

Innovative Technologie für mobile Fahrgastinformationssysteme

Dipl.-Wirtsch.-Inform. Sebastian Zöller

Dipl.-Ing. Apostolos Papageorgiou

Dr.-Ing. Johannes Schmitt

Dr.-Ing. Marek Meyer

Prof. Dr.-Ing. Ralf Steinmetz

Technische Universität Darmstadt, Fachgebiet Multimedia Kommunikation (KOM), Rundeturmstraße 10, D-64283 Darmstadt, Tel. +49-6151-16-6150, Fax. +49-6151-16-6152, E-Mail: sebastian.zoeller@KOM.tu-darmstadt.de

Kurzfassung

Fahrgastinformationssysteme sind zentrale Instrumente zur Kommunikation zwischen Anbietern und Reisenden im öffentlichen Personenverkehr. Sie tragen entscheidend zur Kundenzufriedenheit und -zufriedenheit bei. Der Fortschritt im Bereich mobiler Endgeräte und besonders im Zusammenhang mit so genannten Smartphones ermöglicht die Entwicklung neuer leistungsfähiger mobiler Fahrgastinformationssysteme. Neben dem Bereich der mobilen Endgeräte werden in diesem Beitrag auch noch Context-Aware Systems, Event-driven Systems und das Service-oriented Computing als neue, zentrale technologische Innovationstreiber für mobile Fahrgastinformationssysteme identifiziert. Diese werden überblicksartig vorgestellt und aktuelle Forschungsarbeiten anhand einschlägiger Forschungsprojekte präsentiert, um ihr Anwendungspotential für mobile Fahrgastinformationssysteme aufzuzeigen.

1 Einleitung

Fahrgastinformationssysteme (FIS) dienen dazu Reisenden des öffentlichen Personenverkehrs unterschiedliche Informationen zu ihrer Reise zur Verfügung zu stellen. Beispielsweise stellen FIS den Nutzern Informationen bezüglich Fahrpläne, Verbindungsinformationen zur Reiseplanung oder auch andere aktuelle Informationen hinsichtlich der Verkehrslage zur Verfügung. Die Verfügbarkeit umfassender, aktueller und korrekter Informationen zu einer Reise bzw. einer Verkehrsverbindung im öffentlichen Personenverkehr z.B. über FIS hat u.a. entscheidenden Einfluss auf die Wahrnehmung des öffentlichen Personenverkehrs und die Kundenzufriedenheit der Reisenden und wirkt sich so entsprechend auch auf die Nutzung des öffentlichen Personenverkehrs aus. Entsprechend gilt es dafür Sorge zu tragen, dass Reisende auf ihre Bedürfnisse hin angepasste Informationen in kompakter und in ihrem aktuellen Kontext leicht verständlicher Weise übermittelt bekommen. Heutzutage ist es allerdings eher die Regel, dass Informationen heterogen, wenig angepasst und personalisiert zur Verfügung gestellt werden. Zumeist muss ein Fahrgast selbst dafür Sorge tragen, wo er in welcher Art und Weise die für ihn relevanten Informationen erhalten kann, sodass er sich neben der eigentlichen Reise auch noch um die Informationsbeschaffung zu dieser kümmern muss.

Entscheidende Verbesserungen in diesem Zusammenhang werden durch bedeutende Fortschritte auf unterschiedlichen relevanten Technologiebereichen in den letzten Jahren ermöglicht. So führte bspw. der Fortschritt auf dem Gebiet mobiler Endgeräte zur Entwicklung leistungsfähigerer Mobiltelefone, so genannter *Smartphones*, deren Einbindung als Kommunikationsmedium mit dem Reisenden im öffentlichen Personenverkehr die Entwicklung hin zu leistungsfähigen *mobilen Fahrgastinformationssystemen* (mobile FIS) ermöglicht. Neben dieser Entwicklung gibt es noch weitere Technologiebereiche, deren Entwicklungsfortschritte entscheidend zur Verbesserung mobiler FIS beitragen können. Die Identifikation dieser Technologiebereiche und ihr Anwendungspotential stehen im Fokus dieses Beitrags. Hierzu werden im Folgenden neue Technologien, die als Innovationstreiber für mobile FIS dienen können zunächst einmal identifiziert. Daran anschließend werden die verschiedenen Technologiebereiche jeweils überblicksartig dargestellt und dann anhand einzelner ausgewählter Projekte die aktuelle Forschung auf ihrem Gebiet herausgearbeitet und abschließend das Anwendungspotential dieser Technologien für mobile FIS abgeleitet. Ein zusammenfassendes Resümee beschließt dann den Beitrag.

2 Neue Technologien als Innovationstreiber für mobile Fahrgastinformationssysteme

Mit dem schnellen Fortschritt auf dem Gebiet mobiler Endgeräte sowie deren zunehmender Verbreitung ergeben sich für FIS ganz neue Möglichkeiten: Waren Fahrgastinformationen früher nur in Form von Fahrplänen, Streckenkarten oder Informationspersonal an Bahnhöfen erhältlich, so hat die Verbreitung neuer Kommunikationsmittel diesen Bereich grundlegend geändert. Beispielsweise werden immer häufiger Ankunftszeiten und Fahrplanänderungen über digitale Anzeigen an Haltestellen oder auch in Fahrzeugen angezeigt, Reisepläne können am PC oder am Fahrkartenautomaten auf Anfrage erstellt und Verspätungen und Fahrplanänderungen über verschiedene Webseiten abgefragt werden. Mit dem Einzug internetfähiger Mobiltelefone und der Entwicklung der Smartphones in Verbindung mit neuen attraktiven Datentarifen ist dies mittlerweile auch auf Mobilfunkgeräten möglich, sodass sich immer mehr Entwicklungen in Richtung mobiler FIS ergeben. Die Smartphone-Technologie und die Entwicklungen auf diesem Gebiet stellen so eine Basis und einen grundlegenden technologischen Innovationstreiber für die Entwicklung innovativer, leistungsfähiger mobiler FIS dar.

Neben der Smartphone-Technologie können auch noch weitere Entwicklungen im Bereich mobiler Endgeräte, insbesondere so genannte *drahtlose Sensoren* zur Verbesserung und Entwicklung innovativer Lösungen für mobile FIS beitragen. Diese drahtlosen Sensoren bieten die Möglichkeit Informationen bezüglich der Umwelt der Reisenden aber auch der Verkehrsmittel zu erfassen und mittels drahtloser Kommunikation, bspw. in Form eines drahtlosen Sensornetzwerkes, zur Verfügung zu stellen. Darüber hinaus stellt der Technologiebereich der *Context-Aware Systems* und die Fortschritte auf diesem Gebiet einen weiteren zentralen Innovationstreiber für die Entwicklung neuer, leistungsfähigerer mobiler FIS dar. Die Weiterentwicklungen auf diesem Gebiet bieten ein großes Innovationspotential u.a. hinsichtlich der Möglichkeiten einer automatisierten Erkennung der aktuellen Situation eines Fahrgastes und so neue Möglichkeiten um z.B. Informationen reisendenspezifisch zur Verfügung zu stellen oder Handlungen reisendenspezifisch automatisch durchzuführen.

Einen dritten zentralen Innovationstreiber stellen die aktuellen Entwicklungen und Fortschritte auf dem Gebiet der *Softwarearchitektur* dar. Hier können *Event-driven Systems* und *Service-oriented Computing* u.a. dazu beitragen den Entwurf und Betrieb neuer mobiler FIS in einer robusten, handhabbaren und performanten Art und Weise zu realisieren und auch dazu beitragen, die entsprechenden Systeme insgesamt effizient und möglichst auf die Bedürfnisse eines einzelnen Reisenden hin anpassbar auszugestalten. Gemeinsam erweitern die Fortschritte auf den Gebieten dieser Technologien das Potential zur Verbesserung und Entwicklung neuartiger mobiler FIS durch die Vergrößerung des nutzbaren Innovationsvolumens entscheidend und bieten so die Möglichkeit für neue Ansätze auf dem Gebiet mobiler FIS. Das entsprechende Entwicklungspotential für mobile FIS wird in Abbildung 1 durch das Volumen des Innovationsquaders dargestellt. Eine Vergrößerung des Quaders und damit des Entwicklungspotentials wird erreicht, in dem die Nutzung der Fortschritte in den identifizierten innovationstreibenden Technologiebereichen ermöglicht wird.

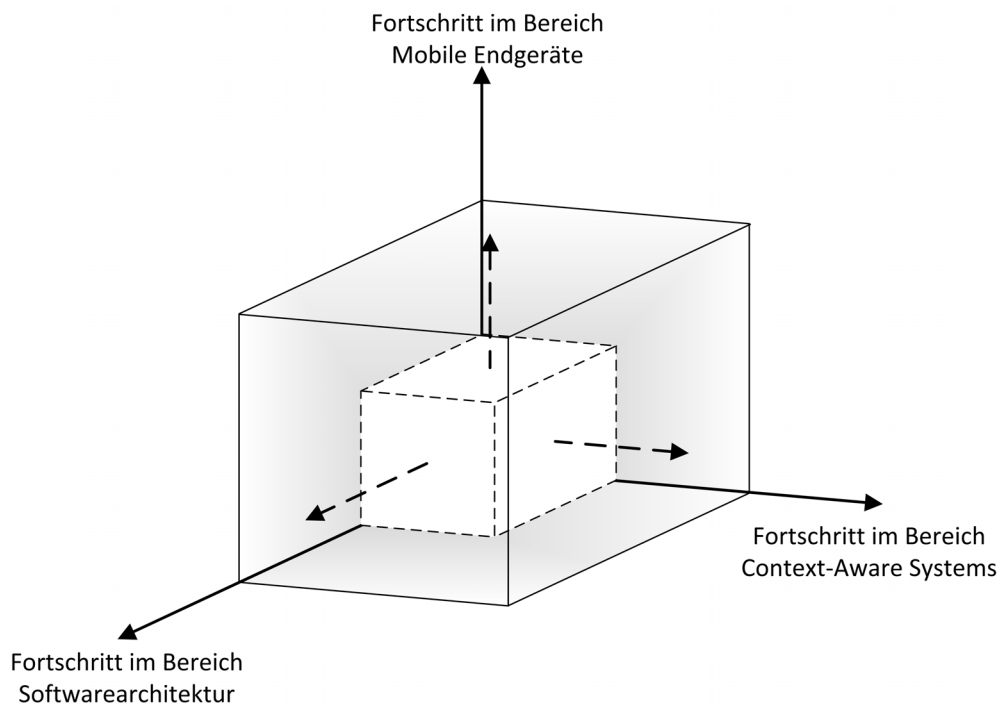


Abbildung 1: Erweiterung des Innovationsvolumens für die Entwicklung mobiler FIS durch Fortschritt in den zentralen Technologiebereichen mobile Endgeräte, Context-Aware Systems und Softwarearchitektur

