

NEXUS – Eine Plattform für ortsabhängige, verteilte Geodatennutzung

STEFFEN VOLZ, MONIKA SESTER, DIETER FRITSCH & DARKO
KLINEC*

Abstract: Since the amount of information is increasing continuously in the digital age, a growing need for efficient methods to structure the digital data can be observed. In some fields, the spatial component of information is an important criterion in order to find out which information is of importance. Location aware applications, which "know" the positions of their users, take advantage of this fact and provide information according to a user's location. The concept of the NEXUS project, which is described in this paper, aims at the development of a generic platform that serves as a basis for this kind of applications and supports mobile users with handheld computer devices. The main task of the NEXUS infrastructure consists of the management of dynamic spatial models that represent the real world as well as virtual objects. The virtual objects primarily allow for the access of information stored in external information spaces, especially the World Wide Web.

1 Das Konzept von NEXUS

Angesichts der wachsenden Datenflut im Zuge des digitalen Zeitalters erscheint es häufig sehr schwierig, ohne großen Aufwand genau jene Information ausfindig zu machen, die man gerade benötigt. Aus diesem Grund wird eine adäquate Strukturierung von Daten immer bedeutsamer. Ein Ansatz hierzu besteht darin, den räumlichen Bezug von Informationen bzw. deren Verknüpfung mit einem bestimmten Ort auszunützen. Sogenannte "ortsbewußte" Anwendungen (engl. location aware applications) berücksichtigen dies, indem sie Benutzern den Zugriff auf jene Informationen erleichtern, die an ihrem aktuellen Aufenthaltsort von Bedeutung sind.

Die NEXUS-Idee besteht darin, eine generische Plattform für diese Art von Anwendungen bereitzustellen, wobei die Mobilität der Benutzer durch die Verwendbarkeit von Kleinrechnern wie Subnotebooks, PDAs oder Wearable Computers [Starner et al. 1998] unterstützt werden soll. Über diese als NEXUS-Stations bezeichneten Kleincomputer, die sowohl mit Positionierungssensoren ausgestattet sind als auch über die Möglichkeit zur Mobilkommunikation verfügen, können die Benutzer bzw. die ortsbewußten Applikationen auf die Plattform zugreifen. Zur Positionsbestimmung im Außenraum soll dabei differentielles GPS in Kombination mit verschiedenen Stützsensoren wie digitalen Kompassen, digitalen Schrittzählern, etc. dienen, während für Gebäudeinnenräume Infrarot- sowie Funknetzsysteme, ergänzt durch Bildinterpretationsverfahren, heranzuziehen sind. Die Datenübertragung in Weitbereichsnetzen soll zunächst noch auf GSM (EBERSPÄCHER & VÖGEL 1998) basieren, jedoch bald durch nachfolgende Systeme mit höheren Datenübertragungsraten wie GPRS oder UMTS ersetzt

* Institut für Photogrammetrie, Universität Stuttgart, Geschwister-Scholl-Str. 24, 70174 Stuttgart; Email: firstname.lastname@ifp.uni-stuttgart.de; <http://www.ifp.uni-stuttgart.de>

werden. Innerhalb von Gebäuden werden drahtlose lokale Netzwerke, z.B. gemäß des IEEE 802.11 Standards, zum Einsatz kommen.

Als Hauptaufgabe der NEXUS-Infrastruktur ist die Verwaltung räumlicher Modelle anzusehen, die die reale Welt in digitaler Form abbilden und eine Verknüpfung von raumbezogener Information auf der einen und Nutzerposition auf der anderen Seite erlauben. Da verschiedene Anwendungen allerdings unterschiedliche Auflösungen der Datensätze für eine effiziente Prozessierung sowie eine anschauliche Visualisierung benötigen, ist es entscheidend, die NEXUS-Modelle in mehrfachen Repräsentationen anbieten zu können. Dementsprechend müssen Konzepte zur Modellierung und Ableitung der notwendigen Levels of Detail (LOD) innerhalb der Plattform implementiert werden.

Die räumlichen Modelle enthalten neben den realen Objekten aber ebenfalls virtuelle Repräsentationen, die spezifische NEXUS-Dienste anbieten. So können beispielsweise virtuelle Litfaßsäulen (VLIT) Daten externer Informationsquellen wie dem World Wide Web auf ein räumlich spezifiziertes Gebiet beziehen. Durch diese Vorgehensweise kann das verfügbare Informationsspektrum erweitert bzw. eine Limitierung auf jene Informationen, die innerhalb der Plattform abgespeichert sind, umgangen werden. Jede VLIT hat dabei einen definierten Standort und je nach Bedeutung auch eine entsprechende räumliche Ausprägung bzw. einen bestimmten Sichtbarkeitsbereich. Ein Benutzer kann auf diese Weise sehr einfach auf jene externen Informationen zugreifen, die an seinem aktuellen Standort wichtig sind (siehe Abb. 1).

