

# NEUERE ENTWICKLUNGEN IM BEREICH DER VERTEILTEN SYSTEME

Kurt Rothermel

Institut für Parallele und Verteilte Höchstleistungsrechner (IPVR)

Universität Stuttgart

Email: Kurt.Rothermel@informatik.uni-stuttgart.de

**Kurzfassung:** Ortsbezogene („location aware“) Systeme kennen die Lokation der von ihnen modellierten Objekte der realen Welt. Navigationssysteme in Fahrzeugen sind relativ einfache ortsbezogene Systeme, welche die aktuelle Position des Fahrzeugs kennen und den Benutzer von dieser zum gewünschten Ziel führen. Verknüpft man Informationsobjekte, wie etwa Web-Seiten, mit Objekten der realen Welt, so kommt man zu sogenannten „Situating Information Spaces“. Solche Informationsräume ermöglichen einen ortsbezogenen Informationszugriff, d.h. ein Benutzer bekommt die Information geliefert, die an seinem aktuellen Aufenthaltsort relevant ist. Information kann mit ortsfesten Objekten, wie Gebäuden oder Räumen, und mit mobilen Objekten, wie etwa Fahrzeugen oder sogar Personen, verknüpft werden.

Ortsbezogene Systeme sind eine neue Klasse verteilter Systeme, die in der Forschung derzeit viel Beachtung findet. Im Beitrag wird ein Überblick über die unterschiedlichen Anwendungen ortsbezogener Systeme gegeben. Außerdem wird auf das an der Universität Stuttgart durchgeführte Projekt NEXus eingegangen. Ziel von NEXus ist die Entwicklung generischer Systemfunktionen zur Unterstützung ortsbezogener Systeme in einer durch virtuelle Objekte angereicherten Realität.

## 1. Einleitung

Die meisten der heutigen Rechnersysteme sind mit einem Netzwerk verbunden und operieren als Knoten eines verteilten Systems. Jeder Knoten verfügt über (mindestens) eine CPU sowie eigenen Speicher und kommuniziert mit anderen Knoten ausschließlich über den Austausch von Nachrichten. Eine zentrale Eigenschaft von verteilten Systemen ist die sogenannte Verteilungstransparenz: Der

Ort von Daten und Funktionen in einem verteilten System ist für die Nutzer ebenso wenig sichtbar wie Fragmentierung und Replikation. Unter dem Ort verstehen wir den Rechner auf dem die Daten gespeichert bzw. die Funktion realisiert ist.

Verteilte Systeme weisen gegenüber zentralisierten eine Reihe von gewichtigen Vorteilen auf, die letztendlich zur Proliferation dieser Systeme geführt haben. Als Vorteile sind in erster Linie zu nennen die Erweiterbarkeit, Verfügbarkeit, Zuverlässigkeit und Skalierbarkeit, wobei die Erhöhung der Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit über Replikation erreicht wird. Andererseits weisen verteilte Systeme im Vergleich zu zentralisierten einen höheren Komplexitätsgrad auf, was sich bei der Entwicklung und dem Management solcher Systeme nachteilig bemerkbar machen kann. Die Forschung ist bemüht diesem Nachteil durch geeignete Entwicklungs- und Managementwerkzeuge entgegenzuwirken. Durch die Bereitstellung geeigneter Kommunikationskonzepte, wie etwa "Remote Procedure Call" [16], "Remote Method Invocation" [1], "Message Queuing" [13] konnte die Entwicklung verteilter Anwendungen bereits sehr stark vereinfacht werden.

Die meisten der heutigen verteilten Systeme sind nach dem Klient/Server-Prinzip [2] strukturiert, d. h. Knoten übernehmen eine Klient- und/oder Server-Rolle. Ein Server stellt eine oder mehrere Dienste zur Verfügung, die von den Klienten des Systems genutzt werden können. Die Kommunikation zwischen Klient und Server besteht aus Auftrag/Antwort-Paaren: Der Klient sendet einen Auftrag, der vom Server bearbeitet und durch eine Antwort-Nachricht quittiert wird.

