

Intelligente Softwareagenten und betriebswirtschaftliche Anwendungsszenarien im Gesundheitswesen

Torsten O. Paulussen¹, Rainer Herrler², Astrid Hoffmann³, Christian Heine⁴
Marc Becker⁵, Martin Franck⁶, Thomas Reinke⁷, Moritz Strasser⁸

¹ Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik I, Universität Mannheim, D-68131 Mannheim
paulussen@uni-mannheim.de

² Lehrstuhl für Informatik VI, Universität Würzburg, D-97074 Würzburg
herrler@informatik.uni-wuerzburg.de

³ Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik-II17, Technische Universität München,
D-85748 Garching
astrid.hoffmann@in.tum.de

⁴ Fachgebiet Wirtschaftsinformatik II, Technische Universität Ilmenau
D-98693 Ilmenau
christian.heine@tu-ilmenau.de

⁵ Wirtschaftsinformatik I, Universität Trier, D-54286 Trier
mb@wiinfo.uni-trier.de

⁶ Lehrstuhl für Arbeitswissenschaft und Produktergonomie, Technische Universität Berlin,
10623 Berlin
mfk@awb.tu-berlin.de

⁷ Institut für Informatik Professur Software Engineering, Universität Potsdam,
14482 Potsdam
reinke@soft.cs.uni-potsdam.de

⁸ Institut für Informatik und Gesellschaft, Abteilung. Telematik
strassem@iig.uni-freiburg.de

Abstract: Ziel der Arbeitsgemeinschaft Krankenhauslogistik ist der Einsatz von intelligenten Softwareagenten in betriebswirtschaftlichen Anwendungsszenarien im Gesundheitswesen. Hierbei liegt der Fokus auf der Lösung bestehender logistischer Probleme im Krankenhaus. Dieser Beitrag zeigt die von der Arbeitsgemeinschaft behandelten Problemstellungen auf und gibt einen Überblick der verfolgten Lösungen der Einzelprojekte für Teilprobleme. Der Hauptbeitrag ist die Integration dieser Teillösungen – in Form von heterogenen Multiagentensystemen – zu einem MMAS (Multi-Multiagentensystem). Hierzu wird in diesem Artikel die Entwicklung der gemeinsamen Ontologie *OntHoS* sowie des Agententechnologie-Testbed *Agent.Hospital* beschrieben. Die Integration wird abschließend an zwei in der Arbeitsgemeinschaft entwickelten Fallbeispielen – Klinische Studien und Kolonkarzinom - veranschaulicht.

1 Einleitung

Grundlage dieses Beitrages bildet die Arbeit der Arbeitsgemeinschaft Krankenhauslogistik innerhalb des DFG-Schwerpunktprogramms „Intelligente Softwareagenten und betriebswirtschaftliche Anwendungsszenarien“. Ziel dieses Schwerpunktprogramms ist es durch eine interdisziplinäre Kooperation zwischen Informatikern, Wirtschaftsinformatikern und Wirtschaftswissenschaftlern die Forschung soweit voranzutreiben, dass Agententechnologien für große Anwendungssysteme in realitätsnahen betriebswirtschaftlichen Anwendungsszenarien (speziell: Fertigungslogistik, Krankenhauslogistik) entwickelt und getestet werden können. Aufgrund spezifischer Problem- und Fragestellungen in der Krankenhauslogistik hat sich dazu eine Arbeitsgemeinschaft „Krankenhauslogistik“ konstituiert. Die Arbeitsgemeinschaft Krankenhauslogistik vereint hierbei alle Einzelprojekte im Bereich Gesundheitswesen mit der Zielsetzung eine möglichst breite Abdeckung des Problemfeldes Krankenhaus – unter gleichzeitiger Gewährleistung der jeweils problemspezifischen Tiefe – zu erreichen. Zu diesem Zweck werden von den einzelnen Mitgliedern dieser Arbeitsgemeinschaft heterogene Problemstellungen und Ziele verfolgt. Diese werden in *Agent.Hospital* [Ki03a][Ki03b], einem zusammen mit der Arbeitsgemeinschaft Technologie entwickelten Agententechnologie-Testbed, integriert.

Zur Beschreibung dieser Herangehensweise wird zunächst die Problemstellung dargestellt und eine Abgrenzung zur Fertigungslogistik vorgenommen. Basierend auf dieser Problemstellung werden im dritten Abschnitt die Zielsetzungen der einzelnen Projekte skizziert. Im vierten Abschnitt wird die zur Kopplung der einzelnen Agentensysteme notwendige Entwicklung einer gemeinsamen Ontologie vorgestellt und danach im fünften Abschnitt das Agententechnologie-Testbed *Agent.Hospital* beschrieben. Im sechsten Abschnitt wird die Kopplung der Einzelprojekte anhand zweier ausgewählter Beispiele dargestellt. Zusammenfassung und Ausblick schließen den Beitrag ab.

