

Integration mehrfach repräsentierter Straßenverkehrsdaten für eine föderierte Navigation

Integration of Road Data in Multiple Representations for Federated Navigation

Steffen Volz, Matthias Grossmann, Nicola Hönle, Daniela Nicklas, Thomas Schwarz, Universität Stuttgart

Die Forschergruppe neXus entwickelt eine offene, verteilte Plattform für Anwendungen mit Ortsbezug. Dieser Artikel beschreibt, wie Straßenverkehrsdaten aus unterschiedlichen Quellen in das gemeinsame Datenmodell der Plattform integriert werden können, um Navigationsanwendungen zu ermöglichen. Die Abbildung mehrfach repräsentierter Daten in einem einheitlichen Schema ist notwendig, um Anfragen auf Quellen zu verteilen, die Ergebnisse zusammenzufassen und so bestehende Daten weiter nutzen zu können.

The research group neXus investigates on an open, distributed platform for location-based services. This article describes how road data from different sources can be integrated into the common data model of the platform in order to realize navigation applications. The mapping of data in multiple representations into a global schema is a prerequisite for the federation of queries and for the usage of existing data sets.

1 Einleitung

Mobile Anwendungen mit Ortsbezug sind ein Teilbereich der Informationssysteme, der zunehmend an Bedeutung gewinnt. Zur Zeit finden sich in diesem Bereich vor allem Fahrzeugnavigationssysteme. Es ist jedoch damit zu rechnen, dass es in Zukunft eine Reihe weiterer Typen ortsbasierter Anwendungen geben wird, wie z. B. Touristeninformationssysteme, Ausstellungsführer oder ortsbasierte Spiele.

Mobile, ortsbasierte Anwendungen sind heute in der Regel Insellösungen. Jede Anwendung verfügt über ihren eigenen Bestand an speziell für sie angepasste Daten, den sie meistens mit sich führt. Die Aktualisierung des Datenbestands ist aufwendig und eine Nutzung durch verschiedene Anwendungen typisch nicht möglich. Für ein Informationssystem, dessen Wert stark durch die Menge und die Aktualität der verfügbaren Daten bestimmt wird, bedeutet dies eine wesentliche Einschränkung.

Bild 1 zeigt ein Beispieldatenzenario für eine Navigationsanwendung, die auf einen offenen, erweiterbaren Datenbestand zugreift. Ein Benutzer auf einer Überlandstraße (Punkt A) möchte zu Punkt B navigiert

werden. Die Navigationsanwendung benötigt dazu ein vollständiges, konsistentes Bild des Straßennetzes wie auf der linken Seite zu sehen. Zwei verschiedene Anbieter stellen jeweils Teile der benötigten Daten zur Verfügung. Server 1 speichert einen Abschnitt der Überlandstraße sowie eine Nebenstraße. Server 2 stellt alle Abschnitte der Überlandstraße zur Verfügung. Zwischen der Navigationsanwendung und den Servern benötigt man eine Föderationschicht, die auf Grund der Anfrage der Navigationsanwendung die Namen von Server 1 und 2 ermittelt, die Anfrage an diese weiterleitet und die Ergebnisse integriert, wobei die Mehrfachrepräsentation eines Teils der Überlandstraße berücksichtigt werden muss.

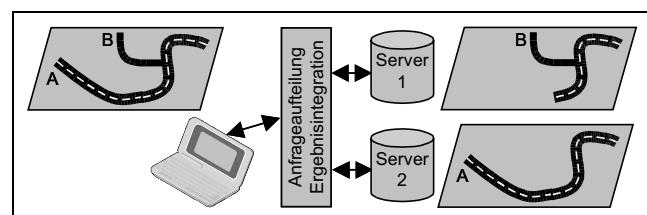


Bild 1: Navigationsszenario.

Die Forschergruppe NEXUS entwickelt eine offene, verteilte Plattform für ortsbezogene Dienste. Diese stellen wir in diesem Artikel vor, wobei wir insbesondere auf die Darstellung und Aufbereitung heterogener, mehrfach repräsentierter Ausgangsdaten für Straßen navigationsanwendungen eingehen. Kapitel 2 gibt einen Überblick über die Architektur und das Datenmodell der Plattform allgemein. Kapitel 3 beschreibt die Abbildung von GDF und ATKIS, zweier gebräuchlicher Formate zur Darstellung von Geodaten, in das gemeinsame Datenmodell der Plattform. Abschließend fasst Kapitel 4 die hier eingeführten Konzepte zusammen.

2 Die NEXUS-Plattform

Die NEXUS-Plattform ist eine offene, verteilte Umgebung für ortsbezogene Dienste und Anwendungen. Sie verfolgt ähnliche Ziele wie das World Wide Web, das offen für eine Vielzahl von Anbietern von Daten und Anwendungen ist. Die Komponenten der NEXUS-Dienstebene (Bild 2) sind dabei vergleichbar mit Web-Servers, während NEXUS-Anwendungen die Rolle von Web-Applikationen wie z. B. Browsern oder Applets spielen. Die Föderationsebene der NEXUS-Plattform existiert in der Web-Architektur jedoch nicht: Da das Anwendungsgebiet auf ortsbezogenen Diensten eingeschränkt ist, ist es möglich, die Daten aufgrund ihres Ortsbezugs zu föderieren, um den Anwendungen eine einheitliche Sicht zu bieten, die wir *Augmented World Model* nennen.