Die in der heutigen Praxis angewandten Systeme sind im allgemeinen nicht kontextbezogen, d.h. der aktuelle Kontext des Nutzers wird nicht erfasst und kann somit auch nicht bei der Verarbeitung berücksichtigt werden. Ein zentraler Kontextparameter ist der Ort, an dem sich der Nutzer gerade aufhält. Systeme, die die Lokalität der Nutzer berücksichtigen, werden als lokationsbezogene Systeme ("location-aware systems") bezeichnet. Insbesondere durch die Berücksichtigung von Lokationsinformation kann ein breites Spektrum neuer Anwendungen erschlossen werden.

In diesem Aufsatz befassen wir uns mit lokationsbezogenen Systemen, einer neuen Klasse verteilter Systeme, die derzeit in der Forschung viel Beachtung findet. Im nächsten Kapitel beschreiben wir verschiedene Anwendungsszenarien, die das Potenzial solcher Systeme verdeutlichen sollen. In Kapitel 3 nehmen wir dann eine grobe Klassifikation ortsbezogener Anwendungen vor. NEXus, eine Plattform für

ortsbezogene Systeme, wird in Kapitel 4 vorgestellt, bevor der Aufsatz mit einer kurzen Zusammenfassung schließt.

## *2. Anwendungsszenarien*

Das große Potenzial von Anwendungen mit Ortsbezug soll im folgenden anhand einiger Anwendungsszenarien verdeutlicht werden. Wir gehen davon aus, dass die Nutzer mit einem tragbaren Endgerät, beispielsweise einem Personal Digital Assistant (PDA) oder einem Subnotebook, ausgestattet sind. Die Endgeräte verfügen über einen Sensor, der es erlaubt, den Aufenthaltsort des Benutzers zu bestimmen (z.B. GPS, DGPS oder IR-Systeme). Ferner kann über drahtlose Kommunikations-einrichtungen auf entfernte Computer zugegriffen werden.

### **Messebesuch:**

Wir beginnen mit der Ankunft des Benutzers auf dem Flughafen der besuchten Stadt. Zunächst leitet das System den Besucher zum Messegelände. Bereits auf der Fahrt zum Messegelände kann der Besucher über den virtuellen Ticket-Schalter des Messeinformationssystems eine Eintrittskarte lösen. Damit wird ihm die Wartezeit an den realen Schaltern auf dem Messegelände erspart. Ferner kann er den aktuellen Veranstaltungsplan abrufen und seinen Messebesuch planen.

Auf dem Messegelände bieten virtuelle Litfaßsäulen Informationen über Aussteller in der jeweiligen Umgebung an (siehe Abbildung 1). Eine virtuelle Litfaßsäule existiert ausschließlich als Datenstruktur im Computer. Sie ist einer bestimmten geographischen Position in der realen Welt zugeordnet, beispielsweise dem Eingang zum Messegelände. Sobald sich ein Benutzer dieser Position nähert, wird ihm die Litfaßsäule auf seinem Endgerät angezeigt. Falls der Benutzer über eine geeignete Datenbrille verfügt, kann die Litfaßsäule auch direkt in seine visuelle Wahrnehmung eingeblendet werden.

Jeder Aussteller kann vor seinem Stand eine eigene virtuelle Litfaßsäule platzieren, die es ihm erlaubt den Besuchern einen Überblick über seine Exponate anzubieten. Die angebotenen Informationen können multimedial sein, d.h. auch Video, Audio und Bilder umfassen, und Verweise in das World Wide Web (WWW), bspw. auf die Homepage des Ausstellers, beinhalten.

