

Please quote as: Schweiger, A.; Leimeister, J. M.; Niggemann, J.; Feussner, H. & Krcmar, H. (2006): Softwareagenten für die Überwindung von Medienbrüchen bei der Patientenversorgung - Ein Fallbeispiel aus dem Klinikum rechts der Isar der Technischen Universität München. In: HMD - Praxis der Wirtschaftsinformatik, Ausgabe/Number: 251, Vol. 43, Erscheinungsjahr/Year: 2006. Seiten/Pages: 88-100.

Softwareagenten für die Überwindung von Medienbrüchen bei der Patientenversorgung – ein Fallbeispiel aus dem Klinikum rechts der Isar der Technischen Universität München

Andreas Schweiger, Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik, TU München, schweiga@in.tum.de

Jan Marco Leimeister, Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik, TU München, leimeister@in.tum.de

Jörg Niggemann, Arbeitsgruppe für minimalinvasive interdisziplinäre therapeutische Intervention am Klinikum Rechts der Isar der TU München, niggemann@lrz.tum.de

Hubertus Feussner, Chirurgische Klinik der TU München feussner@chir.med.tu-muenchen.de

Helmut Krcmar, Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik, TU München, krcmar@in.tum.de

Abstract

Das Gesundheitswesen und insbesondere auch Krankenhäuser zeichnen sich durch hohe Verteilung und Heterogenität entlang der Phasen Prävention, Früherkennung, Behandlung und Nachsorge aus. Damit verbunden ist der Einsatz unterschiedlicher Medien und heterogener Informationssysteme. Potenziell fehlerbehaftete Datentransfers sowie zusätzlich erforderlicher Arbeitsaufwand, welche zum Verlust von Behandlungsqualität und Arbeitsineffizienz beitragen können, sind die Folge. Der Beitrag verdeutlicht, wie Softwareagenten für die Überwindung von Medienbrüchen bei der Patientenversorgung eingesetzt werden können. Nach einer Einführung in die Möglichkeiten von Softwareagenten und deren Kombination mit mobilen Endgeräten wird auf einen implementierten agentenbasierten Lösungsvorschlag für einen ausgewählten Behandlungsprozess im Klinikum rechts der Isar in München eingegangen. Die Ergebnisse verdeutlichen die grundsätzliche Eignung von Softwareagenten zur Überwindung von Medienbrüchen bei der Patientenversorgung, die wiederum zur Steigerung der Behandlungsqualität und Senkung der Behandlungskosten führen können. Abschließend werden Chancen und Risiken von Agenten für die Optimierung der Informationslogistik im Gesundheitswesen aufgezeigt und ein Ausblick auf nächste Forschungsarbeiten gegeben.

1 Informationslogistik und Medienbrüche im Gesundheitswesen

Das Gesundheitswesen zeichnet sich durch spezielle Charakteristika aus. Hinsichtlich der für den Behandlungsprozess relevanten Akteure werden Leistungsempfänger und Leistungserbringer unterschieden. Leistungserbringer können weiter in unterschiedliche Bereiche wie Krankenhäuser oder Niedergelassene mit verschiedenen Fachkompetenzen unterteilt werden. Daraus folgt eine Verteiltheit der jeweils eingesetzten Informationssystemlandschaft. Diese Eigenschaften werden durch die Tatsache verstärkt, dass die jeweiligen Leistungserbringer in der Regel autonom handeln. Dies impliziert wiederum Brüche in dem gewünschten durchgängigen Behandlungsprozess für den Patienten, der eine enge Kooperation der verteilten Leistungserbringer erfordert. Diese Phänomene können ebenfalls in einem Krankenhaus beobachtet werden, denn auch hier werden unterschiedliche Abteilungen und Leistungsstellen mit ihren jeweils spezialisierten Aufgabenträgern identifiziert, die mit unterschiedlichen Teilen eines Behandlungsprozesses betraut sind.

Das Klinikum rechts der Isar in München (MRI) dient für die folgenden Ausführungen als Referenzklinikum. Es umfasst die medizinische Fakultät der Technischen Universität München und ist ein Krankenhaus der Maximalversorgung, das sämtliche Gebiete der modernen Medizin abdeckt. Im Jahr 2003 beschäftigte es über 3.700 Mitarbeiter und verfügte über 1.133 Betten. Die Fachbereiche wie Chirurgie, Innere Medizin etc. bilden im Klinikum

rechts der Isar nicht Abteilungen, sondern weitgehend selbstständige Kliniken. Diese stehen unter je eigener ärztlicher Leitung und sind voneinander unabhängig, auch in Bezug auf die Auswahl und Verwendung von IT. Weitere Bestandteile des Klinikums sind die interdisziplinären krankheitsorientierten Zentren, zu denen jeweils mehrere Kliniken beitragen. Die einzelnen Kliniken des MRI sind nicht administrativ, aber medizinisch beinahe so selbstständig wie einzelne Krankenhäuser; insbesondere sind sie nicht rechtlich daran gebunden, für die medizinischen Funktionen wie Leistungsanforderung, medizinische Dokumentation und Befundübermittlung das gemeinsame Klinikinformationssystem zu nutzen. Jede Klinik hat die Möglichkeit, eigene IT Lösungen einzuführen. Z.B. das Tumor-Therapie-Zentrum wird wie eine Arztpraxis verwaltet und setzt ein Praxis-Informationssystem ein. Dieses hat keinen Zugriff auf das zentrale KIS. Wenn nicht anders bezeichnet, werden in den folgenden Beispielen die Verhältnisse in der Chirurgischen Klinik und Poliklinik beschrieben, wie sie im gewählten Behandlungsprozess des kolorektalen Karzinoms tatsächlich zu beobachten sind.

Als Folge der beschriebenen Spezifika im Gesundheitswesen können signifikante informationslogistische Defizite identifiziert werden. Nach *Augustin* [Augustin 1990] wird der Terminus „informationslogistisches Prinzip“ 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 aktuelle Situation im Gesundheitswesen ist jedoch weit von diesem Ideal entfernt. Die strikte Trennung zwischen ambulantem und stationärem Sektor hat bspw. zur Folge, dass zur Informationsspeicherung und –verarbeitung sowie zur Kommunikation nicht nur verteilte Systeme, sondern oftmals auch unterschiedliche Medien eingesetzt werden.

