

Portierung einer agentenbasierten elektronischen Patientenakte auf mobile Endgeräte

Andreas Schweiger, Christian Hillebrand, Ali Sunyaev, Helmut Krcmar

Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik
Technische Universität München
Boltzmannstraße 3
85748 Garching bei München
schweiga@in.tum.de
hillebrc@in.tum.de
sunyaev@in.tum.de
krcmar@in.tum.de

Abstract: In dem vorliegenden Beitrag werden zunächst spezifische Charakteristika des Gesundheitswesens und insbesondere diejenigen eines Krankenhauses beschrieben. Als Ergebnis werden Problemstellungen identifiziert, die potenziell vorteilhaft durch den Einsatz von mobilen Endgeräten gelöst werden können. Als Software-Technologie zur Implementierung eines geeigneten Unterstützungssystems wird das Agenten-Paradigma gewählt, weil sich damit die Spezifika des Gesundheitswesens und auch spezielle Anforderungen für mobile Endgeräte adäquat abbilden lassen. Im Hauptteil des Beitrags folgt die Beschreibung einer prototypischen Implementierung einer agentenbasierten elektronischen Patientenakte auf einem mobilen Endgerät. Anhand eines ausgewählten Szenarios werden zu berücksichtigende Rahmenbedingungen für ein solches System beschrieben. In dem Beitrag wird somit gezeigt, dass sich die Potenziale von Software-Agenten auf mobile Endgeräte übertragen lassen und damit ein breites Einsatzspektrum zulassen.

1 Einleitung

In der aktuellen Diskussion im Gesundheitswesen stehen die Aspekte Verbesserung der Versorgungsqualität und Patientenorientierung im Vordergrund. Dabei wird dem Einsatz von Informationstechnologie ein bedeutender Stellenwert zur Erreichung der genannten Ziele beigemessen. Der Fokus liegt dabei auf der Verbesserung der Informationslogistik: Die richtigen Informationen sollen im richtigen Umfang und zur richtigen Zeit für den Informationsnachfrager zur Verfügung gestellt werden. Die speziellen Charakteristika des Gesundheitswesens und insbesondere auch die eines Krankenhauses erschweren jedoch die Umsetzung des informationslogistischen Prinzips. Mobile Endgeräte eröffnen Potenziale zur Realisierung dieses informationslogistischen Prinzips, da sie in einfacher Weise an den Ort des Informationsbedarfs zu transportieren sind und damit Informationen an der richtigen Lokation zur Verfügung gestellt werden können.

Der Beitrag ist wie folgt aufgebaut: In Abschnitt 2 werden ausgehend von den Spezifika in der Domäne Krankenhaus Defizite in der Informationslogistik beschrieben und die vollständige Digitalisierung relevanter medizinischer Dokumente als Lösung identifiziert. Mobilen Endgeräten wird ein hohes Potenzial zur Umsetzung des informationslogistischen Prinzips beigemessen. In Abschnitt 3 wird die Agententechnologie mit ihren wichtigsten Eigenschaften kurz dargestellt. Weiterhin wird gezeigt, dass sich Agenten für den Einsatz in der Applikationsdomäne Gesundheitswesen und auch für den Bereich Krankenhaus besonders gut eignen. Als wesentliches Element dieses Ansatzes wird das Konzept der aktiven, medizinischen Dokumente vorgestellt. In Abschnitt 4 werden die in der prototypischen Implementierung einer auf ein mobiles Endgerät portierten elektronischen Patientenakte zu berücksichtigenden Rahmenbedingungen dargestellt. Dazu werden die im Entstehen befindliche Telematik-Infrastruktur sowie dafür und für die Implementierung relevante Standards beschrieben. Der Hauptteil des Beitrags befasst sich in Abschnitt 5 mit der Portierung einer agentenbasierten elektronischen Patientenakte auf ein ausgewähltes mobiles Endgerät. Dabei werden einerseits relevante technische Grundlagen und andererseits Implementierungsentscheidungen beschrieben. Das Potenzial für den Einsatz von Software-Agenten zur Informationsintegration im Gesundheitswesen wird in einem Anwendungsszenario exemplarisch dargestellt. Abschließend werden in Abschnitt 6 die wichtigsten Ergebnisse zusammengefasst und in Abschnitt 7 ein Ausblick auf weitere Arbeiten gegeben.

2 Informationslogistik in der Domäne Gesundheitswesen

2.1 Spezifika der Domäne Gesundheitswesen

Das Gesundheitswesen zeichnet sich durch spezielle Charakteristika aus. Z. B. ist ein breites Spektrum unterschiedlicher Akteure zu beobachten. Prinzipiell werden Leistungsempfänger, Leistungsträger sowie Kostenträger unterschieden. Leistungsträger können weiter in unterschiedliche Bereiche wie Krankenhäuser, Niedergelassene, Pflege- und Therapieeinrichtungen, Apotheken sowie Pharmakonzerne unterteilt werden. Bei Kostenträgern wird zwischen gesetzlichen und privaten Krankenversicherungen differenziert. Aus dieser Darstellung ist die klare Aufgabenspezialisierung zu erkennen, die sich insbesondere im Versorgungsbereich in einer umfangreichen Anzahl niedergelassener Spezialisten manifestiert. Weiterhin lässt sich eine ausgeprägte und strikte Trennung zwischen ambulantem und stationärem Bereich beobachten. Die dargestellten Sachverhalte implizieren die im Gesundheitswesen identifizierte inhärente Verteilung. Daraus folgt eine Verteiltheit der jeweils eingesetzten Informationssystemlandschaft, und zwar unabhängig von den jeweils eingesetzten Informationsmedien. Diese Eigenschaften werden durch die Tatsache verstärkt, dass die jeweiligen Leistungsträger in der Regel autonom handeln. Dies impliziert wiederum Brüche in dem gewünschten durchgängigen Behandlungsprozess für den Patienten, der eine enge Kooperation der verteilten Leistungsträger erfordert.

Die beobachteten Phänomene können auf ein Krankenhaus übertragen werden, denn auch hier werden unterschiedliche Abteilungen und Leistungsstellen mit ihren jeweils spezialisierten Aufgabenträgern identifiziert, die mit unterschiedlichen Teilen eines Behandlungsprozesses betraut sind. Somit reflektieren die Besonderheiten in einem Krankenhaus auch die Charakteristika im Gesundheitswesen.