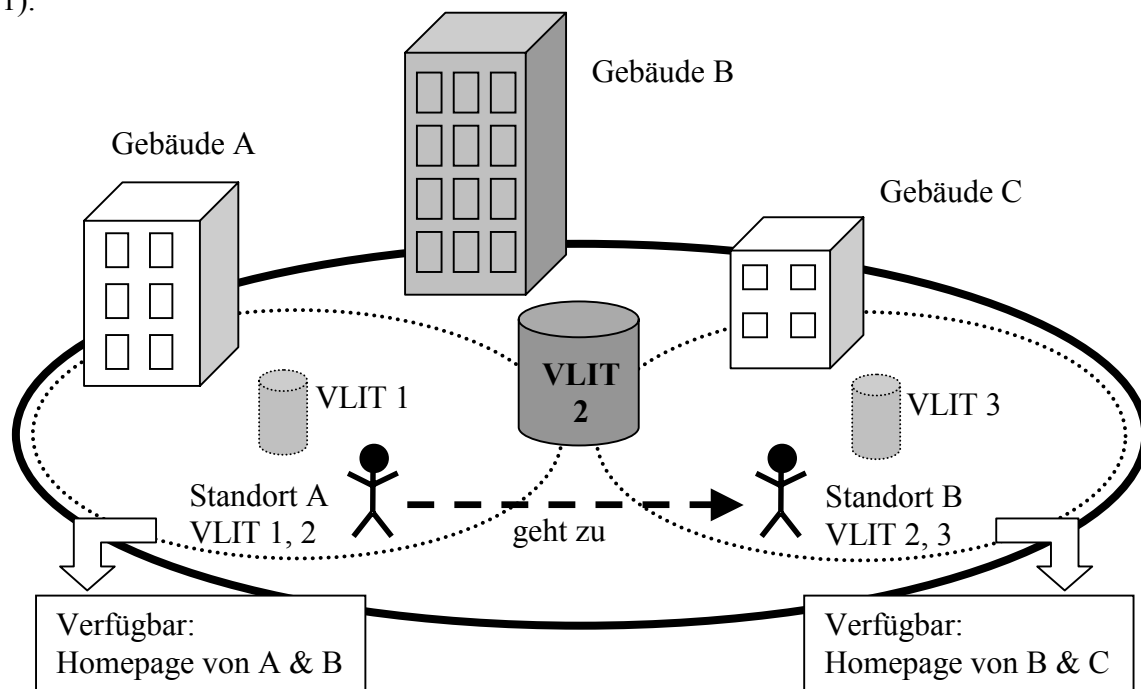


Abb. 1: Virtuelle Litfaßsäulen und ihre verschiedenen Sichtbarkeitsbereiche.

Aufgrund der Erweiterung der realen Umgebung durch virtuelle Repräsentationen wird diese auch als angereicherte Welt (Augmented World, AW) bezeichnet, welche im sogenannten Augmented World Modell in digitaler Form wiedergegeben wird (siehe Abb. 2). Das Modell der angereicherten Welt setzt sich wiederum aus den voneinander verschiedenen Augmented Area Modellen zusammen. Sie können von der hochauflösten Repräsentation eines Gebäudes bis hin zur Übersichtsdarstellung einer Stadt verschiedene Ausprägungen annehmen und

diverse räumliche (Überlappung, Inklusion, etc.) und semantische (attributive oder geometrische Verfeinerung, etc.) Beziehungen miteinander unterhalten. Die Definition dieser Relationen ist notwendig, weil sonst die Interoperabilität der zahlreichen Modelle nicht gewährleistet werden könnte. Die Komplexität des Beziehungsgeflechts muß dabei vor den Applikationen verborgen werden. Für sie soll der Eindruck entstehen, als arbeiteten sie mit einem einzigen, alles umfassenden Modell. Zum Zwecke der Interoperabilität ist es außerdem entscheidend, daß die Datenformate der Augmented Area Modelle kombiniert werden können.

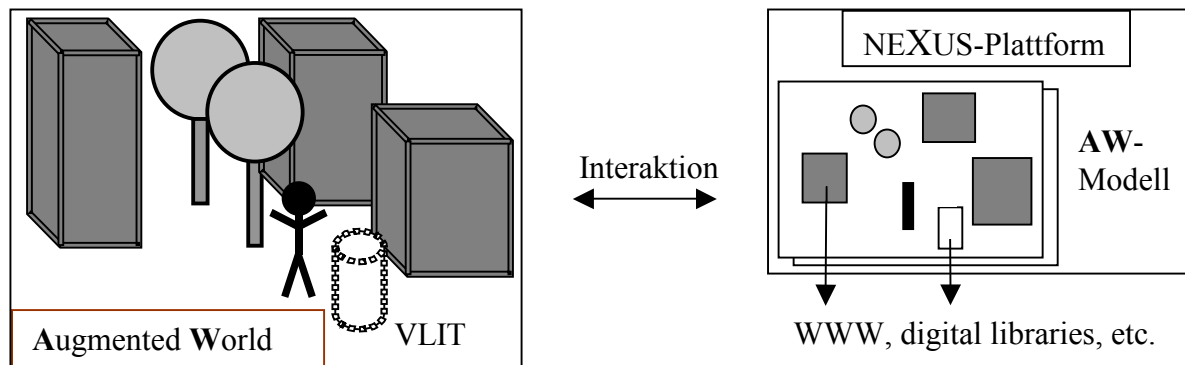


Abb. 2: Die angereicherte Realität und ihre Modellrepräsentation innerhalb von NEXUS.

Da die Modelle eine enorme Datenmenge enthalten, ist es unerlässlich, sie auf verteilten Datenbankservern vorzuhalten. Ebenso gilt dies für die Verwaltung von mobilen Objekten, d.h. von Nutzerpositionen und -spezifikationen in Form eines sogenannten Lokationsdienstes (LEONHARDI & KUBACH 1999, HOHL ET AL. 1999). Auf diese Weise kann die Plattform ihre Funktion als skalierbare Middleware, auf welche von einer Vielzahl von Benutzern zugegriffen werden kann, erfüllen.

Zur Unterstützung der Benutzer auf dem Weg durch die NEXUS-Welten müssen außerdem Funktionalitäten in die Plattform integriert werden, wie sie aus Geo-Informationssystemen bekannt sind. Als Beispiele sind kürzeste-Wege-Algorithmen oder räumliche Selektionen zu nennen. Darüber hinaus soll ein Teilnehmer des NEXUS-Systems allerdings auch Prozesse in der Realwelt steuern können, d.h. physisch vorhandene Objekte sollen über ihre korrespondierenden Modellrepräsentationen angesprochen und zur Ausführung definierter Operationen veranlaßt werden können. Diese Eigenschaft bezeichnen wir als aktive Funktionalität von räumlichen Objekten. Eine Möglichkeit zur Identifikation von Objekten der Realwelt bietet die sogenannte Telepointing-Einrichtung der NEXUS-Station. Über Richtungssensoren kann hiermit beispielsweise ermittelt werden, auf welches Gebäude ein Benutzer zeigt und so können Informationen zum selektierten Objekt bereitgestellt werden.

2 Charakteristika ortsbezogener Anwendungen

Ortsbezogene Anwendungen kennen den aktuellen Standpunkt des (mobilen) Nutzers dadurch, daß sie dessen Positionsinformation entweder direkt von Sensorsystemen oder über einen vermittelnden Lokationsdienst erhalten. Somit sind sie in der Lage, den jeweiligen Aufenthaltsort innerhalb eines räumlichen Modells zu bestimmen und Informationen gemäß der Lokation des Nutzers aufzubereiten. Außerdem bieten sie ortsfremden Benutzern die Möglichkeit, sich innerhalb einer unbekanntenen Umgebung zurechtfinden bzw. räumliche Zusammenhänge ableiten zu können.

Grundsätzlich gibt es verschiedene Arten von Applikationen mit Ortskenntnis, wobei globalere bzw. großräumigere Ansätze wie z.B. Stadt-, Verkehrs- Naturpark- oder Notfallinformationssysteme eher lokalen Anwendungen wie Museums-, Messe- oder Kaufhausinformationssystemen gegenüberstehen. Dabei ist es im Hinblick auf die Anforderungen von NEXUS sehr wichtig, daß die einzelnen Applikationen zusammenarbeiten können; d.h. deren Interoperabilität muß so weitreichend sein, daß Wechsel und Übergänge zwischen den verschiedenen Informationssystemen problemlos möglich sind.

