

# Verkehr im GIS: Parallelen, Überschneidungen und Ergänzungen von GIS und Verkehrsplanung

Stefan KOLLARITS

(Mag. Dr. techn. Stefan KOLLARITS, Raumplaner und Geograph, Mohsgasse 7, 1030 Wien; e-mail: stefan@s11esrgw1.tuwien.ac.at)

## ABSTRACT:

The usage of GIS in the field of transportation planning has until recently been significantly smaller than in other application areas. This is due to the small market place and to a concentration on specialised analytical functions. But there do exist approaches which allow a closer integration of GIS and transportation planning. This is above all the usage of GIS for special visualisation purposes and as a communication platform, integrating different databases and different functionality. The existing structural differences (in the handling of geometrical and topological data) can be overcome by using OGIS-definitions as a basis for more flexible data and system integration.

## 1. MOTIVATION

In den letzten Jahren war eine starke Ausweitung der Benutzeranzahl und der Anwendungsgebiete von Geographischen Informationssystemen zu beobachten. Das trifft auf "klassische" Anwendungsgebiete (Umweltplanung und -management, Kataster, Landesinformationssysteme) ebenso zu wie auf "neue" Anwendungen (Geomarketing,...). In der Verkehrsplanung ist die Anwendung Geographischer Informationssysteme demgegenüber relativ wenig verbreitet, obwohl die Verkehrsplanung überwiegend mit raumbezogenen Daten arbeitet (Infrastrukturnetzwerke und räumliche Interaktionen). Ist diese relativ geringe Nutzung auf strukturelle Differenzen (inkompatible Strukturen) zurückzuführen, auf zu stark divergierende funktionale Anforderungen oder aber nur auf eine verzögerte Adaption? Eine mögliche Ursache für den letztgenannten Punkt ist die relativ geringe Marktbedeutung von Verkehrsplanungssoftware, die als Spezialsoftware ein vergleichsweise geringeres Anwenderpotential aufzuweisen hat.

Hier sollen daher mögliche strukturelle und funktionelle Restriktionen, aber auch die Potentiale einer verstärkten Integration von GIS und Verkehrsplanung diskutiert werden. Erste Ansätze zeigen bereits die Möglichkeiten und Vorteile einer derartigen Integration auf; diese sind insbesondere in den Bereichen Datenmanipulation und Visualisierung zu erkennen.

## 2. ANWENDUNGSSTAND

Für die Verkehrsplanung existiert eine Vielzahl von Softwareprodukten, die meist sehr spezialisierte Funktionen anbieten und damit außerhalb der Verkehrsplanung kaum Verwendung finden (können). So sind zum Beispiel die Betriebseinsatzplanung und die Fahr- und Dienstplanung Spezialanwendungen für den Öffentlichen Verkehr (vgl. ROSS et al. 1994 oder HERING 1994), die stark spezialisierte Software-Funktionen benötigen. Hier sind die Überschneidungen mit der - als "Werkzeugkasten" angelegten - Funktionalität von GIS gering; der GIS-Einsatz daher kaum rentabel. Eine GIS-Anwendung erfolgt bislang vor allem in jenen Verkehrsplanungsbereichen, die anderen (etablierten) GIS-Anwendungsbereichen nahestehen und vielfach nur als "Zusatz" zur Verkehrsplanung im engeren Sinn zu betrachten sind.

Dazu zählen insbesondere

- Umweltmodelle (z.B. Schadstoff- und Lärmausbreitungsmodelle)
- Logistik (Tourenplanung; Sammler- und Auslieferungssysteme)
- Routing-Travel guidance (Fahrzeugnavigation)

Mit Ausnahme der Umweltplanung konzentriert sich der GIS-Einsatz damit auf eher kommerziell orientierte Anwendungen. Diese Einsatzgebiete können als Nachbargebiete (bzw. Randbereiche) der Verkehrsplanung bezeichnet werden. In den letzten Jahren sind jedoch vermehrt Versuche unternommen worden, GIS in der Verkehrsplanung einzusetzen. Dafür werden einige Bereiche als besonders vielversprechend angesehen (vgl. z.B. PUEBLA u. AGUAYO 1995):