2 Untersuchungsgegenstand Krankenhauslogistik

Aufgrund der steigenden Kosten im Gesundheitswesen erlangt wirtschaftliches Handeln im Gesundheitswesen eine wachsende Bedeutung. Dies drückt sich auch in der Aufhebung des Selbstkostendeckungsprinzips und der Einführung fallpauschalierter Entgeltformen durch das Gesundheitsstrukturgesetz (GSG) im Jahre 1993, der Bundespflege-satzverordnung von 1995 und der aktuellen Einführung der Diagnostic Related Groups aus. Durch die sukzessive Einführung fallpauschalierter Entgeltformen und einem Wettbewerb zwischen den einzelnen Krankenhäusern werden diese immer mehr mit der Notwendigkeit wirtschaftlichen Handelns konfrontiert, da sie nun für ihr ökonomisches Handeln haften (vgl. [Ry99], [Ja97]). Hierbei führt die rasche Entwicklung neuer Behandlungs- und Diagnoseverfahren, die Anwendung neuer Medikationen sowie Fortschritte in der Medizintechnik zu einer zunehmenden Differenzierung und Spezialisierung der Leistungsträger und einer größeren Vernetzung der am Behandlungsprozess

Beteiligten. Gleichzeitig sind eine wachsende Mobilität der Patienten, die Änderung der Altersstruktur sowie steigende Ansprüche an die Qualität zu verzeichnen.

Die Organisation Krankenhaus stellt sich als ein auf die Verbesserung des Gesundheitszustandes des Patienten ausgerichtetes [DI84] soziales Gebilde dar. Die wesentlichen Unterschiede zwischen Fertigungs- und Krankenhauslogistik beruhen darauf, dass in einem Krankenhaus nicht Werkstücke, sondern kranke Menschen die „Verrichtungsobjekte“ sind. Das Krankenhaus ist daher ein Dienstleistungsunternehmen, Produktion und Konsumption der Leistungen fallen zusammen [Gr97], [He94]. Auch ist der Patient unmittelbar an seiner Behandlung, und damit am Behandlungserfolg, beteiligt [Du97].

Ein Krankenhaus ist in viele einzelne (teil-)autonome Funktionsbereiche unterteilt, welche die Patienten – in Abhängigkeit ihrer jeweiligen Erkrankung – durchlaufen [Sc90]. Diese Funktionsbereiche sind entweder bestimmten Abteilungen organisatorisch direkt zugeordnet oder stehen funktional zentralisiert mehreren Abteilungen (gleichberechtigt) zur Verfügung, wie z.B. die Radiologie oder in zunehmenden Maße auch zentralisierte OP-Abteilungen [SC99]. Zwar bietet diese funktionale Zentralisierung Möglichkeiten zur besseren Raum- und Gerätenutzung sowie einer höheren Flexibilität, jedoch führt diese dadurch bewirkte hohe Autonomie der einzelnen Funktionsbereiche insbesondere bei der gemeinsamen Nutzung eines zentralen OP-Komplexes zur Notwendigkeit umfassender Abstimmungen zwischen den einzelnen medizinischen Abteilungen. Dabei wird die zugrunde liegende Planung i.d.R. von den Abteilungen individuell vorgenommen und dann durch einen als OP-Koordinator tätigen Arzt auf Unstimmigkeiten geprüft und nötigenfalls geändert. Erst nach diesen Abstimmungen wird der OP-Plan an die zentralen OP-Abteilungen weitergegeben, die dann die Zuordnung des Pflegepersonals auf die geplanten Operationen vornimmt. Dieser mehrstufige Planungsprozess wird – vor allem auch bedingt durch die notwendige Abstimmung der unterschiedlichen, miteinander in Konflikt stehenden Interessen der beteiligten Akteure – in vielen Krankenhäusern noch „per Hand“, d.h. weitgehend ohne informationstechnische Unterstützung durchgeführt, was schon bei normalen Bedingungen, d.h. ohne das Auftreten von Notfällen usw. zu einem komplexen Abstimmungsprozess führt. Zusätzlich lässt sich eine höhere Unzufriedenheit der Mitarbeiter im OP-Bereich durch die abnehmende organisatorische Integration der einzelnen Abteilungen feststellen [Se84].

Weiterhin ergibt sich bei der Patientensteuerung – im Gegensatz zur Fertigung – das Problem, dass oftmals die Erkrankung des Patienten bei seiner Ankunft nur teilweise – oder gar nicht – bekannt ist, wodurch die durchzuführenden Arbeitsschritte im Sinne von Untersuchungen und Behandlungen teilweise im Voraus nicht zu determinieren sind [We87]. Dieses Informationsdefizit kann im Krankenhaus nur schrittweise – im Rahmen der Diagnostik – reduziert werden. Weiterhin kommt es im Krankenhaus durch Komplikationen und Notfällen zu teilweise erheblichen Ablaufstörungen [Sc90]. Somit ist die Medizin durch eine hohe Variabilität der Prozesse gekennzeichnet. Um möglichst flexibel auf diese Unsicherheiten reagieren zu können, werden derzeit die für einen Patienten durchzuführenden Behandlungen von einem Arzt auf der jeweiligen Station festgelegt und in Form von Anforderungen an die jeweiligen Funktionsbereiche weitergeleitet. Die Funktionsbereiche rufen darauf hin – in Abhängigkeit von ihrer Auslastung – die Patienten von der jeweiligen Station ab. Hierbei findet jedoch keine Koordination zwischen