Hierbei tragen insbesondere einschlägige Forschungsprojekte in den verschiedenen Technologiebereichen mit ihren Ergebnissen bei. *ContextFramework.KOM*, *ADiWa* und *Green Mobility* sind drei Beispiele aktueller Forschungsprojekte auf den genannten Technologiegebieten an denen die Autoren dieses Beitrags beteiligt sind. Die jeweiligen Schwerpunkte dieser Forschungsprojekte sowie ihr Beitrag zur Vergrößerung des Innovationsvolumens für Verbesserungen und neue Entwicklungen im Bereich mobiler FIS mit Bezug zu den genannten innovationstreibenden Technologien kann Abbildung 2 entnommen werden.

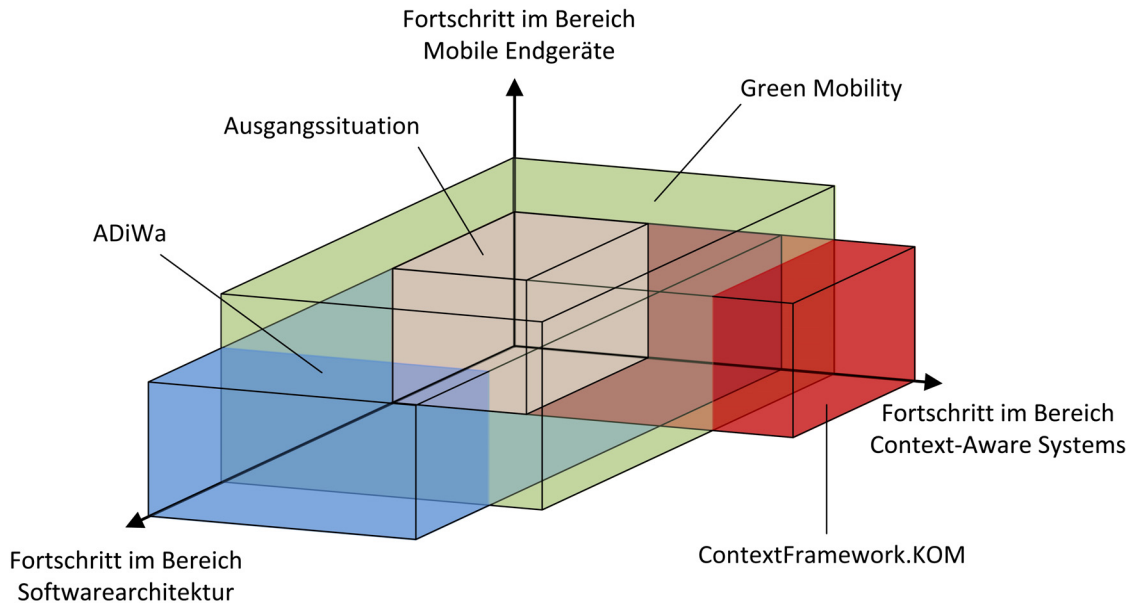


Abbildung 2: Einordnung der Forschungsschwerpunkte der Projekte ContextFramework.KOM, ADiWa und Green Mobility und deren Beitrag zur Erweiterung des Innovationsvolumens für die Entwicklung mobiler FIS

Im Folgenden wird durch eine Überblicksdarstellung der Technologien zunächst ein grundlegendes Verständnis für diese geschaffen und anhand der Darstellung der genannten Projekte und ausgewählter Ergebnisse die aktuellen Forschungstrends aufgezeigt, die dann anschließend in den Kontext mobiler FIS übertragen werden, um so grundlegende Ideen für das Anwendungspotential dieser Technologien im Zusammenhang mit mobilen FIS zu entwickeln.

3 Smartphone-Technologie

3.1 Übersicht

Smartphones zeichnen sich gegenüber einfachen Mobiltelefonen durch ein komplexeres Betriebssystem mit zumeist offener Programmierschnittstelle und einem somit auch durch Drittanbieter erweiterbaren Funktionsumfang aus. Um diesen komfortabel nutzen zu können, ist das Display typischerweise im Vergleich zu normalen Mobiltelefonen sehr groß und hat eine hohe Auflösung. Smartphones verbinden Datenübertragungstechnologien von so genannten *Personal Digital Assistants* (PDAs) und Mobiltelefonen¹ und verfügen oft über Sensoren zur Lage-, Bewegungs- und Positionserkennung. Moderne Smartphones unterstützen den Mobilfunkstandard UMTS, der als Nachfolgestandard von GSM entwickelt wurde. Hierbei bieten GSM-Mobilfunknetze theoretische Datenübertragungsraten von 140Kbps mittels des General Packet Radio Service (GPRS) und bis zu 384Kbps mittels EDGE-Technologie (Enhanced Data Rates for GSM Evolution). UMTS hingegen ermöglicht mittels HSDPA-Technologie (High Speed Downlink Packet Access) Übertragungsraten bis zu 14,4Mbps [1].

Hinsichtlich der Verkaufszahlen unterlagen Smartphones in den letzten Jahren einem starken Wachstum. Die Gründe hierfür liegen im durch die gleichzeitige Etablierung vieler verschiedener Betriebssystemhersteller entstandenen Konkurrenzdruck und der daraus resultie-

¹ Zum Beispiel Bluetooth und Infrarot aus dem Mobiltelefon-Bereich und WLAN und USB aus dem PDA-Bereich.

renden Preispolitik einerseits und den immer günstiger werdenden Datentarifen der Mobilfunkanbieter andererseits. So besteht derzeit bereits die Möglichkeit für einen geringen Pauschalbetrag durchweg mit dem Internet verbunden zu sein. Tabelle 1 führt die weltweiten Verkaufszahlen nach Betriebssystem auf.

Betriebssystem	3. Quartal 2010	2. Quartal 2010	1. Quartal 2010	2009	2008
Symbian	29,4801	25,3868	24,0698	80,8786	72,9335
Research In Motion (Blackberry)	11,9083	11,2288	10,5526	34,3466	23,149
iPhone OS	13,4844	8,743	8,3597	24,8898	11,4175
Android	20,5	10,6061	5,2147	6,7984	0,6405
Microsoft Windows Mobile	2,2479	3,0964	3,706	15,0276	16,4981
Linux	1,6971	1,5031	1,9939	8,1265	10,6224
Andere Betriebssysteme	1,2148	1,0848	0,4048	2,356	4,0269
Gesamt	80,5326	61,6491	54,3014	172,3731	139,2879

Tabelle 1: Smartphone-Absatz weltweit in Millionen Einheiten nach Betriebssystem (Quelle: Gartner, Dezember 2010)

Aus den hohen Datenübertragungsraten, der im Vergleich zu gewöhnlichen Mobiltelefonen hohen Rechenleistung und hohen Speicherkapazitäten sowie der erweiterbaren Funktionalität von Smartphones ergibt sich ein großes Potential für neue Anwendungen verschiedenster Art und entsprechend auch ein hohes Anwendungspotential im Bereich der Übermittlung von Fahrgastinformationen. Dies wurde auch bereits von einigen Betreibern von Verkehrsnetzen erkannt, sodass mit deren Bemühungen in diesem Bereich in Verbindung mit den stetig wachsenden Verkaufszahlen das Smartphone zu einem attraktiven Informationsmedium für mobile FIS wird. Im Folgenden wird beispielhaft untersucht, welche Möglichkeiten in diesem Zusammenhang zurzeit entwickelt bzw. genutzt werden.

3.2 Smartphone-Anwendung im Bereich mobiler Fahrgastinformationssysteme

Die meisten ÖPNV-Unternehmen in Deutschland nutzen seit einigen Jahren das Internet zur Kommunikation mit dem Kunden, insbesondere zur Fahrgastinformation. Mit der Einführung des Projekts *DELFI* (Durchgängige Elektronische Fahrplaninformation)², das 1994 vom Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen initiiert und 2002 fertig gestellt wurde, besteht für den Fahrgast die Möglichkeit, auf der Website eines einzelnen Verkehrsunternehmens eine durchgängige Reiseauskunft über die Grenzen von regionalen Verkehrsbetrieben hinweg, einzuholen. Die Verkehrsbetriebe kommunizieren hierfür ihre Verbindungsdaten untereinander über eine CORBA-Schnittstelle. Dem Fahrgast bleibt es somit erspart, sich die Fahrtinformationen der verschiedenen Nah- und Fernverkehrsunternehmen auf seiner Route selbst zusammentragen zu müssen. Für die Zukunft von DELFI ist zum einen eine erweiterte intermodale Fahrplanauskunft, welche die Integration von Taxi- oder Mietwageninformationen, Flugdaten und Park-and-Ride-Informationen vorsieht, und zum anderen eine flächendeckende Erfassung von Echtzeitinformationen geplant. Weiterhin bietet die Deutsche Bahn (DB) Fahrgästen dynamische Fahrplaninformationen zusätzlich über das so ge-

² <http://www.delfi.de/>

nannte *RIS-Portal*³ (Reiseinformationssystem) an. Hierbei werden u.a. Störungen im Betriebsablauf von Mitarbeitern am DB-Servicepoint in das System eingepflegt und stehen so im Internet, integriert in die Routenplanung, zur Verfügung.