Im Folgenden werden wir die Architektur der NEXUS-Plattform und das Augmented World Model kurz vorstellen. Detailliertere Ausführungen hierzu finden sich in [5].

2.1 Architektur der NEXUS-Plattform

Die NEXUS-Plattform (Bild 2) besteht aus drei Ebenen: der Anwendungs-, der Föderations- und der Dienstebene.

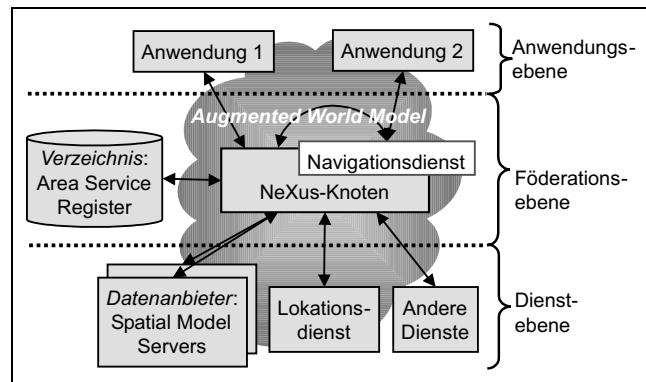


Bild 2: Architektur der NEXUS-Plattform.

2.1.1 Anwendungsebene

NEXUS-Anwendungen laufen typischerweise auf kleinen, mobilen Geräten, die mit Sensoren ausgestattet sind, um ihre Position zu bestimmen. Sie kontaktieren einen NEXUS-Knoten in der Föderationsebene über eine drahtlose Verbindung und senden normalerweise eine räumliche Informationsanfrage wie z. B. „Gib mir Straßen, Gebäude und Restaurants im Umkreis von 100 m um meine Position“ (wie Anwendung 1 in Bild 2). Zudem können sie spezielle Anfragen an die NEXUS-Knoten schicken, die dort von einem Mehrwertdienst bearbeitet werden (wie Anwendung 2 in Bild 2). Ein Beispiel dafür sind Navigationsanfragen, die für den Navigationsdienst in der Föderation bestimmt sind: „Gib mir einen Weg von meiner Position zum nächsten italienischen Restaurant“.

Die Anwendungen erhalten vom NEXUS-Knoten das Ergebnis in einem definierten XML-Format und visualisieren es in geeigneter Weise dem Benutzer. Im Fall von Mehrwertdiensten können die Daten auch in aufbereiteter Form zurückgegeben werden (z. B. in einem Bildformat).

Eine Anwendung kann die Wegesuche auch selbst berechnen (wie im Szenario der Einleitung angedeutet). Die Auslagerung in einen Mehrwertdienst der Plattform ist allerdings sinnvoll, da wir davon ausgehen, dass NEXUS-Endgeräte durch ihre Mobilität tendenziell klein und leistungsschwach sind (wie z. B. Mobiltelefone). Zudem ist die Navigation eine Funktion, die vermutlich zahlreiche Anwendungen benötigen werden.

Detailliertere Informationen zu NEXUS-Anwendungen und ihrer Funktionsweise finden sich in [6].

2.1.2 Föderationsebene

Die NEXUS-Knoten der Föderationsebene verteilen die Anfragen der Anwendungen an die Komponenten in der Dienstebene. Um Anfragen der NEXUS-Anwendungen beantworten zu können, benötigen die NEXUS-Knoten das Area Service Register. Es handelt sich dabei um ein Verzeichnis, das die Adressen der Datenanbieter, das von ihren Daten abgedeckte Gebiet und die von ihnen gespeicherten Datentypen enthält. Damit kann ein NEXUS-Knoten herausfinden, welche Datenanbieter für eine bestimmte Anfrage zuständig sind. Der NEXUS-Knoten leitet die Anfrage an diese weiter und fasst das Ergebnis für die Anwendungen zusammen.

Durch die Offenheit der NEXUS-Plattform kann es vorkommen, dass mehrere Anbieter Daten vom selben Realwelt-Objekt zur Verfügung stellen. Deswegen ist bei der Ergebnisverarbeitung eine Behandlung von mehrfach repräsentierten Objekten vonnöten. Dies setzt die Zuordnung heterogener,

von einander abweichenden Daten voraus. Eine detaillierte Behandlung dieses Themas würde den Rahmen dieses Artikels sprengen (weitere Informationen hierzu in [9]).

Auch Mehrwertdienste wie der Navigationsdienst können die **NEXUS**-Knoten kontaktieren. Sie stellen dann Anfragen wie „Wo ist von dieser Position aus das nächste italienische Restaurant“ und „Gib mir alle Navigationsobjekte in diesem Gebiet“ und verwenden das Ergebnis, um aufbereitete Antworten auf die speziellen Anfragen der **NEXUS**-Anwendungen zu erzeugen.

2.1.3 Dienstebene

Bei den Komponenten der Dienstebene handelt es sich um autonome Server, die von verschiedenen Anbietern aufgestellt und über das Area Service Register der **NEXUS**-Plattform bekannt gemacht werden. Daten von nichtbeweglichen Objekten wie Gebäuden, Straßen oder auch Verweise auf ortsrelevante Webseiten werden von sog. *Spatial Model Servers* gespeichert. Diese sind mit den Webservern des WWW vergleichbar. Sie bieten eine bestimmte Schnittstelle an und stellen die Daten in einem definierten Format für das Augmented World Model (s. u.) zur Verfügung.