Um die Funktionalitäten einer ortsbewußten Anwendung etwas anschaulicher darzulegen, soll im folgenden ein typisches Szenario vorgestellt werden. Im Mittelpunkt steht dabei ein fiktiver Geschäftsreisender, der in einer fremden Stadt an einer Konferenz teilnimmt und von den NEXUS-Diensten profitieren möchte. Er kommt am Hauptbahnhof an und muss von hier aus zunächst zum Ort der Konferenz gelangen. Über seine NEXUS-Station in Form eines PDAs gibt er seinen Zielort an und nimmt die Dienste des Personenleitsystems von NEXUS in Anspruch. Dabei wird ihm eine Routenplanung als Kartendarstellung präsentiert, die den Fußweg zur nächstgelegenen U-Bahn-Station, die zu wählende U-Bahn-Linie sowie wiederum den Weg vom Ausstiegspunkt zum Tagungsgebäude enthält. Unterstützt wird die graphische Routendarstellung durch Textangaben bzw. Sprachausgabe sowie Photographien von signifikanten Punkten, um eine Orientierung zu erleichtern. Am Ort der Konferenz angekommen befindet sich der NEXUS-Teilnehmer im Sichtbarkeitsbereich einer eigens für die Veranstaltung aufgestellten virtuellen Litfaßsäule, die es ihm erlaubt, sich über den Tagungsablauf sowie die Lokalität zu informieren. Zudem kann er Links auf WWW-Informationen über die Vortragenden und die vertretenen Firmen abrufen, die das virtuelle Objekt bereithält. Um mit Personen in Kontakt zu treten, die im selben Arbeitsbereich tätig sind, hinterläßt er eine entsprechende Nachricht am virtuellen schwarzen Brett. Nach Beendigung der Konferenz begibt sich der Geschäftsreisende mit Hilfe von NEXUS auf die Suche nach einem Restaurant, das von seinem aktuellen Standort zu Fuß erreichbar ist. Die räumliche Anfrage liefert ihm eine Selektion von Lokalen. Über deren Internet-Verbindungen kann er die jeweils angebotenen Speisen in Erfahrung bringen und sich anschließend zum Objekt seiner Wahl führen lassen. Auf dem Weg dorthin kommt er an einem ihm bekannten Gebäude vorbei, über welches er sich gerne näher informieren möchte. Die in der NEXUS-Station integrierte Telepointing-Funktionalität erlaubt dessen Identifikation durch die Ausrichtung eines Sensors auf das Gebäude und auf diese Weise werden dem NEXUS-Kunden sämtliche verfügbaren Daten über das ausgewählte Objekt angezeigt. Schließlich geht er weiter und erhält nach kurzer Zeit ein akustisches Signal, das ihn auf eine weitere Attraktion in seiner Umgebung, ein bauliches Kunstwerk, aufmerksam macht. Diesen räumlichen Dienst bekommt er angeboten, da er sich bei seiner Registrierung als NEXUS-Benutzer ein bestimmtes Profil erzeugt hat. In diesem ist festgelegt, daß er sich für architektonisch bedeutsame Bauwerke interessiert und infolgedessen bei Eintritt in einen definierten Umkreis um ein solches Objekt eine Mitteilung bekommt. Der Geschäftsreisende macht daher einen Umweg und schaut sich das Gebäude an. Daraufhin setzt er seinen Weg zum Restaurant fort und beschließt den Tag nach einem Barbesuch.

3 Architektur und Eigenschaften der NEXUS-Plattform

Ein wichtiges Merkmal der NEXUS-Plattform besteht darin, daß sie nicht auf bestimmte Arten ortsbezogener Applikationen ausgerichtet ist, sondern generischen Charakter besitzt.

Den verschiedenen Anwendungen muß es daher über eine wohldefinierte Schnittstelle ermöglicht werden, auf NEXUS zuzugreifen. In den folgenden Abschnitten soll die globale Architektur der Plattform präsentiert und die Funktionen ihrer Bestandteile erläutert werden. Anschließend erfolgt die Analyse der Anforderungen, denen das NEXUS-System gerecht werden muß.

3.1 Der Aufbau der Plattform

Im wesentlichen setzt sich die Plattform aus den vier Komponenten Sensor- und Positionierungssysteme, Kommunikation, Benutzerschnittstelle und Informations- bzw. Datenmanagement zusammen (siehe Abb. 3).