Diese Dienste könnten mit jedem browserfähigen Mobiltelefon genutzt werden. Empirische Studien haben allerdings ergeben, dass Fahrgäste für etwa 82% der mit öffentlichen Verkehrsmitteln zurückgelegten Wege keine Fahrplaninformationen vor dem Fahrtantritt einholen, der einfache Zugang zu zuverlässigen Informationen und insbesondere Echtzeitinformationen aber durchaus zu einer besseren Beurteilung des ÖPNV insgesamt und zu einer Erhöhung der Kundenzufriedenheit führt. Daraus lässt sich ableiten, dass elektronische Fahrplanauskünfte schnell, zuverlässig und vor allem ohne unnötige Komplexität auch unterwegs einzuholen sein müssen, um breite Akzeptanz zu erfahren [2].

Aus diesem Grund bieten einige Verkehrsunternehmen zur komfortableren Bedienung unterwegs eigene Anwendungen für Smartphones an, darunter der Rhein-Main-Verkehrsverbund⁴, die Münchner Verkehrs- und Tarifverbund GmbH mit dem *MVV-Companion*⁵ und der Verkehrs- und Tarifverbund Stuttgart GmbH mit *VVS Mobil*⁶. Diese Anwendungen unterscheiden sich teilweise im Funktionsumfang. Während bspw. bei der Anwendung des RMV die Integration eines elektronischen Fahrtickets im Smartphone im Vordergrund steht, bietet der MVV-Companion diese Funktion nicht an, stellt aber im Gegensatz zu den meisten anderen Verkehrsverbänden dynamische Fahrplaninformationen im eigenen Verbundgebiet aufbereitet für Smartphones zur Verfügung. Im Folgenden wird exemplarisch der *DB Navigator* der DB als eine Smartphone-Anwendung im Kontext mobiler FIS beschrieben, der mit über 1.000.000 Downloads im iTunes Store und 250.000 Downloads im Android Market europaweit die meistgenutzte Fahrgastinformationssoftware für Smartphones darstellt.

Der DB Navigator (vormals abhängig vom Betriebssystem auch *Railnavigator* genannt) bündelt folgende Funktionen in einer Smartphone-Anwendung: Routenplanung, Navigation, Anzeige von Haltestellenfahrplänen und Ticketbuchung. Dem Benutzer werden die Eingaben der Start- und Zielorte durch automatische serverseitige Vervollständigung und lokale Verwaltung bereits besuchter Bahnhöfe und Adressen erleichtert. Die Ergebnisse einer Reiseverbindungsanfrage werden kompakt und um dynamische Informationen ergänzt in einer Liste, sortiert nach Abfahrtszeitpunkt, dargestellt. Die Auswahl eines einzelnen Ergebnisses führt den Benutzer in die Detailansicht, in der die vollständigen Reiseinformationen zusammengestellt sind (vgl. Abbildung 3).

Das System stellt eine intermodale Verbindung nach vom Benutzer einstellbaren Vorgaben zusammen und bietet für die einzelnen Streckenabschnitte, abhängig vom Verkehrsmittel, weitere Funktionen an. Für den eigenen Fernverkehr werden Echtzeitinformationen angezeigt und Strecken, die zu Fuß zurückgelegt werden, können auf einer Karte dargestellt werden. Für alle Haltestellen sind die Abfahrtsfahrpläne abrufbar und für größere Bahnhöfe sind Lagepläne verfügbar. Unter Benutzung der GPS-Funktionalität kann man sich jederzeit vom aktuellen Standort aus zu einer beliebigen Station führen lassen. Hiermit wird bereits eine

³ <http://www.bahn.de/ris>

⁴ <http://mobil.rmv.de/>

⁵ <http://www.mvv-muenchen.de/efa-companion>

⁶ <http://www.vvs.de/fahrplan/mobilefahrplanauskunft/vvs-app/>

speziell durch das Smartphone gegebene Möglichkeit zur individuellen Fahrgastbetreuung genutzt, die über traditionelle FIS hinausgeht.



Abbildung 3: Detailansicht einer Reiseverbindung im DB Navigator

Mobiltelefone i.Allg. eignen sich darüber hinaus auch zum Erwerb und zur Verwaltung von elektronischen Fahrkarten, sofern eine genügend hohe Displayauflösung und eine Internetverbindung gegeben sind. Der Fahrkartenerwerb fällt zwar nicht in den Bereich der Fahrgastinformation im eigentlichen Sinne, findet hier aber Erwähnung, da er neben der Fahrplaninformation die zweite Schnittstelle zwischen Fahrgast und Verkehrsunternehmen darstellt, die typischerweise erst kurz vor Fahrtantritt genutzt wird und er sich im Hinblick auf Smartphone-Applikationen gut in die Fahrgastinformation integrieren lässt und weiterhin Smartphones mit ihren großen hochauflösenden Displays und Internetverbindungen für diese Anwendung besonders gut geeignet sind. So kann z.B. im DB Navigator für eine gefundene Reiseverbindung schnell und komfortabel eine Fahrkarte erworben und bei Bedarf eine Sitzplatzreservierung gebucht werden, sodass der Kunde am Bahnhof weder ein Reisezentrum noch einen Fahrkartenautomaten aufsuchen muss.

Eine umfassende automatische, reisendenspezifisch individualisierte Informationszustellung z.B. in Verbindung mit Event-driven Systems wird noch von keinem Verkehrsunternehmen zur Kundenkommunikation und -information eingesetzt und auch die Tatsache, dass mittels des Smartphones ein authentifizierbarer, individueller Kommunikationskanal zum einzelnen Kunden gegeben ist, wird bisher nur für den elektronischen Fahrkartenerwerb genutzt. Wie hier dargestellt bieten Smartphones eine attraktive Plattform für den Bereich mobiler FIS, die zum Teil auch schon genutzt wird, deren Potential aber noch lange nicht ausgeschöpft ist.

4 Context-Aware Systems

4.1 Überblick

Der Begriff *Kontext* kann als eine abstrakte Beschreibung des Zustandes, in dem sich ein Objekt befindet, umschrieben werden. Der Kontext eines Objektes (z.B. eines Verkehrsmittels, einer Haltestelle oder eines Reisenden) ist variabel und kann abhängig sein von der Zeit, dem Ort, dem Objekt selbst oder bspw. den Kontexten anderer Objekte. Ein kontextbasiertes (*Context-Aware*) System arbeitet im Vergleich zu herkömmlichen Systemen mit dem

Unterschied, dass Kontextdaten als Parameter in Prozesse integriert werden. Diese Kontextdaten können einzelne Parameter sein, welche direkt von Informationsquellen erfasst werden oder auch höherwertige Aussagen (u.a. die so genannten *Kontextklassen*), welche durch eine Synthese der gesammelten Informationen gewonnen werden. Während statische kontextbasierte Systeme entweder feste Regeln oder eine manuelle und dabei möglicherweise komplexe Konfiguration ihrer Verhaltensweise benötigen, besitzen adaptive kontextbasierte Systeme die Fähigkeit ihre Verhaltensweise dem Wunsch bzw. dem Verhalten eines Nutzers automatisch anzupassen.

Kontextinformationen sind diejenigen Informationen, die genutzt werden, um die Kontextklasse zu bestimmen. Bei der Kontextbestimmung wird der aktuelle Kontext eines Objektes ausgewertet bzw. klassifiziert. Dazu werden Kontextinformationen herangezogen, welche für die Kontextbestimmung relevant sind. Bei der Kontextbestimmung wird ein Modell wie z.B. eine Entscheidungsfunktion genutzt, um aus einer Menge von Kontextinformationen die Kontextklasse zu bestimmen. Der Kontext eines Objektes ist in der Regel sehr vielfältig. Je nach Anwendungsfall wird daher zumeist nur ein bestimmter Aspekt des Kontextes betrachtet. Der Begriff *Kontextdimension* beschreibt einen solchen Teil-Aspekt des Kontextes. Anders ausgedrückt bezeichnet die Kontextdimension, welche Eigenschaft des Objektes betrachtet werden soll. In einer Kontextdimension werden Kontextklassen, die Aussagen bezüglich einer bestimmten Eigenschaft beinhalten können gruppiert. Eine Kontextdimension kann bspw. die Position, der Zustand oder das Umfeld eines Objektes sein. Die Relevanz der Kontextinformationen für die Entscheidung lässt sich u.a. durch die Kontextdimension und das betrachtete Kontextobjekt eingrenzen. Somit wären bspw. viele der Informationen auf dem Mobiltelefon einer Person für die Kontextbestimmung über diese Person relevant. In vielen Fällen beschränkt sich die Kontextbestimmung ausschließlich auf diese Informationen. Es können jedoch weitere Kontextinformationen relevant sein, welche sich nicht direkt auf das Objekt oder die Dimension beziehen lassen. So können bspw. Sensoren entscheidende Informationen liefern, welche sich zu dem Zeitpunkt am selben Ort, wie das betrachtete Objekt befinden. So sind z.B. Informationen über das gerade genutzte Fahrzeug oder die Position von im aktuellen Bahnhof befindlichem Personal für den Reisenden und dessen Verbindungsplanung relevant. Über eine Sensorbeschreibung (vergleichbar zu einer Beschreibung eines Webservices) kann bestimmt werden, ob ein Sensor relevant für eine Anfrage ist, und falls zutreffend, wie seine Informationen abgerufen werden können.