Für mobile Objekte, die ihre Position häufig und mit hohen Update-Raten ändern, steht der Lokationsdienst zur Verfügung, der in [4; 8] näher beschrieben wird. Weitere Dienste der **NEXUS**-Plattform wie z. B. der Event-Service werden in diesem Artikel nicht näher behandelt.

2.2 Das Augmented World Model

Um die Daten der verschiedenen Dienstanbieter miteinander verarbeiten zu können, verwenden die Komponenten der **NEXUS**-Plattform eine gemeinsame Weltsicht, das Augmented World Model (AWM). Es wurde speziell für die Bedürfnisse von ortsbezogenen Anwendungen und die Föderation heterogener Datenquellen entwickelt. Das AWM besteht aus einer objektorientierten Datenmodellierung, welche die wichtigsten Objektklassen für ortsbezogene Anwendungen (Augmented World Schema, AWS) definiert, und aus Objektinstanzen dieses Schemas (AW-Objekte). Um die verschiedenen Datenanbieter nicht zu sehr einzuschränken, sind zahlreiche Attribute des AWS optional.

Die räumlichen Objektklassen des AWS erben von *SpatialObject* und enthalten damit Attribute für die geografische Position und ihre Ausdehnung (sofern vorhanden). Dabei wird unterschieden nach *Static-Objects*, die ihre Position nicht ändern und von Spatial Model Servern verwaltet werden, und *Mobile-*

Objects, für die der Lokationsdienst zuständig ist. Ein Beispiel für nicht-räumliche Objektklassen des AWS sind die Klassen unter *NavigationalObject*. Sie bilden topologische Beziehungen ab und werden in Kapitel 3.3 näher erläutert.

3 Darstellung der Navigationsdaten im AWM

Da der Ansatz von **NEXUS** sehr stark darauf ausgerichtet ist, eine generische Plattform für unterschiedlichste Anwendungstypen aus dem Bereich der ortsbezogenen Dienste zu schaffen, hängt die Qualität des Informationssystems in entscheidendem Maße von der Verfügbarkeit vielfältiger und detaillierter Geodatenquellen ab. Aus diesem Grund müssen heterogene Geodatenbestände im Augmented World Modell (AWM) abgebildet werden können. Dabei ist es wichtig, die Eigenschaften existierender Datenmodelle möglichst gut in das übergeordnete Augmented World Schema zu übertragen.

3.1 Datenmodelle für Straßenverkehrsdaten

Im Zuge der Entwicklung von Applikationen für die Automobilnavigation gewann die Erfassung von Straßenverkehrsdaten eine große Bedeutung. Dies führte dazu, dass es in diesem Bereich zu Mehrfacherfassungen kam und somit verschiedene digitale Repräsentationen der gleichen Straßenobjekte vorliegen. Im Folgenden werden zwei Datenmodelle für die Abbildung von Straßenverkehrsdaten vorgestellt, die in Deutschland am gebräuchlichsten sind: das Geographic-Data-File-Format (GDF) und das Amtliche Topographisch-Kartographische Informations-System (ATKIS).

3.1.1 Das GDF-Datenmodell

Das GDF-Datenmodell wurde speziell für Anwendungen aus dem Bereich der Fahrzeugnavigation entwickelt und liegt zur Zeit in der Version 3.0 vor [3]. Das konzeptionelle Datenmodell von GDF enthält drei verschiedene Elemente:

3.1.1.1 Features

Bei den Features handelt es sich um Realweltobjekte wie Straßen oder Eisenbahnen. Die Geometrie von Features wird über die Grundprimitive Punkt, Linie oder Fläche definiert. Einfache Features bezeichnen die topologischen Grundeinheiten einer Straßenkarte wie Straßenabschnitte als Linien-Features oder einfache Kreuzungen als Punkt-Features. Bei Aggregationen einfacher Features spricht man von komple-

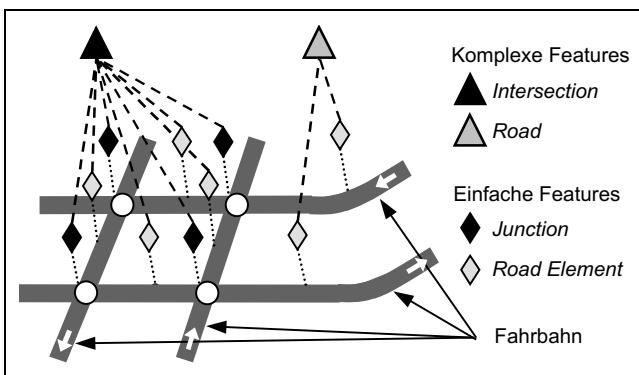


Bild 3: Einfache und komplexe Straßenverkehrs-Features (nach [9]).

xen Features. Zum Beispiel können größere Kreuzungsbereiche aus verschiedenen Straßen bzw. Straßenabschnitten und einfachen Kreuzungen aufgebaut sein.

Jedes Feature gehört einer bestimmten Feature-Klasse an. Für den Straßenverkehr sind insbesondere die folgenden vier Feature-Klassen von Bedeutung (siehe auch Bild 3):

Road Element (einfach): Ein Road-Element-Feature entspricht einem Straßenabschnitt.