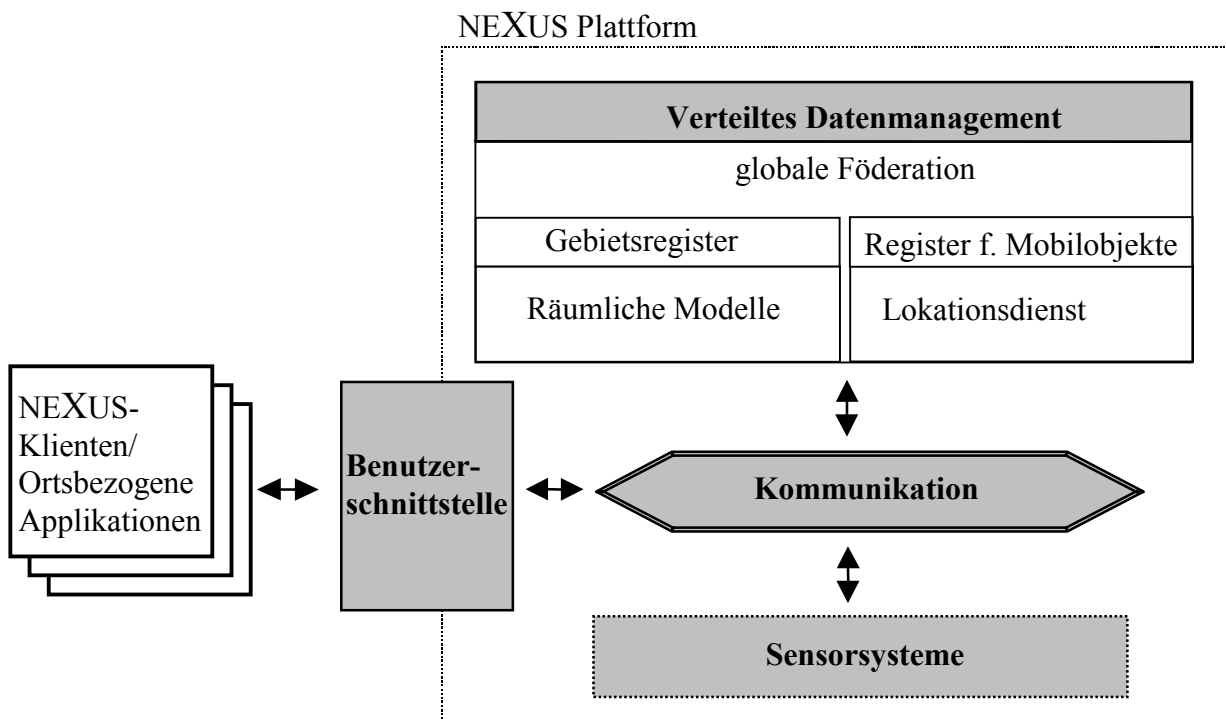


Abb. 3: Architektur der NEXUS-Plattform

Die *Kommunikationseinheit* sorgt für einen reibungslosen Informationsaustausch zwischen den einzelnen Komponenten bzw. zwischen den Klienten und der Plattform. Hierzu stellt sie ein einheitliches Interface bereit, das die Nutzung verschiedener Kommunikationsarten erlaubt. Dabei muß insbesondere der problemlose Übergang (Handover) zwischen festen und drahtlosen Netzen gewährleistet werden. Außerdem ist die Effizienzsteigerung bei der Datenübertragung beispielsweise über Caching- und Hoardingtechniken zu verwirklichen.

Die *Benutzerschnittstelle* ist dafür zuständig, eine einfache Verständigung zwischen Plattform und Anwender zu ermöglichen, d.h. auf der einen Seite müssen Anfragen sehr leicht generiert werden können, auf der anderen Seite sind die gelieferten Resultate in einer anschaulichen Art und Weise für den Benutzer aufzubereiten. Da verschiedene Typen von Endgeräten in der Lage sein sollen, auf die Infrastruktur zuzugreifen, müssen auch verschiedene Interfaces vorbereitet werden, die die Möglichkeiten der jeweiligen NEXUS-Stations optimal ausnützen.

Die *Sensorsysteme* haben einerseits die Aufgabe, globalere Zustände wie etwa die aktuelle Temperatur eines Bereichs der Realwelt zu detektieren, oder aber objektbezogene Informationen wie z.B. die Position von mobilen Objekten festzustellen. Dazu müssen am NEXUS-Endgerät verschiedene Sensoren angebracht sein. Sie zeichnen die verschiedensten Informationen auf und leiten sie an die Datenmanagement-Komponente weiter, um das Computermodell in einem hochaktuellen Zustand zu halten. Oftmals ist hierbei jedoch ein Verarbeitungsschritt zwischengeschaltet, der die Kombination verschiedener Sensordaten zu einem Endwert durchführen muß. So geben beispielsweise im Hinblick auf die Ableitung der Positionsinformation die jeweiligen Sensoren wie DGPS, digitaler Schrittzähler und digitaler Kompaß ihre Einzelergebnisse an die Datenverwaltung weiter, welche mittels eines speziellen Integrationsmoduls auf Serverseite zu einem einzigen Koordinatenpaar aggregiert werden müssen. In den Bereich der Sensorsysteme fallen auch die Funktionalitäten zur Steuerung von Objekten der Realwelt. Autorisierten Nutzern ist es erlaubt, Eigenschaften von Modellobjekten mittels der NEXUS-Station zu ändern. Diese Änderungen werden an das Modell weitergeleitet. Durch die Modifikation auf Seiten des virtuellen Objekts kann schließlich ein Ereignis des korrespondierenden Objektes in der Realwelt ausgelöst werden. Beispielsweise kann ein Nutzer einen bestimmten Raum eines Gebäudes an seinem Display selektieren, eine Attributänderung der Beleuchtungsverhältnisse vornehmen und diese Änderung an die Plattform senden. Die Modelländerung wird durchgeführt und dadurch ein Kommunikationsprozess initiiert, der den Lichtschalter des betreffenden Raumes anspricht und die angegebene Änderung der Lichtverhältnisse in der realen Umgebung durchführt.

Das *Daten- bzw. Informationsmanagement* stellt die Hauptaufgabe der Plattform dar. Diese Komponente ist für die Speicherung von Informationen sowie für die Ausführung bzw. Beantwortung von Anfragen und für Aktualisierungsprozesse der Modelle verantwortlich. Da das NEXUS-Konzept eine weitreichende Abbildung der Augmented World in entsprechenden Computermodellen vorsieht, ist von einem enormen Datenaufkommen auszugehen. Aus diesem Grund ergibt sich wiederum die Notwendigkeit, die verschiedenen Augmented Area Modelle in verteilten Datenbanken zu speichern und eine globale Föderationskomponente einzurichten. Die Verwaltung von mobilen Objekten verlangt dabei aufgrund der hohen Aktualisierungsraten nach anderen Optimierungsansätzen als das Management ortsfester räumlicher Objekte, weshalb hier eine getrennte Handhabung der Daten erfolgen soll. Die Spezifikationen der mobilen Objekte (wie z.B. Name, Angaben zum Nutzerprofil, Zugriffsrechte, etc.) werden in dafür vorgesehenen Registern angelegt, während die Positionsinformationen vom Lokationsdienst verwaltet werden. Auf der anderen Seite ist bei den stationären räumlichen Objekten ein Gebietsregister dafür verantwortlich, die Zuordnung der Augmented Area Modelle zu den verschiedenen Servern für die räumlichen Modelle, welche über GIS-Funktionalität verfügen, zu dokumentieren. Innerhalb der räumlichen Modelle werden auch die virtuellen Objekte und deren Verbindungen zu externen Informationsräumen verwaltet.

