisinformationssysteme der Vermessungsverwaltung infolge der anfänglich fehlenden Modellvorstellungen nicht ganz den Richtlinien, die heutzutage für GIS allgemein gültig und anerkannt sind. Es ist abzusehen, daß längerfristig die simultane Datenhaltung von Geometrie und Attributen das einzige tragfähige Konzept ist - genau hier liegt die Stärke eines landesumfassenden GeoInformationssystems.

Über den Raumbezug können ganz verschiedene Themata einander zugeordnet und sogar miteinander im Boole'schen Sinne kombiniert werden. Diese Möglichkeit verschafft uns eine wesentlich globalere Sichtweise, die erst komplexe Vorgänge interdisziplinär verstehen und auch zu ihrer Lösung beitragen kann. Am Beispiel der kürzesten Wege wurden Algorithmen vorgestellt. Erst die Verknüpfung von durchgängigen theoretischen Konzepten, ihrer Überprüfung auf Anwendung läßt diese auch als Methoden in GIS sinnvoll erscheinen.

Die Entwicklung innerhalb der Kommunikationsdienste lassen auf einen immensen Datentransfer von raumbezogenen Daten in den kommenden Jahren schließen. Der Vermessungsingenieur wird in die Lage versetzt, mit seinem Personal Digital Assistant (PDA), ausgestattet mit einem GPS-Empfänger sowie Funkmodem, vor Ort die derzeitigen Geometrie- und Thematikdaten von ALK bzw. ATKIS über Funk abrufen, am Farbbildschirm anzuzeigen und online fortzuführen. Genauso wie bereits jetzt schon Homebanking über DATEX-J nach dem Transaktionskonzept durchzuführen ist, werden die Anwender von Geodaten sich über Kommunikationsnetze in den Datenbank-Server eines Landesvermessungsam-

tes oder Kataster-/Vermessungsamtes einloggen, ihre Anfragen stellen und die digitale Karte einschließlich gewünschter Eigentumsangaben auf dem Bildschirm ansehen und direkt auf dem zur Verfügung stehenden Drucker ausgeben können. Die Technologie hierzu ist jetzt schon vorhanden - die Bereitstellung entsprechender Infrastruktur innerhalb der Behörden des Vermessungswesens ist eine anspruchsvolle und investitionsgebundene Aufgabe, die erst gelöst werden muß, will das Vermessungswesen im Jahr 2000 auf Online gehen.

#### 4. Literatur

AdV (1988): Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem (ATKIS). Broschüre der Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder, Druck und Vertrieb Landesvermessungsamt NRW, Bonn.

Bähr, U., Singer, C., Kießling, W. (1994): Zur Systematik räumlicher Operatoren in Geo-Datenbanken. Geo-Informationssysteme (GIS), Heft 4/94.

Bill, R., Fritsch, D. (1994): Grundlagen der Geo-Informationssysteme, Bd.1, 2. Aufl., Wichmann, Heidelberg, 415 S.

Eisele, V. (1994): Struktur und Funktionswandel im amtlichen Vermessungswesen. Deutsche Geod. Kommission, Reihe C, München (im Druck).

Güting, R. (1989): Geo-Relational Algebra: A Model and Query Language for Geometric Database Systems. In: Advances in Database Technology, Eds. J. Schmidt/S. Chery, Springer, Berlin.

Kloos, H.W. (1990): Landinformationssysteme in der öffentlichen Verwaltung. Decker & Müller, Heidelberg, 470 S.

Müller, K.P., Wölpert, H. (1976): Anschauliche Topologie. Teubner, Stuttgart, 168 S.

Wieser, M. (1991): Wesen und Nutzen von Optimierungsstrategien am Beispiel des AIS. In: Grazer Geoinformatik-Tage'91, Hrsg. N. Bartelme, Mitt. Geod. Inst. Techn. Univ. Graz, Folge 70, Graz, S. 5768.