2.2 Defizite in der Informationslogistik

Als Folge der beschriebenen Spezifika im Gesundheitswesen können signifikante informationslogistische Defizite identifiziert werden. Nach *Augustin* [Au90] wird dieser Terminus wie folgt definiert: Die richtige Information ist zum richtigen Zeitpunkt in der richtigen Menge am richtigen Ort und in der erforderlichen Qualität zur Verfügung zu stellen. Die Charakteristika im Gesundheitswesen verhindern jedoch die unmittelbare Umsetzung dieses Paradigmas. Die strikte Trennung zwischen ambulantem und stationärem Sektor hat zur Folge, dass zur Informationsdarstellung und Speicherung nicht nur verteilte Systeme, sondern oftmals auch unterschiedliche Medien eingesetzt werden. Solche Medienbrüche werden durch den parallelen Einsatz von papierbasierten Dokumenten und digitalen Informationssystemen verursacht. Als Folge werden Inkonsistenzen in den erfassten Daten beobachtet [MA01]. Obwohl bei der von *Mikkelsen/Aasly* durchgeführten Studie [MA01] teilweise signifikante Differenzen zwischen den in den jeweiligen Medien gehaltenen Informationen identifiziert werden, wird nur ein geringer Anteil an fehlerhaften Dokumenten im Vergleich zur Gesamtzahl der untersuchten Dokumente festgestellt. Die potenziellen Konsequenzen einer falschen Information werden dabei jedoch schwerwiegender eingeschätzt als vollständig fehlende Information. Eine weitere Folge von Medienbrüchen ist eine fehlerträchtige Übertragung von Daten in das Zielmedium. Dabei entstehen potenziell die in der angegebenen Studie identifizierten Fehlinformationen, die es zu vermeiden gilt, weil falschen Informationen ein hohes Potenzial für mögliche Fehlentscheidungen beigemessen wird. Neben möglichen Fehlern verursachen Medienbrüche auch einen Mehraufwand zur Datenübertragung, die einen Arbeitseffizienzverlust implizieren.

Die starke Sektorierung und somit die Existenz unterschiedlicher Informationssysteme bedingt das Vorhandensein heterogener Datensätze. Gerade für die integrierte Versorgung ist es unverzichtbar, die relevanten Informationen aus den verteilten und heterogenen Informationssystemen syntaktisch und semantisch zu aggregieren. So werden optimale Voraussetzungen für weitere Entscheidungen im Behandlungsprozess geschaffen und damit das informationslogistische Prinzip erfüllt. Dies impliziert die vollständige Digitalisierung aller relevanten Informationen, die wiederum die Aggregation von Daten über einen einheitlichen Standard voraussetzt.

Damit wird nicht nur die Effizienz gesteigert, sondern insbesondere auch die Behandlungsqualität für den Patienten verbessert, weil alle relevanten Informationen nach dem informationslogistischen Prinzip vorliegen und somit Mehrfachuntersuchungen vermieden werden können.

Zusätzlich zeigen Studien, dass Patienten explizit an ihren eignen medizinischen Informationen interessiert sind [Fo04; Py04; Ro05] und damit eine Voraussetzung für ihre Compliance im Behandlungsprozess schaffen. Neben der vollständigen Digitalisierung ist somit auch die Integration des Patienten zu schaffen.

Diese Entwicklung – digitale Informationsintegration und Patientenzentrierung – erfolgt in mehreren Schritten, da bis dato im Gesundheitswesen noch unterschiedliche Medien und die stark ausgeprägte Verteilung der Daten in unterschiedlichen Informationssystemen zu beobachten sind. Differenziert werden dabei fünf Stufen der zunehmenden Digitalisierung [Wa99], die in eine umfassende elektronische Patientenakte mündet, die Daten aus unterschiedlichen Institutionen aggregiert und dem Patienten als mündigen Bürger die Möglichkeit einräumt, seine Daten selbst zu kontrollieren und ggf. eigene Gesundheitsinformationen hinzuzufügen.

2.3 Einsatzpotenziale für mobile Endgeräte

Es gibt eine Reihe von Arbeitsabläufen im Krankenhaus, die sich speziell durch den Einsatz von mobilen Geräten effizienter gestalten lassen und somit einen Mehrwert für Personal und Patienten bieten:

Befund- und Leistungsdokumentation: Durch die Einführung der Fallkostenberechnung auf Basis von Diagnosis Related Groups (DRG) ist der Dokumentationsaufwand in Krankenhäusern deutlich gestiegen. Damit DRGs richtig festgelegt werden können, ist eine vollständige und exakte Erfassung aller gestellten Diagnosen und Nebendiagnosen unabdingbar [De05]. Ohne eine Unterstützung durch mobile Geräte müssen die Daten allerdings doppelt erfasst werden: Zuerst in Form von Notizen auf Formularen und später durch eine manuelle Eingabe in das Computersystem. Dies stellt einen zusätzlichen Arbeitsaufwand für das Personal dar und birgt zudem die Gefahr, dass bei der manuellen Übertragung der Daten Fehler unterlaufen.

Prozessbegleitung bei der Visite: Durch den Einsatz von mobilen Geräten könnte das Mitführen der Patientenakte überflüssig werden, da alle aktuellen Informationen direkt über die mobile Anwendung abrufbar sind. Neu erfasste Daten und Anordnungen könnten direkt vor Ort verfasst werden und sind für alle Beteiligten sofort abrufbar [Rü04].

Unterstützung des Pflegepersonals bei Routinetätigkeiten: Regelmäßig erfasste Werte wie Blutdruck, Körpertemperatur oder Blutzuckerwerte können durch Eingaben auf einem PDA direkt zur elektronischen Patientenakte hinzugefügt werden.

Unterstützung bei der Terminverwaltung: Auch beim festlegen von neuen Terminen können mobile Geräte das Personal unterstützen, indem diese bereits am Krankenbett vorgemerkt und bestätigt werden. Zudem könnte das Personal durch entsprechende Funktionen auf bevorstehende Termine ihrer Patienten aufmerksam gemacht werden [Le05].

Fragebögen zur Erfassung des subjektiven Befindens von Patienten: Durch das Ausfüllen eines PDAs vor der Visite kann mit Hilfe eines elektronischen Fragebogens das Befinden des Patienten ermittelt werden. Die Daten sind für den Arzt sofort zugänglich und die Bandlung kann somit optimal auf den Zustand des Patienten abgestimmt werden [WKS05].

Unterstützung bei der Erstellung von Studienprotokollen: Bei medizinischen Studien können die Probanden durch eine Timer-Funktion regelmäßig an die Dateneingabe erinnert werden. Dadurch erhöht sich die Genauigkeit und die Signifikanz der Daten und zudem entfällt die manuelle Auswertung der Fragebögen [KMM01].

Visualisierung von medizinischen Sachverhalten: Mobile Geräte können dazu verwendet werden, dem Patienten komplizierte medizinische Sachverhalte mit Hilfe von grafischen Darstellungen und Videoanimationen nahe zu bringen [BKH01].