4.2 ContextFramework.KOM

Das Ziel der Forschungsarbeiten im Rahmen von *ContextFramework.KOM* [3] ist es, den Kontext direkt in automatisierte Abläufe einfließen zu lassen. Die bisherigen Arbeiten im Rahmen von ContextFramework.KOM haben insbesondere Szenarien wie Computer-vermittelte Kommunikation, effiziente Wissensarbeit und Home-Automation betrachtet. Zu der Menge an Informationen, welche hierzu herangezogen werden, gehören Merkmale, die sich auf Objekte wie z.B. Räume, Automobile oder Personen beziehen. Solche Merkmale lassen sich direkt von Systemen ermitteln, welche sich immer mehr im Alltag wiederfinden, hierzu zählen u.a. Smartphones, Bordcomputer, digitale Stromzähler, Navigationsgeräte, digitale Heizungs- und Lüftungssteuerungen, Home-Automation-Systeme oder auch Web-Dienste (Kalender, E-Mails, Soziale Netzwerke, ...). Im Bereich der Computer-vermittelnden Kommunikation können solche Merkmale ausgewertet und genutzt werden, um Aussagen über Zustände, wie z.B. die verfügbaren Endgeräte, den Standort, die Tätigkeit oder die Unterbrechbarkeit einer

Person zu bestimmen. Anhand dieser Aussagen können dann eingehende Anfragen in Form von Anrufen oder Nachrichten entsprechend der Situation (und den Vorlieben der Person in einer solchen Situation) verarbeitet werden. Ebenso können ähnliche Merkmale genutzt werden, um digitale Türschilder an Büros anzusteuern und die Verfügbarkeit einer Person (oder mehrerer Personen) im Raum anzuzeigen, um so bereits im Vorfeld Störungen zu vermeiden. In einem etwas anderen Anwendungsbereich können weitere Merkmale über die Situation von Räumen und der Personen in einem Gebäude dazu genutzt werden, eine optimierte Nutzung von Heizungs- und Lüftungssystemen sowie eine automatisierte Steuerung der Beleuchtung und anderer Geräte zu erzielen, um so einerseits einen höheren Komfort und andererseits Einsparungen von Energie und Kosten zu erreichen.

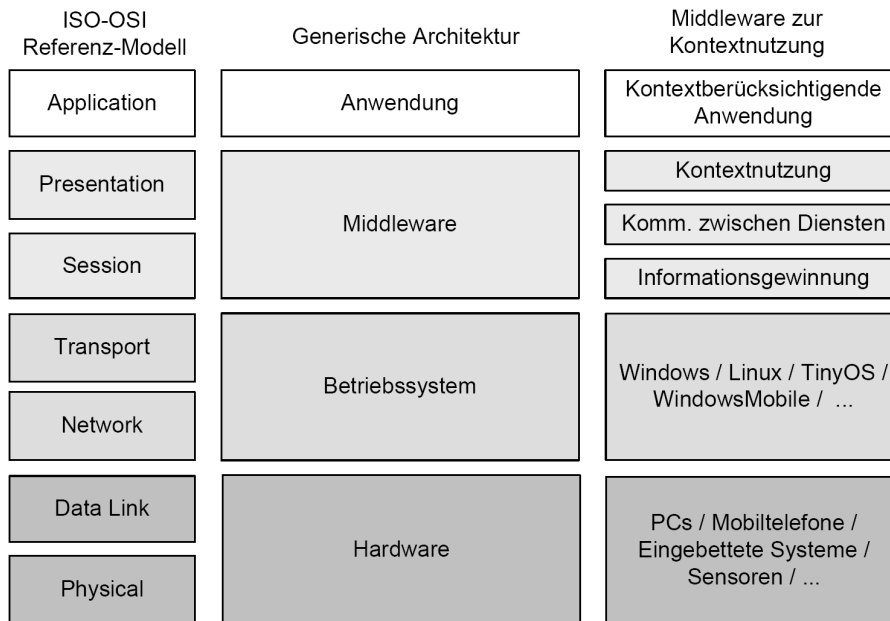


Abbildung 4: Komponenten von ContextFramework.KOM und ihre Einordnung in das ISO-OSI Referenz-Modell [3]

Im Rahmen der bisherigen Arbeiten wurde ein System entwickelt (vgl. z.B. [4]), das u.a. eine Middleware beinhaltet (deren Komponenten in Abbildung 4 auf der rechten Seite zu sehen sind), die es ermöglicht solche Systeme anzubinden, welche die gewünschten Merkmale zur Verfügung stellen und diese Informationen über verschiedene Dienste entsprechend zu verarbeiten. Betrachtet man alle potentiellen Quellen für Kontextinformationen, entsteht eine unbeschränkte Menge von heterogenen Systemen und Schnittstellen. Das entwickelte System greift auf Technologien wie Service-oriented Computing, semantische Dienst-Beschreibungen, Dienst-Lokalisation, Semantische Suche von Diensten und Lernverfahren zurück, um letztendlich offen gegenüber neuen Informationsquellen, unterschiedlichen Netzwerk-Typen und verschiedenen Anwendungsfeldern zur Nutzung der Informationen zu sein.

In dem entwickelten System werden bereits Mobiltelefone, Sensornetzwerke, Home-Automation-Systeme, Web-Dienste (Kalender, Soziale Netzwerke), PCs, Stromzähler, Bewegungsmelder und Kommunikationssysteme (Telefon, E-Mail, Twitter) als Informationsquellen eingebunden und können zur Verarbeitung von Anrufen oder zur Steuerung von Türschildern, PC-Applikationen oder Home-Automation-Systemen genutzt werden.

4.3 Anwendungspotential für mobile Fahrgastinformationssysteme

Gerade die Kombination des Kontextes aus verschiedenen Objekten erlaubt eine auf einen Fahrgast und seine Situation angepasste Verarbeitung von Anfragen und Anzeige von Informationen, welche direkt auf die Bedürfnisse des Reisenden zugeschnitten sind. Hierbei sind u.a. Informationen über den Fahrgast selbst (Lokation, Ziel, Profil, Behinderung usw.) als auch Informationen über die Mitreisenden (Gruppengröße, Kinder, Haustiere, Fahrrad usw.) sowie ortsbezogene Informationen (nächstgelegene Haltestelle, Haltestellenfahrplan, Fahrkartenautomat, Servicecenter usw.) und über das aktuell genutzte Verkehrsmittel (Art, Verspätung, Auslastung usw.) relevant. Diese Menge an heterogenen Informationen und Informationsquellen muss geeignet verarbeitet werden, um sie gemeinsam zur Anwendung heranzuziehen. Gerade in einem solch großen Szenario wird deutlich, dass die Menge der Quellen für Kontextinformationen nicht abgeschlossen oder entsprechende Technologien im Vorhinein festgelegt bzw. eingeschränkt werden können. Um hier offen gegenüber neu hinzukommenden Kontextinformationen und Quellen für Kontextinformationen zu sein, muss auch hier auf Technologien im Bereich der Sensorbeschreibung, Sensorfindung und -nutzung zurückgegriffen werden, wie sie im Rahmen von ContextFramework.KOM entwickelt wurden und eingesetzt werden. Ebenso kann eine Auswertung in bestimmten Bereichen zwar durch Regeln festgelegt werden, legt man allerdings eine dynamische Menge an Informationsquellen und individuelle Benutzerverhalten und -wünsche zugrunde, so wird deutlich, dass dies nur bedingt durch statische Regeln oder Technologien wie fest vorgegebene Ontologien möglich ist. In diesem Zusammenhang wird eine Kombination von Wissen in Form von logischen Schlussfolgerungen, wie sie z.B. in Ontologien zu finden sind, mit adaptiven Verfahren (wie z.B. in Lern- oder Inferenzverfahren) erfolgen [5].

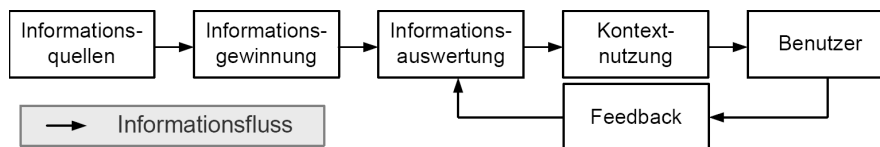


Abbildung 5: Informationsfluss in ContextFramework.KOM [3]

Ein solcher Ansatz wird ebenso mit ContextFramework.KOM realisiert. Dies geschieht indem der Benutzer auch im laufenden Betrieb Feedback zu seinem aktuellen Kontext geben kann, bspw. über eine Smartphone-Applikation, welches dann genutzt wird, um das Modell zur Auswertung der Kontextinformationen zu optimieren und ihm derart z.B. zukünftig auf ihn selbst und seinen aktuellen Kontext zugeschnittene Informationen zur Verfügung zu stellen. Wie in Abbildung 5 zu sehen, wird das Feedback dazu genutzt das Modell, welches zur Informationsauswertung herangezogen wird anzupassen [6].

5 Event-driven Systems

5.1 Überblick

Die zentrale Idee, die *Event-driven Systems* zugrunde liegt besteht darin, dass Systemabläufe und Kommunikation auf Basis von *Events* (Ereignissen) gesteuert und vollzogen werden, um so eine hohe Reaktionsschnelligkeit und die Echtzeitfähigkeit von Systemen zu gewährleisten. Im Zentrum von Event-driven Systems stehen demzufolge Komponenten, die als

Ereignisquellen Events erzeugen (*Event producers*) und entsprechende Komponenten, die als Ereignissenken diese Events konsumieren (*Event consumers*), sodass die Kommunikation zwischen den Komponenten auf Basis dieser Events stattfinden kann (vgl. Abbildung 6).