Junction (einfach): Ein Junction-Feature stellt das Ende bzw. den Anfang eines Road Elements dar.

Road (komplex): Ein Road-Feature besteht aus Road-Element- und Junction-Features.

Intersection (komplex): Ein Intersection-Feature repräsentiert einen komplexen Kreuzungsbereich und kann sich aus Road-Element-, Junction- und Road-Features zusammensetzen.

3.1.1.2 Attribute

Die Eigenschaften von Features oder Relationen (s. u.) werden in Form von Attributen beschrieben. Attribute können entweder einfach oder zusammengefasst und zusätzlich zeitabhängig oder segmentiert sein. Segmentierte Attribute werden dann verwendet, wenn verschiedene Teilabschnitte eines Road Elements unterschiedliche Werte aufweisen (z. B. wenn die Straßenbreite eines Road Elements nicht einheitlich ist).

3.1.1.3 Relationen

Eine Relation besteht aus zwei oder mehreren Features und beschreibt eine Assoziation zwischen ihnen (z. B. Abbiegeverbot von Straße A nach Straße B). Eine Relation kann eigene Attribute besitzen.

3.1.2 Das ATKIS-Datenmodell

Das ATKIS-Datenmodell wurde von den Vermessungsverwaltungen der Bundesländer entwickelt [1].

Es ist die Grundlage für eine möglichst weitreichende digitale Abbildung der Realwelt und hat somit einen umfassenderen Ansatz als GDF.

ATKIS erfasst Daten zu insgesamt sieben verschiedenen Objektbereichen wie z. B. Siedlung und Verkehr. Die Objektbereiche sind wiederum in so genannte Objektgruppen gegliedert. Beim Verkehr handelt es sich dabei u. a. um die Gruppen Straßenverkehr, Schienenverkehr etc. Eine Ebene tiefer sind die Objektarten definiert, die den geometrischen Typ sowie die Attribute von Objektklassen der Realwelt festlegen. Für den Straßenverkehr sind hier beispielsweise Straßen, Wege etc. aufgeführt. Konkrete Instanzen dieser Objektarten sind die ATKIS-Objekte, die ihrerseits wiederum aus Objektteilen aufgebaut sind. Die Objektteile enthalten die eigentliche Geometrie in Form von Vektorelementen. Daher enthält jedes Objekt mindestens einen Objektteil. Weitere Objektteile werden gebildet, wenn sich die Attribute einer Straße (z. B. die Straßenbreite) ändern oder deren Topologie (z. B. bei Einmündungen oder Kreuzungen) wechselt. In ATKIS können Attribute im Gegensatz zu GDF also nicht innerhalb eines Objektteils segmentiert werden.

Darüber hinaus sieht das ATKIS-Modell ebenfalls die Möglichkeit vor, komplexe Objekte zu bilden. Im Falle von Straßen wird diese Modellierungsform u. a. benötigt, wenn eine Straße aus mehreren Fahrbahnen besteht. Ein komplexes Straßenobjekt setzt sich dann aus den Objekten „Fahrbahn“ und „Straßenkörper“ zusammen (siehe dazu auch Bild 6).

Im so genannten Digitalen Landschaftsmodell im Maßstab 1:25 000 (DLM 25) erfasst ATKIS Straßenverkehrsdaten mit einer für die Fahrzeugnavigation ausreichenden Genauigkeit von ca. 3 Metern. Allerdings können viele wichtige Informationen wie Abbiegeverbote in ATKIS nicht abgespeichert werden, da dies in diesem Datenmodell nicht vorgesehen ist.

3.2 Entwurfskriterien für die Modellierung der Navigationsdaten im AWM

Bei den in Kapitel 3.1 beschriebenen Datenmodellen ATKIS und GDF existiert keine Trennung zwischen geografischen und topologischen Daten. Geografische Daten beschreiben die Objekte der realen Welt durch die Angabe ihrer Position und ihrer tatsächlichen Ausdehnung (Bild 4). Sie geben z. B. den realen Verlauf einer Straße, die Straßenbreite und den Straßennamen an. Topologische Daten geben die räumlichen Beziehungen zwischen einzelnen Punkten bzw. Objekten der realen Welt an. Die zum Aufbau eines Navigationsgraphen verwendeten Daten wie Kreuzungen und Verbindungen (Straßen) zwischen Kreuzungen mit Fahrtzeiten und weiteren Eigenschaften (erlaubte Fahrtrichtung usw.) sind topologische Daten.

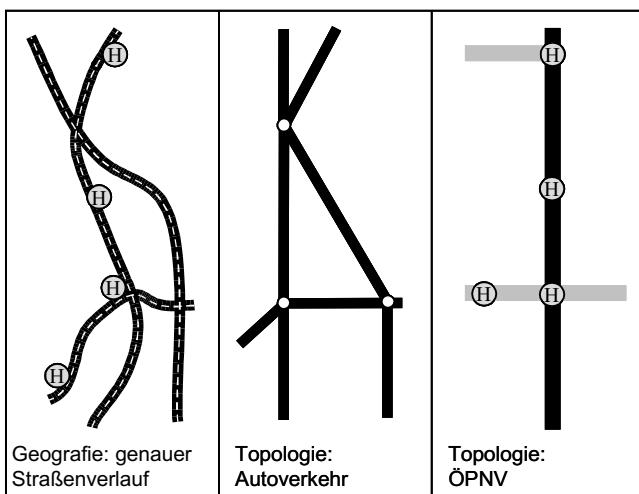


Bild 4: Geografische und topologische Daten.