- Visualisierung (Nutzung von GIS-Anwendungserfahrungen aus anderen Einsatzgebieten)
- Datenmanagement (Verknüpfung von Netzwerkdaten mit zusätzlichen Datenquellen wie statistischen Daten oder Digitalen Geländemodellen; Nutzung der Standardisierungsbestrebungen für GIS-Daten)
- Datenmodellierung (räumliche Statistik, Modellierung mit unterschiedlichen Datentypen)

Die derzeitige Zuordnung von Anwendungsgebieten ist in der untenstehenden Graphik abgebildet. Hier zeigen sich auch Überschneidungen und Parallelen zu anderen Anwendungsgebieten bzw. Programmtypen. Die Pfeile in der Abbildung deuten jeweils die möglichen (aber nur teilweise bereits bestehenden) Einsatzmöglichkeiten von GIS in der Verkehrsplanung an.

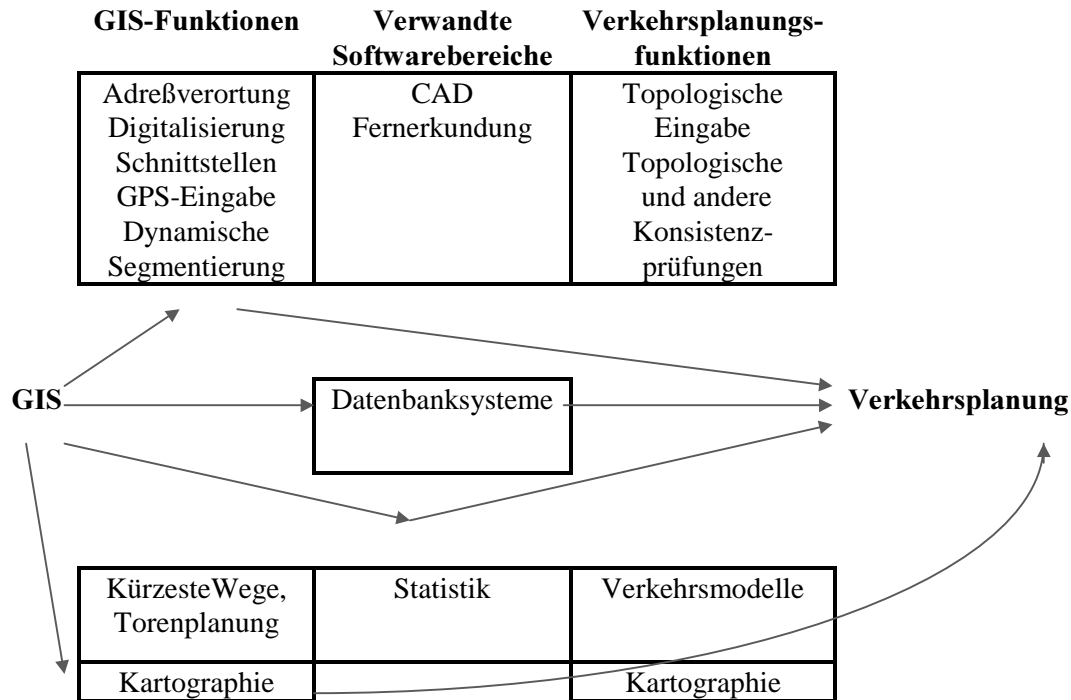


Abbildung 1: Funktionelle Ergänzung von Verkehrsplanung und GIS

### 3. STRUKTURELLE PARALLELEN UND DIFFERENZEN

Verkehrsplanerische Anwendungen können drei unterschiedlichen Anwendungsbereichen zugeordnet werden, die jeweils unterschiedliche räumliche, inhaltliche und zeitliche Kategorien von Daten benötigen (vgl. GANTER 1994):

- Verkehrsmanagement (Optimierung der Verkehrsbedingungen durch direkte - ad hoc - Einflußnahme)
- Verkehrsmonitoring (laufende Verkehrsbeobachtung für Fahrzeugnavigation etc.)
- Verkehrsanalyse und -planung (kurzfristige Infrastrukturplanung und -veränderung; mittel- und langfristige Prognose und Planung, Verkehrsverhaltensorientierung)

Allen diesen Anwendungsbereichen ist jedoch gemein, daß sie raumbezogene Daten als Grundlagen beinhalten. Dies sind Kenndaten der Netzwerke (Geometrie, Topologie und Attributinformationen wie Kapazität, Geschwindigkeit, Zustand oder Nutzung = Verkehr) sowie Kenndaten über die Benutzer (Bevölkerungsverteilung und wirtschaftliche Aktivitäten als Grundlage räumlicher Interaktionen).