Darüber hinaus ist es möglich, an jedem Objekt auf dem Messegelände, z.B. einem Ausstellungsstück, Informationen für den Aussteller oder einen Kollegen, der die Messe später besucht, zu hinterlassen. Dazu werden virtuelle Post-It-Notizen an das

jeweilige Objekt angebracht. Jede Notiz kann an eine einzelne Person oder eine Gruppe von Personen adressiert sein. Sie ist dann nur für die jeweiligen Adressaten sichtbar. Ferner kann sie mit einem Verfallsdatum versehen werden, nach dessen Erreichen sie automatisch gelöscht wird.

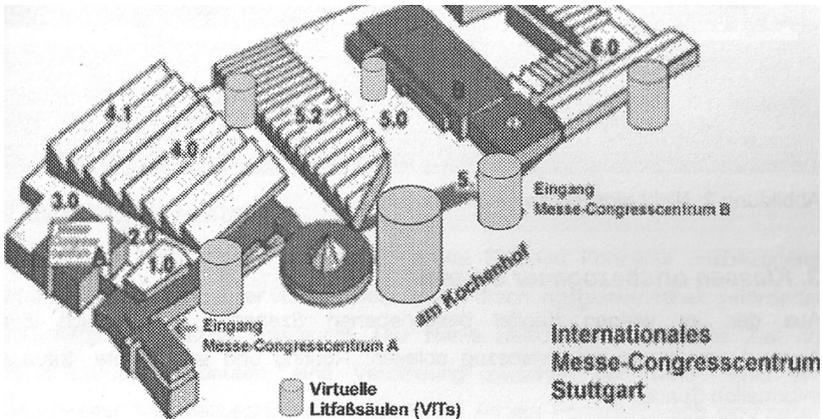


Abbildung 1: Messegelände mit virtuellen Litfaßsäulen.

Möchte der Messebesucher abends nach der Messe in ein Restaurant gehen, kann ein ortsbewusstes Informationssystem bei der Auswahl eines Restaurants behilflich sein, indem es ein Restaurant in der Nähe vorschlägt, das am besten zum Profil des Nutzers passt. Der Besucher wird anschließend zum Restaurant geleitet. Kommt er unterwegs an einem interessanten Gebäude vorbei, kann er durch Deuten auf dieses Gebäude mit einem Telefing Information darüber abrufen.

### **Gefahrenstelle:**

Das zweite Szenario ist im Bereich der Verkehrstelematik angesiedelt. Ein Fahrzeug bleibt an einer nicht einsehbaren Stelle liegen. Ein ortsbegrenztes System kann diese Gefahrensituation erkennen und alle herannahenden Fahrzeuge rechtzeitig davor warnen. Im Vergleich zu Verkehrsmeldungen im Radio kann diese Warnung sehr viel schneller erfolgen, weil die Warnmeldung unmittelbar nach Erkennen der Gefahrensituation ausgesendet werden kann. Ein weiterer Vorteil ist, dass die Meldung nur an die Verkehrsteilnehmer gesendet wird, die tatsächlich von der Gefahr betroffen sind, d.h. an alle herannahenden Fahrzeuge (siehe Abbildung 2).

Andere Personen werden daher nicht durch für sie irrelevante Informationen abgelenkt.

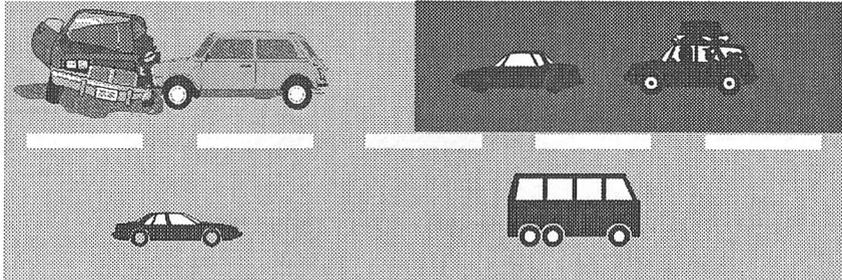


Abbildung 2: Nicht einsehbare Gefahrenstelle.

### 3. Klassen ortsbezogener Systeme

Aus den im vorigen Kapitel beschriebenen Szenarien lassen sich zwei Anwendungsklassen mit Ortsbezug ableiten: Routing und sogenannte "Situational Information Spaces" [4].