Entscheidungsunterstützung: Durch die Bereitstellung von kontextbezogenem Wissen und die Lösung von kleineren Teilaufgaben kann der Benutzer bei der Entscheidungsfindung unterstützt werden. Somit könnten bisher in der klinischen Routine eingesetzte Hilfsmittel (z.B. Tabellenwerke, Handbücher und Taschenrechner) ersetzt werden [Sp01].

Mobile Geräte als Arzneimittelverzeichnis und Medizin-Kompendien: Mobile Geräte können ein elektronisches Arzneimittelverzeichnis zur Verfügung stellen, die Erstellung von Medikationsplänen ermöglichen und dabei auf mögliche Wechselwirkungen aufmerksam machen [Ba05]. Zudem können die Geräte als Ersatz für Lehr- und Nachschlagewerke eingesetzt werden, wodurch sich Informationen an jedem Ort effizient recherchieren und abgerufen lassen.

Es ist ersichtlich, dass durch den Einsatz von mobilen Geräten der ständig steigenden Dokumentationspflicht und dem immer größer werdenden Kostendruck entgegengewirkt werden kann. Informationen sind an jedem Ort und zu jeder Zeit abrufbar und erfassbar. Die doppelte Erfassung von Daten wird somit vermieden und eine Menge von Arbeitsabläufen können effizienter gestaltet werden. Durch die höhere Verfügbarkeit von Daten kann zudem die Behandlungsqualität für den Patienten verbessert werden.

In der Portierung der elektronischen Patientenakte auf das mobile Endgerät werden in einem ersten Schritt die softwaretechnischen Grundlagen geschaffen und das Abrufen von medizinischen Dokumenten ermöglicht. In einem späteren Schritt soll der Prototyp, sowie die mobile Portierung um die Möglichkeit der Dateneingabe erweitert werden. Damit kann eine wichtige Grundlage für eine Vielzahl der oben genannten Einsatzszenarien geschaffen werden.

3 Agentensysteme im Gesundheitswesen

3.1 Überblick

Das Gesundheitswesen lässt sich als ein komplexes, adaptives System modellieren [PI01; TWA05]. Ein solches System zeichnet sich durch eine umfangreiche Menge an verteilten Akteuren aus, die autonom an einem übergeordneten Prozess mit einem definierten Ziel beteiligt sind. Diese Modellierung kann vorteilhaft für die Unterstützung des Gesundheitswesens durch agentenbasierte Systeme übertragen werden, weil sich die Eigenschaften von komplexen, adaptiven Systemen auch bei Agenten wieder finden.

Ein Software-Agent kann nach [WJ95] als eine Software-Einheit definiert werden, welche die Eigenschaften der Autonomie, Reaktivität, Proaktivität und sozialen Fähigkeit besitzen. Agenten können autonom, d.h. ohne direkte Intervention durch Menschen, handeln und besitzen die Kontrolle über ihre eigenen Aktionen und den internen Zustand. Agenten sind in der Lage, ihre Umwelt wahrzunehmen und auf Veränderungen flexibel zu reagieren. Agenten reagieren nicht nur auf Veränderungen, sondern besitzen zielgerichtetes Verhalten, das sich in der Eigeninitiative für Aktionen manifestiert. Agenten können mit anderen Agenten oder möglicherweise Menschen über Agentenkommunikationssprachen interagieren, um gemeinsam bestimmte Ziele zu lösen, zu denen sie alleine nicht in der Lage wären. Damit schließt sich auch der Übergang zu einem Multiagentensystem an: Ein solches System ist ein Verbund von mehreren Agenten, die gemeinsam ein Ziel anstreben und dabei kooperieren. Obwohl die agentenorientierte Software-Entwicklung einen beträchtlichen Mehraufwand gegenüber herkömmlichen Ansätzen mit sich bringen kann, können dennoch geeignete Anwendungsfelder für diesen Ansatz identifiziert werden. So wird das Gesundheitswesen explizit als mögliches Einsatzgebiet für Software-Agenten genannt [BZW98]. Weiterhin beschreibt *Jennings* [Je01], dass sich Software-Agenten besonders gut eignen, wenn komplexe Software-Systeme zu konstruieren sind. Diese Voraussetzung kann direkt auf das Gesundheitswesen übertragen werden. Mit Agentensystemen lassen sich weiterhin verteilte Systeme geeignet abbilden und reflektieren so die spezialisierte Aufteilung des Gesundheitswesens. Abschließend kann festgestellt werden, dass zahlreiche Arbeiten existieren, die das Potenzial von Software-Agenten im Gesundheitswesen demonstrieren [CB02; HHK05; KCM05; MIS03; Pa03; Za04].

Agenten eignen sich insbesondere auch für Ressourcen belastende Teilaufgaben, die nicht auf dem Rechner des Endanwenders, sondern direkt an den Speicherorten der Daten ausgeführt werden können. Damit können sie auch auf mobilen Geräten eingesetzt werden, deren Ressourcen beschränkt sind und für die eine permanente Netzwerkverbindung nicht gewährleistet werden kann.

Zusammenfassend kann somit festgestellt werden, dass sich Agenten besonders gut für Problemstellungen im Gesundheitswesen eignen. Deshalb wird auch in diesem Beitrag eine agentenbasierte Lösung gewählt, die sich auch auf ein mobiles Endgerät übertragen lässt. Ein wesentlicher Bestandteil des Lösungsvorschlags sind so genannte aktive, medizinische Dokumente, die im folgenden Abschnitt überblicksartig beschrieben werden.

3.2 Aktive, medizinische Dokumente

Zur institutionsübergreifenden Informationsintegration und der Realisierung des logistischen Prinzips dient das Konzept des aktiven, medizinischen Dokuments (AMD), welches als kompositier Software-Agent implementiert ist [SBK05]. In solchen werden neben medizinischen auch koordinative und administrative Informationen gekapselt. Die Informationen aus unterschiedlichen Quellen wie verteilten Informationssystemen werden von dedizierten Agenten extrahiert und im medizinischen Dokument aggregiert. Der aktive Teil des Dokuments überwacht beispielsweise anstehende Termine und weist auf aktuelle Untersuchungen hin. Weitere Agenten sind für die Visualisierung der Inhalte zuständig. Dabei können insbesondere spezifische Anzeigeeigenschaften von unterschiedlichen Endgeräten berücksichtigt werden. Ein solches Dokument wird zur Laufzeit ohne Persistenz zusammengestellt und entsprechend dem Informationsbedarf des Benutzers aufbereitet. Dokumente sind aus internen Service-Agenten sowie den eigentlichen Informationen zusammengesetzt und besitzen eine einzige Schnittstelle nach außen. Interne Service-Agenten realisieren Mehrwertdienste, die z.B. die Informationsbereitstellung oder -aufbereitung umsetzen.