Aus verschiedenen Gründen soll im AWM im Gegensatz zu ATKIS und GDF eine Trennung zwischen geografischen und topologischen Daten vorgenommen werden:

Für unterschiedliche Aufgaben braucht man oft entweder geografische oder topologische Daten. Geografische Daten werden benötigt, wenn Positionen von Objekten in der realen Welt interessieren, z. B. beim Zeichnen von Karten oder bei der Positionsbestimmung. Topologische Daten werden für die Berechnung einer Route benötigt. Außerdem interessiert manche Anwendungen nur das Navigationsergebnis an sich ohne den zugehörigen Kartenausschnitt. Dies gilt insbesondere für Anwendungen, die auf Endgeräten mit kleinen Displays laufen.

Durch eine Trennung von geografischen und topologischen Daten ist es zudem möglich, dass verschiedene Informationsanbieter entweder geografische oder topologische Daten zur Verfügung stellen können. Die Daten können außerdem mit unterschiedlicher Detailgenauigkeit gespeichert sein. Das bedeutet, dass ein Informationsanbieter nur Daten seines „Spezialgebietes“ (z. B. Topologie des öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) einer Stadt) speichern und andere Daten weder speichern noch aktualisieren muss. Die Föderation wählt je nach Anfrage den oder die geeigneten Spatial Model Server aus und ist für die Integration und Angleichung der Ergebnisse zuständig. Im Gegensatz dazu sind ATKIS und GDF für einzelne, exklusive Anbieter gedacht, die jeweils alle benötigten Daten im selben Detailgrad zur Verfügung stellen müssen.

Es kann verschiedene topologische Daten zu einer Geografie geben, da in NEXUS intermodale Navigation stattfinden soll; z. B. Straßen für Autos, Fahrradwege und Buslinienpläne (Bild 4). Manche dieser Datensätze können „abstrakte“ Navigationsdaten sein wie z. B. ÖPNV-Pläne, die nur an den Übergängen (Haltestellen) mit der Geografie verbunden sind. Im Gegensatz dazu werden in ATKIS und GDF in erster

Linie Straßen dargestellt und es wird auf Straßen navigiert, so dass nur eine Topologie zu einer Geografie existiert.

Bei der gemeinsamen Speicherung von Geografie und Topologie kann eine Komprimierung stattfinden, und es entstehen kompaktere Datensätze als bei einer getrennten Speicherung. Das ist von Vorteil, falls nur ein einzelner Anbieter für alle Daten zuständig ist. Falls allerdings die Geografie bei einem Informationsanbieter liegt und andere Informationsanbieter (unterschiedliche) Topologien speichern, kann sowohl das gespeicherte Datenvolumen als auch das Datenübertragungsvolumen geringer sein, da nicht jeder Anbieter geografische und topologische Daten speichern bzw. übertragen muss.

Bestehende ATKIS- und GDF-Daten sollen im AWM weiterverwendet werden. Die Abbildung dieser Daten in das AWM wird im folgenden Abschnitt beschrieben.

3.3 Abbildung von GDF und ATKIS in das AWM

Die Abbildung verschiedener Ursprungsdatenmodelle in das Augmented World Schema (AWS) erfordert mehrere Schritte. Zunächst müssen alle relevanten Objektklassen der Ausgangsdatenmodelle auch im AWS repräsentiert werden. Daraufhin sind die Beziehungen dieser Objektklassen zu den Objektklassen des Augmented World Schemas zu definieren. Im Falle von Straßenverkehrsdaten ist es darüber hinaus notwendig, auch deren Topologie im AWS zu repräsentieren, um aus ihnen einen Navigationsgraphen ableiten zu können.

3.3.1 Repräsentation der Semantik

Auf Basis der zugrunde liegenden Datenmodelle ATKIS und GDF wurde ein übergeordnetes Schema entworfen, welches die Abbildung sämtlicher Objekte der Ausgangsdatenmodelle erlaubt. Dieses wurde schließlich in das AWS übertragen. Alle für die Repräsentation von Straßenverkehrsdaten relevanten Objektklassen wurden dabei unmittelbar der Klasse *StaticObject* des AWS untergeordnet (Bild 5).

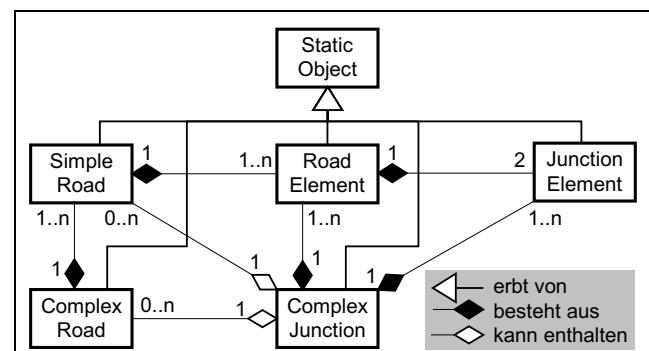


Bild 5: Repräsentation von Straßenverkehrsobjekten im AWS.