Das Routing kann auf Nachrichten, Fahrzeuge oder auch Personen bezogen sein. Im ersten Szenario wird beispielsweise der Benutzer mit Hilfe des Navigationssystems zum Messegelände geführt, während im zweiten Szenario eine Warnnachricht zu allen nachfolgenden Autos geleitet wird. Das Senden von Nachrichten in geographische Regionen wird auch als Geocast bezeichnet [7].

Es sollte klar sein, dass das zugrundeliegende System neben der Ortsinformation auch ein Modell der Realität verwalten muss. Im Beispiel mit der Warnnachricht heißt das, dass dieses Modell das Konzept einer Straße sowie das einer Spur mit Fahrtrichtung kennen muss. Darüber hinaus muss das zugrundeliegende Modell auch mobile Objekte, in diesem Fall Fahrzeuge erfassen.

In "Situational Information Spaces" sind Informationsobjekten Orte bzw. Objekte der Realität zugeordnet. Beispielsweise sind die Informationen einer virtuellen Litfaßsäule einem bestimmten Standort zugeordnet, eine Homepage kann mit ihrem Besitzer verknüpft sein und ein virtueller Notizzettel verbindet Information mit dem Objekt, an dem er "angebracht" ist. Kommt ein Nutzer in die "Nähe" von Information, so wird sie auf seinem mobilen Endgerät entsprechend visualisiert. Alternativ kann ein Nutzer mit einem speziellen Zusatzgerät durch Deuterei einen Gegenstand identifizieren und damit die mit ihm verbundene Information abrufen. "Situational Information Spaces" erlauben demzufolge einen ortsbezogenen Informationszugriff,

d.h. ein Benutzer bekommt Zugriff auf die an einem bestimmten Ort relevante Information. Außerdem kann er Bereichsanfragen durchführen, wie etwa "Welche Restaurants befinden sich in einem Umkreis von 500m?".

"Situated Information Spaces" sind nicht in Konkurrenz sondern als Ergänzung des WWW zu sehen. Sie ermöglichen einen ortsbezogenen Zugriff in bestehenden Informationsräumen, wie etwa dem WWW oder Digitalen Bibliotheken. Es gibt eine Reihe von Projekten, die sich mit der Realisierung von "Situated Information Spaces" befassen, beispielsweise DeepMap [3], WorldBoard [18], Stick-e Note [15], MOBIS [14] und NEXus [6].

#### *4. Das Projekt NEXus*

Seit Anfang 2000 werden an der Universität Stuttgart Konzepte ortsbezogener Informationssysteme in der von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Forschergruppe NEXus untersucht. Der Name NEXus soll dabei das Ziel der Forschergruppe andeuten, eine Verbindung zwischen der realen Welt und bestehenden Informationsräumen herzustellen. An der Forschergruppe sind neben dem Institut für Parallele und Verteilte Höchstleistungsrechner (IPVR) noch zwei weitere Institute der Universität Stuttgart, das Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung (IND) und das Institut für Photogrammetrie (IfP), beteiligt.

Im Rahmen der Forschergruppe sollen Konzepte und Verfahren zur Unterstützung ortsbezogener verteilter Anwendungen entwickelt werden. Kern dieser Entwicklungen ist ein um virtuelle Objekte erweitertes Modell der realen Welt, das sogenannte Augmented World-Modell (AW-Modell). Es umfasst nicht nur ortsfeste Objekte wie Gebäude oder Straßen, sondern auch mobile Objekte, beispielsweise Personen oder Fahrzeuge. Neben realen Objekten können auch virtuelle Objekte, wie etwa virtuelle Litfasssäulen oder Post-Its, in der modellierten Welt platziert werden. Virtuelle Objekte dienen dabei der Annotation von realen Objekten oder Lokationen. Sie ermöglichen die Platzierung von Verweisen auf externe Informationsobjekte, wie etwa auf eine Seite im World Wide Web oder einen im Netz verfügbaren Dienst.