Wenn ein NEXUS-Klient eine Anfrage stellt oder eine Mitteilung über eine Modelländerung an die Plattform weitergibt, werden diese Informationen zunächst an die Föderation gerichtet. Die Föderation informiert sich daraufhin beim Lokationsdienst und beim Objektregister über die Position und die Spezifikationen des betreffenden Benutzers. Anschließend kann über das Gebietsregister abgefragt werden, welche Augmented Area Modelle herangezogen werden müssen, um die vom NEXUS-Teilnehmer gestellten Anweisungen zu erfüllen. Im Falle einer räumlichen Anfrage an die Plattform veranlaßt die Föderationskomponente den Lokationsdienst, die Position des Klienten an den bzw. die betroffenen Geodatenserver (GDS) weiterzuleiten. Daraufhin kann/können die involvierte/n Serverinstanz/en die Anfrage - beispiels-

weise die Suche nach Objekten mit bestimmten Attributen in einem gewissen Umkreis um die Nutzerposition - bearbeiten. Bei der Einbeziehung mehrerer Server entstehen verschiedene Teilergebnisse, die wiederum an die Föderation geliefert und von dieser zu einer Gesamtlösung integriert werden müssen, bevor diese schließlich an den Nutzer zurückgegeben wird. Oftmals ist diese Vorgehensweise jedoch nicht angebracht, da beispielsweise bei einer Kürzeste-Wege-Analyse kein sinnvolles Resultat bei der Aggregation mehrerer Teilergebnisse entsteht. Daher muß die Föderationskomponente auch dazu in der Lage sein, sich lediglich Daten von den entsprechenden Servern zu beschaffen und die notwendigen Bearbeitungsschritte selbständig durchzuführen. Dadurch, daß innerhalb der NEXUS-Plattform verschiedene Modelle zusammenarbeiten müssen, ist es unbedingt notwendig, deren Interoperabilität zu gewährleisten. Daher müssen die Beziehungen, die zwischen verschiedenen Augmented Area Modellen bestehen können, exakt definiert werden. Ansätze hierzu werden in Kapitel 4 erläutert.

3.2 Die Anforderungen an die NEXUS-Plattform

Um die Funktionsfähigkeit und Akzeptanz des NEXUS-Systems sicherstellen zu können, muß die Plattform einige grundlegende Eigenschaften aufweisen. Diese sollen hier aufgeführt werden:

- *Skalierbarkeit*: Aus der Notwendigkeit zur Verwaltung einer Vielzahl von Nutzern sowie verschiedener Augmented Area Modelle ergibt sich der Bedarf nach einem hochgradig verteilten Informationsmanagement. Zum Zwecke einer effizienten Datenprozessierung müssen adäquate Repräsentationen der räumlichen Daten vorgehalten werden. Nur durch die Umsetzung dieser Anforderungen kann ein akzeptables Antwortverhalten des Systems erzielt werden.
- *Datensicherheit*: Entscheidend für die Akzeptanz von NEXUS durch den Benutzer ist die absolute Zusicherung der vertraulichen Behandlung persönlicher Daten (z.B. durch Anonymisierung) sowie der Schutz vor Datenmanipulation.
- *Adaptivität*: Eine hohe Fehlertoleranz im Falle von Parameteränderungen, z.B. bei variierenden Bandbreiten, ist eine wichtige Voraussetzung, um das System vor Ausfällen zu bewahren.
- *Interoperabilität*: Ohne die Möglichkeit des Zusammenspiels verschiedener Augmented Area Modelle sowie verschiedener Typen ortsbezogener Anwendungen könnte die Plattform nicht funktionieren.
- *Offene Infrastruktur*: NEXUS muß das einfache Hinzufügen neuer Modelle ähnlich des Einbringens neuer Web-Server in das WWW erlauben, um eine schnelle Ausbreitung des Systems anzuregen.
- *Plattformunabhängigkeit*: Auf die NEXUS-Infrastruktur muß von sämtlichen verfügbaren Plattformen aus zugegriffen werden können, um ein weitreichendes Benutzerspektrum anzusprechen.

4 Struktur und Beziehungen räumlicher Modelle

Das Gesamtmodell der angereicherten Realität als zentraler Bestandteil der NEXUS-Plattform muß möglichst alle Informationen enthalten, die für ortsbezogene Anwendungen von Bedeutung sein könnten. Daher ist grundsätzlich ein maximaler Detaillierungsgrad sowie eine maximale Vollständigkeit des Datenmaterials anzustreben. Allerdings stellen die verschiedenen Applikationen auch unterschiedliche Ansprüche an die Art sowie die Auflösung

der zu verarbeitenden Daten und auch innerhalb ein und derselben Applikation können verschiedene Datengrundlagen benötigt werden. Soll eine maximale Effizienz der Prozessierung sowie eine anschauliche Visualisierung von Informationen ermöglicht werden, müssen die Daten gemäß der Anforderungen der Applikationen aufbereitet werden können. Das bedeutet, daß räumliche Objekte in sämtlichen gewünschten Repräsentationen vorzuliegen haben, weshalb Verfahren in die Plattform zu integrieren sind, die die Ableitung der verschiedenen Datenebenen realisieren. Kapitel 4.1 präsentiert einige Ansätze, die hierzu verfolgt werden müssen und illustriert bisherige Ergebnisse am Beispiel eines Testdatensatzes von Stuttgart. Für die Verwirklichung der Interoperabilität verschiedener Augmented Area Modelle müssen deren Beziehungen zueinander definiert sein. Dabei ist zwischen räumlichen und semantischen Korrelationen zu unterscheiden, die in Kapitel 4.2 beschrieben werden.

4.1 Mehrfachrepräsentationen als Voraussetzung für NEXUS

Zur Generierung von mehrfach repräsentierten räumlichen Objekten existieren unterschiedliche Ansätze. Im Bereich der 3D-Visualisierung wurden Triangulationsverfahren (DE FLORIANI & PUPPO 1995, SCHMALSTIEG 1997) entwickelt, die speziell für die Repräsentation unstrukturierter Punkthaufen geeignet sind und z.B. über Methoden der Maschenvereinfachung eine Erzeugung unterschiedlicher Darstellungen ermöglichen. Zur objektabhängigen, nicht nur auf die Geometrie bezogenen Generalisierung sind in erster Linie wissensbasierte Verfahren (ANDERS & SESTER 1997, MACKANESS ET AL. 1997) einzusetzen, um den Übergang zwischen unterschiedlichen Repräsentationen räumlicher Objekte zu definieren. Sind diese nicht verfügbar, so kann ein explizites Regelwerk mittels maschineller Lernverfahren (SESTER 1998) konstruiert werden. Wenn Daten unterschiedlicher Auflösung allerdings separat erfaßt werden, müssen die korrespondierenden Objekte in den verschiedenen Datensätzen einander zugeordnet werden. Dies geschieht mit Hilfe von Homogenisierungs- bzw. Conflationstechniken, wie sie beispielsweise in WALTER (1997) dokumentiert sind.