Als Ansatzpunkt der Integration von Verkehrsplanung und GIS ist daher zunächst die gemeinsame räumliche Bezugsbasis anzusehen. GIS - als generischer Satz von Funktionen zur Bearbeitung raumbezogener Daten verstanden - umfaßt zunächst keine Spezialisierung auf bestimmte Typen von Daten und sollte daher auch das Potential zur Bearbeitung aller verkehrsrelevanten räumlichen Daten bieten. Da software- und anwendungsspezifisch im Laufe der GIS-Entwicklung eine Vielzahl von meist kaum kompatiblen Datenmodellen und -strukturen definiert wurden, wurde in den letzten Jahren verstärkt eine

Standardisierung angestrebt. Dabei muß insbesondere auf die Vorschläge von OGIS<sup>1</sup> hingewiesen werden (vgl. auch die OGIS-Definitionen unter <http://ogis.org/menu.html>). In diesem Vorschlag werden abstrahierte Modellierungsrahmenbedingungen für räumliche Referenzierung, Geometrien und Verarbeitungsmöglichkeiten definiert. Damit soll der softwareunabhängige Zugriff auf alle diesen Vorschriften entsprechenden Datensammlungen ermöglicht werden.

Bei einer derart offenen, flexiblen und umfassenden Definition von GIS-Daten und -strukturen kann der (räumliche) Datenbedarf der Verkehrsplanung als Teilmenge der GIS-Datenstrukturen angesehen werden, wobei jedoch konzeptionelle Unterschiede weiter bestehen bleiben.

Ein grundsätzlicher konzeptioneller Unterschied besteht in der Geometriedatenhandhabung von GIS und Verkehrsplanungssoftware. Für die Verkehrsplanung sind Koordinaten nur Hilfsinformation und dienen zur Visualisierung oder zur Anbindung von Knoten an Zonen. Hier ist die logische Ebene (Topologie der Verkehrsnetze) weit bedeutender als die physischen Koordinaten. In einem GIS bilden jedoch die Koordinaten eine Grundlageninformation, die neben der Visualisierung und Datenanbindung auch zur Ableitung zusätzlicher Daten dient. Die Koordinatenebene ist dabei mit der logischen Ebene der Topologie meist gleichgewichtet (oder sogar stärker gewichtet, wenn die Datenstruktur einer Software in Richtung CAD-Datenstrukturen tendiert). Eine topologische (oder zumindest potentiell topologische) Datenstruktur stellt einen Überschneidungsbereich von GIS und Verkehrsplanung dar und damit einen möglichen Anknüpfungspunkt für verstärkte Integration.

Diese Unterschiede zeigen sich beispielsweise in der - in Verkehrsplanungssoftware - meist sehr gut ausgeprägten Unterstützung von Topologie in der Eingabe und Darstellung. Mehrfachkanten, automatische Einfügung von symmetrischen Kanten usw. gehören zum Standardrepertoire in der Verkehrsplanung, sind in einem GIS jedoch meist nur über Umwege (wenn überhaupt) zu erreichen. Demgegenüber ist in vielen GIS-Systemen die Möglichkeit zur "Dynamischen Segmentierung" (auf der Basis von Linien und Kilometrierungsinformation) implementiert. Gemeinsam mit detaillierter Koordinateninformation erlaubt diese Funktion die Durchführung von Konsistenzkontrollen (Plausibilitätstests für die Übereinstimmung von physischen und logischen Netzwerkdaten). Auch sind die Datenbestände auf der Basis von gängigen GIS-Datenstrukturen weitaus umfangreicher als jene in den proprietären Formaten von Verkehrsplanungssoftware, sodaß hier ein großes Potential für die Verkehrsplanung gegeben ist, aber auch Nachfrage nach intelligenten Zugriffsmechanismen besteht. So sollten diese Schnittstellen auch zusätzliche (in den GIS-Datensätzen oft nur implizit vorhandene) Strukturinformation übertragen bzw. ableiten können. Die Wahl eines Geographischen Informationssystems (Standard-GIS oder GIS mit vielfältigen Schnittstellen) kann daher als Basis für die Bildung eines Datenpools angesehen werden.