Im MRI existiert neben den Einträgen im KIS für jeden Patienten eine Papierakte. Darin werden alle von außen (Hausärzte etc) stammenden Dokumente gesammelt. Zudem werden aber auch innerhalb des Klinikums Papierdokumente produziert und hier abgelegt: Die Chirurgische Klinik bekommt z.B. von der Kardiologie die EKG-Befunde der Patienten als Fax, d.h. auf Papier. Laborzettel sind eine weitere Form von Papier. Sind Fragen offen, so werden sie telefonisch zwischen dem Stationsarzt und z.B. dem Kardiologen geklärt, solche Gespräche werden nicht immer vollständig dokumentiert.

Als Folge werden Inkonsistenzen in den erfassten Daten beobachtet [Mikkelsen & Aasly 2001]. Eine weitere Folge von Medienbrüchen ist eine fehlerträchtige Übertragung von Daten in das Zielmedium. Dieser Datentransfer impliziert durch Mehraufwände einen Arbeitseffizienzverlust.

Im MRI schreibt der Stationsarzt bei der Entlassung den Entlassungsbrief. Hierzu müsste er alle Papierdokumente und alle Einträge in der elektronischen Patientenakte durchsehen. Aus Zeitmangel geschieht dies oft nicht, so dass er wichtige „Nebeninformation“ wie z.B. über eine neu festgestellte Allergie des Patienten übersehen könnte und dann nicht im Entlassungsbrief aufführt. Der weiterbehandelnde Arzt hat aber nur diesen Entlassungsbrief als Behandlungsgrundlage. Auch bei einer Neuaufnahme des Patienten im MRI stehen dem dann zuständigen Arzt zwar alle alten Untersuchungsergebnisse wieder zur Verfügung, er wird aber nicht routinemäßig darin nachsehen, wenn er keine besondere Veranlassung dazu sieht.

Die Existenz von Medienbrüchen impliziert die Notwendigkeit einer vollständigen Digitalisierung aller relevanten Informationen, die wiederum die Aggregation von Daten über

einen einheitlichen Standard voraussetzt. Hier ist zwischen einer digitalen Dokumentensicht und einer digitalen Informationssicht zu unterscheiden: Nicht gemeint ist hier die Dokumentensicht, die z.B. durch das alleinige Scannen von Dokumenten entsteht. Denn dies allein schafft keinen Mehrwert hinsichtlich der automatisierten Weiterverarbeitung von Informationen. Für die Informationssicht ist zusätzlich die Strukturierung von Dokumenten erforderlich.

Auch moderne Klinikinformationssysteme im MRI speichern Befundberichte etc. als Dokumente. Eingescannte Arztbriefe werden als Bild- oder pdf-Datei abgelegt, klinkintern erzeugte Dokumente bestenfalls als Text, sonst aber ebenfalls im pdf-Format. Will der Arzt z.B. über die Herzfunktion des Patienten nachsehen, so muss er selbst im EKG-Befund nachlesen. Das System zeigt diesen bequem und leicht auffindbar an, von der Perspektive der Informationsverarbeitung her ist dies aber nicht wesentlich besser als das „alte“ Vorgehen des Nachlesens in der Papierakte (das ja im Fall des EKG im rechts der Isar noch notwendig ist). Ein Dokumenten-orientiertes System kann nicht direkt die Information „Rhythmusstörungen“ oder „kein pathologischer Befund“ anzeigen, was viel weniger mühsam wäre. Es kann vor allem auch keine automatischen Warnungen anzeigen oder alles „wichtige“ automatisch in einer Übersicht oder einem Arztbrief zusammenfassen, da es die einzelnen Informationen ja gar nicht hat. Für solche Funktionen wie auch für die hier vorgestellten Agentensysteme ist es notwendig, jede einzelne Information als solche abzuspeichern.

Diese Entwicklung zur digitalen Informationsintegration erfolgt jedoch meist in mehreren Schritten. Oftmals werden dabei fünf Stufen der zunehmenden Digitalisierung differenziert [Waegemann 1999]:

1. *Automated Medical Record*: Vereinzelt arbeiten Abteilungen mit EDV-Systemen.
2. *Computerized Medical Record*: Die eingesetzten IT-Systeme werden durch digitale Archive ergänzt.
3. *Provider-based Electronic Medical Record*: Das System erlaubt eine vollständige, elektronische medizinische Dokumentation innerhalb einer Institution.
4. *Electronic Patient Record*: Medizinische Daten werden über Institutionsgrenzen hinweg zusammengeführt.
5. *Electronic Health Record*: Der Zugang zu den medizinischen Daten wird durch den mündigen Bürger kontrolliert, mit der Möglichkeit, selbstständig Daten zu seiner Gesundheitsakte hinzuzufügen.

Das Klinikum rechts der Isar befindet sich in dieser Ordnung auf Stufe 2.

Zur Kommunikation zwischen den Akteuren und mit den verschiedenen IT-Systemen sind Standards zwingend erforderlich. Heute existieren im Gesundheitswesen verschiedene syntaktische und semantische Standards. Der Einsatz der verschiedenen Standards in den unterschiedlichen Dienstleistungssektoren des Gesundheitswesens stellt eines der größten Probleme bei der elektronischen Kommunikation zwischen Krankenhäusern und der ambulanten Versorgung [Lenz et al. 2005] dar.

Um die Dienstleistungen im Gesundheitswesen zu verbessern und Kosten einzusparen ist zunächst das Problem der Interoperabilität zu lösen.

Die Übermittlung medizinischer Daten ist zwar im Klinikum rechts der Isar nicht durchgängig möglich, administrative Daten jedoch werden zwischen allen Teilsystemen ausgetauscht. Dies geschieht über ein einen dedizierten HL7-Kommunikationsserver („Cloverleaf“). Eine solche Vermittlungsstelle ist notwendig, da der Standard HL7 unvollständig ist und von den Herstellern unterschiedlich ausgelegt wird.

2 Lösungsansätze

2.1 Auf dem Weg zur Vision „Seamless Healthcare“

Um die identifizierten informationslogistischen Defizite zu reduzieren, wird das Paradigma „Seamless Healthcare“ vorgeschlagen. Die Umsetzung dieser Vision, die eine optimale Informationslogistik zur Verbesserung von Kommunikation, Koordination und Kooperation bei der Patientenversorgung über die Zeit hinweg zum Ziele hat (vgl. hierzu bspw. Mann 2005), kann dazu beitragen, die Qualität im Behandlungsprozess zu steigern und Kosten zu reduzieren. Dementsprechend impliziert „Seamless Healthcare“ die Vernetzung aller Informationssysteme. Da hierdurch alle relevanten Daten für die Leistungserbringer zur Verfügung gestellt werden sollen, können medizinische Fehler reduziert, mögliche Mehrfachuntersuchungen ausgeschlossen sowie durch Medienbrüche induzierte potenzielle Übertragungsfehler und zusätzlicher Arbeitsaufwand reduziert werden.