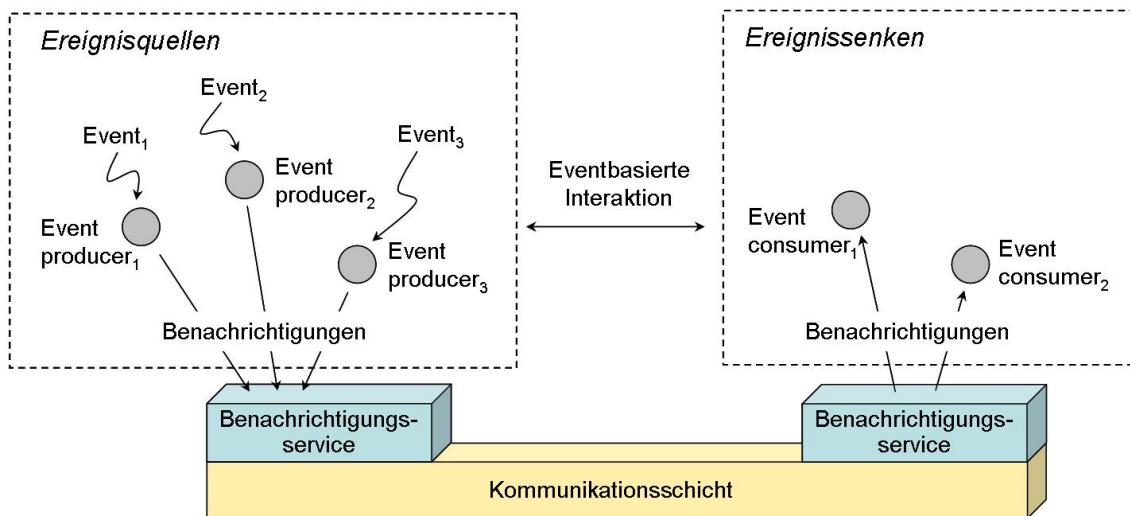


Abbildung 6: Interaktion in Event-driven Systems (in Anlehnung an [7])

Events bilden demzufolge das Basiskonzept für Event-driven Systems. Prinzipiell existieren hierbei unterschiedliche Definitionen des Event-Begriffes, wobei die Event-Definition von Chandy i.d.R. als eine der grundlegenden Event-Definitionen verwendet wird. Chandy definiert ein Event als signifikante Statusveränderung im Universum (vgl. z.B. [8]). In eine ähnliche, zum Teil noch allgemeinere Richtung geht die Event Processing Technical Society, die unter einem Event alles versteht, was passiert oder von dem erwartet wird, dass es passiert [9]. Vor dem Hintergrund solcher Eventdefinitionen können Events entsprechend als Vorkommnisse auf unterschiedlichen Ebenen interpretiert werden. So lassen sich bspw. technische Ereignisse mit niedrigem Abstraktionsgrad (wie z.B. Temperaturveränderungen, der CO₂-Gehalt in der Luft etc.) von Systemereignissen aus der IT-Infrastruktur, ebenfalls mit niedrigem Abstraktionsgrad (z.B. Maus- oder Tastatureingaben) und Geschäftsereignissen auf höherem Abstraktionsgrad (z.B. ein Verkehrsstau, der Ausfall einer Buslinie etc.) unterscheiden. Weiterhin gilt es das entsprechende Event-Verständnis immer vor dem Hintergrund der betrachteten Anwendungsdomäne zu verfeinern bzw. zu konkretisieren und entsprechend die Events in der Fachterminologie der Anwendungsdomäne zu spezifizieren [10].

Die Kommunikation in Event-driven Systems, also die konkrete Übermittlung der Events, folgt i.Allg. dem Paradigma des so genannten *Publish/Subscribe* (kurz *Pub/Sub*). Im Gegensatz zu klassischen so genannten *Pull-Anwendungen* bei denen ein Interessent selbsttätig Informationen anfragen bzw. abrufen muss, wird im Rahmen des Publish/Subscribe in Zusammenhang mit Event-driven Systems eine *Push-basierte Kommunikation* realisiert. Hierbei abonnieren (*subscribe*) Interessenten bspw. bestimmte Themen (*topics*) und erhalten automatisiert neue Informationen zu diesen Themen zugesendet (*push*) sobald diese veröffentlicht (*publish*) wurden ohne selbsttätig die entsprechenden Informationen anfragen zu müssen. Hierzu werden in Pub/Sub-Architekturen u.a. so genannte (Message) *Broker* eingesetzt. Diese dienen der Entkopplung von Nachrichtenversendern, also z.B. Eventproduzenten, und Nachrichteneempfängern, also z.B. Eventkonsumenten, da Eventproduzenten ihre Events nur an den Broker senden und dieser dann dafür verantwortlich zeichnet die Events

entsprechenden Eventkonsumenten, die das zum Event gehörende Topic abonniert haben zu übermitteln. Derart können Eventproduzenten und Eventkonsumenten in einem solchen System einfach ohne Auswirkungen auf das Gesamtsystem hinzugefügt oder entfernt werden, da keine direkten Verbindungen zwischen Produzenten und Konsumenten bestehen, sondern die Kommunikation immer über einen Broker stattfindet (vgl. z.B. [11]).

Die konkreten Einsatzgebiete und Anwendungsmöglichkeiten von Event-driven Systems sind vielfältig und reichen u.a. von Kontroll- und Überwachungssystemen und Sensornetzwerken bis hin zum Einsatz im Bereich der Analytik und der Enterprise Application Integration [11]. So können Event-driven Systems z.B. zur Überwachung des Luft- und Straßenverkehrs [10], zur Überwachung von Rechnernetzen [12], [13] oder auch zur Überwachung von Service Level Agreements [14], aber auch zur Analyse des Kundenverhaltens im Internet oder im Telekommunikationsbereich [15] eingesetzt werden.

5.2 ADiWa – Effiziente Eventerkennung und -übertragung in Logistikprozessen

Im Rahmen der *Allianz Digitaler Warenfluss* (ADiWa) wird u.a. die effiziente Erkennung und Übertragung von Events erforscht. Ein Betrachtungsgegenstand hierbei sind Logistikprozesse und wie in deren Kontext Events effizient erkannt und übertragen werden können [16]. Als Eventproduzenten kommen hierbei drahtlose Sensorknoten, die verschiedene Umweltparameter überwachen, zum Einsatz. Diese drahtlosen Sensorknoten bestehen i.d.R. aus drei zentralen Komponenten [17]: *Sensoreinheit*, *Recheneinheit* und *Kommunikationseinheit*. Eine *Energieversorgungseinheit* stellt die zum Betrieb benötigte Energie zur Verfügung.

Mittels der Sensoreinheit können verschiedenste Umweltparameter gemessen werden, z.B. Temperatur, Stöße oder auch Geschwindigkeiten. Die Recheneinheit umfasst einen Prozessor und stellt Speicherkapazität zur Verfügung, sodass auf einem Sensorknoten verschiedene Programme ausgeführt und Daten gespeichert und weiterverarbeitet werden können. Die Kommunikationseinheit bildet die Kommunikationsschnittstelle eines drahtlosen Sensorknotens und zeichnet für die Datenübertragung, z.B. mit anderen drahtlosen Sensorknoten zur Bildung eines drahtlosen Sensornetzwerkes, verantwortlich. Hierbei kommt i.d.R. ein so genannter *Transceiver* zum Einsatz, der sowohl Datenempfang als auch Datenversand abwickelt, also gleichzeitig als Sendeeinheit (engl. *Transmitter*) und Empfangseinheit (engl. *Receiver*) fungiert. Für die konkrete Datenübertragung wird i.Allg. Funktechnologie eingesetzt.

Im Kontext von ADiWa werden diese drahtlosen Sensorknoten dazu eingesetzt Umweltparameter, die die Qualität transportierter Güter beeinflussen zu überwachen. Hierbei werden die Speicher und Rechenkapazitäten drahtloser Sensorknoten genutzt, um lokal auf einem drahtlosen Sensorknoten die erfassten Umweltdaten mit für die transportierte Ware gültigen Grenzwerten abzugleichen. Wird im Rahmen dieser Überwachung eine Grenzwertüberschreitung erkannt, so wird diese Grenzwertüberschreitung als Event klassifiziert und entsprechende Eventinformationen an einen Event Broker übertragen. Von dort wird die Eventinformation den Eventkonsumenten, z.B. lokalen Frachtführern, Versendern, aber auch dem für die gesamte Transportkette zuständigen Logistikdienstleister zur Verfügung gestellt. Die Eventinformationen können dann dort bspw. von Entscheidungsträgern genutzt werden, die auf Basis der eingetretenen Events und der zugehörigen Informationen Umplanungen in den betroffenen Transportprozessen vornehmen können. Drahtlose Sensorknoten bieten hier nun die Möglichkeit dies frühzeitig zu tun, da durch die Kombination von Sensor-, Rechen- und Kommunikationseinheit nicht nur eine Echtzeitüberwachung relevanter Umweltparamete-

ter gewährleistet wird, sondern durch die Möglichkeit der drahtlosen Kommunikation auch eine entsprechende Benachrichtigung über ein erkanntes Event in Echtzeit realisierbar ist.

Eine Schwierigkeit in diesem Zusammenhang besteht darin, dass die Energieressourcen in drahtlosen Sensorknoten beschränkt sind, sodass ein energieeffizienter Betrieb gewährleistet werden muss. Weiterhin gilt es im Zusammenhang mit der betrachteten Anwendungsdomäne Logistik den in dieser vorherrschenden großen Kostendruck zu berücksichtigen, sodass auch ein entsprechend kosteneffizienter Betrieb zu gewährleisten ist. Ein Großteil sowohl des Energieverbrauchs als auch der Kosten entsteht beim Versenden der Informationen. Um vor diesem Hintergrund sowohl kosteneffizient als auch energieeffizient zu arbeiten, wurde im Rahmen von ADiWa das Konzept der so genannten *Transmission-relevant Events* entwickelt [18]. Diesem Konzept liegt die Abwägung des Informationswertes zu übertragender Eventinformationen und der für die Eventübertragung anfallenden Kosten (sowohl im Sinne des Energieverbrauchs als auch im Sinne der tatsächlich monetär anfallenden Kosten) zugrunde. Entsprechend werden alle während eines Transportprozesses erkannten Events sofort lokal auf dem drahtlosen Sensorknoten analysiert und in *Transmission-relevant Events*, also Events deren Informationswert größer als die Übertragungskosten sind, und *Non-Transmission-relevant Events*, also Events deren Informationswert kleiner als die Übertragungskosten sind, kategorisiert (vgl. Abbildung 7).