4 Rahmenbedingungen

4.1 Lösungsarchitektur der Telematik-Infrastruktur

Die im Entstehen befindliche Telematik-Infrastruktur für die elektronische Gesundheitskarte ist beim Entwurf für eine prototypische Implementierung zu berücksichtigen, weil damit die Grundlagen für eine institutionsübergreifende Informationsintegration gelegt werden. Primärsysteme im Krankenhaus, bei Apotheken oder beim Niedergelassenen werden durch einen Konnektor an die Kommunikationsinfrastruktur angebunden. Der Konnektor integriert weiterhin die in einem Kartenlesegerät eingelegten Karten. Unterschieden wird dabei zwischen der elektronischen Gesundheitskarte (eGK), auf der wie bisher die Stammdaten des Patienten gespeichert sind, und dem Heilberufsausweis (HBA). Zusätzlich ist die eGK für weitere Anwendungen wie das verpflichtende elektronische Rezept, aber auch für freiwillige Dienste wie z.B. die Hinterlegung von Notfalldaten vorbereitet. Die elektronische Gesundheitskarte kann durch eine Erweiterung zur Speicherung von Verweislisten auf medizinische Dokumente in verteilten Institutionen als Basis für eine elektronische Patientenakte avancieren. Diese Idee wird in der in Abschnitt 5 beschriebenen Implementierung umgesetzt.

4.2 Berücksichtigung von Standards

Neben der Integration der Rahmenbedingungen, die durch die Telematik-Infrastruktur vorgegeben sind, ist zur Informationsintegration auch die Berücksichtigung von relevanten Standards erforderlich. Um die Möglichkeit der Integration von Standards zu demonstrieren, werden in der prototypischen Implementierung zwei ausgewählte Standards eingesetzt. Die Wahl fiel dabei auf die verbreiteten Standards HL7 und LOINC. HL7 hat sich als der Quasi-Standard im Gesundheitswesen etabliert und LOINC ist ein Vertreter des Integrationsansatzes durch UMLS.

HL7 (Health Level 7, [He05]) ist ein internationaler und herstellerunabhängiger Kommunikationsstandard für den Austausch von Daten zwischen Computersystemen im Gesundheitswesen auf der Applikationsebene des ISO/OSI-Referenzmodells (ISO7498-1). Der Standard bietet Interoperabilität zwischen Einzelsystemen, wie Krankenhausinformationssystemen, Praxisverwaltungssystemen, Laborinformationssystemen, Systemen zur Leistungsabrechnung sowie Systemen, die als elektronische Patientenakte definiert werden. **CDA** (Clinical Document Architecture) stellt einen auf dem XML-Format basierenden Standard für die Beschreibung der Struktur und der Inhalte klinischer Dokumente dar und liefert ein Modell für den Austausch bzw. die gemeinsame Nutzung von Information mit der Möglichkeit individueller Wiederverwendbarkeit. Damit ermöglicht die CDA-Spezifikation eine standardisierte strukturierte Übertragung klinischer Inhalte mit Patientenbezug zwischen heterogenen medizinischen Informationssystemen.

UMLS (Unified Medical Language System, [Un05]) zielt auf die automatische Verarbeitung der Semantik aus den Bereichen Gesundheit und Biomedizin. Das Ziel ist die Konsolidierung unterschiedlicher existierender Standards zur Etablierung eines einheitlichen Wortschatzes. Dazu werden verschiedene Vokabulare oder Codiersysteme wie LOINC, HL7, ICD, SNOMED CT oder MeSH anwendungsunabhängig integriert.

LOINC (Logical Observation Identifier Names and Codes, [Re04]) bezeichnet eine seit 1994 existierende Nomenklatur und Klassifikation zur universellen Kennzeichnung von Laborbestimmungen und Vitalwerten. LOINC ist ein von den Standardisierungsgremien anerkannter Standard und wird z.B. von HL7 als Kodiersystem zur Ergebnisübermittlung unterstützt [Di06].

5 Portierung auf mobile Endgeräte

5.1 Besonderheiten von mobilen Endgeräten

Für die Entwicklung einer Anwendung für mobile Endgeräte müssen die Besonderheiten von mobilen Geräten, die sich besonders aus der kleinen Bauweise und der Mobilität der Geräte ergeben, berücksichtigt werden [Mü01]:

- **Ressourcenknappheit:** Mobile Geräte werden in der Regel über Akkus oder Batterien versorgt und müssen deshalb sparsam mit den verfügbaren Energien umgehen. Auch der Prozessor muss auf Größe und Stromverbrauch optimiert werden und besitzt deshalb nur eine eingeschränkte Leistungsfähigkeit. Der Speicher von mobilen Geräten ist ebenfalls eingeschränkt und die Netzwerkanbindung von mobilen Geräten kann durch geringe Bandbreiten, schwache Signale und hohe Störanfälligkeit beeinträchtigt sein.
- **Eingeschränkte Sicherheit:** Mobile Geräte sind einem erhöhten Sicherheitsrisiko ausgesetzt, da drahtlos übertragene Daten abgehört werden können, lokal gespeicherte Daten bei mangelnder Stromversorgung verloren gehen können, das Gerät an sich verloren oder gestohlen werden kann oder bei seinem mobilen Einsatz zerstört werden kann.
- **Variierende Kommunikationsbedingungen:** Mobile Geräte benutzen für die Kommunikation mit ihrer Umwelt meistens drahtlose Netzwerkverbindungen wie IrDA, Bluetooth, WLAN, GPRS oder UMTS. Durch schwankende Signalstärken, Interferenzen oder externe Störeinflüssen kann es dabei zu verringerten Übertragungsraten oder Verbindungsabbrüchen kommen.
- **Eingeschränkte Benutzerschnittstelle:** Durch die angestrebte geringe Größe der mobilen Geräte müssen die Benutzerschnittstellen (Display, Eingabemöglichkeiten per Tastatur, Joystick oder Stift) möglichst Platz sparend untergebracht werden. Bei der Entwicklung von Anwendungen müssen die Benutzerschnittstellen auf diese speziellen Gegebenheiten angepasst werden.

Wegen dieser Einschränkungen sind bei der Implementierung einer elektronischen Patientenakte auf ein mobiles Endgerät besondere Rahmenbedingungen zu berücksichtigen. Diese fließen auch in die im Abschnitt 5.3 beschriebenen Architekturentscheidungen ein.

5.2 Architektur für die elektronische Patientenakte

In Abbildung 1 ist die Architektur des bestehenden Prototyps [SBK05] für eine agentenbasierte elektronische Patientenakte inklusive der in diesem Beitrag beschriebenen mobilen Erweiterung dargestellt. Im Zentrum befindet sich das im Abschnitt 3.2 beschriebene aktive Medizinische Dokument (AMD), welches zur Laufzeit erzeugt wird und Daten von den externen Informationsquellen (im Beispiel vom Hospital Information System (HIS) und vom Arztpraxis-Informationssystem (APIS) sammelt und temporär speichert.