den einzelnen Funktionsbereichen statt, wodurch es zu Wartezeiten für die Patienten und Leerlaufzeiten für die Funktionsbereiche kommen kann [Pa03]. Eine besondere Rolle bei der Koordination, Kooperation und Kommunikation im Behandlungsprozess kommt dabei der Unterstützung von Health Care Teams zu, die das Konzept der ganzheitlichen, informationsbasierten und patientenzentrierten Diagnose und Therapie umsetzen. Eine besondere Herausforderung stellt die optimale Informationsversorgung aller an einem Behandlungsprozess Beteiligten dar. Die gegenwärtig eingesetzten Krankenhausinformationssysteme sind nicht in der Lage, die genannten Probleme zu lösen. Insbesondere werden die Kooperation, Koordination und Kommunikation im Team nur unzureichend unterstützt. Darüber hinaus sind elektronische Patientenakten bzgl. des Zugriffs sowie ihrer Nutzung lokal eingeschränkt und verfügen nicht über die notwendige Flexibilität der kontextabhängigen Zusammenstellung und Auswertung medizinischer Informationen. Proprietäre Ansätze erschweren den Datenaustausch und die Datenintegration. Standards (wie z.B. CEN, ISO und HL7) setzen sich nur langsam durch.

Diese Problematik betrifft auch die Patientenversorgung in einer Rettungsstelle im Krankenhaus, die ebenfalls durch Kooperationen von unterschiedlichen klinischen Abteilungen und der Verarbeitung unterschiedlicher Daten gekennzeichnet ist [KRS00]. Die Aufgabe des Arztes in der Rettungsstelle ist es, diese unterschiedlichen Abteilungen, Untersuchungen und Behandlungen zu koordinieren und einen Plan zu erstellen und gleichzeitig der Anwalt des Patienten zu sein. Eine andere Problematik zeigt sich bei klinischen Studien. Zur Überprüfung der Wirkungsweise von Therapiemaßnahmen, vor allem im Bereich der Anwendung von Arzneimitteln, ist es erforderlich, nicht nur im Tierversuch, sondern auch am Menschen zu testen. Bei der Planung und Durchführung dieser Tests wird der Einsatz von Informationssystemen zunehmend als entscheidendes Hilfsmittel verwendet. Planungszeiten sollen so drastisch verkürzt, die Planungssicherheit erhöht, Strukturen und Abläufe optimiert und die Qualität der Dokumentation signifikant verbessert werden. Hinzu kommt, dass sich die Integration klinischer Studien in den laufenden Betrieb eines Klinikums durch ein hohes Maß an Komplexität auszeichnet, v.a., da das Studiendesign nur geringe Flexibilität bei Auswahl der Patienten, Medikation und Dokumentation gestattet.

Obwohl heutzutage klinische Datensysteme und papierlose Akten immer mehr verbreitet sind [Bu02], so sind sie doch im Allgemeinen passiv und nicht sehr flexibel. Es ist nicht nur sehr zeitaufwendig aktiv Daten abzurufen [Gi02], auch können wichtige Informationen dabei übersehen werden. In den heute üblichen heterogenen klinischen Informationssystemen hat oft jede Abteilung ihre eigene spezielle Software, die an ihre besonderen Bedürfnisse angepasst ist, wodurch ein Wechsel zu einem anderen System oft nicht möglich ist. Die Unterstützung von Einrichtungen für einen reibungslosen Informationsfluss und die proaktive Präsentation von Daten ist entscheidend, um Effizienz und Effektivität zu verbessern [LFS]. Eine adäquate Informationsvermittlung, kann auch die Patienten- und Ärztezufriedenheit erhöhen [Th96], [MZ03]. Ein weiteres Problem sind Informationen über die Verfügbarkeit von Patienten, Personal und Ressourcen, welche die Koordination (Termine) direkt beeinflussen. In diesem Zusammenhang kann die Lokalisation der einzelnen Akteure, wie auch die Identifikation und Rückmeldung von Ressourcen- und Patientenverfügbarkeit, Ablaufstörungen (z.B. Komplikationen) erkennbar machen und dadurch eine möglichst effiziente und flexible Planung erst ermög-

lichen. Zudem existiert in den meisten Krankenhäusern eine berufsgruppenspezifische Drei-Säulen-Hierarchie (Ärztlicher Dienst, Pflegedienst, Verwaltung). Dadurch entstehen mehrere Autoritätslinien, was ebenfalls die Informationsversorgung erschwert.