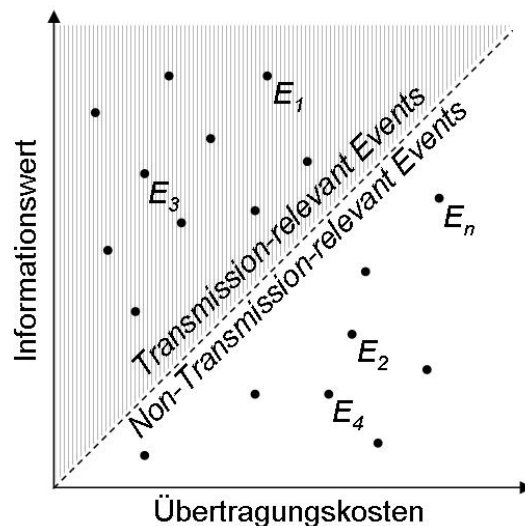


Abbildung 7: Unterscheidung von Events auf Basis der Übertragungsrelevanz [18]

Eine Übertragung von Eventinformationen findet dann nur für *Transmission-relevant Events* statt. Derart kann ein kosten- und energieeffizienter Betrieb erreicht werden, da nur Eventinformationen übertragen werden, die es „wert“ sind übertragen zu werden.

5.3 Anwendungspotential für mobile Fahrgastinformationssysteme

Der Einsatz von Event-driven Systems wurde als besonders vielversprechend identifiziert zur Unterstützung von Prozessen, die folgende Merkmale aufweisen (vgl. [11]): *Komplexe Fachlogik, große Datenvolumina, geringe Latenzzeit, Skalierbarkeit, Agilität*. Bei der Betrachtung von Transportprozessen im öffentlichen Verkehr, also z.B. Reisen, und den entsprechenden Informationsprozessen kann festgestellt werden, dass alle fünf beschriebenen Merkmale in diesem Zusammenhang wiedergefunden werden können. Die Verarbeitungsprozesse in diesem Anwendungsbereich umfassen u.a. die Analyse und Aggregation unterschiedlichster Daten, Da-

ten unterschiedlicher Abstraktionsebenen und muss sowohl aktuelle und historische Daten als auch Prognosedaten berücksichtigen, sodass von einer entsprechend komplexen Fachlogik gesprochen werden kann. Weiterhin entsteht bei Transportprozessen im öffentlichen Verkehr und den zugehörigen Informationsprozessen im Zusammenhang mit mobilen FIS kontinuierlich eine hohe Menge an Daten, die auch mit einer hohen Frequenz in einem entsprechenden System eintreffen, sodass sich entsprechend große Datenvolumina ergeben. Um die Erwartungen von Reisenden hinsichtlich der Übertragung und Reaktion auf Ereignisse in Echtzeit zu erfüllen, sind geringe Latenzzeiten essentiell. Vor dem Hintergrund, dass sich Transportprozesse im öffentlichen Verkehr und insbesondere Reiseprozesse im öffentlichen Verkehr sowie die zugehörigen Informationsprozesse durchaus relativ stark schwankender Nutzerzahlen ausgesetzt sehen, ist ebenfalls eine entsprechende Skalierbarkeit sicherzustellen. Letztlich existiert im Umfeld von Transportprozessen im öffentlichen Verkehr auch eine durchaus hohe Dynamik, sodass die gesamte Anwendungsdomäne eine entsprechend hohe fachliche Agilität aufweist. Demzufolge erscheint der Einsatz von Event-driven Systems im Zusammenhang mit Transportprozessen im öffentlichen Verkehr und besonders im Zusammenhang mit der Information von Fahrgästen und den zugehörigen FIS als sehr vielversprechend.

Weiterhin scheint auch das im Zusammenhang mit Event-driven Systems im Rahmen von ADiWa entwickelte Konzept der Transmission-relevant Events vielversprechend für mobile FIS übertrag- und anwendbar. Mit einem Event-basierten Ansatz unterstützt durch das Konzept der Transmission-relevant Events kann dafür gesorgt werden, dass der Reisende automatisiert genau auf ihn und seine aktuellen Bedürfnisse hin angepasste Informationen für seine Reise erhält. So kann nicht nur ein energie- und kosteneffizienter Betrieb durch die Gegenüberstellung von Informationswert und Übertragungskosten erreicht werden, sondern das Konzept derart erweitert werden, dass der Informationswert der aktuellen Unterbrechbarkeit eines Reisenden bzw. des Störpotentials einer Nachrichtenübertragung gegenübergestellt wird und ein Reisender entsprechend nur dann gestört wird, wenn der Informationswert überwiegt.

6 Service-oriented Computing

6.1 Überblick

Service-oriented Computing (SOC) ist ein derzeit vielversprechender Ansatz, hohe Flexibilität und Wartbarkeit sowie niedrige Entwicklungs- und Betriebskosten bei gleichzeitig hoher Qualität, zu erfüllen [19]. Die Grundidee von SOC ist es, im Gegensatz zu den meist über die Jahre gewachsenen IT-Landschaften, Software-Systeme in wohldefinierte und möglichst lose gekoppelte Dienste zu strukturieren, die ihre Funktionalitäten über standardisierte Schnittstellen zur Verfügung stellen und auch prozessgesteuert zu komplexeren Einheiten aggregiert werden. Die Grundideen im SOC-Umfeld sind nicht vollkommen neu. Einer der wesentlichen Erfolgsfaktoren ist, dass mit aktuellen Technologien und Standards, wie z.B. WSDL (Web Service Description Language) und SOAP (Simple Object Access Protocol), eine geeignete technologische Basis besteht, um *Serviceorientierte Architekturen* (SOA) in einem heterogenen Umfeld zu realisieren. Die Vorteile der Wiederverwendung von wohldefinierten, standardisierten Services haben dazu geführt, dass SOC (bzw. einige Konzepte dessen) weit über die Grenzen der Unternehmenssysteme hinaus in so genannte *Everyday Apps* (Informationsdienste, persönliche Assistenten, Verkehrs- und Transportplaner, Navigationssysteme bzw. mobile Begleiter usw.) verbreitet wurde. Das führt wiederum zur Entste-

hung des *Internet of Services* (IoS), in dem Services über globale Marktplätze und Vermittlungsschichten gesucht, verkauft, angepasst und optimiert werden, immer mit Bezug auf die Kategorie zu der sie gehören und die besonderen Merkmale die sie besitzen.

Das Ergebnis der Anwendung von SOC-Konzepten in Everyday Apps ist dass die Art und die Granularität der Services aus dem IoS einerseits direkt auf Nutzer und ihre Bedürfnisse zugeschnitten sind und andererseits sie doch alle Vorgaben der Unternehmenswelt befolgen, d.h., sie sind formell beschrieben, semantisch angereichert, technologisch (bzw. schnittstellentechnisch) selbstbeschreibend usw. Ein großer Gewinner dieser Entwicklungen sind die mobilen FIS, da in den Bereichen Verkehr, Transport und Navigation sowohl geeignete Dienstanbieter als auch interessierte (und teilnehmende) Dienstanutzer existieren. Diese Koexistenz führt nicht nur zur Entwicklung von immer mehr relevanten und wiederverwendbaren Services sondern auch zur weiteren Förderung und Erforschung der darunterliegenden Technologien. Ein Projekt mit Fokus hierauf ist Green Mobility.

6.2 Projekt Green Mobility

Das Projekt *Green Mobility* hat zwei Hauptziele: Das erste Ziel ist die Entwicklung von Anpassungs- und Vermittlungsmechanismen, die die mobile Nutzung der Services des IoS ermöglichen bzw. je nach Kontext optimieren. Für die mobilen FIS heißt das, dass immer mehr neue Funktionalitäten dadurch ermöglicht werden, dass die entsprechenden Services des IoS mit voller Kompatibilität und hoher Performanz zugreifbar werden. Das zweite Ziel von Green Mobility ist die Erforschung eines innovativen Anwendungsfalls, nämlich die mobile Mitfahrzentrale. Die Relevanz für den Bereich der mobilen FIS wird somit bei diesem zweiten Ziel direkt offensichtlich. Im Folgenden werden die wichtigsten Projektbeiträge durch ein kompaktes Szenariobild von Green Mobility zusammengefasst, auf dessen Basis dann im nächsten Abschnitt die Potentiale erklärt werden können, die sich für mobile FIS ergeben.

Eines der zentralen Konzepte im Projekt Green Mobility ist die Vermittlungsschicht *MML (Mobility Mediation Layer)*, die als ein Bestandteil bzw. eine Erweiterung des IoS fungiert. Abbildung 8 veranschaulicht einige wichtige Interaktionen des MML mit Nutzern, aber auch mit anderen Bestandteilen des IoS, um die Stellen der technischen Landschaft zu identifizieren, in deren Kontext das Projekt seine Hauptbeiträge liefert. Drei Beiträge bzw. Kategorien von Beiträgen werden im Folgenden positioniert und kurz zusammengefasst. Nähere Details zu diesen können den jeweils referenzierten Quellen entnommen werden. Die in Abbildung 8 relativ generisch identifizierten Bestandteile des IoS basieren auf den Ergebnissen und der Sicht des Projekts *THESEUS TEXO*, in dessen Rahmen Green Mobility angesiedelt ist. *TEXO* beschäftigt sich mit Entwicklungs- und Standardisierungsaspekten des IoS. Weitere Informationen über diese Sicht für das IoS sind in [20] verfügbar.