Für den Benutzer steht das System in Form einer Benutzeroberfläche (Personal Assistant) zur Verfügung. Nach einer erfolgreichen Anmeldung am System kann dort die Patientenidentifikation eingegeben werden und somit die Suchanfrage für relevante Dokumente gestartet werden. Dabei wird vorausgesetzt, dass der Heilberufsausweis des Benutzers und die elektronische Gesundheitskarte des Patienten im Kartenlesegerät eingelegt sind. Die mobile Erweiterung des Prototyps erlaubt es, die Funktionen des bestehenden Softwaresystems auch von einem mobilen Gerät aus (im Referenzsystem von einem PDA vom Typ XDA II) nutzen zu können.

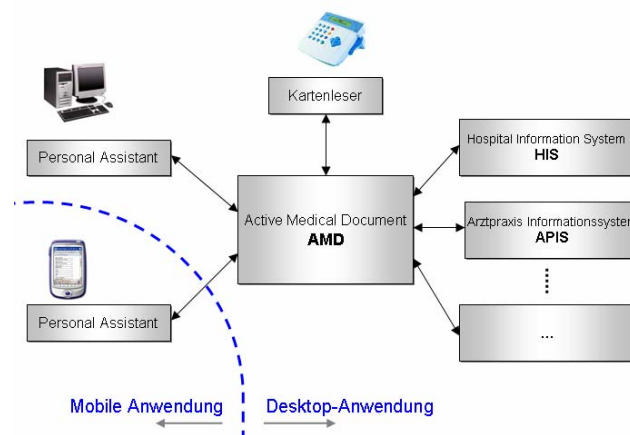


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Anwendungsumgebung (Quelle: Eigene Darstellung)

5.3 Implementierungsentscheidungen

Im bestehenden Prototyp wurde ein agentenbasierter Lösungsansatz verfolgt, welcher mit Hilfe der Agentenplattform JADE [Te06] umgesetzt wurde. Diese Plattform wurde gewählt, weil es sich hierbei um eine in der wissenschaftlichen Gemeinschaft etablierte Umgebung handelt und darin der FIPA-Standard [Ie06] zur Interoperabilität von Agenten unterstützt wird.

Da jedoch die Leistungsfähigkeit der gängigen PDAs für den Einsatz der JADE-Plattform nicht ausreicht, muss auf die spezielle JADE-LEAP-Erweiterung für Geräte mit eingeschränkten Ressourcen zurückgegriffen werden. Diese kann nicht nur auf Java-fähigen Mobiltelefonen eingesetzt werden, sondern auch auf größeren Plattformen, bis hin zu J2SE-Servern. Dieses breite Anwendungsspektrum wird erreicht, indem JADE-LEAP speziell auf drei unterschiedliche Java-Konfigurationen zugeschnitten werden kann [Ca06]:

- **J2SE:** Ausführung von JADE-LEAP auf PCs und Servern mit *J2SE 1.4* (oder höher), die mit einem fest verdrahteten Netzwerk verbunden sind.

- **PJava:** Unterstützung von JADE-LEAP auf Geräten mit *PersonalJava* (bzw. dem Nachfolger *J2ME* mit dem *Personal Profile*).
- **MIDP:** Ausführung von JADE-LEAP auf Geräten, die das *MIDP*-Profil unterstützen.

Obwohl diese drei Versionen intern verschieden sind, bieten sie dennoch dieselben APIs an und bilden somit eine homogene Schicht, die die Charakteristika der unterschiedlichen Geräte und Netzwerkverbindungen vor dem Programmierer verbergen. Zudem kann JADE-LEAP auf zwei unterschiedliche Weisen gestartet werden [Ca06]:

- **Stand-alone** Ausführungsmodus: Hier wird der komplette Container der Agentenplattform auf dem mobilen Gerät ausgeführt. Allerdings wird dieser Ausführungsmodus seit der Version 3.2 nicht mehr weiterentwickelt und gewartet. Deshalb wird in [Ca06] von seiner Verwendung abgeraten.
- **Split** Ausführungsmodus (siehe Abbildung 2): Hier wird der Container in ein FrontEnd auf dem mobilen Gerät und einem BackEnd auf dem J2SE-Host aufgeteilt. Beide müssen durch eine permanente Netzwerkverbindung miteinander verbunden werden. Dieser Ausführungsmodus ist besonders für ressourcenbeschränkte mobile Geräte geeignet, da das FrontEnd leichtgewichtiger ist als der komplette Container, die Startphase der Anwendung verkürzt wird und weniger Daten über die drahtlose Netzwerkverbindung geschickt werden müssen.

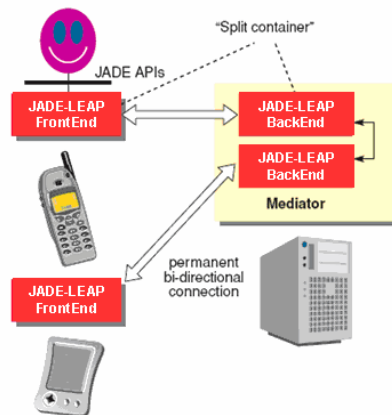


Abbildung 2: Split-Ausführungsmodus einer JADE-LEAP Plattform (Quelle: In Anlehnung an [Ca06])

In der umgesetzten Portierung für ein mobiles Endgerät wurde die PJava-Konfiguration der JADE-LEAP Plattform im Split-Ausführungsmodus eingesetzt. Da JADE-LEAP vollständig in Java entwickelt wurde, wird eine Java-Laufzeitumgebung auf dem mobilen Gerät vorausgesetzt. Da es sich bei dem eingesetzten PDA um ein Gerät mit eingeschränkten Ressourcen handelt, kommt die MicroEdition von Java (J2ME) zum Einsatz. Diese Java-Version kann auf vielfältige Weise mit unterschiedlichen Konfigurationen und Profilen kombiniert werden und kann somit auf Geräte mit ganz unterschiedlichen Voraussetzungen zugeschnitten werden.

Der auf dem eingesetzten PDA vorinstallierte MIDlet-Manager¹ konnte den Anforderungen dieses Projektes nicht gerecht werden. Da von Sun keine Portierung der J2ME-Plattform für Windows Mobile 2003 angeboten wird, wurde die kostenpflichtige *Websphere Micro-environment (J9) virtual machine* von IBM² eingesetzt. Nach einer Reihe von Tests stellte sich die Kombination aus J2ME mit CDC (*Connected Device Configuration*) und dem *Personal Profile*³ als geeignete Grundlage für die Umsetzung der mobilen Anwendung heraus. Gegenüber der MIDP-Variante waren dabei vor allem die bessere Unterstützung der eingesetzten Ontologien und die umfangreicheren Grafikbibliotheken für die Gestaltung der Benutzeroberfläche ausschlaggebend.