3 Zielsetzungen und Vorgehensweise der beteiligten Projekte

Das Projekt **Policy-Agents** leistet einen Beitrag zur Lösung der beschriebenen OP-Terminplanungsproblematik. Durch den Einsatz eines agentenbasierten Planungssystems kann die OP-Terminplanung weitgehend automatisiert werden [CB02]. Ein besonderer Fokus liegt dabei auf der expliziten Berücksichtigung der Interessen der einzelnen Abteilungen und beteiligten Personen. Dazu wird jeder Akteur durch seinen eigenen Softwareagenten repräsentiert, in dem ein Präferenzprofil des Akteurs hinterlegt ist. Im Rahmen der Terminplanung verhandeln diese Softwareagenten selbstständig miteinander und versuchen, eine effiziente Ressourcenallokation bei deutlich geringeren Transaktionskosten zu erzielen (siehe auch [BKS01], [CB02], [CB03]).

Das **MedPage-Projekt** befasst sich mit der funktionsbereichübergreifenden Planung, Steuerung und Koordination von Klinikprozessen. Hierbei wird ein patientenzentrierter Ansatz gewählt, bei dem sowohl die Krankenhausressourcen als auch die Patienten als autonome Softwareagenten modelliert werden. Auf der Basis von Präferenzfunktionen verhandeln die Patientenagenten miteinander um die knappen Krankenhausressourcen. Dabei wird als Koordinationsmechanismus ein Marktmechanismus implementiert, in dem sich die Ressourcenallokation so lange verbessert, wie sich ein Agent durch eine Tauschhandlung besser stellen kann, ohne dass sich ein anderer Agent schlechter stellt [Pa03][AP01].

Der Fokus des Projekts **EMIKA** liegt auf der Echtzeitkoordination der Patientenlogistik in der Radiologie, so dass plötzlich auftretende Notfälle, wie hier angenommen, möglichst ohne Verzögerung in den bestehenden Zeitplan übernommen und zeitgenau untersucht werden können. In einer dezentralen Realisierung mit lokalisierbaren Endgeräten (z.B. RFID-Chips) erkennen Software-Agenten als „Schattenobjekte“ der Endgeräte ihre physische Umgebung sowie den Kontext und modellieren damit ein Zustandsmodell der Wirklichkeit. Sie entscheiden autonom, ob der aktuelle Terminplan eingehalten werden kann oder ob eigene Umplanungen notwendig sind, um den individuellen Nutzen zu optimieren. Über die Interaktion mit mobilen Endgeräten ergibt sich eine fortlaufende dynamische Rückkopplung zwischen Realität und Informationssystem, ohne dass eine zentrale Instanz das System steuert [STM02].

Das **ADAPT**-Projekt leistet einen Beitrag zur Lösung der dargestellten Studienplanungsproblematik. Primäres Ziel ist es, ein agentenbasiertes Simulationssystem zu erstellen, das in der Lage ist, die für die Durchführung klinischer Studien notwendigen Leistungsprozesse zu simulieren [He03]. Zu diesem Zweck wurden entsprechende Simulationsmodelle implementiert, welche die notwendigen, am Prozess beteiligten Handlungsträger abbilden. Die Modelle basieren auf einer Akteur-zentrierten Sicht und wurden durch einen agentenorientierten Ansatz realisiert. Der entwickelte Prototyp unterstützt

Mediziner und Mitarbeiter aus den an der klinischen Studie beteiligten Fachabteilungen bei der Analyse, Bewertung und Planung der Studienprozesse [He02].

Das **ASainlog**-Projekt greift das Problem der wachsenden Bedeutung informationslogistischer Fragestellungen auf. Das Projekt leistet wissenschaftliche Beiträge, durch die Fragen der Informationslogistik im Gesundheitswesen unter Nutzung von Multiagentensystemen beantwortet werden können. Dabei stehen zwei wesentliche Ziele im Mittelpunkt: (1) Allen an der Behandlung eines Patienten Beteiligten die für sie notwendigen Informationen zur richtigen Zeit und am richtigen Ort kontextspezifisch zur Verfügung zu stellen; (2) Kooperations- und Koordinationsprozesse über und an dem gemeinsamen Kooperationsmaterial, den kontextbehafteten medizinischen Informationen, effektiv technisch zu unterstützen. Ein wesentliches Element des Lösungsmodells von *ASainlog* sind aktive medizinische Dokumente als komposite Softwareagenten. Sie kapseln medizinische und administrative Informationen eines Patienten zusammen mit elementaren Agenten zur Interpretation und Verknüpfung von Daten, zur Steuerung komplexer, medizinischer Prozesse und anderes mehr.