Die entwickelten Konzepte und Verfahren sollten in eine generische Plattform zur Unterstützung ortsbezogener Anwendungen münden. Aus dem beschriebenen Szenario lassen sich folgende Anforderungen an eine solche Plattform ableiten:

- **Positionierung und Lokationsmanagement:** Die Verwaltung von Lokationsinformation von mobilen Objekten ist im Kontext ortsbezogener Anwendungen von zentraler Bedeutung. Die von heterogenen Positionierungssystemen gelieferten Informationen müssen integriert und von einem Lokalisierungsdienst den Anwendungen bereitgestellt werden. Bei der Entwicklung geeigneter Verteilungsstrategien und Zugriffsverfahren müssen Aspekte der Effizienz, Skalierbarkeit, Fehlertoleranz und Sicherheit berücksichtigt werden.
- **Mobilkommunikation:** Zur Anbindung der NEXus-Station eines mobilen Nutzers an die NEXus-Infrastruktur ist ein universeller Kommunikationsdienst erforderlich. Heterogene Netztechnologien sollen transparent gemacht und geeignete Mechanismen für ein Dienstgüte-Management integriert werden. Ferner sollen sogenannte Hoarding-Verfahren für den entkoppelten Betrieb („Disconnected Operation“) einer NEXus-Station bereitgestellt werden. Solche Verfahren kommen in Gebieten mit schlechter bzw. ohne Netzanbindung zum Einsatz, beispielsweise im unterirdischen S-Bahnhof des Flughafens im obigen Szenario, wo mit Funkabschattungen zu rechnen ist.
- **Erstellung und Verwaltung eines erweiterten, räumlichen Wlodels.** Um mit Objekten der realen Welt interagieren zu können, beispielsweise durch Zeigen mit einem Telepointer, muss ein digitales Modell der realen Welt existieren. In diesem Modell müssen alle relevanten Objekte in mehrfachen Repräsentationen bzw. verschiedenen Detailstufen und deren Position enthalten sein. Zusätzlich soll das Modell um virtuelle Objekte angereichert werden können. Ein Beispiel für ein solches virtuelles Objekt ist die virtuelle Litfaßsäule, die im Szenario erwähnt wird.
- **Ortsbezogener Informationszugriff und räumliche Abfragen** Ein Nutzer kann mittels der an seinem aktuellen Aufenthaltsort „sichtbaren“ virtuellen Objekte direkt auf die an diesem Ort relevanten Informationen zugreifen. Beispielsweise ermöglicht im Szenario die virtuelle Litfaßsäule am Messestand den direkten Zugriff auf die Web-Seiten der Aussteller. Außerdem sind auf der Grundlage des AW-Modells räumliche Abfragen möglich.
- **Integration existierender Informationsangebote:** Eine wichtige Aufgabe der virtuellen Objekte ist die Anbindung von Informationen aus bestehenden Informationsräumen. Einzelne Informationen und Dienste, z.B. eine Seite im

WWW<sub>1</sub> können durch einen Verweis von einem virtuellen Objekt aus mit einem räumlichen Bezug versehen werden. Mit Hilfe der Verweise können räumliche Abfragen auch auf externe Informationen ausgedehnt werden.

- 3 **Routenplanung und Navigation:** Eine für viele ortsbezogene Anwendungen wichtige Grundfunktionalität ist eine Navigationsunterstützung. Erforderlich ist daher eine Unterstützung für das Finden von möglichst optimalen Routen sowie für die interaktive Führung der Benutzer, wobei die Routen an den aktuellen Zustand der Straßen dynamisch angepasst werden können.
- **Ortsbezogene Kommunikation:** In ortsbezogenen Anwendungen kommt es häufig vor, dass Nachrichten an alle Teilnehmer in einem bestimmten räumlichen Objekt oder einer geographischen Region gesendet werden sollen. Für diese Art der Kommunikation sind geeignete Adressierungskonzepte sowie geographische Broadcast- und Multicast-Protokolle erforderlich.
- **Bildanalyse:** Die Bildanalyse trägt u.a. zu einer verbesserten Orientierung des NEXus-Nutzers bei, daneben ermöglicht sie aber auch die Bewältigung anderer projektspezifischer Problemstellungen. Diese Funktion kann mit Methoden der Bildanalyse realisiert werden. Außerdem sind bildanalytische Verfahren bei der Erfassung von Gebäudeinnenräumen einzubeziehen.