Für eine durchgängige Vernetzung ist eine geeignete Infrastruktur erforderlich, die mit der im Entstehen befindlichen Telematik-Infrastruktur für die elektronische Gesundheitskarte gegeben ist¹. Mit dieser sog. Lösungsarchitektur sollen die Informationssysteme der Leistungserbringer, Kostenträger und Patienten digital verknüpft werden. Die elektronische Gesundheitskarte fungiert hierbei als Wegbereiter für die elektronische Patientenakte. Ein möglicher Realisierungsansatz legt dazu auf der elektronischen Gesundheitskarte eine Linksammlung ab, welche auf die eigentlichen Speicherorte bisheriger Untersuchungsergebnisse verweist.

2.2 Einsatzpotenziale für Software-Agenten

Die zuvor angerissene Komplexität des Gesundheitswesens bzw. von Krankenhäusern verdeutlicht einige Schwierigkeiten für die durchgängige IT-Unterstützung entlang von Behandlungsprozessen. Obwohl durchgängige Informationssysteme für Krankenhäuser existieren, müssten sich alle Kliniken auf Standards einigen – oftmals würde dies bedeuten, alle Informationssysteme vom gleichen Hersteller zu beschaffen, auch wenn die Funktionen des Systems für ein spezielles Fachgebiet unzureichend sein sollten. Um die Komplexität adäquat auf Konstrukte der Softwaretechnik abbilden zu können, wird ein Abstraktionsmechanismus benötigt, der die Verteilung, die Autonomie der Akteure sowie ihre Interaktionen berücksichtigen kann. Um diese Probleme adäquat abzubilden, wird im Folgenden das Agentenparadigma vorgeschlagen.

Ein Software-Agent kann nach Wooldridge [1995] als eine Software-Einheit definiert werden, welche die Eigenschaften der Autonomie, Reaktivität, Proaktivität und sozialen Fähigkeit besitzt:

- Agenten können *autonom*, d.h. ohne direkte Intervention durch Menschen, handeln und besitzen die Kontrolle über ihre eigenen Aktionen und ihren internen Zustand.
- Agenten sind in der Lage, ihre Umwelt wahrzunehmen und auf Veränderungen flexibel zu *reagieren*.
- Agenten sind nicht nur reaktiv, sondern besitzen zielgerichtetes, *proaktives* Verhalten, das sich in der Eigeninitiative für Aktionen manifestiert.
- Agenten können mit anderen Agenten über Agentenkommunikationssprachen interagieren, um gemeinsam bestimmte Ziele zu lösen, zu denen sie alleine nicht in der Lage wären (*soziale Fähigkeit*).

¹ Vgl. hierzu auch <http://www.die-gesundheitskarte.de>, <http://www.gematik.de> und <http://www.dimdi.org/static/de/ehealth/karte/index.htm>.

Mit der zuletzt genannten Eigenschaft schließt sich der Übergang zu einem Multi-agentensystem an: Ein solches System ist ein Verbund von mehreren Agenten, die gemeinsam ein Ziel anstreben und dabei kooperieren.

In diesem Zusammenhang wird oftmals auch die Eigenschaft der *Mobilität* genannt. Zu berücksichtigen ist hier jedoch, dass mit diesem Charakteristikum Sicherheitslücken entstehen können. Ein Lösungsansatz besteht darin statt der Mobilität virtuelle Organisationen [Kamel Boulos et al. 2006] zu etablieren, um so Mobilität nachzubilden, ohne Sicherheitsrisiken hinzuzufügen. Weil für die Umsetzung dieser Idee noch Lösungen ausstehen, muss im Operativbetrieb oftmals vorerst auf mobile Agenten verzichtet werden.

Empirische Untersuchungen in Kliniken (vgl. hierzu auch Kirn et al. 2006) verdeutlichen, dass eine Großzahl der informationslogistischen Probleme des Gesundheitswesens bzw. von Kliniken auf die folgenden Kriterien zurückgeführt werden können:

- Verteilung
- Autonomie
- Interaktionen
- Komplexität
- Flexibilität

Dies deckt sich mit den zuvor aufgeführten Eigenschaften von Agentensystemen, es lassen sich hiermit verteilte Systeme geeignet abbilden und sie reflektieren die spezialisierte Aufteilung des Gesundheitswesens. Software-Agenten als inhärent verteiltes System können dazu eingesetzt werden, die in den verteilten Informationssystemen vorliegenden Daten adäquat zu aggregieren und somit die Ergebnisse früherer Behandlungsepisoden aus der ambulanten oder stationären Versorgung zur Verfügung stellen. Jennings [Jennings 2001] beschreibt, dass sich Software-Agenten als vorteilhaft erweisen, wenn komplexe Software-Systeme zu konstruieren sind. Interaktionen zur Kooperation, Koordination und Kommunikation können mit Agenten mit ihren expliziten Interaktionsmustern auf der Basis von Sprechakten abgebildet werden. Agenten können die in der Domäne Gesundheitswesen erforderliche Flexibilität abbilden, weil sie in der Lage sind, auf Veränderungen in ihrer Umwelt geeignet zu reagieren.

So können Agentensysteme Medienbrüche zwischen IT-Systemen überwinden helfen, die heute noch die Verwendung von Papier erforderlich machen.

Befundberichte aus der Urologie, der Gynäkologie und der Kardiologie des MRI werden zwar zunächst elektronisch erfasst, dann aber als Papier oder per Fax an die Chirurgie übermittelt, weil die IT-Systeme der genannten Stellen keine geeignete Schnittstelle zum KIS haben.

Agentensysteme erlauben Vorteile auf zwei Ebenen: Auf inhaltlicher Ebene können sie als Informations-Broker fungieren und dabei Medienbrüche zwischen den verteilten Informationssystemen reduzieren. Auf technischer Ebene eignen sich mobile Agenten auch für stark Ressourcen belastende Teilaufgaben, die aus Kapazitätsgründen nicht auf dem Rechner des Endanwenders, sondern direkt an den Speicherorten der Daten ausgeführt werden können.

Gemäß der zuvor dargestellten Stufen der Digitalisierung ermöglichen Softwareagenten in einem Krankenhaus den Übergang zur vollständigen elektronischen medizinischen Dokumentation innerhalb einer Institution und können darüber hinaus einen Mehrwert durch Zusatzfunktionen schaffen.