Im Projekt **AGIL**² werden existierende Prozesse mit der Unterstützung eines javabasierenden Tools (genannt AGILShell) modelliert, welches in der ersten Phase des Projektes entwickelt wurde. Dieses Tool kann für das Design und die Implementierung von Multiagentensystemen benutzt werden. Der verfolgte Ansatz besteht aus drei Schritten: (1) Domänenexperten modellieren ihre existierenden Arbeitsprozesse; (2) Analysieren der Prozesse, um Anwendungsszenarien für Agenten zu erkennen; (3) Optimieren der Prozesse durch Integration von Agenten. Basierend auf den existierenden Prozessen der einzelnen Projekte wird in interdisziplinärer Zusammenarbeit ein „agentifizierter“ Prozess erstellt, in dem Agenten vormals menschliche Aufgaben erfüllen. Hierbei verbessert die aktive Beteiligung des Benutzers am Entwicklungsprozess die Qualität der Software [Be01], [St01].

Um jedoch die Vorteile dieser Herangehensweise nutzen zu können, ist eine Koordination und Integration obiger Projekte durch die Arbeitsgemeinschaft Krankenhauslogistik notwendig. Der in diesem Zusammenhang entstandene Unterstützungs- und Koordinationsbedarf wird auf Basis der Kooperationsplattform RealAgentS [AK03] realisiert.

4 Entwicklung der gemeinsamen Ontologie *OntHoS*

Einer der ersten Schritte in Richtung integriertes Szenario war im März 2002 die Gründung einer Arbeitsgruppe, die sich die Entwicklung einer Einzelprojekt-übergreifenden Ontologie zum Ziel gesetzt hatte. Es wurde erkannt, dass die Multiagentensysteme an den verschiedenen Entwicklungsstandorten zwar auf abstrakter Beschreibungsebene kooperieren konnten, im Detail jedoch auf verschiedenen Wissensrepräsentationen und leicht unterschiedlicher Begriffsverwendung aufbauten. Um dieses Hindernis zur Entwicklung eines integrierten Szenarios zu beseitigen, wurde mit *OntHoS* eine Ontologie für die Domäne Krankenhaus und Pflege entwickelt. *OntHoS* wurde dazu mit dem verbreiteten Ontologie- und Wissenserwerbswerkzeug Protegé modelliert. Es ermöglicht Domänenexperten die formale Definition von Konzepten und Begriffe des Anwen-

dungsbereiches und liefert auf der anderen Seite Agentenprogrammierern Unterstützung bei der Implementierung, wobei die Ontologie direkt in JAVA-Code umgewandelt werden kann. Ein Vorteil dieser Vorgehensweise ist vor allem, dass kein zusätzlicher fehleranfälliger Bruch zwischen Modellierung und Implementierung entsteht.

Ein Problem bei der kollaborativen Ontologieerstellung ist die Integration überlappender Konzeptbereiche. Die Domäne wurde deshalb zunächst in eine Menge von Konzeptkategorien aufgeteilt und es wurde ein Konsens bezüglich der zugrunde liegenden Hierarchie gefunden (Abbildung 1). An einigen Stellen wurde versucht, bewährte Ontologien oder Teile daraus zu verwenden, so z.B. das *temporal concept*, das hauptsächlich auf dem Dharma Guideline Model [Dh03] basiert. In den meisten Kategorien konnte jedoch nicht auf bestehenden Ontologien aufgebaut werden. Für diese wurde aus den Modellen der Projekte je ein Vorschlag entwickelt, der dann in der Gruppe diskutiert und unter Umständen angepasst wurde, so dass am Ende die Domänenontologie mächtig genug war, die Nachrichteninhalte aller Agentensysteme auszudrücken. Crossreferenzen zwischen den Konzepten wurden in der ersten Entwurfsphase nur dokumentiert und dann in einer weiteren Iterationsphase tatsächlich verknüpft.

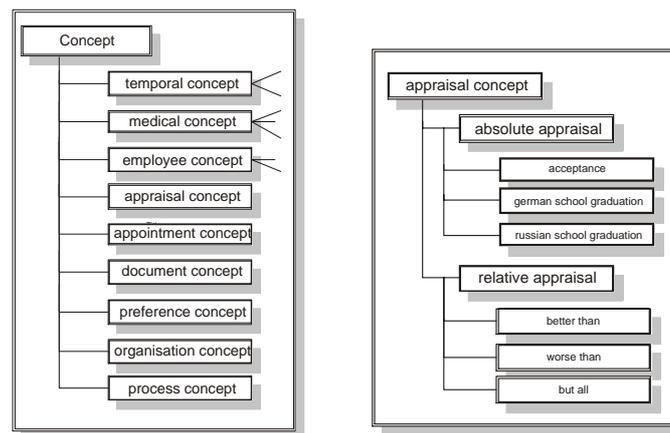


Abbildung 1: Links: Oberste Hierarchiestufen der Ontologie und Gliederung in Basiskonzepte.
Rechts: Konzepthierarchie der Bewertungen (Appraisals)

Im Folgenden wird eine kurze Beschreibung der Konzeptklassen gegeben:

- *Temporal concept* – Die hier definierten Begriffe sind domänenunabhängige Definitionen zeitlicher Konzepte, wie z.B. Datum, feste oder relative Zeitpunkte, Zeitintervalle oder Zeitdauern. Ebenso sind abstrakte Begriffe wie „heute“ oder „jetzt“ definiert, bei denen zur Interpretation ein Referenzzeitpunkt benötigt wird.
- *Medical concept* – Hier werden Begriffe zur Beschreibung medizinischen Wissens definiert. Diese reichen von Symptomen, Diagnosen und Therapien bis hin zu einer Repräsentationsstruktur zur Formalisierung klinischer Leitlinien. Durch das Eingeben von Instanzen der definierten Klassen, bzw. Begriffen kann man Wissensbasen für die jeweiligen Szenarien entwickeln.

- *Employee concept* – Unter dieser Konzeptgruppe werden Begriffe gesammelt, die zur Beschreibung des Klinikpersonals notwendig sind. Beispiele sind Qualifikationen und Rollen.
- *Appraisal concept* – Für die Planung und das Scheduling im Krankenhaus und generell für alle Entscheidungszwecke benötigt man Begriffe zum Ausdruck von Bewertungen. Um möglichst flexibel zu sein, wurde kein festes Bewertungsschema gewählt, sondern zwischen absoluten und relativen Bewertungen (Appraisals) unterschieden. Absolute Bewertungen können z.B. durch Schulnoten ausgedrückt werden, wohingegen „besser als“ eine relative Bewertung darstellt, wie sie häufig in der Realität eingesetzt wird und ebenfalls als Basis zur Entscheidung dient.
- *Appointment concept* – Für das Scheduling von Behandlungen und Untersuchungen werden weitere Begriffe benötigt. Sie beschreiben Termine, Aufgaben, Zeiten, anwesende Personen und benötigte Ressourcen. In Bezug auf die Termine muss unterschieden werden zwischen schon vereinbarten Terminen und Terminvorschlägen, die bewertet werden sollen.
- *Document concept* – Die Form und der Inhalt verschiedener typischer klinischer Dokumente, wie Befunde oder Patientenakte werden hier beschrieben. Standards für klinische Informationssysteme (HL7) sollen hier ebenfalls berücksichtigt werden.
- *Organizational concept* – Um ein Krankenhausszenario zu modellieren ist es essenziell, die zugrunde liegende Organisation und ihre Einheiten zu beschreiben. Üblicherweise können Funktionseinheiten gefunden werden, die Dienstleistungen wie Untersuchungen und Behandlungen anbieten. Daneben gibt es Stationen, die Verwaltung und spezielle Einheiten, wie z.B. die Apotheke oder ein ausgegliederter orthopädischer Service. Alle Einheiten besitzen Ressourcen und bieten verschiedene Typen von Dienstleistungen an (siehe Process-Concept).
- *Process concept* – Prozesse können aus Sequenzen und Alternativen von atomaren Aktionen beschrieben werden. Eine einfache Basis-Prozessrepräsentation wurde gewählt, neben der weitere Repräsentationen als Erweiterung unterstützt werden sollen, um Domänen-Modellierer mit verschiedenen Arten der Modellierung unterstützen zu können, zum Beispiel der Modellierung durch EPKs oder mit Petrinetzen. Atomare Aktionen dieser Prozesse können medizinische und logistische Aktionen sein. Medizinische Aktionen sind weiter klassifiziert nach Untersuchungen, Behandlungen oder Pflegetätigkeiten. Viele Aktionen müssen von speziellen Funktionseinheiten ausgeführt werden, andere benötigen spezielle Ressourcen oder Personen (siehe Object-Concept oder Employee-Concept).
- *Object concept* – Im Gegensatz zu den oben beschriebenen Begriffen, die abstrakte, nicht-existente Dinge beschreiben, werden durch die Terme unter diesem Konzept alle realen Objekte und Personen definiert. Reale Objekte beinhalten z.B. Räume, medizinische oder technische Geräte, Vorräte und Mobiliar. Objekte können notwendige Ressourcen für Aktionen sein, oder sie können auch Thema von Bewertungen sein. Personen wie Patienten und Klinikpersonal sind ebenfalls Unterklassen dieses Konzepts, während ihre Aufgaben, Qualifikationen und Rollen teilweise im Employee-Concept beschrieben werden.

Mehr Details und die aktuelle Version der Ontologie können auf der *OntHoS*-Homepage gefunden werden (<http://onthos.informatik.uni-wuerzburg.de/Ontologie>).

5 Das Agententechnologie-Testbed *Agent.Hospital*

Agent.Hospital ist ein offenes Testbed für die Entwicklung und Erprobung agentenbasierter Informationssysteme im Gesundheitswesen. Als solches bietet es auf Modellebene einen Rahmen für verschiedene Partialmodelle des Gesundheitswesens, sowie auf Implementierungsebene Infrastrukturdienste und in Agentensystemen realisierte modulare Health-Care-Services.