Diese Anforderungen spiegeln sich in der Architektur der NEXus-Plattform wider (siehe Abbildung 3). Im folgenden wird die Funktionalität der einzelnen Komponenten beschrieben:

- **Modellierung:** Die Modellierungs-Komponente stellt eine umfassende und konsistente Beschreibung aller relevanten Eigenschaften der NEXus-Plattform bereit. Für eine solche Beschreibung müssen entsprechende Abstraktionen für die von den ortsbezogenen Anwendungen bereitgestellten Dienste und Informationsstrukturen entwickelt werden. Das Spektrum reicht von der Modellierung von Sensordaten und Positionierungsinformationen über die Beschreibung mehrfachrepräsentierter räumlicher Daten und virtueller Strukturen zur Beschreibung des AW-Modells bis hin zur Berücksichtigung von entkoppeltem Betrieb oder Benutzerbewegungen.
- **Kommunikation:** Diese Komponente stellt den Basiskommunikationsdienst der Plattform zur Verfügung. Eine Besonderheit dieses Dienstes ist der transparente Übergang zwischen verschiedenen Technologien zur Mobilkommunikation.

- **Sensor- und Positionierungssysteme:** Um die Position eines NEXus-Benutzers zu ermitteln, sind geeignete Sensor- und Positionierungssysteme notwendig. Hierbei kann auf vorhandene Technologien zurückgegriffen werden, die sich gegenseitig ergänzen und durch ihre Integration in ihrer Genauigkeit gesteigert werden können.
- **Informationsmanagement:** Die Hauptaufgabe dieser Komponente ist die Verwaltung des dynamischen AW-Modells. Ferner erlaubt sie es den Anwendungen, räumliche Anfragen zu stellen oder sich mittels eines Publish & Subscribe-Mechanismus für bestimmte Ereignisse zu registrieren. Schließlich regelt sie auch die Integration existierender Informationsquellen.
- **Benutzerschnittstelle:** Zu den Aufgaben der Benutzerschnittstelle der Plattform gehört sowohl die Visualisierung der Modelle als auch die Interaktion mit dem Benutzer. Dabei muss auf die unterschiedlichen Konfigurationen, z.B. PDA oder Laptop, Rücksicht genommen werden.

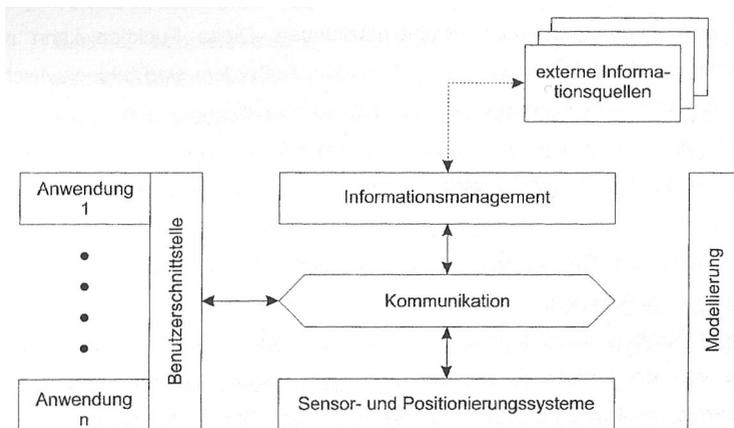


Abbildung 3: Komponenten der NEXus-Plattform.