Jeder Objektklasse des AWS wurden relevante Attribute aus den beiden vorhandenen Datenmodellen GDF und ATKIS zugeordnet. Einige Attribute, die in beiden Ausgangsdatenmodellen vorhanden und die bei der Beschreibung von Straßen grundlegend sind, müssen bei den entsprechenden AW-Objekten angegeben werden; die Spezifikation der überwiegenden Anzahl von attributiven Informationen ist jedoch optional. Die Abbildung der Geometrie innerhalb des AWS wurde von der Simple-Features-Spezifikation des OpenGIS-Konsortiums [7] übernommen, welche eine standardisierte Richtlinie für die Beschreibung von zweidimensionalen raumbezogenen Daten darstellt.

Die Tabellen 1 und 2 zeigen die Beziehungen zwischen den Objektklassen von GDF und ATKIS und den Objektklassen des AWS; Bild 6 veranschaulicht die Abbildung der Objektklassen ins AWS an einem Beispiel.

Generell bestehen zwischen den Objektklassen der Datenmodelle GDF und AWS 1:1-Relationen. Allerdings werden in GDF mehrere *Road Elements* nur dann zu einem *Road-Objekt* zusammengefasst, wenn die Fahrbahnen einer Straße getrennt digitalisiert wurden. Im AWS findet dieser Aggregationsprozess aber auf jeden Fall statt, sobald *Road Elements* aus GDF auf denselben Straßennamen verweisen, d. h. aus n *Road Elements* kann eine *SimpleRoad* im AWS gebildet werden. Mehrere GDF-*Road-Features* können im AWS außerdem zu einer *ComplexRoad* aggregiert werden, wenn sie denselben Straßennamen tragen.

Bei den Beziehungen zwischen ATKIS und AWS ist festzuhalten, dass jedes Objektteil in ATKIS genau einem *RoadElement* im AWS zugeordnet wird. Im AWS wird der Anfangs- und Endpunkt eines Objektteils zusätzlich als *JunctionElement* aufgenommen.

Tabelle 1: Beziehungen (Bez.) zwischen GDF-Objektklassen und dem Augmented World Schema.

| GDF | Bez. | AWS |
|--------------|-------|-----------------|
| Junction | 1:1 | JunctionElement |
| Road Element | 1:1 | RoadElement |
| Road Element | $n:1$ | SimpleRoad |
| Road | 1:1 | SimpleRoad |
| Road | $n:1$ | ComplexRoad |
| Intersection | 1:1 | ComplexJunction |

Tabelle 2: Beziehungen (Bez.) zwischen ATKIS-Objektklassen und dem Augmented World Schema.

| ATKIS | Bez. | AWS |
|------------------|------|-----------------|
| Objektteil | 1:2 | JunctionElement |
| Objektteil | 1:1 | RoadElement |
| Objekt | 1:1 | SimpleRoad |
| Komplexes Objekt | 1:1 | ComplexRoad |
| Nicht vorhanden | - | ComplexJunction |

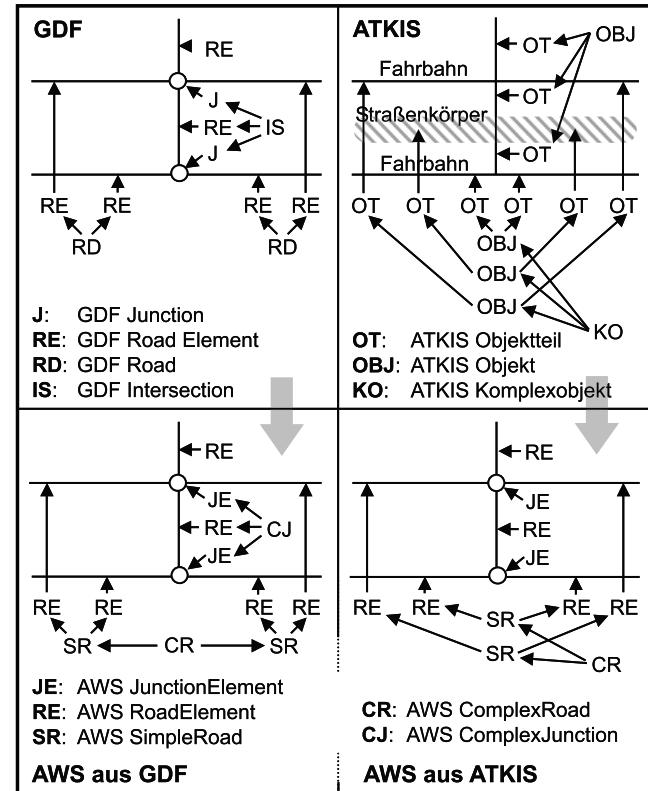


Bild 6: Repräsentation von GDF und ATKIS im Augmented World Schema (Abbildung von GDF und ATKIS in Anlehnung an [9]).

Ansonsten bestehen mit Ausnahme der *ComplexJunction*, die in ATKIS keine Entsprechung findet, ebenfalls 1:1-Relationen zwischen den Objektklassen. Ein Sonderfall tritt bei der Bildung von *ComplexRoads* aus komplexen ATKIS-Straßenobjekten (siehe Kapitel 3.1.2) auf. Hier wird die geometrische Ausprägung lediglich aus den Objektteilen der Fahrbahnen gebildet, die Geometrie des Straßenkörper-Objektteils wird abstrahiert. Allerdings gehen dessen relevante Attribute nicht verloren, sie werden ebenfalls innerhalb eines Objektes *ComplexRoad* abgespeichert.