#### 4. ERGÄNZUNGSMÖGLICHKEITEN

Die Handhabung von nicht an Linien gebundenen Informationen ist in einem GIS jedoch deutlich besser ausgestaltet, da unterschiedliche Datentypen gleichgewichtet behandelt werden und keine Konzentration auf lineare Elemente erfolgt. Die Handhabung von raumbezogenen Informationen kann dadurch jeweils über den geeignetsten Datentyp erfolgen. Damit ist es möglich, Verkehrszonen nicht initial bereits als Punkte zu definieren, sondern als Flächen mit unterschiedlichen Bezugsmöglichkeiten. Von größter Bedeutung erscheint dabei eine bessere Attributanbindung, die eine adäquatere Abbildung der Bevölkerungs- und Aktivitätsverteilung erlaubt als dies mit einer a-priori Zuordnung zu Zonen gegeben ist. Dazu zählen insbesondere die Handhabung von räumlich-hierarchischen Bezugseinheiten, aber auch die Modellierung von Verteilungen mittels Rasteroberflächen (vgl. MARTIN u. BRACKEN 1991). Diese Erweiterung um Datentypen und Datenmodelle (Raster) erlaubt die Wahl der jeweils best geeigneten Repräsentationsart. Dabei können die Übergänge zwischen den Datenmodellen genutzt werden, da einerseits dominant flächige Bewegungen (z.B. Schadstoffausbreitung) im Rastermodell und lineare Bewegung (Fahrten im Netz) im Vektormodell abgebildet können, andererseits aber auch unscharfe Übergänge handhabbar sind. So können die Einzugsbereiche einer ÖV-Haltestelle als kontinuierliche Distanzoberfläche angesehen (und als Raster

<sup>1</sup> Die Open Geodata Interoperability Specification - Foundation (OGIS) ist ein Arbeitszusammenschluß von Softwareherstellern und Anwendern im Bereich GIS, der sich das Ziel gesetzt hat, die vorhandenen Restriktionen in der wechselseitigen Nutzung von Geodaten zu überwinden (vgl. GANTER et al. 1995).

abgebildet) werden, die Verbindung zwischen den einzelnen Haltestellen ist jedoch sinnvoll nur über Linien (und damit im Vektormodell) abbildbar.

Als Beispiele für die Nutzung von GIS in der Verkehrsplanung kann hier die Adreßverortung genannt werden, die insbesondere zur Unfallverortung dient, aber auch in Einsatzfahrzeug-Planung und -management angewandt wird. Damit ist ein großes Potential an Daten angesprochen, das über Adreßlisten etc. zur Verfügung steht.

Die häufigste Anwendung von Geographischen Informationssystemen in der Verkehrsplanung ist der Visualisierungsbereich. Auch hier gilt, daß Verkehrsplanungssoftware meist sehr stark spezialisiert auf lineare Bezugselemente ist (und diesen Bereichen oft auch vielseitigere Darstellungen als GIS erlaubt), andere Darstellungsmöglichkeiten jedoch kaum unterstützt werden. Typische Anwendungen für GIS sind die Erstellung von Choroplethenkarten oder Kartodiagrammen. Vorteile ergeben sich insbesondere in der Möglichkeit zur Kombination unterschiedlicher Darstellungsformen. GIS dient dabei zur kombinierten Abfrage und Auswahl nach räumlichen Kriterien und nach Attributen, bei adäquater Datenbankstrukturierung auch nach zeitlichen Kriterien. Ansätze in Richtung dynamischer Visualisierung mithilfe von Zeit-Querschnitten ("grid-frames") wurden von GANTER 1994 (basierend auf ARC/INFO 7) vorgestellt. Als offene Fragen in diesem Ansatz erscheinen die zeitliche Datenaggregation, Selektion nach disjunkten Zeiteinheiten und eine flexible Symbolisierung.