Im Gesundheitswesen können insbesondere Flexibilität und fehlende Vorhersagbarkeit von Abläufen beobachtet werden [Lockemann et al. 2006, 6]. Ausprägungen von Behandlungsprozessen sind abhängig vom Patienten, seiner Krankheit, zur Verfügung

stehenden Maßnahmen und dem betreuenden Personal. Abläufe können zudem durch unvorhersehbare Ereignisse wie Notfälle Veränderungen unterliegen. Lösungsansätze für unterstützende Informationssysteme müssen sich hinsichtlich ihrer Eignung an dieser Flexibilität messen lassen. Agentensysteme bieten bezüglich ihres Potenzials für Flexibilität [Kirn 2006] dabei einen herausragenden Status gegenüber anderen Ansätzen.

Web basierte Ansätze auf der Grundlage der Serviceorientierung bspw. zeichnen sich zwar auch durch flexible Anpassungsmöglichkeiten an Veränderungen im Unternehmensumfeld aus. Die flexible Anpassung erfolgt jedoch vor der Produktivstellung des Systems, eine während der Laufzeit erforderliche Umkonfiguration ist nicht ohne weiteres möglich. Hier zeigen sich die Qualitäten von Agentensystemen, die in der Lage sein können, sich dynamisch an ein sich verändernde Umwelt anzupassen. Die in diesem Beitrag beschriebene Lösung erhebt jedoch noch nicht den Anspruch, dieser Eigenschaft vollständig gerecht zu werden, denn die implementierte Gateway-Funktionalität der Agenten könnte auch z.B. durch einen Web basierten Ansatz realisiert werden. Vielmehr wird eine technische Grundlage für weitere Entwicklungen geschaffen, um zukünftig Flexibilität unterstützen zu können. Mit der vorgelegten Lösung werden grundlegende Problemstellungen der Interoperabilität oder Medienbrüche im Gesundheitswesen gelöst. Damit zeichnet sich die Lösung hinsichtlich ihrer Innovativität aus.

2.3 Einsatzpotenziale für mobile Endgeräte

Auch Agenten können erst dann einen Mehrwert schaffen, wenn vollständig digitale Dokumente vorliegen. Um die Bewältigung analoger und digitaler Medien einfacher zu gestalten, empfiehlt sich, die Produktion von Papierdokumenten von vornherein weitestgehend zu vermeiden. Hierzu können mobile Endgeräte von Vorteil sein. Es existieren diverse Arbeitsabläufe im Krankenhaus, die sich speziell durch den Einsatz von mobilen Geräten effizienter gestalten lassen und somit einen Mehrwert für Personal und Patienten bieten, z.B.:

- Befund- und Leistungsdokumentation [Der Bayerische Landesbeauftragte für den Datenschutz 2005]
- Prozessbegleitung bei der Visite [Rügge 2004]
- Unterstützung des Pflegepersonals bei Routinetätigkeiten
- Unterstützung bei der Terminverwaltung [Lehmann 2005]
- Unterstützung und Einbeziehung des Patienten in Dokumentationsaufgaben (Leimeister et al. 2005)
- Fragebögen zur Erfassung des subjektiven Befindens von Patienten [Walker et al. 2005]
- Unterstützung bei der Erstellung von Studienprotokollen [Koop et al. 2001]
- Visualisierung von medizinischen Sachverhalten [Bludau et al. 2001]
- Entscheidungsunterstützung [Spreckelsen et al. 2001]
- Mobile Geräte als Arzneimittelverzeichnis und Medizin-Kompendien [Baumgart 2005]

Im Klinikum rechts der Isar werden die von der Anästhesie erstellten Dokumente „Anästhesieprotokoll“ und „Prämedikationsprotokoll“ ausdrücklich deswegen auf Papier erstellt, weil im Operationssaal und am Patientenbett keine geeigneten Eingabegeräte für eine elektronische Dokumentation zur Verfügung stehen. Von der Industrie werden inzwischen mobile Geräte für genau diese Einsatzbereiche angeboten, die aber jeweils an ein bestimmtes Anästhesie- Informationssystem (AIS) gebunden sind. Diese AIS wiederum können ihrerseits nicht mit jedem KIS kommunizieren. Auch innerhalb der Chirurgie werden am Patientenbett

anfallende Informationen handschriftlich notiert: Die Anamnese, Untersuchungsbefunde, ärztliche Anordnungen und die Pflegedokumentation.

Es wird ersichtlich, dass durch den Einsatz von mobilen Geräten der Mehrbelastung durch die ständig steigende Dokumentationspflicht entgegengewirkt werden kann. Informationen sind an jedem Ort und zu jeder Zeit abrufbar und erfassbar. Die mehrfache Erfassung von Daten kann somit vermieden werden und eine Menge von Arbeitsabläufen kann effizienter gestaltet werden. Durch die höhere Verfügbarkeit von Daten kann zudem die Behandlungsqualität für den Patienten verbessert werden. Durch mobile Endgeräte kann am Behandlungsprozess beteiligten Akteuren die Möglichkeit der orts- und institutionsunabhängigen sowie einer weniger vom Zugangsgerät abhängigen Behandlung eröffnet werden.

Eine besondere technische Herausforderung liegt aber im Bereich der Kombination von Softwareagenten und mobilen Endgeräten. Die Ressourcen von mobilen Endgeräten sind im Vergleich zu stationären Geräten beschränkt. Eine typische Agentenplattform benötigt zur Laufzeit etwa 16 MB Speicherkapazität. Nicht eingeschlossen ist der Speicherbedarf für die eigentliche Anwendung sowie ihre Agenten. Deshalb konnten die für eine Agentenplattform notwendigen Anforderungen vom mobilen Endgerät zunächst nicht erfüllt werden. Die von Berger et al. [Berger et al. 2001] vorgestellte Portierung einer Agentenplattform auf mobile Endgeräte benötigt in der Version 1.0 in der Ausführung als ein Lightweight-Container auf der Java-Plattform KVM mit der Ausführungsumgebung J2ME/CLDC lediglich 27 KB Heap-Speicher [Berger et al. 2005, 15] und bringt damit Agentenplattformen auf mobile Endgeräte. Es bleiben aber diverse technische Herausforderungen bestehen.

Sowohl wegen des Zeitdrucks im Behandlungsprozess als auch wegen der Begrenzung der Darstellungsmöglichkeiten auf einem mobilen Endgerät ist eine einfache GUI-Darstellung eines Informationssystems auf einem mobilen Endgerät unzureichend. Benötigt werden relevante Informationen aus den verteilten Informationssystemen, die geeignet für das Endgerät aufbereitet werden.