Innerhalb der Forschergruppe und der daraufhin führenden Vorarbeiten sind bereits erste wichtige Ergebnisse und Prototypen entstanden.

Das im Herbst 1998 begonnene Vorprojekt „NEXus - Mobiler und ortsabhängiger Zugriff auf Informationsangebote im Internet“ hatte eine Laufzeit von zwei Jahren. Es wurde durch eine Anschubfinanzierung des Landes Baden-Württemberg gefördert und gemeinsam mit dem Institut für Photogrammetrie bearbeitet. Im Rahmen dieses

Projekts wurde die Projektidee [6, 21] weiter ausgebaut und durch Voruntersuchungen [8, 10] und frühe Prototypen von Teilfunktionen die Machbarkeit der NEXus-Plattform verifiziert. Weiterhin wurde mit Hilfe eines Laserscannerfluges ein detailliertes dreidimensionales Modell der Stuttgarter Innenstadt erstellt. Über einen Prototypen, der zunächst auf einem einzelnen Rechner eine erste Teilmenge der geplanten Schnittstelle des NEXus-Systems realisiert, kann auf dieses Modell zugegriffen und Informationen über bestimmte Gebäude oder die oben erwähnten virtuellen Litfaßsäulen abgefragt werden [17, 19]. Ebenfalls untersucht wurde der Einsatz eines differentiellen GPS-Geräts für die Positionsbestimmung von Fußgängern [20].

Ein weiteres Projekt des IPVRs in diesem Zusammenhang, das sich mit der Konzeption eines Systems für die Realisierung der oben beschriebenen virtuellen Litfaßsäule beschäftigt, wird von Hewlett-Packard unterstützt. Hierbei ist ein Prototyp entstanden, der es ermöglicht über ein mit einem differentiellen Empfänger für das Satellitennavigationssystem GPS (Positionierungsgenauigkeit bis zu zwei Metern) und für die Datenübertragung mittels Mobilfunk ausgerüsteten Notebook auf virtuelle Litfaßsäulen zuzugreifen [5, 11].

Zu den jüngeren im NEXus-Projekt erzielten Ergebnissen gehört ein Mechanismus zur Unterstützung des entkoppelten Betriebs [9], eine Simulationsumgebung für mobile Informationszugriffe sowie eine umfassende Untersuchung von Protokollen zur Aktualisierung von Lokationsinformationen [12].

## ***5. Zusammenfassung***

Es wurden eine neue Klasse von verteilten Systemen, ortsbezogenen Systeme vorgestellt. In solchen Systemen wird die Position der Benutzer mittels geeigneter Sensoren erfasst und bei der Bearbeitung berücksichtigt. Anwendungen ortsbezogener Systeme können grob eingeteilt werden in Routing-Anwendungen und solche, die das Konzept der "Situated Information Spaces" unterstützen. Während Routing-Anwendung heute schon häufig in Form von Navigationssystemen auftreten, handelt es sich bei "Situated Information Spaces" um ein neues vielversprechendes Konzept, mit dem ein ortsbezogener Zugriff auf bestehende Informationsräume möglich sein wird.

Im Rahmen des NEXus-Projekts soll eine Plattform für ortsbezogene Systeme entwickelt werden. Die Ziele von NEXus wurden dargelegt und die Forschungsaufgaben sowie die ersten Ergebnisse skizziert.