Für ein Testgebiet von Stuttgart sind inzwischen verschiedene Repräsentationen von Gebäudegeometrien erzeugt worden. Der größte Level (LOD 1) enthält Baublöcke, die durch die Aggregation verschiedener Einzelobjekte entstanden sind. In der nächsthöheren Auflösung (LOD 2) sind die Gebäude als individuelle Einheiten in 2,5D-Darstellung erkennbar. Der Datensatz mit dem höchsten Detaillierungsgrad (LOD 3) zeigt darüber hinaus auch verschiedene Dachformen sowie weitere Feinheiten wie beispielsweise Vorsprünge (siehe Abb. 4).

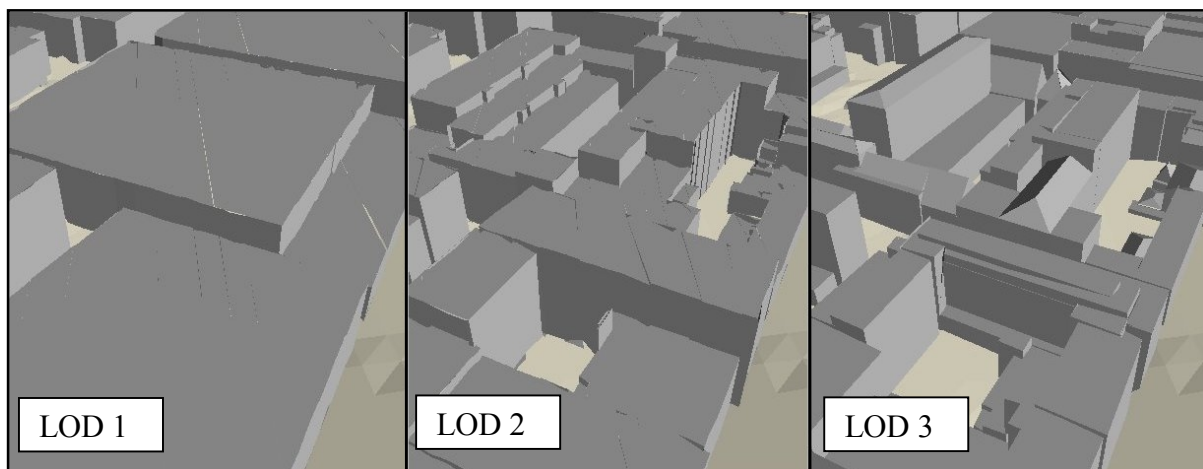


Abb. 4: eine Szene des Stadtmodells Stuttgart in verschiedenen Auflösungsstufen.

Das Regelwerk zur Ableitung der unterschiedlichen Repräsentationen basiert auf dem städtischen Gebäudeinformationssystem. Der hochaufgelöste Datensatz LOD 3 konnte durch ein Verfahren von HAALA & BRENNER (1999) gewonnen werden, das digitale Grundrisse mit Laserscannerdaten kombiniert und daraus dreidimensionale Gebäudeprimitive generiert. Abb. 5 demonstriert die Visualisierungsmöglichkeiten, die sich aus einem solch hochaufgelösten Datenmaterial ergeben, wenn Geländemodelle integriert und Texturen eingebracht werden.



Abb. 5: tlw. texturierter Ausschnitt aus dem LOD 3-Datensatz.

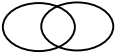




Neben der Erfassung von Gebäudegeometrien müssen in Zukunft auch andere relevante Objekte wie z.B. Vegetation in die virtuellen Stadtmodelle aufgenommen werden. Außerdem muß die Erfassung auf Gebäudeinnenräume ausgedehnt werden. Wichtige Datenquellen stellen hierfür Computer Aided Facility Management Systeme (CAFM) dar.

4.2 Beziehungen zwischen Augmented Area Modellen

Aus Sicht der verschiedenen Anwendungen mit Ortskenntnis ist es am einfachsten, wenn sämtliche räumliche Daten als ein einzelnes, großes Augmented World Modell erscheinen. Daher muß ihnen eine Perspektive gewährt werden, die von der Komplexität der verteilten Datenhaltung in zahlreichen, voneinander getrennten Modellen abstrahiert. Um eine solche Gesamtansicht bieten zu können, müssen die verschiedenen Modelle und die in ihnen gespeicherten multiplen Repräsentationen räumlicher Objekte einerseits kompatibel sein, d.h die Datenformate der Modelle müssen ineinander überführt werden können. Die zweite entscheidende Voraussetzung besteht in der Definition der Beziehungen, die unterschiedliche Modelle miteinander unterhalten können. Nur so kann sich das Gebietsregister darüber in Kenntnis setzen, zwischen welchen Modellen eine Zusammenarbeit überhaupt möglich ist. Die folgen-

de Übersicht zeigt, welche räumlichen und welche semantischen Relationen grundsätzlich möglich sind:

Räumliche Beziehungen:

- Überlappend  Sonderfall 1: Inklusion  Sonderfall 2: Identität 
- Angrenzend 
- Unabhängig 

Semantische Beziehungen:

- geometrische Verfeinerung/Reduktion
- Verfeinerung/Reduktion der Objektfunktionalität
- Attributive Verfeinerung/Reduktion
- semantische Überlappung (einige Objektklassen gleich)
- semantische Identität (alle Objektklassen gleich)
- Unabhängigkeit

Bei der Definition der räumlichen Beziehungen kann dem Ansatz von EGENHOFER (1991) gefolgt werden, der das topologische Verhältnis von geometrischen Modellen über Schnittmengen beschreibt. Verständlicherweise sind geometrische Beziehungen zwischen verschiedenen räumlichen Modellen eindeutig, während die semantischen Relationen kombinierbar sind. Beispielsweise könnten zwei Modelle in folgender Beziehung stehen:

Modell A: detailliertes Gebäudemodell eines Museums

Modell B: Übersichtsmodell einer Stadt

Räumliche Beziehung: A ist in B vollständig enthalten (Inklusion)

Semantische Beziehung: A verfeinert B geometrisch **UND**

A verfeinert B attributiv

5 Einrichtung eines Servers für räumliche Modelle

Zur Verwaltung der diversen Augmented Area Modelle werden spezielle Server eingerichtet, die eine Unterstützung für räumliche Daten und deren Verarbeitung bieten. Die allgemeinen Anforderungen, die an diese Server zu stellen sind, werden in Kapitel 5.1 formuliert. Da unterschiedliche Arten von Klienten fähig sein müssen, Operationen auf den räumlichen Daten auszulösen, müssen dementsprechend verschiedene Schnittstellen angeboten werden. Sie werden in Kapitel 5.2 vorgestellt. In Kapitel 5.3 soll schließlich aufgezeigt werden, wie ein typischer Klient der NEXUS-Plattform aussehen könnte.