Um die genannten Anforderungen zu erfüllen, wird das Konzept des aktiven, medizinischen Dokuments (AMD) vorgeschlagen, welches zur Informationsintegration und damit zur Realisierung des logistischen Prinzips dient. Realisiert ist ein solches Dokument als kompositer Software-Agent [Schweiger et al. 2005]. In solchen Artefakten werden neben medizinischen auch koordinative und administrative Informationen gekapselt. Die Informationen aus lokal verteilten Quellen werden von dedizierten Agenten extrahiert und im AMD aggregiert. Dieses wird zur Laufzeit ohne Persistenz zusammengestellt und entsprechend dem Informationsbedarf des Benutzers aufbereitet. Ein AMD ist gekapselt durch einen einzigen Eintrittspunkt, um damit Aspekte von Zugriffsberechtigungen und damit der Datensicherheit berücksichtigen zu können. Die Herausforderung besteht nun in der Portierung des AMD auf ein mobiles Endgerät. Wesentliche Schwierigkeiten können dabei u.a. in geringen Datenübertragungsraten, Verbindungsabbrüchen sowie der dynamischen IP-Adressenvergabe identifiziert werden [Caire et al. 2002].

3 Agentenbasierte Lösung für die institutionen- und aktorsübergreifende Behandlungsunterstützung

Basierend auf diversen ethnographischen Studien, die sich mit den Anforderungen ausgewählter klinischer Behandlungspfade beschäftigen, und vor dem Hintergrund der Vorgaben der Telematikrahmenarchitektur wird eine agentenbasierte Lösung für die

institutionen- und akteursübergreifende Behandlungsunterstützung im Referenzklinikum vorgestellt.

Als Anwendungsfall wurde die Behandlung des kolorektalen Karzinoms im MRI gewählt, eine sehr häufige, prinzipiell kurativ behandelbare Krankheitsentität, für die fast alle modernen diagnostischen (z.B. molecular Imaging, CT, MR, PET) und therapeutischen (endoskopische Therapie, minimalinvasive Chirurgie, offene konventionelle Chirurgie, Chemotherapie und Strahlentherapie) Verfahren eingesetzt werden. An der Prävention, Früherkennung, Behandlung und Nachsorge ist ein sehr breites Spektrum medizinischer Disziplinen beteiligt. Somit wird die interdisziplinäre und verteilte Kooperation und Kommunikation der involvierten Leistungserbringer fokussiert.

3.1 Fachkonzept

Hinsichtlich Architektur wird der Prototyp für eine stationäre Anwendung zur Realisierung einer agentenbasierten elektronischen Patientenakte [Schweiger et al. 2005] mit einer mobilen Komponente erweitert. Im Zentrum befindet sich das aktive Medizinische Dokument (AMD), welches Daten aus externen Informationsquellen (Krankenhausinformationssystem, Radiologieinformationssystem, Kardiologieinformationssystem, Tumorboardinformationssystem) aggregiert und temporär speichert. Ein AMD ist als kompositier Software-Agent implementiert, in dem neben medizinischen auch koordinative und administrative Informationen gekapselt werden. 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. Ein dedizierter Agent stellt den einzigen Eintrittspunkt zu den Informationen dar. Somit können unterschiedliche Sichtweisen auf Dokumente, die sich aus Berechtigungen ergeben, berücksichtigt werden.

Für den Benutzer steht das System in Form einer Benutzeroberfläche (Personal Assistant) zur Verfügung. Zur Laufzeit wird vorausgesetzt, dass der Heilberufsausweis des Benutzers und die elektronische Gesundheitskarte des Patienten im hier (simulierten) Kartenlesegerät eingelegt sind, um die verteilten Speicherorte in die Anwendung zu integrieren. Die mobile Erweiterung des Prototyps erlaubt es, die Funktionen des bestehenden Softwaresystems auch von einem mobilen Gerät aus nutzen zu können.

3.2 Implementierung

Abbildung 1 verdeutlicht die technische Architektur des implementierten Systems. Der Prototyp basiert auf der Agentenplattform JADE [Telecom Italia Lab 2006]. Diese Plattform wurde gewählt, weil es sich hierbei um eine in der wissenschaftlichen Gemeinschaft etablierte Umgebung handelt und sie den FIPA-Standard [IEEE 2006] zur Interoperabilität von Agenten unterstützt. Die spezielle JADE-LEAP-Erweiterung für Geräte mit eingeschränkten Ressourcen läuft im Split-Ausführungsmodus. Dabei wird der Container, in dem die Agenten laufen, in ein Front End auf dem mobilen Gerät und einem Backend auf dem Host aufgeteilt. Dieser Ausführungsmodus ist deswegen für ressourcenbeschränkte Geräte geeignet, da das Front End leichtgewichtiger ist als der komplette Container. Zwischen dem Front End und dem Backend des Containers kommt das proprietäre 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. Mit der Mediator basierenden JICP-Lösung können temporäre Verbindungsabbrüche maskiert werden [Caire et al. 2002]. Während des Verbindungsabbruches eingetroffene Nachrichten werden in einem Puffer vorgehalten und können bei der Verbindungswiederaufnahme abgerufen werden. Auch ein Wechsel der IP-Adresse beim Wiedereintritt des mobilen Gerätes in das Netzwerk wird mit diesem Ansatz vor den übrigen Anwendungen verborgen. Es ist zu bemerken, dass auf dem Front End (PDA) und Backend (PC) zwei unterschiedliche JADE-LEAP Varianten ausgeführt werden. Außerdem verteilt sich der Split-Container auf diese beiden Komponenten. Der Main-Container wird ausschließlich auf dem Backend ausgeführt und beherbergt die Standardkomponenten der JADE-Plattform (Directory Facilitator (DF), Agent Management System (AMS), Remote Monitoring Agent (RMA)) und übernimmt damit auch die hauptsächliche Netzwerkkommunikation, um die Bandbreite des mobilen Geräts Ressourcen schonend einzusetzen. Der DF stellt ein Gelbe-Seiten-Verzeichnis dar, bei dem Agenten ihre Dienste registrieren, um sie anderen Agenten zur Verfügung zu stellen. Das Agent Management System ist verantwortlich für das Lebenszyklusmanagement der auf der Plattform existierenden Agenten. Der RMA repräsentiert die grafische Bedienoberfläche der Agentenplattform.