Unter JADE-LEAP kommt zwischen dem FrontEnd und dem BackEnd des Containers das eigens entwickelte JICP-Protokoll (JADE Internal Communication Protocol) zum Einsatz. JICP basiert auf TCP/IP, weshalb auf dem PDA eine entsprechende TCP/IP Verbindung zum stationären Computer aufgebaut werden muss, bevor die Plattform gestartet werden kann. Je nach eingesetztem Gerät gibt es dafür eine Reihe von Möglichkeiten (Bluetooth, WLAN, GRPS, UMTS), auf die in diesem Dokument nicht näher eingegangen werden kann.

Auf dem PDA sollen neben den Stammdaten des Patienten auch medizinische Dokumente angezeigt werden können. Diese werden im Content-Slot einer ACL-Nachricht (Agent Communication Language) an den PDA geschickt und sind entsprechend der Clinical Document Architecture (CDA) formatiert. Dabei handelt es sich um XML-Dokumente, deren Aufbau durch die CDA genau definiert ist. In diesen Dokumenten werden zudem Kodierungen nach LOINC hinterlegt.

¹ MIDlets sind Programme, die für die J2ME/CLDC/MIDP Umgebung geschrieben wurden.

² Internetseite: <http://www-306.ibm.com/software/wireless/wctme>

³ Nähere Informationen zu den Konfigurationen und Profilen der J2ME können unter <http://java.sun.com/> nachgelesen werden.

Für eine Anzeige auf dem PDA wurde ein eigener CDA-Parser entwickelt, welcher alle relevanten Daten aus den Dokumenten ausliest und sich dabei auf die Funktionen eines XML-Parsers stützt. Da es sich bei den CDA-Dokumenten weniger um umfangreiche Dokumente, als um Dokumente mit einem komplexen und variablen Aufbau handelt, wird ein *Model-Parser* eingesetzt, der zu Beginn das gesamte XML-Dokument einliest und anschließend beliebige Suchanfragen an die im Arbeitsspeicher aufgebaute Baumstruktur erlaubt. Dadurch wird die Verarbeitung der Dokumente gegenüber Push- oder Pull-Parsern deutlich vereinfacht und der Mehrverbrauch an Speicher rückt durch den geringen Umfang der Dokumente in den Hintergrund. In der konkreten Implementierung wurde der Model-Parser *Xparse-J*⁴ eingesetzt.

In Abbildung 3 ist das Ergebnis der getroffenen Architekturentscheidungen in einer Übersicht dargestellt. Beginnend bei der Netzwerkverbindung und dem Betriebssystem, sind alle Schichten bis zum agentenbasierten *Personal Assistant* zu sehen.

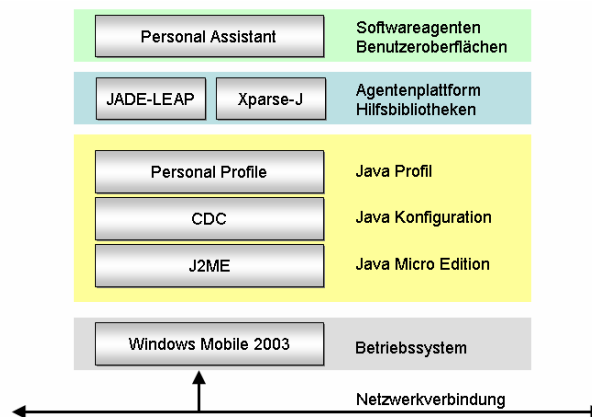


Abbildung 3: Softwarearchitektur der mobilen Anwendung (Quelle: Eigene Darstellung)

In Abbildung 4 ist der Split-Ausführungsmodus dargestellt, wie er im vorliegenden Projekt umgesetzt wurde. Dabei ist zu erkennen, dass auf dem FrontEnd (PDA) und BackEnd (PC) zwei unterschiedliche JADE-LEAP Varianten ausgeführt werden. Außerdem verteilt sich der Split-Container auf diese beiden Komponenten.

Als Kommunikationsprotokoll zwischen FrontEnd und BackEnd wird JICP eingesetzt, welches auf dem TCP/IP-Protokoll basiert. Der PDA ist deshalb über eine drahtlose TCP/IP-Netzwerkverbindung mit dem PC verbunden. Der Main-Container wird ausschließlich auf dem BackEnd ausgeführt und beherbergt die Standardkomponenten der JADE-Plattform (*Directory Facilitator (DF)*, *Agenten Management System (AMS)*, *Remote Monitoring Agent (RMA)*).

⁴ Internetseite: <http://www.webreference.com/xml/tools>

Außerdem ist auf der rechten Seite der Abbildung die prototypische Implementierung des aktiven, medizinischen Dokuments zu erkennen. Da JADE- und JADE-LEAP-Container nicht auf derselben Plattform ausgeführt werden können [Ca06], läuft ersterer auf einer eigenen JADE-Plattform und ist mit der JADE-LEAP-Plattform über ein TCP/IP-Netzwerk verbunden.

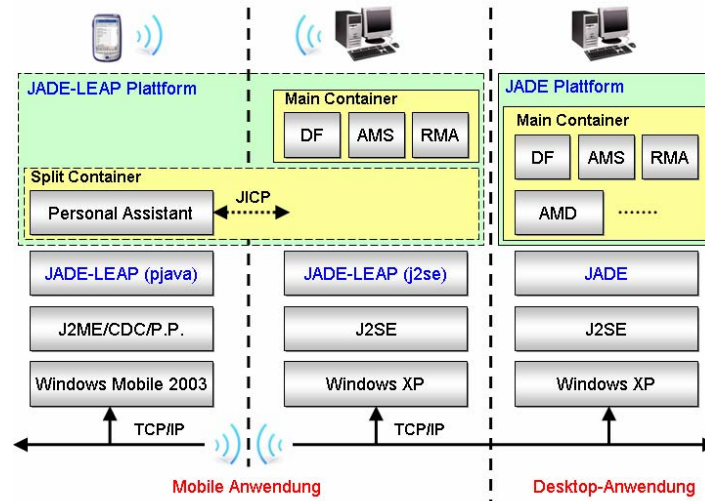


Abbildung 4: Detaillierte Darstellung der Architektur des gesamten Anwendungsszenarios (Quelle: Eigene Darstellung)

5.4 Beispielszenario

In der Portierung für das mobile Gerät wurde folgendes Szenario umgesetzt: Nach dem Starten der Anwendung ist eine Anmeldung des Benutzers erforderlich (Abbildung 5a). Daraufhin kann in einer Eingabemaske die Identifikation des gewünschten Patienten eingegeben und eine Suchanfrage abgeschickt werden. Gleichzeitig werden in der Komponente *CardReader Monitor* die eingelegten Karten des Kartenlesegerätes angezeigt (Abbildung 5b). Nur wenn die richtigen Karten eingelegt sind, kann die Suchanfrage erfolgreich ausgeführt und die Verweise auf alle freigegebenen Dokumente aus der eGK des Patienten ausgelesen werden.