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die derzeit bestehenden Einsatzbereiche von GIS im Umfeld der Verkehrsplanung, unterschieden nach den jeweils verwendeten räumlichen Bezugseinheiten. Die hier angesprochenen Funktionen (Adreßverortung, KürzesteWege- und Allokationsberechnung, Routendefinition und -findung, flexible Kartographie) kann als GIS-Standard angesehen werden (und ist u.a. in ARC/INFO 7, Intergraph MGE, ARCVIEW 3 u.a. GIS-Softwarepaketen implementiert).

GIS-ANWENDUNG BEZUGSEINHEIT ↓ ⇒	ANWENDUNG	FUNKTIONEN	UMSETZUNG
Punkte:	Unfallverortung	Adreßverortung Abfrage	Unfälle als Punkte visualisiert
	Angebotsdarstellungen	Adreßverortung Kartographie	Angebot als Punkte visualisiert
Kanten:	Netzbelastungskarten	Visualisierung linearer Elemente	Darstellung m. Variation von Linienbreite,-farbe und -typ
	Allokation	Kürzeste Wege Berechnung	
	Routenplanung	Routenmanagement	Definition von Kantenabfolgen als logische Einheiten
Flächen:	Angebots- und Nachfragekarten	Adreßverortung, Aggregation, Kartographie	
	Isochronen	Kürzeste Wege Berechnung	KW-Baum
Integrativ:	Verflechtungskarten	Kartographie	Visualisierung durch lineare Verbindungen o. PIE- Charts
	Pendlerströme	Kartographie	

**Tabelle 1:** Anwendungen von GIS-Funktionen in der Verkehrsplanung (KOLLARITS 1994)

Als bedeutendster Bereich der Ergänzung von GIS und Verkehrsplanung erscheint jedoch das Datenmanagement. Damit ist sowohl die Dateneingabe, die Übernahme von externen Datensätzen als auch die Datentransformation und Anbindung an Datenbanken angesprochen. Derzeit arbeiten sowohl Verkehrsplanungssoftware als auch GIS meist mit proprietären Datenformaten, die zudem nur teilweise veröffentlicht sind.

Als Zielsetzung kann hier die integrierte Nutzung von verteilten Datenbanken angesehen werden, die auf den neu entwickelten oder in Entwicklung befindlichen Standards für GIS-Daten beruht (z.B.: OGIS - Definitionen, Spatial Data Transfer Standard (STDS)). Damit erscheint jedoch nicht nur der Zugriff auf Geodatenbanken gewährleistet, sondern auch die Kompatibilität mit anderen Industriestandards, die in OGIS angesprochen sind (wie Open DataBase Connectivity (ODBC) und Object Link and Embedding (OLE) von Microsoft). OGIS-Konzepte erscheinen dabei insbesondere für die Probleme semantischer Strukturen (inkompatible Definitionen), Schema-Unterschiede (inkompatible Datenstrukturen), unterschiedliche

Maßstäbe und Datenqualitäten sowie zur Handhabung der Datenhistorie geeignet (vgl. GANTER et al. 1995).

## 5. ENTWICKLUNG: INTEGRATION ?

Das Potential für eine verstärkte Integration von Verkehrsplanung und GIS liegt - wie dargestellt - in den Bereichen Visualisierung, Datenmanagement und -integration und der Verwendung spezieller GIS-Funktionalität (wie der Adreßverortung). Diese Integration kann jedoch sehr unterschiedlich erfolgen.

Ein Vergleich der Entwicklung mit anderen Anwendungsbereichen (z.B. Geomarketing - GIS) zeigt drei grundsätzliche Entwicklungspfade:

- Erweiterung von Verkehrsplanungssoftware, durch Hinzufügen von GIS-Funktionen, wie verbesserter Eingabe- und Editiermöglichkeiten oder Visualisierungsfunktionen (beispielsweise Windows-Eingabe- und Editieroberfläche von POLYDROM).
- Erweiterung von GIS, durch spezielle Einzelfunktionen, die die meist bereits verfügbaren KürzesteWege- oder Tourenalgorithmen ergänzen (beispielsweise Funktionserweiterung in ARC/INFO 7 um KürzesteWege-Matrizen und Interaktionsmodelle), oder
- Integration bestehender Konzepte und / oder Daten und / oder Software

Diese Integration ist bislang nur in einem einzigen Fall innerhalb eines *einzelnen* kommerziellen Produkts erfolgt. TRANSCAD von Caliper bietet auf der Basis einer eigenen Datenstruktur sowohl grundlegende GIS-Funktionalität (Dateninput, Thematische Kartographie, Adreßverortung, Verschneidung und DHM) als auch verkehrsplanerische Funktionen (Verkehrsmodellierung, Routing etc.). Damit ist eine einheitliche kombinierte und spezialisierte Umgebung gewährleistet, die jedoch derzeit noch in GIS-Funktionalität und Applikationsentwicklung nicht voll mit stand-alone GIS-Plattformen konkurriert.