## *Literatur*

1. M. Campione, K. Walrath, and A. Huml. The Java Tutorial Continued: The Rest of the JDK. Addison-Wesley, December 1998.
2. G. Coulouris, J. Dollimore, and T. Kindberg. Distributed Systems - Concepts and Design, pp 34-36, Addison-Wesley, 2001.
3. Deep Map - Intelligent, Mobile, Multi-Media and Full of Knowledge. European Media Laboratory GmbH.  
URL: <http://www.eml.villa-bosch.de/english/research/deepmap/deepmap.html>
4. G.W. Fitzmaurice. Situated Information Spaces and Spatially Aware Palmtop Computers. *Communications of the ACM*, 36(7):39-49, July 1993.
5. A. Fritz. Positionsabhängiger Zugriff auf WWW-Inhalte. Diplomarbeit Nr. 1709, Fakultät für Informatik, Universität Stuttgart, 1999.
6. F. Hohl, U. Kubach, A. Leonhardi, K. Rothermel, and M. Schwehm. Next Century Challenges: NEXus - An Open Global Infrastructure for Spatial-Aware Applications. In *Proceedings of the Fifth Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom '99)*, pp. 249-255, 1999.
7. T. Imielinski and J.C. Navas. GPS-based Geographic Addressing, Routing, and ResourceDiscovery. *CommunicationsoftheACM*, 42(4):86-92, April 1999.
8. U. Kubach, A. Leonhardi, K. Rothermel, and M. Schwehm. Analysis of Distribution Schemes for the Management of Location Information. *Technischer Bericht 1999/01*, Universität Stuttgart, 1999.
9. U. Kubach and K. Rothermel. A Map-Based Hoarding Mechanism for Location-Dependent Information. In *Proceedings of the Second International Conference on Mobile Data Management (MDM 2001)*, Hong Kong, January 2001, to appear.
10. A. Leonhardi and U. Kubach. An Architecture for a Universal, Distributed Location Service. In *Proceedings of the European Wireless '99 Conference*, pp. 351-355, ITG Fachbericht, VDE Verlag, 1999.
11. A. Leonhardi, U. Kubach, and K. Rothermel. Virtual Information Towers - A Metaphor for Intuitive, Location-Aware Information Access in a Mobile Environment. In *Proceedings of the Third International Symposium on Wearable Computers (iSWC '99)*, IEEE Press, 1999.
12. A. Leonhardi and K. Rothermel. A Comparison of Protocols for Updating Location Information. *TechnischerBericht2000/05*, Universität Stuttgart, 2000.

13. R. Lewis. Advanced Messaging Applications with MSMQ and MQSeries. Que, December 1999.
14. MOBIS - Mobiles Besucherinformationssystem, Institut Graphische Datenverarbeitung, Fraunhofer Gesellschaft.  
URL: [http://www.rostock.igd.fhg.de/fhg\\_igd/abteilungen/a3/old/PROJECTS/Mobis/](http://www.rostock.igd.fhg.de/fhg_igd/abteilungen/a3/old/PROJECTS/Mobis/)
15. J. Pascoe. The Stick-e Note Architecture: Extending the Interface Beyond the User. In *Proceedings of the 1997 International Conference on Intelligent User Interfaces*, pp. 261-264, 1997.
16. A. Schill. Remote Procedure Call: Fortgeschrittene Konzepte und Systeme - ein Überblick. *Informatik-Spektrum* 15:79-87, Springer-Verlag, 1992.
17. J. Schützner. Entwicklung einer Server-Komponente für ein räumliches Modell in NEXus. Diplomarbeit Nr. 1768, Fakultät für Informatik, Universität Stuttgart, 1999.
18. J. Spohrer. WorldBoard: What Comes After the WWW?,  
URL: <http://worldboard.org/pub/spohrer/wbconcept/default.html>
19. S. Volz, D. Fritsch, D. Klinec, A. Leonhardi, and J. Schützner. NEXus - Spatial Model Servers for Location-Aware Applications on the Basis of ArcView. In *Proceedings of the 4<sup>th</sup> ESRI European User Conference*, CD-ROM, 1999.
20. S. Volz and D. Klinec. NEXus: The Development of a Platform for Location-Aware Applications. In *Proceedings of the Third Turkish-German Joint Geodetic Days*, Vol. II, pp. 599-608, 1999.
21. S. Volz, M. Sester, D. Fritsch, and D. Klinec. NEXus - eine Plattform für ortsabhängige, verteilte Geodatennutzung. In *Veröffentlichungen zur 19. wissenschaftlich-technischen Jahrestagung der Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung(DGPF)*, 1999.