Durch den stationären Prototyp der elektronischen Patientenakte werden die Dokumente aus den unterschiedlichen Informationssystemen gesammelt, zu einem AMD aggregiert und an den PDA zurückgeschickt. Dort werden zuerst in einer Übersicht alle empfangenen Daten dargestellt (Abbildung 6a). Hier kann sich der Benutzer die Stammdaten (Abbildung 6b) und jedes einzelne Dokument auf dem Bildschirm ausgeben lassen (Abbildung 6c).

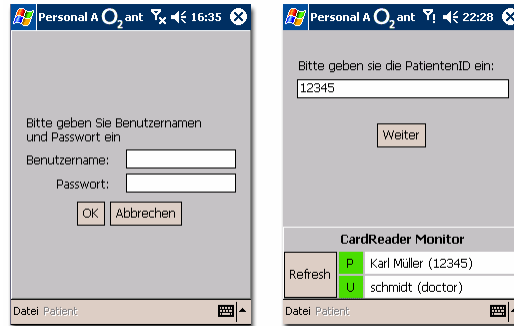


Abbildung 5: (a) Login (b) Eingabemaske für die Suchanfrage und Anzeige des Kartenleser-Monitors (Quelle: Eigene Darstellung)

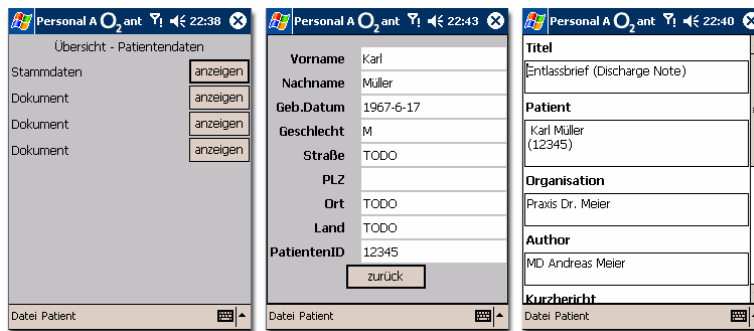


Abbildung 6: (a) Übersicht der empfangenen Dokumente (b) Anzeige der Stammdaten (c) Anzeige eines medizinischen Dokuments (Quelle: Eigene Darstellung)

6 Zusammenfassung

Die Spezifika des Gesundheitswesens verursachen informationslogistische Defizite. Um dennoch eine Bereitstellung von Informationen nach dem informationslogistischen Prinzip für einen mit durchgängigen Informationen angereicherten Behandlungsprozess umzusetzen, ist eine vollständige Digitalisierung der relevanten medizinischen Dokumente erforderlich.

Aufsetzend auf den Rahmenbedingungen der im Entstehen befindlichen, bundesweiten Telematik-Infrastruktur für die elektronische Gesundheitskarte wird eine agentenbasierte Lösung für eine elektronische Patientenakte auf ein ausgewähltes mobiles Endgerät übertragen. Die Implementierung basiert auf der Agenten-Technologie, die wegen ihrer Charakteristika wie Verteiltheit oder Autonomie der einzelnen Agenten vorteilhaft für die Abbildung des Gesundheitswesens eingesetzt werden kann. Weiterhin können die Ressourcenbeschränkungen von mobilen Endgeräten wie eingeschränkte Rechenkapazitäten oder ggf. unterbrochene Netzwerkverbindungen mit Agenten gut unterstützt werden. Aufwändige Extraktionen und Aggregationen von Dokumenten können mittels mobilen Agenten auf stationäre Rechner mit umfangreichen Kapazitäten übertragen werden. Dabei ist eine permanente Netzwerkverbindung zu mobilen Agenten nicht erforderlich. Diese Tatsache ist insbesondere im Bereich des Gesundheitswesens von Vorteil, weil dort nicht immer eine Netzabdeckung gegeben ist, aber dennoch ohne Netzabdeckung verfügbare Informationen von Interesse sind.

Die realisierte Portierung der agentenbasierten elektronischen Patientenakte auf ein ausgewähltes mobiles Endgerät verdeutlicht zum einen das generelle Einsatzpotenzial von Software-Agenten zum Lösen von informationslogistischen Problemen und zum anderen die Möglichkeit der Übertragung dieser Potenziale auch auf ein mobiles Endgerät. Damit werden die Vorteile des Mobile Computing mit denen der Software-Agenten verknüpft und schließlich ein Mehrwert hinsichtlich der Informationslogistik im Krankenhausbereich geschaffen.

7 Ausblick

Der bisherige Prototyp ist für die Anzeige von medizinischen Dokumenten aus verteilten Informationssystemen geeignet. Um jedoch das Potenzial von mobilen Endgeräten vollständig zu zeigen, ist eine Weiterentwicklung des Prototyps erforderlich, welche auch die Eingabe von Daten an ihrem Entstehungsort ermöglicht. Damit können eine wesentliche Fehlerquelle bei der manuellen Übertragung zwischen unterschiedlichen Medien vermieden und Effizienzsteigerungen im Alltag der medizinischen Versorgung erzielt werden.

8 Literaturverzeichnis

- [Au90] Augustin, S.: Information als Wettbewerbsfaktor: Informationslogistik - Herausforderung an das Management, Köln: Verlag TÜV Rheinland, 1990.
- [Ba05] Baumgart, D.C.: Personal Digital Assistants in Health Care: Experienced Clinicians in the Palm of Your Hand? *The Lancet*, 366, S. 1210-1222, 2005.
- [BKH01] Bludau, H.; Koop, A.; Herzog, W.: Mobile Computer im Gesundheitswesen: Nützliche Werkzeuge für den Arzt. *Deutsches Ärzteblatt/PraxisComputer*, 2001(3), S. 22-25, 2001.
- [BZW98] Brenner, W.; Zarnkow, R.; Wittig, H.: Intelligente Softwareagenten: Grundlagen und Anwendungen. Springer, Berlin, Heidelberg, 1998.
- [Ca06] Caire, G.: LEAP User Guide, <http://jade.tilab.com/doc/LEAPUserGuide.pdf>, zugegriffen am: 11.02.2006.