Die *Kombination* von bestehender GIS- und Verkehrsplanungssoftware wurde bislang meist für spezifische Anwendungen durchgeführt (z.B. ARC/INFO und EMME/2 für ein integriertes Verkehrsplanungs- und Entscheidungshilfesystem; vgl. AIFANDOPOULO 1995). Die Integration erfolgt dabei üblicherweise mittels loser Koppelung (i.e. nur über den Datenaustausch, basierend auf einer definierten Schnittstelle zwischen allen beteiligten Produkten). Erst die tatsächliche Berücksichtigung von OGIS-Standards erlaubt eine direkte Integration, basierend auf nicht-redundanten Datensätzen. Dies erscheint vor allem durch die Verwendung von ODBC im Datenbankbereich bereits möglich. Grundlegend für die Verwendung von OGIS-Konzepten ist die Kommunikation (Datenaustausch) zwischen unterschiedlichen "information communities" (Benutzer, Software) in verteilten Umgebungen zu ermöglichen. Diese Kommunikation erfolgt über standardisierte Protokolle und Datenkataloge der jeweiligen "information communities" (so sind in OGIS die Standards für räumliche Objekte und die zugehörigen Metadaten definiert), ohne die konkrete (software- oder anwendungsspezifische) Implementation der Geodatenbank berücksichtigen zu müssen. Im Idealfall ist damit GIS und Verkehrsplanungssoftware voneinander unabhängig und die jeweiligen Funktionen greifen auf Daten zu, die entweder im GIS, von der Verkehrsplanungssoftware oder aber auch extern gespeichert sind. Vielversprechende Versuche mit einzelnen Softwarepaketen wurden im Umweltbereich beispielsweise mit VGIS (Virtual GIS; ALBRECHT et al. 1996) unternommen. Dieses soll nach Abschluß der Spezifikationsphase von OGIS von den Softwaresystemen abgekoppelt und unabhängig implementiert werden.

Die Bedeutung dieser Art von Systemintegration steigt mit der Größe der anwendenden Organisation und dem Datenbedarf der Anwendung. Ein integrierter - OGIS-offener - Ansatz würde beispielsweise einen mehrphasigen Aufbau der Datenbank erlauben (von eigenen Grobdaten hin zu externen Detaildaten), ohne beim Aufbau eines Projekts datenabhängig funktionelle Restriktionen in Kauf nehmen zu müssen. In diese Richtung zielt auch die Entwicklung eines eigenen US-Standards für GIS-Transportation ab (BESPALCO et al. 1996), der die Nachteile der üblichen 2-d-Modelle überwinden soll.

Die Eignung von GIS als *Kommunikationswerkzeug* (vorwiegend noch auf den Visualisierungsmöglichkeiten basierend) haben auch zu einer Verwendung von GIS als Oberfläche für Netzwerkmanagement und Entscheidungsunterstützung geführt (vgl. COOK u. MUKERJEE 1996 für ein ARCVIEW-basiertes Eisenbahnmanagementsystem). In dieser Sichtweise erscheint GIS nicht als eng integrierte Spezialsoftware, sondern als Kommunikationsdrehscheibe für die Interaktionen Benutzer-Daten-Anwendungsfragen-Ergebnispräsentation. Für die Handhabung des zentralen Systembestandteils - den Daten - erscheinen damit drei Stufen unterschiedlicher Integrationsstärke möglich:

- Konvertierung der Daten zwischen GIS-Format(en) und Format(en) der Verkehrsplanungssoftware (verbunden mit den Problemen des Speicherverbrauchs, der Datenredundanz und der konsistenten wechselseitigen Aktualisierung).
- Direktzugriff auf eine gemeinsame Attributdatenbank (über ODBC); Geodaten werden konvertiert oder in einem gemeinsamen Datenformat gehalten (Konzentration auf ein Standarddatenformat).
- Direktzugriff auf verteilte Datenbasis, sowohl in der Geodatenbanken als attributseitig (Unterstützung von OGIS und anderen Standards).