Abbildung 2 zeigt, dass *Agent.Hospital* schon jetzt ein breites Spektrum klinischer und pflegerischer Prozesse abbildet. Aktuell werden folgende übergreifende Versorgungsketten implementiert: klinische Studien, Strahlentherapie (ADAPT), Notfallpatient (AGIL), Lungenkrebsbehandlung (ASAinlog), Angina Pectoris (MedPage), Gallensteinbehandlung (MedPage und Policy Agents), OP-Prozesse (Policy Agents), radiologische Leistungsprozesse (EMIKA). Weitere Details zu den Teilsystemen stehen zur Verfügung unter <http://www.realagents.org>.

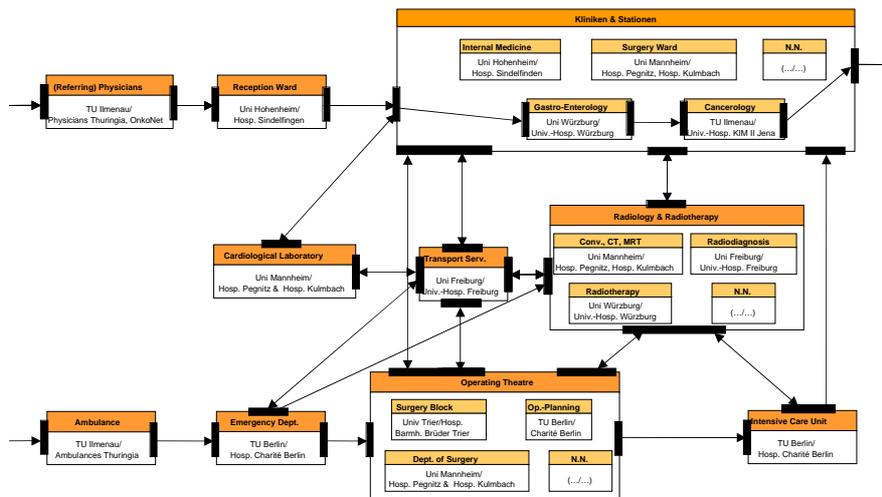


Abbildung 2: Aufbauorganisation von und Versorgungsketten in *Agent.Hospital*

Ein wesentliches Ziel der Entwicklung von *Agent.Hospital* war und ist, ein offenes, erweiterbares Agententechnologie-Testbed für den Healthcare-Bereich anzubieten. Hierfür stellt *Agent.Hospital* eine Reihe von Infrastrukturdiensten zur Verfügung, um die in den einzelnen Projekten entwickelten Teilsysteme zu koppeln. Hierzu zählen insbesondere (zu detaillierten Beschreibungen vgl. [Ki03a]):

- *Agent.Hospital Directory Facilitator (AHDF)*: Ein Verzeichnisdienst zur Registrierung und Überwachung der ServiceAgenten sowie für die Anzeige der registrierten Agenten und deren Dienste.
- *Agent.Hospital TimeService (AHTS)*: Ein TimeService, der die Registrierung mehrerer Gruppen von ServiceAgenten erlaubt und für deren diskrete Zeittaktung sorgt.
- *Agent.Hospital Ontology Repository (AHOR)*: Ein Repository für Domain- und Task-Ontologien der Healthcare-Domäne. Dieser Dienst unterstützt den Austausch von Task-Ontologien sowie den Zugriff auf die gemeinsame Domänen-Ontologie *OntHoS* [Be02].
- *Agent.Hospital Knowledge Base (AHKB)*: Eine Wissensbasis für den Healthcare-Bereich. Diese besteht aus einer A-Box und einer T-Box. Die T-Box enthält alle Terme der Domänen-Ontologie sowie die darauf basierenden Strukturen zur Formulierung der Konzepte. Die A-Box besteht aus den Instanzen der Terme und Konzepte aus der T-Box, mit deren Hilfe repräsentative Szenarien der Healthcare-Domäne modelliert wurden.
- *Agent.Hospital Actor Agent (AHAA)*: Ein weiterer gemeinsamer Baustein von *Agent.Hospital*, der für die Koordination der Dienste von Bedeutung ist. Instanzen des Actor Agents repräsentieren Patienten mit ihren grundlegenden persönlichen Daten und ihrem individuellen Terminplan.
- *Agent.Hospital CVS (AHCVS)*: Ein Repository für die Verwaltung des Quellcodes der ServiceAgenten. Es unterstützt den Austausch von gemeinsam nutzbaren Modulen und Schnittstellenklassen unter den Entwicklern.