3.3.2 Repräsentation der Topologie

Im AWS wurden verschiedene Klassen eingerichtet (siehe Bild 7), mittels derer ein Navigationsgraph aufgebaut werden kann. Bei den instanzierbaren Klassen handelt es sich um Navigationsknoten (*NavigationNodes*, NN), Navigationskanten (*NavigationEdges*) und Navigationsrestriktionen (*NavigationRestrictions*).

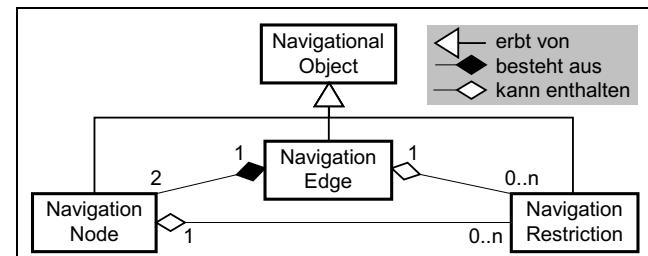


Bild 7: Navigationsobjekte im Augmented World Schema.

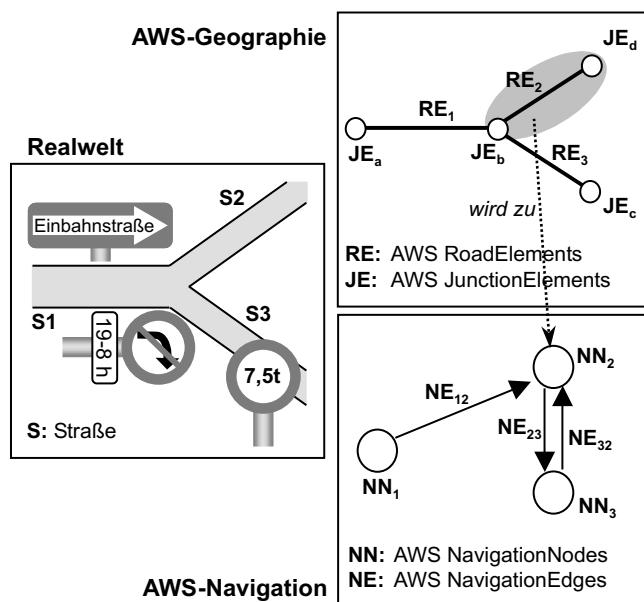


Bild 8: Abbildung einer Realweltsszene im AWS zum Zwecke der Navigation.

ges, NE) und Navigationsrestriktionen (*NavigationRestrictions*, NR).

Um nun Straßenverkehrsdaten in einem Navigationsgraphen abzubilden, werden die geografischen Grundelemente *JunctionElements* und *RoadElements*, welche die topologischen Informationen implizit enthalten, in Navigationsobjekte überführt. Dabei wird das Konzept verfolgt, die *RoadElements* (Kanten) im AWS als *NavigationNodes* abzuspeichern, während die Verbindung zwischen zwei Kanten als *NavigationEdge* bezeichnet wird. *NavigationNodes* und *NavigationEdges* können durch bestimmte Restriktionen für die Verkehrsteilnehmer eingeschränkt sein und diese als Attribute enthalten. Folgendes Beispiel, das in Bild 8 illustriert ist, soll die Vorgehensweise verdeutlichen: Bei der Straße 1 handelt es sich um eine Einbahnstraße, von der aus ein Abbiegen in Straße 3 zwischen 19 und 8 Uhr nicht gestattet ist. Straße 3 ist außerdem nur von Fahrzeugen bis 7,5 Tonnen befahrbar. Die topologische Struktur der Realszene kann aus der AWS-Geografie abgeleitet werden. Um die erwähnten Restriktionen einzuführen, bedarf es der Instanziierung der Navigationsobjekte. Dabei wird z. B. die Kante, die durch *JunctionElement* JE_b, *RoadElement* RE₂ und *JunctionElement* JE_d gebildet wird, im Augmented World Modell als *NavigationNode* NN₂ abgespeichert.

Tabelle 3: Matrix der NavigationNodes (NN) mit Restriktionsangaben (NR).

| * | NN ₁ | NN ₂ | NN ₃ , NR ₁ |
|-----------------------------------|-----------------|------------------|------------------------------------|
| NN ₁ | - | NE ₁₂ | 0 |
| NN ₂ | 0 | - | NE ₂₃ , NR ₂ |
| NN ₃ , NR ₁ | 0 | NE ₃₂ | - |

Die *NavigationNodes* nehmen im AWS auch die Kosten (z. B. die Weglänge) auf. Sie enthalten zudem diejenigen Restriktionen, die für die gesamte Straße gelten. Im Beispiel trägt der *NavigationNode* NN₃ die *NavigationRestriction* NR₁, welche besagt, dass Straße 3 für ein KFZ über 7,5 Tonnen gesperrt ist. Aus den *NavigationNodes* lässt sich eine Matrix aufbauen, deren Elemente die *NavigationEdges* darstellen (siehe Tabelle 3). Eine *NavigationEdge* wird dann aus den beteiligten *NavigationNodes* und den entsprechenden *NavigationRestrictions* aufgebaut. Im Beispiel trägt die *NavigationEdge* NE₂₃ die Restriktion NR₂, welche angibt, dass Straße 3 nur zwischen 8 und 19 Uhr von Straße 1 aus befahrbar ist.