Diese drei Stufen unterschiedlicher Integrationsstärke können auch als eine wahrscheinliche Abfolge beim Aufbau eines umfassenden Verkehrsinformationssystems angesehen werden. Dabei werden die Voraussetzungen für die Datenspeicherung in gemeinsamen (Geo- und Attribut-)Datenbanken zunehmend auch softwareseitig vorgesehen. So unterstützt die Entwicklung von nicht-strukturgebundener Softwarefunktionalität (z.B. on-the-fly Generierung und Abfrage von Topologie, unabhängig von der zugrundeliegenden Datenstruktur) die Kompatibilität mit unterschiedlichen "information communities". Eine verstärkte Integration von GIS in der Verkehrsplanung erscheint damit zur Nutzung von spezifischer GIS-Funktionalität insbesondere unter Berücksichtigung der derzeitigen Entwicklungen im Daten- und Funktionsstandardisierungsbereich sinnvoll.

## LITERATUR

- AIFANDOPPOULO, G. et al. (1995): ETIS: a GIS technology based tool for supporting strategic environmentally friendly planning of urban transport infrastructure development. in: ESRI-User conference 1995. - Palm Springs.
- ALBRECHT, J. et al. (1996): VGIS - a graphical front-end for user-oriented analytical GIS operations. in: KRAUS, K. u. P. WALDHÄUSL (Hrsg.): Proceedings ISPRS 1996. - Wien (= International Archives of photogrammetry and remote sensing, XXXI), 78 - 88.
- BESPALKO, S. et al. (1996): Geospatial data for Intelligent Transportation Systems. In: BRANSCOMB, L. u. J. KELLER (Hrsg.): Converging infrastructures: intelligent transportation and the national information infrastructure, MIT-Press.
- COOK, P. u. A. MUKERJEE (1996): India railways GIS-based decision-support system. in: ESRI-User conference 1996. - Palm Springs.
- GANTER, J. (1994): Display techniques for dynamic network data in transportation GIS. in: Proceedings of 1994 GIS for Transportation Symposium, 42-53, Norfolk VA.
- GANTER, J. et al. (1995): The Open Geodata Interoperability Specification (OGIS) as a technology for geospatial transportation computing. In: Proceedings of the 1995 AASHTO GIS-T symposium, 535-553, Reno NV.
- HERING, M. (1994): Das Programmsystem PRO-REGIO zur Fahr- und Dienstplanung. in: OSSING, F. (Hrsg.): EDV für Verkehrskonzepte in Stadt und Region. - Marburg, 107-122.
- KOLLARITS, S. (1994): Mobilität und GIS: Probleme der Repräsentation und Analyse. in: DOLLINGER, F. u. J. STROBL (Hrsg.): Angewandte Geographische Informationstechnologie VI. - Salzburg (= Salzburger Geographische Materialien, 21), 371-384.
- KOLLARITS, S. u. L. RIEDL (1993): Multimodale Netzwerke in räumlichen Hierarchien. Strategien zur Integration verschiedener Verkehrsmodi und Attributdaten von räumlichen Hierarchien für vollständige Erreichbarkeitsmatrizen. - Graz. in: N. BARTELME (Hrsg.): Grazer Geoinformatiktage '93 (= Mitteilungen der geodätischen Institute der TU Graz, 76), S. 39 - 47.
- MARTIN, D. u. I. BRACKEN (1991): Techniques for modelling population-related raster databases. In: Environment and Planning A.
- PUEBLA, J. u. R. AGUAYO (1995): Transport in Europe: a study of train accessibility using GIS. in: ESRI-User conference 1995. - Palm Springs.
- ROSS, J. et al. (1994): BERTA - ein EDV-gestütztes System zur Betriebseinsatzplanung und -auswertung in einem großstädtischen Verkehrsbetrieb. in: OSSING, F. (Hrsg.): EDV für Verkehrskonzepte in Stadt und Region. - Marburg, 59-88.