5.1 Funktionalitäten räumlicher Datenserver

Bei einem räumlichen Datenserver muß es sich um eine Datenbank handeln, die für die Ab- speicherung von Objektgeometrien geeignet ist. Typischerweise werden hierzu Objektrelati- onale DBMS wie Oracle, DB2 oder Informix eingesetzt, die durch spezielle Aufsätze eine

Verwaltung von räumlichen Daten zulassen. Da die Abfragesprachen für Datenbanken - insbesondere natürlich SQL99 - zwar inzwischen auch Elemente zur Durchführung räumlicher Anfragen enthalten, aber noch nicht die komplette Funktionalität von Geoinformationssystemen integrieren, müssen GIS auf jeden Fall in die Geodatenserver einbezogen werden. Grundsätzlich gibt es folgende Hauptanforderungen, die an die GDS zu stellen sind:

- Möglichkeit zur Verwaltung mehrerer Teilmodelle
- Angebot von räumlichen Analyse- und Navigationsdiensten
- Berücksichtigung der Eigenschaften mobiler Rechner (ressourcenschwach, kleine Benutzeroberfläche) bzw. von Mobilkommunikation (kleine Bandbreiten, große Latenzzeiten, große Varianz der Leistung)
- Optimierte Verteilung der Arbeitslast auf Client und Server

5.2 Bereitstellende Schnittstellen

Auf die NEXUS-Plattform bzw. die Geodatenserver greifen verschiedene Arten von Klienten zu. Grundsätzlich handelt es sich dabei um die ortsbezogenen Anwendungen sowie um die Systemadministratoren. Dementsprechend müssen verschiedene Schnittstellen geschaffen werden, die in Abb. 6 dargestellt sind.

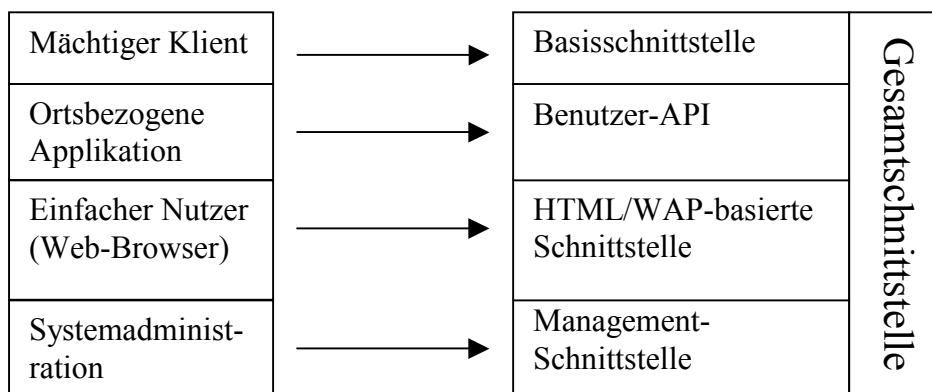


Abb. 6: Verschiedene Schnittstellen für den Geodatenserver.

Die verschiedenen Benutzerschnittstellen tragen der Tatsache Rechnung, daß die jeweiligen Klienten über unterschiedlich leistungsfähige Endgeräte verfügen. Mächtige Klienten müssen beispielsweise nur Daten von den Geodatenservern laden, die Prozessierung erfolgt auf Seiten des Nutzers. Ortsbewußte Applikationen greifen auf die Benutzer-API zu, die die GIS-Funktionalität des Geodatenservers nutzbar macht. Für einfache Klienten soll eine HTML- bzw. WAP-basierte Schnittstelle angeboten werden. Systemadministratoren bedienen sich der Management-API, um die Augmented Area Modelle zu aktualisieren und zu pflegen.

5.3 Eine Beispielapplikation auf Basis eines kommerziellen GIS

Auf der Basis des kommerziellen Geo-Informationssystems ArcView von ESRI wurde ein prototypischer Geodatenserver eingerichtet (SCHÜTZNER 1999). Der Zugriff auf den GDS erfolgt über eine aus Gründen der Plattformunabhängigkeit in Java entwickelte Bibliothek zur Erzeugung von NEXUS-Anwendungen. Sie implementiert verschiedene, zunächst in Form von Use Cases (JACOBSEN ET AL. 1999) definierte Dienstkategorien wie räumliche Abfragen

(*objectsInArea*, *closestObjects*, etc.), Navigationslösungen (*findShortestPath*), Abfragen von Sachdaten (*getAttribute*) und graphische Präsentationen (z. B. *getCurrentView*).

Zur Demonstration der Fähigkeiten des Geodatenservers wurde eine Beispielapplikation entwickelt. Abbildung 7 zeigt die Benutzeroberfläche der Anwendung.