- I. Zu den zentralen Beiträgen des MML gehören die Mechanismen zur Minimierung bzw. Komprimierung der Daten einer Serviceausführung vor der drahtlosen Übertragung. Das Optimierungssystem kommuniziert mit den Backend Services, die bei externen Anbietern oder Runtime Engines des IoS laufen und setzt verschiedene Optimierungsmechanismen (vgl. [21], [22]) ein, um mobilen Clients die Ergebnisse zu vermitteln.
- II. Die Dienste, die mobil nutzbar sein müssen, stellen manchmal während ihrer Spezifizierung (z.B. mit der für das IoS vorgeschlagenen Beschreibungssprache USDL [20]) besondere Herausforderungen dar. Beispiele solcher Herausforderungen sind die ausführliche Beschreibung ihrer *Cacheability* und die Beschreibung der Kompatibilität ih-

rer technischen Schnittstellen mit bestimmten mobilen Endgeräten bzw. Technologien. Als Folge müssen alle Phasen, die mit diesen Besonderheiten verbunden sind neu untersucht werden, z.B. die Erstellung der Beschreibungen mit einem USDL-Editor, die (spätere) Suche und das Matchmaking von diesen USDL-Beschreibungen usw.

- III. Eine dritte Kategorie von Beiträgen stammt aus der anwendungsorientierten Forschung. Im Fall von Green Mobility entstehen die relevanten Beiträge meist im Anwendungsgebiet mobile Mitfahrzentralen, aber es gibt auch weitere Beiträge bezüglich neuer möglicher Use Cases im Rahmen der Initiative „100 mobile Apps für das IoS“.

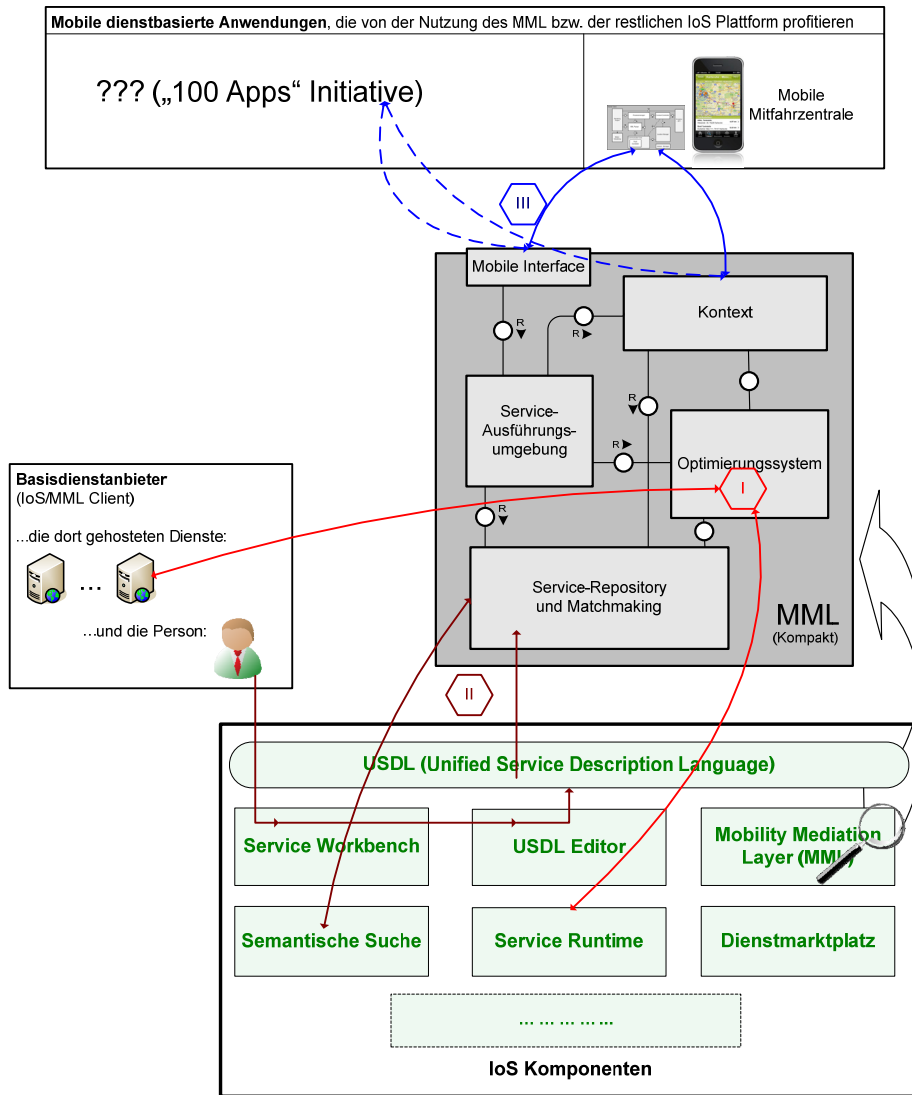


Abbildung 8: Positionierung der Green Mobility Beiträge in der IoS Landschaft

6.3 Anwendungspotential für mobile Fahrgastinformationssysteme

Wie die beschriebenen Forschungsziele und Beiträge in Zusammenhang mit mobilen FIS stehen und welche Anwendungspotentiale dadurch entstehen, kann am besten durch den Hauptanwendungsfall von Green Mobility, d.h. die mobile Mitfahrzentrale, veranschaulicht werden. Viele Mechanismen, die in 6.2 erwähnt oder gezeigt wurden dienen diesem Anwendungsfall, der selber als ein mobiles FIS interpretiert werden kann. Als Service auf mobilen Endgeräten, wie Smartphones, wertet die mobile Mitfahrzentrale von Green Mobility aktuell

und kurzfristig Standort-, Ziel- und Kontextinformationen von Anbietern und Suchenden aus und ordnet sie einander in ad-hoc-Fahrgemeinschaften zu. Ergänzend werden öffentliche Verkehrsmittel in die Planung mit einbezogen. Die Vermittlung erfolgt kurzfristig und aktuell, sodass auch kurze Strecken angeboten werden können. Dieser ad-hoc-Aspekt stellt (aus Nutzersicht) den größten Unterschied zu traditionellen webbasierten Mitfahrzentralen dar.

Einer der größten Innovationstreiber für die Entwicklung neuer mobiler FIS ist die Existenz neuer relevanter Services an sich. Je mehr Services auf dem Markt existieren, desto häufiger entstehen neue Geschäftsideen in diesem Bereich, da die Services letztlich nicht nur eine Implementierung ermöglichen, sondern auch Konzeptentwicklungen unterstützen. In dieser Hinsicht ist es für das Anwendungspotential von SOC in diesem Bereich sehr wichtig, dass stets mehr Services (mit verschiedenen Funktionalitäten) als Teile neuer mobiler FIS genutzt werden können. Um eine solche Entwicklung zu fördern, gibt es zwei Möglichkeiten, die auch im Rahmen von Green Mobility verfolgt werden:

- Existierende Verkehrs-, Ticketing-, Informations- und Navigations-Services, die es bisher aufgrund von Inkompatibilitäten oder inakzeptabler Komplexität bzw. inakzeptablem Kommunikationsoverhead nicht sind, müssen mobil konsumierbar werden.
- Dienstanbieter aus dem FIS-Bereich müssen durch gemeinsame Dienstmarktplätze zu neuen Ideen kommen und neue Services entwickeln, die die Verwirklichung dieser Ideen unterstützen.

7 Erprobung der Technologien im Projekt IP-KOM-ÖV

In den vorherigen Abschnitten wurde dargelegt, dass Technologien wie Smartphones, Context-Aware Systems, Service-oriented Computing und Event-driven Systems ein erhebliches Innovationspotential für mobile FIS darstellen. Dieses Potential wird von den derzeit auf dem Markt verfügbaren Systemen jedoch kaum genutzt. Im Rahmen des BMWi-geförderten Verbundvorhabens *IP-basierte Kommunikationsdienste im Öffentlichen Verkehr* (IP-KOM-ÖV) werden daher am Fachgebiet Multimedia Kommunikation (KOM) der TU Darmstadt die genannten Technologien erprobt und erforscht wie sie für mobile FIS eingesetzt werden können.

Drei Fragestellungen stehen dabei für KOM-Forscher im Vordergrund:

- *Context-Awareness*: Heutige Smartphones enthalten eine Vielzahl an Sensoren, die Informationen über den Kontext des Fahrgastes liefern können. Auch weitere Datenquellen, wie z.B. Kalenderinformationen und Buchungsdaten, stehen oftmals zur Verfügung. Hier wird untersucht, wie gut solche Kontextinformationen nutzbar sind, um den Fahrgast mit individualisierten Informationen zu versorgen. Die Zielsetzung ist dabei, dass die Individualisierung möglichst automatisiert, also ohne händische Dateneingabe geschehen kann. Gleichzeitig muss die Relevanz jeder Information für den Fahrgast abgewogen werden, um zu verhindern, dass Fahrgäste mit irrelevanten Informationen überflutet werden.
- *Mobile SOC*: Zukünftige mobile Fahrgastinformationssysteme werden serviceorientiert funktionieren. Das bedeutet, dass nicht mehr eine einzige Anwendung alle Funktionalitäten enthält, sondern flexibel verschiedene Dienste kombiniert werden. Denkbar ist bspw., dass das FIS eine Wettervorhersage für den Zielort, Restaurant-Tipps oder Veranstaltungshinweise einbindet. Diese Dienste müssen nicht von Verkehrsun-

ternehmen angeboten werden, sondern können von Drittanbietern zur Verfügung gestellt werden. Dies folgt dem Prinzip der Smartphone-Apps, geht jedoch noch darüber hinaus: Zwischen FIS und den Diensten können Daten ausgetauscht werden und es ist angestrebt, dass Informationen aus mehreren Diensten gleichzeitig auf dem Display angezeigt werden können. Diese aggregierte Ansicht könnte z.B. in einem so genannten *Reise-Dashboard* realisiert werden.