- [CB02] Czap, H.; Becker, M.: A New Scheduling Approach for Hospital Operating Theatres. *European Journal of Medical Research*, 5(Suppl. 1), S. 16-17, 2002.
- [De05] Der Bayerische Landesbeauftragte für den Datenschutz: Datenschutz Bayern: Tätigkeitsbericht 2004 des Bayerischen Landesbeauftragten für den Datenschutz (Kapitel 5: Gesundheitswesen), <http://www.datenschutz-bayern.de/tbs/tb21/k5.html>, zugegriffen am: 28.11.2005.
- [Di06] Deutsches Institut für Medizinische Dokumentation und Information: DIMDI-Webseite, www.dimdi.org/, zugegriffen am: 02.05.2006.
- [Fo04] Fowles, J.B.; Kind, A.C.; Craft, C.; Kind, E.A.; Mandel, J.L.; Adlis, S.: Patients' Interest in Reading Their Medical Record: Relation With Clinical and Sociodemographic Characteristics and Patients' Approach to Health Care. *Archives of Internal Medicine*, 164(7), S. 793-800, 2004.
- [He05] Health Level Seven Inc. Ann Arbor MI: Health Level Seven Internetseite, <http://www.hl7.org/>, zugegriffen am: 03.05.2006.
- [HHK05] Heine, C.; Herrler, R.; Kirm, S.: ADAPT@AGENT.HOSPITAL: Agent-based Optimization and Management of Clinical Processes. *International Journal of Intelligent Information Technologies (IJIT)*, 1(1), S. 30-48, 2005.
- [Ie06] IEEE Foundation for Intelligent Physical Agents: FIPA-Webseite, <http://www.fipa.org/>, zugegriffen am: 26.04.2006.
- [Je01] Jennings, N.R.: An Agent-Based Approach for Building Complex Software Systems. *Communications of the ACM*, 44(4), S. 35-41, 2001.
- [KCM05] Koutkias, V.G.; Chouvarda, I.; Maglaveras, N.: A Multiagent System Enhancing Home-Care Health Services for Chronic Disease Management. *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, 9(4), S. 528-537, 2005.
- [KMM01] Koop, A.; Matesic, R.; Mösges, R.: Erfahrungen beim Einsatz von Palm-PDAs in einer klinischen Studie. In: *Proceedings der 1.Workshop der GMDS-Projektgruppe Mobiles Computing in der Medizin*, Köln, 2001.
- [Le05] Lehmann, T.M.: *Handbuch der Medizinischen Informatik*, 2. vollständig neu bearbeitete Aufl., München, Wien: Carl Hanser, 2005.
- [MA01] Mikkelsen, G.; Aasly, J.: Concordance of information in parallel electronic and paper based patient records. *International Journal of Medical Informatics*, 63(3), S. 123-131, 2001.
- [MIS03] Moreno, A.; Isern, D.; Sánchez, D.: Provision of agent-based health care services. *AI Communications*, 16(3), S. 167-178, 2003.
- [Mü01] Müller-Wilken, S.: *Mobile Geräte in verteilten Anwendungsumgebungen: Integrationsansatz zwischen Abstraktion und Migration*. Universität Hamburg, Dissertation, 2001.
- [Pa03] Paulussen, T.O.; Herrler, R.; Hoffmann, A.; Heine, C.; Becker, M.; Franck, M.; Reinke, T.; Strasser, M.: Intelligente Softwareagenten und betriebswirtschaftliche Anwendungsszenarien im Gesundheitswesen. In: *Proceedings der Informatik 2003: Innovative Informatikanwendungen*, Frankfurt, 2003.
- [PI01] Plsek, P.: Redesigning Health Care with Insights from the Science of Complex Adaptive Systems. In: *Medicine, C.o.Q.o.H.C.i.A.I.o.* (Hrsg.), *Crossing the Quality Chasm: A New Health System for the 21st Century*, 309-322. Washington, D.C.: National Academy Press, 2001.
- [Py04] Pyper, C.; Amery, J.; Watson, M.; Crook, C.: Access to Electronic Health Records in Primary Care - A Survey of Patients' Views. *Medical Science Monitor*, 10(11), SR17-SR22, 2004.
- [Re04] Regenstrief Institute Inc.: Logical Observation Identifiers Names and Codes (LOINC®), <http://www.regenstrief.org/loinc/>, zugegriffen am: 03.01.2006.
- [Ro05] Ross, S.E.; Todd, J.; Moore, L.A.; Beaty, B.L.; Wittevrongel, L.; Lin, C.-T.: Expectations of Patients and Physicians Regarding Patient-Accessible Medical Records. *Journal of Medical Internet Research*, 7(2), Article e13, 2005.

- [Rü04] Rügge, I.: Abschlussbericht der Maßnahme mobile Anwendungen im Gesundheitswesen: [wearLab] im Technologie-Zentrum Informatik. Bremen: Universität Bremen, 2004.
- [SBK05] Schweiger, A.; Bastian, T.; Krcmar, H.: Agentenbasierte elektronische Patientenakten. In: Proceedings der 5. Workshop der GMDS-Projektgruppe Mobiles Computing in der Medizin, Universität Freiburg, 2005.
- [Sp01] Spreckelsen, C.; Lethen, C.; Heeskens, I.; Spitzer, K.: Mobile Entscheidungsunterstützung für pädiatrische Medikation. In: Proceedings der 1. Workshop der GMDS-Projektgruppe Mobiles Computing in der Medizin, Köln, 2001.
- [Te06] Telecom Italia Lab (2006). JADE-Webseite, <http://jade.tilab.com/>, zugegriffen am: 28.02.2006.
- [TWA05] Tan, J.; Wen, J.H.; Awad, N.: Health Care and Services Delivery Systems as Complex Adaptive Systems. Communications of the ACM, 48(5), S. 36-44, 2005.
- [Un05] United States National Library of Medicine: Unified Medical Language System-Webseite, <http://www.nlm.nih.gov/research/umls/>, zugegriffen am: 15.12.2005
- [Wa99] Waegemann, C.P.: Current Status of EPR Development in the US. In: Proceedings der Toward An Electronic Health Record Europe, London, 1999.
- [WJ95] Wooldridge, M.; Jennings, N.R.: Intelligent Agents: Theory and Practice. The Knowledge Engineering Review, 10(2), S. 115-152, 1995.
- [WKS05] Walker, J.; Köberle, D.; Strasser, F.: e-MOSAIC: Monitoring von Symptomen, Lebensqualität und Clinical Benefit. In: Proceedings der 5. Workshop der GMDS-Projektgruppe Mobiles Computing in der Medizin, Universität Freiburg, 2005.
- [Za04] Zachewitz, L.: MEDUSA: A Multiagent System for Establishing Electronic Healthcare Records. In: Proceedings der 16th European Conference on Artificial Intelligence (ECAI 2004) - Workshop 7: Second Workshop on Agents Applied in Health Care, Valencia, Spain, 2004.