4 Zusammenfassung

In diesem Artikel haben wir gezeigt, wie in einer offenen Plattform – dem **nEXUS**-System – mit einem gemeinsamen Datenmodell – dem Augmented World Schema – eine föderierte Navigation möglich ist. Dazu müssen zunächst die Daten von den Anbietern in das AWS eingebracht werden. Wie das AWS für Straßenverkehrs- und Navigationsdaten aussieht und wie bestehende Formate wie GDF und ATKIS in das AWS abgebildet werden, haben wir in Kapitel 3 beschrieben. Im laufenden Betrieb können nun Anfragen von den Anwendungen an den Navigationsdienst der **nEXUS**-Plattform gestellt werden. Dieser stellt eine Anfrage nach Navigationsdaten an den **nEXUS**-Knoten und erhält zunächst die topologischen Informationen (*NavigationalObjects*). Auf diesem Graph kann er z. B. den kürzesten Weg berechnen. Für die Ergebnispräsentation wird er eine zweite Anfrage an den **nEXUS**-Knoten stellen, mit der er diejenigen Straßen- und Gebäudeobjekte (*StaticObjects*) erhält, die er zum Zeichnen einer Karte mit dem berechneten Weg benötigt. Diese Karte kann der Navigationsdienst dann an die Anwendung zurückgeben.

Die **nEXUS**-Forschergruppe untersucht verschiedenste Aspekte ortsbezogener Anwendungen wie beispielsweise Lokationsdienste zur Speicherung der Position mobiler Objekte, Datenschutzfragen in Verbindung mit der Speicherung und Weiterverarbeitung der aktuellen Positionen mobiler Nutzer oder die in diesem Artikel in Ausschnitten vorgestellte Integration und Föderation bestehender Daten. Weitere Informationen zur Forschergruppe und zu den bisherigen Ergebnissen finden sich u. a. in [5; 6].

Ziel ist die Entwicklung einer offenen, verteilten Plattform für Anwendungen mit Ortsbezug wie z. B. elektronische Stadt- oder Museumsführer. Es existieren bereits prototypische Implementierungen von Spatial Model Servern (Datenanbietern), einer Föderationskomponente und eines Lokationsdienstes. Ein

Navigationsdienst soll ebenfalls prototypisch implementiert und in das bereits bestehende System integriert werden.

Literatur

- [1] Amtlich Topographisch-Kartographisches Informationssystem (ATKIS). Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV), Bonn, 1998.
- [2] *Devogele, Thomas; Parent, Christine and Spaccapietra, Stefano:* On spatial database integration. Int. J. of Geographical Information Science, Vol. 12 (1998) No. 4, pp. 335–352.
- [3] Geographic Data Files Version 3.0 – GDF 3.0, GDF for Road Traffic and Transport Telematics, CEN TC287, 1995.
- [4] *Leonhardi, Alexander; Kubach, Uwe:* An Architecture for a Distributed Universal Location Service. Proc. of the European Wireless '99 Conf., Munich, Germany, pp. 351–355, ITG Fachbericht, VDE Verlag, 1999.
- [5] *Nicklas, D.; Grossmann, M.; Schwarz, T.; Volz, S.; Mitschang, B.:* A Model-Based, Open Architecture for Mobile, Spatially Aware Applications. Proc. of Symp. on Spatial and Temporal Databases, Los Angeles, 2001.
- [6] *Nicklas, D.; Mitschang, B.:* The nEXUS Augmented World Model: An Extensible Approach for Mobile, Spatially-Aware Applications. Proc. of the 7th Int. Conf. on Object-Oriented Information Systems, 8/2001.
- [7] OGC 2002: <http://www.opengis.org>.
- [8] *Hauser, C.; Leonhardi, A.; Kühn, P.:* Sicherheitsaspekte in nEXUS – einer Plattform für ortsbezogene Anwendungen. In dieser Ausgabe.
- [9] *Walter, V.:* Zuordnung von raumbezogenen Daten – am Beispiel der Datenmodelle ATKIS und GDF. Dissertation, Deutsche Geodätische Kommission (DGK), Reihe C, Heft Nr. 480, 1997.

Dipl.-Geogr. Steffen Volz ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Photogrammetrie (ifp) der Universität Stuttgart.

Adresse: ifp, Universität Stuttgart, Geschwister-Scholl-Straße 24 D, D-70174 Stuttgart, Tel.: +49-711-121-3384, Fax: -3297, steffen.volz@ifp.uni-stuttgart.de

Dipl.-Inf. Matthias Grossmann, Dipl.-Inf. Nicola Höne, Dipl.-Inf. Daniela Nicklas und **Dipl.-Inf. Thomas Schwarz** sind wissenschaftliche Mitarbeiter am Institut für Parallele und Verteilte Systeme (IPVS) der Universität Stuttgart. Beide Institute (ifp und IPVS) waren 2000 an der Gründung der Forschergruppe nEXUS beteiligt.

Adresse: IPVR, Universität Stuttgart, Breitwiesenstraße 20–22, D-70565 Stuttgart, Tel.: +49-711-7816-448, Fax: -424, vorname.nachname@informatik.uni-stuttgart.de