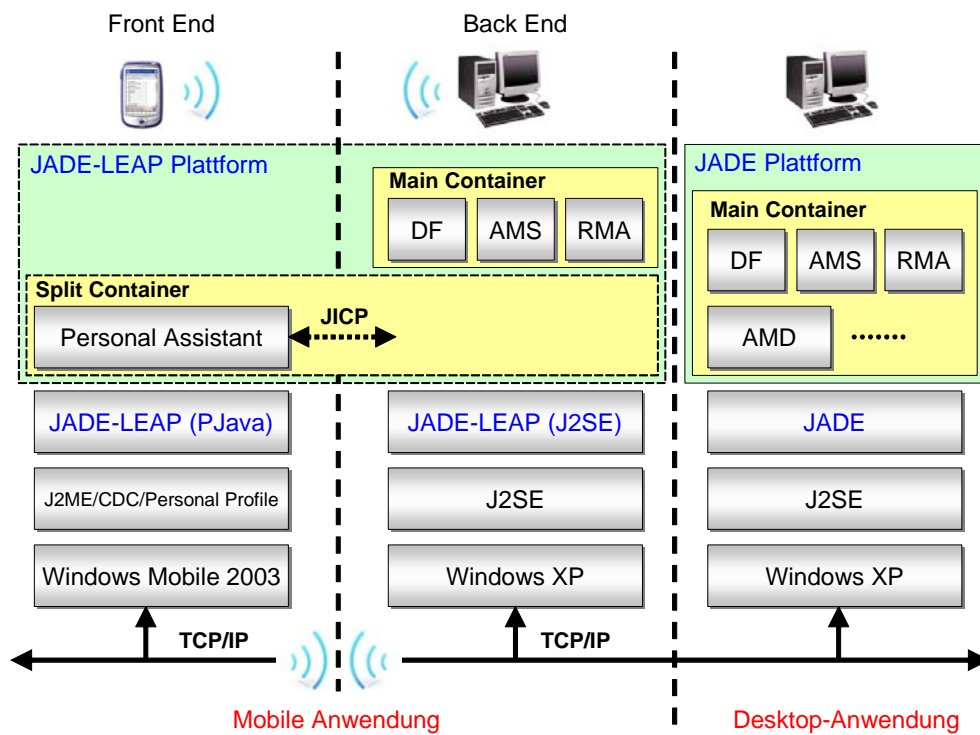


Abbildung 1: Detaillierte Darstellung der Architektur des gesamten Anwendungsszenarios (Erläuterung der Akronyme im Text)

Quelle: [Schweiger et al 2006]

Auf der Basis des Betriebssystems Windows Mobile 2003 kommt die Java Micro Edition (J2ME) mit CDC (Connected Device Configuration) und dem Personal Profile zum Einsatz. Darauf wird die PJava-Konfiguration aufgesetzt. Auf dem PDA sollen u.a. medizinische Dokumente angezeigt werden, welche entsprechend der Clinical Document Architecture (CDA) formatiert sind. Dabei handelt es sich um XML-Dokumente, deren Aufbau durch die CDA genau definiert ist. In diesen Dokumenten werden zudem Kodierungen nach LOINC hinterlegt. Für eine Anzeige der Dokumente auf dem PDA wurde ein eigener Parser entwickelt, welcher alle relevanten Daten aus den medizinischen Dokumenten ausliest und sich dabei auf die Funktionen eines XML-Parsers stützt.

Außerdem zeigt die rechte Seite der Abbildung 1 die prototypische Implementierung des AMD, welches auf einer vollwertigen JADE-Plattform läuft. Da JADE- und JADE-LEAP-Container nicht auf derselben Plattform ausgeführt werden können, läuft ersterer auf einer eigenen JADE-Plattform und ist mit der JADE-LEAP-Plattform über ein TCP/IP-Netzwerk verbunden.

3.3 Schnittstellen zu den Informationssystemen

Die zu integrierenden Schnittstellen der Informationssysteme werden durch Gateway-Agenten in das Agentensystem eingebettet (vgl. Abbildung 2). Anfragen vom AMD an diese Agenten werden in die Funktionsaufrufe an das jeweilige Informationssystem transformiert. Die Ergebnisse der Anfrage werden wiederum in eine Agentennachricht eingebettet, um vom AMD weiterverarbeitet werden zu können. Die strukturiert vorliegenden Informationen in den jeweiligen Informationssystemen werden markiert, ob der jeweilige Befund pathologisch ist (in der Abbildung mit einem Kreuz gekennzeichnet). Damit wird die Relevanz des Dokumenteninhalts für die weitere Entscheidungsfindung angegeben. Bei der Implementierung handelt es sich um eine prototypische Entwicklung, deshalb wird beispielhaft das AMD an das weit verbreitete KIS i.s.h.med angebunden. Die übrigen Systeme werden über geeignete Komponenten simuliert, wobei die Schnittstellen, die durch Agenten realisiert sind, wie in einem Realsystem konstruiert sind.