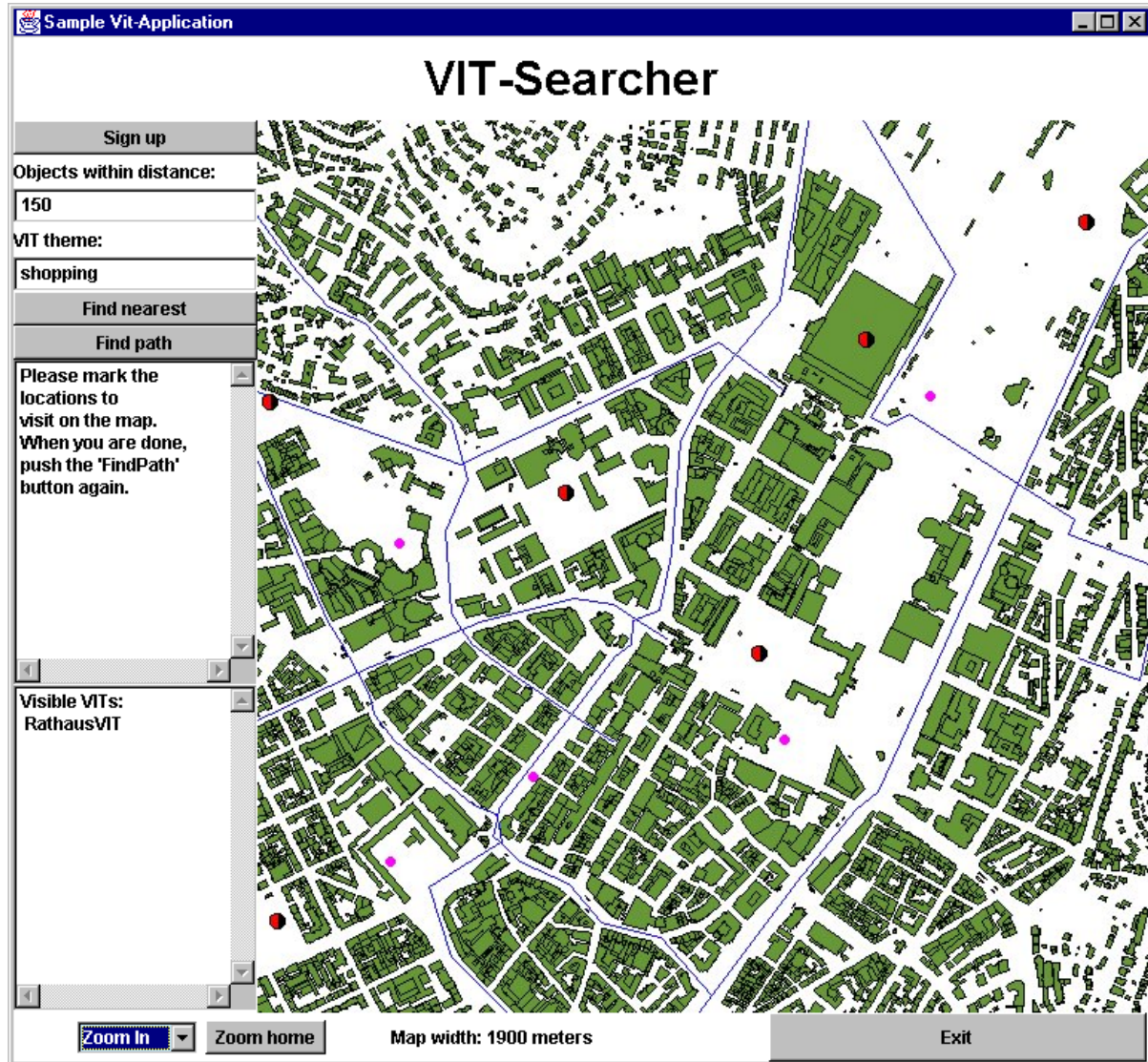


Abb. 7: Beispielapplikation für den Zugriff auf den ArcView-GDS.

Bei Anfragen von Seiten der ortsbezogenen Applikation wird durch die Benutzer-API ein HTTP-String erzeugt und an die zuständige ArcView Instanz geschickt. Dieser wird von der sogenannten Internet Map Server Erweiterung des GIS analysiert und veranlaßt das Programm zur Ausführung der angeforderten Dienste, wobei der Server zustandsorientiert arbeitet. Schließlich wird das produzierte Ergebnis in Form eines Rasterbildes an den Klienten zurückgeliefert und auf der Benutzeroberfläche dargestellt.

6 Zusammenfassung und kommende Aufgabenstellungen

Bisher stand innerhalb des Projektes die Evaluierung des NEXUS-Konzeptes im Vordergrund. Einige Teilkomponenten wurden prototypisch implementiert. Kommende Aufgabenstellungen bestehen nun vor allem darin, die Datenverwaltung in Objektrelationalen DBMS umzusetzen und die Föderation des Datenmanagements zu realisieren. Ein weiteres vorrangiges Ziel ist es, die Anforderungen der verschiedenen ortsbezogenen Applikationen im Hinblick auf die Erzeugung mehrfach repräsentierter Objekte zu untersuchen. Schließlich müssen die aufgezeigten Ansätze hierzu in die Plattform integriert werden, um vor allem die Optimierung von Datenanalysen zu erreichen und eine ansprechende Visualisierung anbieten zu können.

7 Literaturverzeichnis

- ANDERS, K.-H. AND SESTER, M.(1997): Methods of Data Base Interpretation - Applied to Model Generalization from Large to Medium Scale. in: W. Förstner & L. Plümer, eds., SMATI '97: Semantic Modelling for the Acquisition of Topographic Information from Images and Maps, Birkhäuser, pp. 89-103.
- DE FLORIANI, L. AND PUPPO, E. (1995): Hierarchical Triangulation for Multiresolution Surface Description. ACM Transactions on Graphics 14(4), pp. 363-411.
- EBERSPÄCHER, J. AND VÖGEL, H.-J. (1998): GSM Switching, Services and Protocol, B.G. Teubner, Stuttgart, Germany.
- EGENHOFER, M. (1991): Reasoning about Binary Topological Relations. In: Günther, O. Hrsg., "Advances in Spatial Databases - Proceedings of the 2nd Symposium on Large Spatial Databases SSD '91".
- JACOBSEN, I., BOOCH, G. AND RUMBAUGH, J. EDS. (1999): The Unified Software Development Process. Object Technology Series, Addison-Wesley, Reading, MA, USA.
- HAALA, N. AND BRENNER, C. (1999): Rapid production of Virtual Reality City Models. GIS 12(2), pp. 22-28.
- HOHL, F., KUBACH, U., LEONHARDI, A., ROTHERMEL, K. AND SCHWEHM, M. (1999): Nexus - an Open Global Infrastructure for Spatial-Aware Applications, Proceedings of the 5th International Conference on Mobile Computing and Networking, Seattle.
- LEONHARDI, A. AND KUBACH, U. (1999): An Architecture for a Universal, Distributed Location Service. Proceedings of the European Wireless '99 Conference, München.
- MACKANESS, W., WEIBEL, R. AND BUTTENFIELD, B. (1997): Report of the 1997 ICA Workshop on Map Generalization. Technical report, 19th until 21st of June 1997, <http://www.geo.unizh.ch/ICA/>, Gävle, Sweden.
- OPEN GIS CONSORTIUM (1999): Inc. Open GIS Consortium. <http://www.opengis.org>
- SCHMALSTIEG, D. (1997): Lodestar - An Octree-Based Level of Detail Generator for VRML. in: Proceedings of SIGGRAPH Symposium on VRML.
- SESTER, M. (1999): Acquiring Transition Rules between Multiple Representations in a GIS. Computers, Environment and Urban Systems 23, pp. 5-17.

- SCHÜTZNER, J. (1999): Entwicklung einer Server-Komponente für ein räumliches Modell in NEXUS. Diplomarbeit Nr. 1768, Fakultät Informatik, Universität Stuttgart.
- WALTER, V. (1997): Zuordnung von raumbezogenen Daten - am Beispiel ATKIS und GDF. Dissertation, Deutsche Geodätische Kommission (DGK), Reihe C, Heft Nr. 480.
- WAP FORUM (1999): Wireless Application Protocol, <http://www.wapforum.org>