- *Event-driven Systems*: Häufig entstehen im öffentlichen Verkehr Situationen über die ein Fahrgast möglichst zeitnah informiert werden will. Treten z.B. Verspätungen auf oder Züge fallen aus, dann ist es wichtig, dass der Fahrgast dies sofort erfährt, um sich dann u.a. rechtzeitig über Alternativrouten informieren oder auf ein anderes Verkehrsmittel umsteigen zu können. Zurzeit erhält ein Fahrgast diese Informationen nur, wenn er sich bereits am Bahnsteig oder in einem Fahrzeug aufhält, nicht jedoch zu Hause, im Büro oder auf dem Fußweg. An dieser Stelle kommen Event-driven Systems ins Spiel: Wenn bekannt ist welche Verbindungen ein Fahrgast nutzen wird, können neu entstandene Informationen (Events) unmittelbar auf sein Smartphone übermittelt werden und so den Fahrgast informieren. Herausforderungen aus wissenschaftlicher Sicht sind hier einerseits der Entwurf eines skalierbaren und mobil nutzbaren Systems und andererseits eine angemessene Nutzer-individuelle Event-Filterung. Die Verknüpfung von Context-Aware und Event-driven Systems ist hierbei besonders interessant: der Reisekontext wird ohne Zutun des Fahrgasts automatisch erkannt und alle relevanten Informationen werden ihm zeitnah zur Verfügung gestellt.

8 Resümee

Fahrgastinformationssysteme sind ein zentrales Instrument zur Kommunikation zwischen Anbietern im öffentlichen Personenverkehr und Reisenden. Sie tragen entscheidend zur Wahrnehmung des öffentlichen Personenverkehrs durch die Kunden bei. Die Art und Weise wie mit Reisenden kommuniziert wird als auch die Quantität und Qualität der Informationen, die den Reisenden übermittelt werden besitzen maßgeblichen Einfluss auf die Kundenzufriedenheit und wirken sich entsprechend auch auf die Nutzung des öffentlichen Personenverkehrs aus.

Der Fortschritt im Bereich mobiler Endgeräte und besonders die Entwicklung und Marktdurchdringung so genannter Smartphones, die ihren Nutzern eine umfassende Funktionsfülle bieten, als auch in Verbindung mit entsprechenden Mobilfunktarifen, die Möglichkeit einer nahezu permanenten Internet-Verbindung zur Verfügung stellen ermöglichen die Entwicklung neuer, leistungsfähiger mobiler Fahrgastinformationssysteme, die von den Reisenden entsprechend während ihrer Reise mit ihren Smartphones genutzt werden können. Derart kann eine umfassendere und verbesserte durchgängige Informationsversorgung der Reisenden erreicht werden.

Allerdings stellt die Smartphone-Technologie und mit ihr der Technologiebereich der mobilen Endgeräte nur einen der Innovationstreiber für die Entwicklungen im Bereich mobiler Fahrgastinformationssysteme dar. In diesem Beitrag haben die Autoren die Bereiche der Context-Aware Systems und der Softwarearchitekturen als weitere zentrale Innovationstreiber für Entwicklungen auf dem Gebiet mobiler Fahrgastinformationssysteme identifiziert. Forschungsarbeiten auf diesen Gebieten werden zukünftig ebenfalls einen entscheidenden Beitrag zur Weiterentwicklung mobiler Fahrgastinformationssysteme leisten und insbesondere die Individualisierung der Informationsbereitstellung und -nutzung vorantreiben.

Im Rahmen dieses Beitrags wurden die verschiedenen Technologien überblicksartig vorgestellt und aktuelle Forschungsarbeiten anhand verschiedener Forschungsprojekte präsentiert. Ihr Anwendungspotential für mobile Fahrgastinformationssysteme wurde beispielhaft erläutert, so konnte z.B. dargestellt werden, dass vor dem Hintergrund heterogener, dynamischer Informationsquellen Context-Aware Systems dazu beitragen können sowohl die Verarbeitung von Informationsanfragen als auch die Informationsanzeige auf einen Fahrgast und seine Situation hin zu optimieren. Der Einsatz von Event-driven Systems ermöglicht bspw. den Umgang mit großen Datenvolumina und die Realisierung geringer Latenzzeiten sowie die Skalierbarkeit im Zusammenhang mit Lösungen auf dem Gebiet der mobilen Fahrgastinformationssysteme und kann hierbei u.a. für eine effiziente Informationsübertragung genutzt werden. Das Service-oriented Computing bietet die Möglichkeit für ein effektives und effizientes ad-hoc-Angebot einer großen, heterogenen Menge an auf den Reisenden und seine Situation zugeschnittene Dienste in mobilen Fahrgastinformationssystemlösungen. Nun gilt es das gebotene Anwendungspotential zu realisieren und weiterhin die neuen Entwicklungen auf dem Gebiet der identifizierten Innovationstreiber zu verfolgen und deren Anwendbarkeit zur Verbesserung mobiler Fahrgastinformationssysteme regelmäßig zu prüfen.

9 Danksagung

Die Arbeiten der verschiedenen Autoren dieses Beitrags wurden unterstützt durch Mittel des Bundesministeriums für Bildung und Forschung im Rahmen der Forschungsprojekte ADiWa und PROWIT als auch durch Mittel des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie im Rahmen der Forschungsprojekte Green Mobility und IP-KOM-ÖV. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Die Autoren bedanken sich besonders bei Jeremias Blendin und Markus Wachtel für die Diskussionen und Anregungen, die für das Gelingen dieses Beitrages sehr hilfreich waren.

10 Literatur

- [1] ERGEN, M. (2009). Mobile broadband: including WiMAX and LTE. Springer, New York.
- [2] WITOWSKY, D. (2008). Dynamische Informationen im ÖPNV – Nutzerakzeptanz und Modellierung. Diss., Universität Karlsruhe.
- [3] SCHMITT, J. (2009). Anpassungsfähige Kontextbestimmung zur Unterstützung von Kommunikationsdiensten. Diss., Technische Universität Darmstadt.
- [4] SCHMITT, J.; KROPFF, M.; REINHARDT, A.; HOLLICK, M.; SCHÄFER, C.; REMETTER, F.; STEINMETZ, R. (2008). An Extensible Framework for Context-aware Communication Management Using Heterogeneous Sensor Networks. Technical Report, Technische Universität Darmstadt.
- [5] SCHMITT, J.; HOLLICK, M.; STEINMETZ, R. (2007). Der Assistent im Hintergrund: Adaptives Kommunikationsmanagement durch Lernen vom Nutzer. PIK 30(2), S. 100-105.
- [6] SCHMITT, J.; HOLLICK, M.; ROOS, C.; STEINMETZ, R. (2008). Adapting the User Context in Realtime: Tailoring Online Machine Learning Algorithms to Ambient Computing. Mobile Networks and Applications 13(6), S. 583-598.

- [7] FIEGE, L. (2005). Visibility in Event-Based Systems. Diss., Technische Universität Darmstadt.
- [8] CHANDY, M. K. (2006). Event-Driven Applications: Costs, Benefits and Design Approaches. Gartner Application Integration and Web Services Summit 2006.
- [9] LUCKHAM, D.; SCHULTE, R. (2008). Event Processing Glossary - Version 1.1. Event Processing Technical Society.
- [10] TAYLOR, H.; YOCHER, A.; PHILLIPS, L.; MARTINEZ, F. (2009). Event-Driven Architecture: How SOA Enables the Real-Time Enterprise. Addison-Wesley, Upper Saddle River.
- [11] BRUNS, R.; DUNKEL, J. (2010). Event-driven architecture : Softwarearchitektur für ereignisgesteuerte Geschäftsprozesse. Springer, Berlin usw.
- [12] LUCKHAM, D. C. (2002). The power of events: an introduction to complex event processing in distributed enterprise systems. Addison-Wesley, Boston.
- [13] MÜHL, G.; FIEGE, L.; PIETZUCH, P. (2006). Distributed event based systems. Springer, Berlin usw.
- [14] ECKERT, M. (2008). Complex Event Processing with XChangeEQ: Language Design, Formal Semantics, and Incremental Evaluation for Querying Events. Diss., Ludwig-Maximilians-Universität München.
- [15] SYBASE, Inc. (2010). Powering Continuous Intelligence for "Live" Analytic Applications. White Paper, Dublin, CA, USA.
- [16] ZÖLLER, S.; REINHARDT, A.; MEYER, M.; STEINMETZ, R. (2010). Deployment of Wireless Sensor Networks in Logistics – Potential, Requirements, and a Testbed. 9. GI/ITG KuVS Fachgespräch Drahtlose Sensornetze, Würzburg, S. 67-70.
- [17] AKYILDIZ, I.; SU, W.; SANKARASUBRAMANIAM, Y.; CAYIRCI, E. (2002). Wireless sensor networks: a survey. Computer Networks 38, S. 393-422.
- [18] ZÖLLER, S.; REINHARDT, A.; MEYER, M.; STEINMETZ, R. (2010). A Concept for Cross-Layer Optimization of Wireless Sensor Networks in the Logistics Domain by Exploiting Business Knowledge. 35. IEEE Conference on Local Computer Networks (LCN), Denver, S. 951-953.
- [19] PAPAZOGLU, M. P.; TRAVERSO, P.; DUSTDAR, S.; LEYMAN, F. (2007). Service-Oriented Computing: State of the Art and Research Challenges. Computer 40, S. 38-45.
- [20] CARDOSO, J.; BARROS, A.; MAY, N.; KYLAU, U. (2010). Towards a Unified Service Description Language for the Internet of Services: Requirements and First Developments. 7. IEEE International Conference on Services Computing (SCC), Miami, S. 602-609.
- [21] PAPAGEORGIU, A.; BLENDIN, J.; MIEDE, A.; ECKERT, J.; STEINMETZ, R. (2010). Study and Comparison of Adaptation Mechanisms for Performance Enhancements of Mobile Web Service Consumption. 6. IEEE World Congress on Services (SERVICES), Miami, S. 667-670.
- [22] PAPAGEORGIU, A.; MIEDE, A.; SCHULLER, D.; SCHULTE, S.; STEINMETZ, R. (2011). Always Best Served: On the behaviour of QoS- and QoE-based Algorithms for Web Service Adaptation. IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom). Seattle, zur Veröffentlichung angenommen.