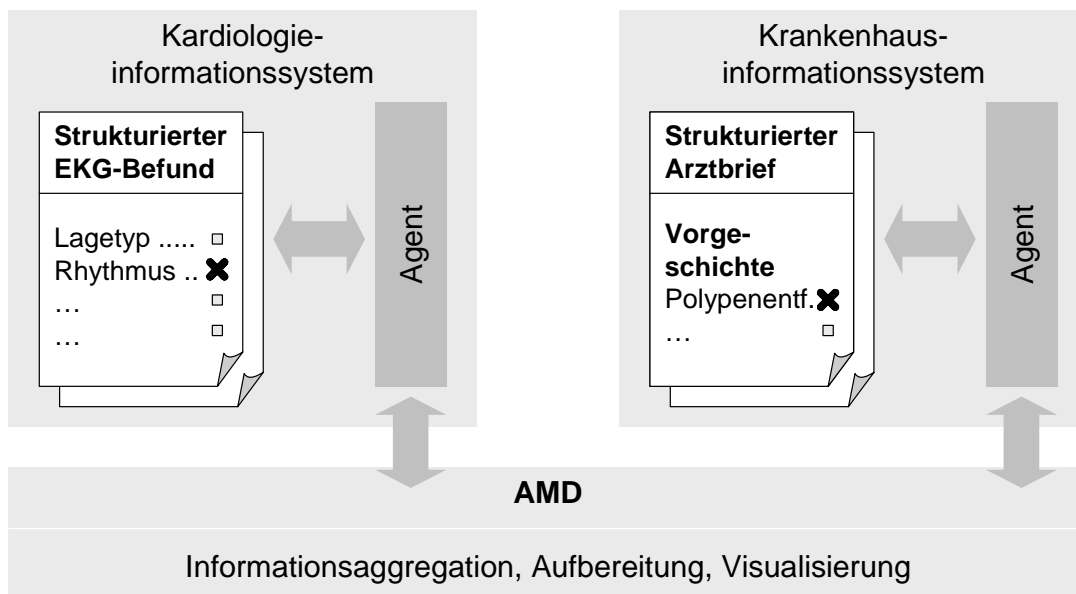


Abbildung 2: Integration von Informationssystemen in das Agentensystem

Quelle: Eigene Darstellung

3.4 Erste Erfahrungen und Nutzenbewertung

Insgesamt kann festgestellt werden, dass die Agententechnologie einen deutlichen Mehrwert zur Lösung informationslogistischer Problemstellungen beitragen kann. In der prototypischen Implementierung wurde ein grundlegender Lösungsansatz auf seine Tragfähigkeit untersucht. Als Ergebnis kann konstatiert werden, dass dieser Ansatz grundsätzlich geeignet ist, die identifizierten Problemstellungen zu lösen.

Für eine virtuelle Patientenakte ist ein einheitlicher Standard erforderlich. Im intraklinischen Bereich stellte sich heraus, dass bereits ein Mehrwert durch die Existenz eines syntaktischen Standards erzielt werden kann.

Aus technischer Sicht erwies sich die verwendete Agentenplattform als stabil genug, um auf dieser Basis die prototypische Implementierung sowohl auf stationären als auch auf mobilen Endgeräten zu konstruieren.

Eine Evaluation in Echtbetrieb muss Aussagen liefern über Akzeptanz, wahrgenommene Vor- und Nachteile, Usability, Wirtschaftlichkeit sowie notwendige sozio-technische Arrangements in Aufbau- und Ablauforganisation zur Verbesserung der Gesamtperformanz im Anwendungsfeld.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Die Informationslogistik im Gesundheitswesen zeigt heute in und zwischen Institutionen erhebliche Defizite. Ein Ansatz zur Verbesserung ist der Softwareagenten-Ansatz für die Umsetzung der Zukunftsvision des Seamless Healthcare. Das hier im Anwendungsfall beschriebene und bereits prototypisch implementierte Beispiel einer agentenbasierten Lösung zeigt die grundsätzliche Eignung für die Verbesserung der Informationslogistik in Krankenhäusern, es bleiben aber insbesondere noch Erfahrungen im Feldbetrieb zu sammeln.

4.1 Chancen und Risiken

Weitere Chancen von Agenten im Gesundheitswesen bestehen in der Möglichkeit der Aggregation von Informationen anhand von Profilen. Weiterhin können Watchdog-Funktionen einen Mehrwert leisten, indem sie ständig z.B. auf allergische Unverträglichkeiten von Medikamenten überprüfen. Ein weiteres Potenzial besteht in der klinikumsinternen Prozesssteuerung, bei denen bspw. Agenten Scheduling-Probleme dezentral lösen können. Der daran anknüpfende nächste große Schritt liegt in der Optimierung des gesamten Patientenwegs über Institutionen und über die Zeit hinweg, auch hier bieten Agenten zahlreiche Chancen.

Neben einigen technisch bedingten, inzwischen jedoch überwindbaren Grenzen hinsichtlich der Verbreitung von Agentensystemen lassen sich auch systeminhärente Nachteile identifizieren. Mit einem verteilten System, wie es Agentensysteme darstellen, werden entsprechend der Anzahl der Agenten potenzielle Sicherheitsrisiken eingeführt. Um erforderliche Sicherheitseigenschaften zu berücksichtigen, wird die Erweiterung JADE-S entwickelt, welche Mechanismen für die Authentifizierung, Verschlüsselung und Signatur bereitstellt. Obwohl damit wesentliche Sicherheitseigenschaften umgesetzt werden können, bleibt dennoch die Gefahr der Manipulation von Hosts durch mobile Agenten und umgekehrt bestehen. Eine Lösung wurde bisher nur durch Verzicht auf mobile Agenten erreicht [Kamel Boulos et al. 2006].

4.2 Notwendige zukünftige Forschungsarbeiten

Einem Einsatz des Prototyps in der klinischen Erprobung steht die Tatsache entgegen, dass die im Referenzklinikum eingesetzten Informationssysteme keine durchgehende Informationssicht anbieten, sondern im Wesentlichen nur die Dokumentensicht unterstützen. Aus diesem Grund sind Erprobungssysteme mit manuell kodierten vollständigen Informationen zu konstruieren. Für deren Integration in das Agentensystem eignet sich der vorgestellte Ansatz, denn die Schnittstellen zwischen dem AMD und den externen Systemen sind skalierbar ausgelegt. Ein AMD mit implementierter Aktivität, das selektiv Informationen, und nicht nur digitale Dokumente, entsprechend einem Profil aggregiert, kann bis dato nicht implementiert werden, weil diese Art der Informationen noch nicht im betrachteten KIS vorliegt. Dies könnte auch von einem Ansatz wie Web Services nicht geleistet werden.

In technischer Hinsicht wird an der Entwicklung einer Schnittstelle des AMD zur Unterstützung von Web Services gearbeitet. Mit diesem Schritt kann in einer weiteren Stufe von der Laufzeitumgebung abstrahiert werden, weil für den Endanwender nur ein geeigneter Browser erforderlich ist. Weiterhin wird an einer agentenbasierten Prozessunterstützung gearbeitet, welche Informationen nach dem informationslogistischen Prinzip autonom zur Verfügung stellt. Damit wird die Flexibilität von Software-Agenten, eine gegenüber anderen Ansätzen hervorragende Eigenschaft, näher an ihre technische Umsetzbarkeit gebracht.

Um Informationen entsprechend des Informationsbedarfes bereit zu stellen, sind Informationsprofile zu erstellen, so sind z. B. „Herz“, „Anästhesie“, „Therapie-Entscheidung“ oder „alle pathologischen Befunde“ denkbar. Anhand dieser Profile werden dann bestimmte Datensätze gefiltert und zur Anzeige gebracht.

Um den medizinischen, ökonomischen und Patienten-Nutzen durch Agenten weiter zu steigern, ist u. a. eine stärkere Patientenorientierung (bspw. durch Patienteninformationsdienste) oder durch diverse Leistungserstellungsoptimierungen (bspw. Optimierung des Scheduling von Ressourcen und Akteuren entlang von Behandlungspfaden auf der Basis eines dezentralen Ansatzes) anzugehen, die technischen Möglichkeiten sind vorhanden.

5 Literatur

- [Augustin 1990] Augustin, S.: Information als Wettbewerbsfaktor: Informationslogistik - Herausforderung an das Management, Verlag TÜV Rheinland, Köln 1990.
- [Baumgart 2005] Baumgart, D.C.: Personal Digital Assistants in Health Care: Experienced Clinicians in the Palm of Your Hand? In: The Lancet, Vol. 366 (2005), S. 1210-1222, 2005.
- [Berger et al. 2001] Berger, M.; Bauer, B.; Watzke, M.: Towards an Agent-Based Infrastructure for Distributed Virtual Organizations Paper presented at the IEEE International Workshops on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises Cambridge, MA, USA, S. 354-355, 2001.
- [Berger et al. 2005] Berger, M.; Müller, J.P.; Seitz, C.: Multiagenten-Technologien für Ambient Intelligence. In: it - Information Technology, Vol. 47 (2005) Nr. 1, S. 13-19, 2005.
- [Bludau et al. 2001] Bludau, H.; Koop, A.; Herzog, W.: Mobile Computer im Gesundheitswesen: Nützliche Werkzeuge für den Arzt. In: Deutsches Ärzteblatt/PraxisComputer, Vol. 2001 (2001) Nr. 3, S. 22-25, 2001.
- [Caire et al. 2002] Caire, G.; Lhuillier, N.; Rimassa, G.: A Communication Protocol for Agents on Handheld Devices. Paper presented at the Workshop on Ubiquitous Agents on Embedded, Wearable, and Mobile Devices in conjunction with the 2002 Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems, Bologna, Italy, 2002.
- [Der Bayerische Landesbeauftragte für den Datenschutz 2005] 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>, (Zugriff am 28.11.2005).
- [IEEE 2006] IEEE Foundation for Intelligent Physical Agents: FIPA-Webseite. <http://www.fipa.org/>, (Zugriff am 26.04.2006).
- [Jennings 2001] Jennings, N.R.: An Agent-Based Approach for Building Complex Software Systems. In: Communications of the ACM, Vol. 44 (2001) Nr. 4, S. 35-41, 2001.
- [Kamel Boulos et al. 2006] Kamel Boulos, M.N.; Cai, Q.; Padget, J.A.; Rushton, G.: Using Software Agents to Preserve Individual Health Data Confidentiality in Micro-Scale

- Geographical Analyses. In: Journal of Biomedical Informatics, Vol. 39 (2006) Nr. 2, S. 160-170, 2006.
- [Kirn, S. 2006] Kirn, S.: Flexibility of Multiagent Systems. In: Multiagent Engineering. Hrsg.: Kirn, S.; Herzog, O.; Lockemann, P.; Spaniol, O. Springer, Berlin, Heidelberg, New York 2006, S. 53-69, 2006.
- [Koop et al. 2001] Koop, A.; Matesic, R.; Mösges, R.: Erfahrungen beim Einsatz von Palm-PDAs in einer klinischen Studie. Paper presented at the 1. Workshop der GMDS-Projektgruppe Mobiles Computing in der Medizin, Köln, S. 45-59, 2001.
- [Lehmann 2005] Lehmann, T.M.: Handbuch der Medizinischen Informatik. (2. vollständig neu bearbeitete Aufl.), Carl Hanser, München, Wien 2005.
- [Lenz et al. 2005] Lenz, R.; Beyer, M.; Meiler, C.; Jablonski, S.; Kuhn, K.A.: Informationsintegration in Gesundheitsversorgungsnetzen: Herausforderungen an die Informatik. In: Informatik-Spektrum, Vol. 28 (2005) Nr. 2, S. 105-119, 2005.
- [Lockemann et al. 2006] Lockemann, P.; Kirn, S.; Herzog, O.: Management Summary. In: Multiagent Engineering. Hrsg.: Kirn, S.; Herzog, O.; Lockemann, P.; Spaniol, O. Springer, Berlin, Heidelberg, New York 2006, S. 1-13, 2006.
- [Mikkelsen & Aasly 2001] Mikkelsen, G.; Aasly, J.: Concordance of information in parallel electronic and paper based patient records. In: International Journal of Medical Informatics, Vol. 63 (2001) Nr. 3, S. 123-131, 2001.
- [Rügge 2004] Rügge, I.: Abschlussbericht der Maßnahme mobile Anwendungen im Gesundheitswesen: [wearLab] im Technologie-Zentrum Informatik. Universität Bremen, 2004.
- [Schweiger et al 2005] Schweiger, A.; Bastian, T.; Krcmar, H.: Agentenbasierte elektronische Patientenakten. Paper presented at the 5. Workshop der GMDS-Projektgruppe Mobiles Computing in der Medizin, Universität Freiburg, S. 45-59, 2005.
- [Schweiger et al. 2006] Schweiger, A.; Hillebrand, C.; Sunyaev, A.; Krcmar, H.: Portierung einer agentenbasierten elektronischen Patientenakte auf mobile Endgeräte. Paper presented at the Mobiles Computing in der Medizin, Frankfurt, S. 28-45, 2006.
- [Spreckelsen et al. 2001] Spreckelsen, C.; Lethen, C.; Heeskens, I.; Spitzer, K.: Mobile Entscheidungsunterstützung für pädiatrische Medikation. Paper presented at the 1. Workshop der GMDS-Projektgruppe Mobiles Computing in der Medizin, Köln, S. 72-82, 2001.
- [Telecom Italia Lab 2006] Telecom Italia Lab: JADE-Webseite. <http://jade.tilab.com/>, (Zugriff am 28.02.2006).
- [Waegemann 1999] Waegemann, C.P.: Current Status of EPR Development in the US. Paper presented at the Toward An Electronic Health Record Europe, London, S. 116-118, 1999.
- [Walker et al. 2005] Walker, J.; Köberle, D.; Strasser, F.: e-MOSAIC: Monitoring von Symptomen, Lebensqualität und Clinical Benefit. Paper presented at the 5. Workshop der GMDS-Projektgruppe Mobiles Computing in der Medizin, Universität Freiburg, S. 25-30, 2005.
- [Wooldridge & Jennings 1995] Wooldridge, M.; Jennings, N.R.: Intelligent Agents: Theory and Practice. In: The Knowledge Engineering Review, Vol. 10 (1995) Nr. 2, S. 115-152, 1995.