Neben diesen Infrastrukturdiensten setzt sich *Agent.Hospital* weiter aus den ServiceAgenten der einzelnen Projekte zusammen. Diese realisieren die Gateways zwischen den Organisationseinheiten des Domänenmodells und bieten deren Funktionalität in Form eines Agenten-Dienstes für die restlichen Organisationseinheiten bzw. die sie repräsentierenden Agenten an. Durch Einsatz FIPA-konformer Gateway-Agenten für die funktionale Kopplung der technisch unterschiedlichen Multiagentensysteme wurde ein Standard auf Kommunikationsebene festgelegt und die projektübergreifende Nutzung von gemeinsamen Interaktionsprotokollen, Agentenkommunikationssprachen und Wissensrepräsentationssprachen ermöglicht (eine ausführliche Darstellung enthält [Ki03a]).

Der zentrale Kopplungsbaustein von *Agent.Hospital* ist der *AHDF*, da dieser die Vermittlung der Dienste realisiert. Die Hauptaufgabe des *AHDF* und zugleich die Abgrenzung vom globalen DF des Agentcities-Netzwerkes ist die Bündelung von Diensten aus dem gleichen Kontext zu einem anwendungsspezifischen Dienstforum. Die erweiterten Funktionen des *AHDF* wurden insbesondere durch die Verteilung der ServiceAgenten auf mehrere Plattformen notwendig. Die implementierte Funktionalität des *AHDF* ist domänenunabhängig gestaltet worden und ermöglichte somit den Einsatz auch in der Domäne Fertigung innerhalb des Schwerpunktprogramms.

Last but not least: *Agent.Hospital* wird als Teil der großen Agentcities Community realisiert. Dabei entstanden fünf neue Agentcities Plattformen: Aachen, Ilmenau, Würzburg,

Freiburg, Hamburg, die durch einen gemeinsamen Directory-Dienst (Agent.HospitalDF) zusammengefasst werden.

6 Ausgewählte Einsatzszenarien

Im Folgenden soll im Rahmen von *Agent.Hospital* die Interaktion der einzelnen Multi-agentensysteme an zwei projektübergreifend realisierten Beispielszenarien gezeigt werden, der Durchführung klinischer Studien (Abschnitt 6.1) sowie der Diagnose und Behandlung eines Kolonkarzinoms (Abschnitt 6.2).

6.1 Klinische Studien

Zielsetzung (kontrollierter) klinischer Studien ist die Ableitung einer allgemeingültigen Aussage über das Nutzen-Risiko-Verhältnis von Behandlungen aufgrund eines mit einer vorgegebenen Wahrscheinlichkeit reproduzierbaren Studienergebnisses. Neben den medizinischen und statistischen Anforderungen an die Durchführung klinischer Studien ergeben sich für die teilnehmenden Kliniken hohe Anforderungen. Neben der Prognose des für die Dauer der klinischen Studie benötigten „Patientengutes“ (das entsprechenden Einschluss- und Ausschlusskriterien genügen soll) muss die teilnehmende Klinik beispielsweise kalkulieren, ob genügend Ressourcen zur Verfügung stehen. Gegebenenfalls ist die Einstellung neuer Studienschwestern oder Dokumentare notwendig um Engpässe abzufangen. Solche Entscheidungen werden in vielen Fällen von den Entscheidungsträgern „aus dem Bauch heraus getroffen“, was vor dem Hintergrund komplexer Studien-Regelwerke mit entsprechenden Ineffizienzen verbunden sein kann.

Abbildung 3 beschreibt einen exemplarischen Ausschnitt der Leistungsprozesse des integrierten Szenarios „Klinische Studien“. Die Darstellung der Leistungsprozesse lehnt sich an die der erweiterten Ereignisgesteuerten Prozessketten (eEPK) an. Der strenge bipartite Wechsel von Ereignissen und Funktionen wurde aufgehoben, um die Darstellung der Prozesse zu vereinfachen.

Zu Beginn der klinischen Studie müssen zahlreiche diagnostische und therapeutische Maßnahmen koordiniert und terminiert, Ressourcen zugeordnet und ggf. informiert werden (Abbildung 3 stellt nur beispielhaft CT (Computer Tomografie) und MRT (Magnetresonanztomografie) Untersuchungen sowie die Durchführung einer Operation dar). Im ersten Schritt wird die Eignung der Patienten für die Studie überprüft. Das DAISIY-System (Deliberative Agents for Intelligent Simulation Systems) bewertet die (im Moment von einem Patientengenerator stammenden) Daten des SeSAM-Systems mit den spezifischen Einschluss- und Ausschlusskriterien der klinischen Studie. Erfüllt der Patient die Studienvoraussetzungen wird durch *request(study plan)* ein individueller Studienplan der durchzuführenden Maßnahmen erstellt. Selbstverständlich kann der zuständige Dokumentar der Studie eigene Terminvorstellungen einbringen. Nachdem der mittelfristige Studienplan (i.d.R. ein Studienzyklus von vier Wochen) für den Patienten geplant und mit dem ASAINlog Service (*AddNewDocument*) die elektronische Akte erweitert wurde, können danach die Agentensysteme von MedPAGe und PolicyAgents

mit Hilfe des Services *request(study plan)* die operative Planung und das Scheduling der verbindlichen Termine beginnen.

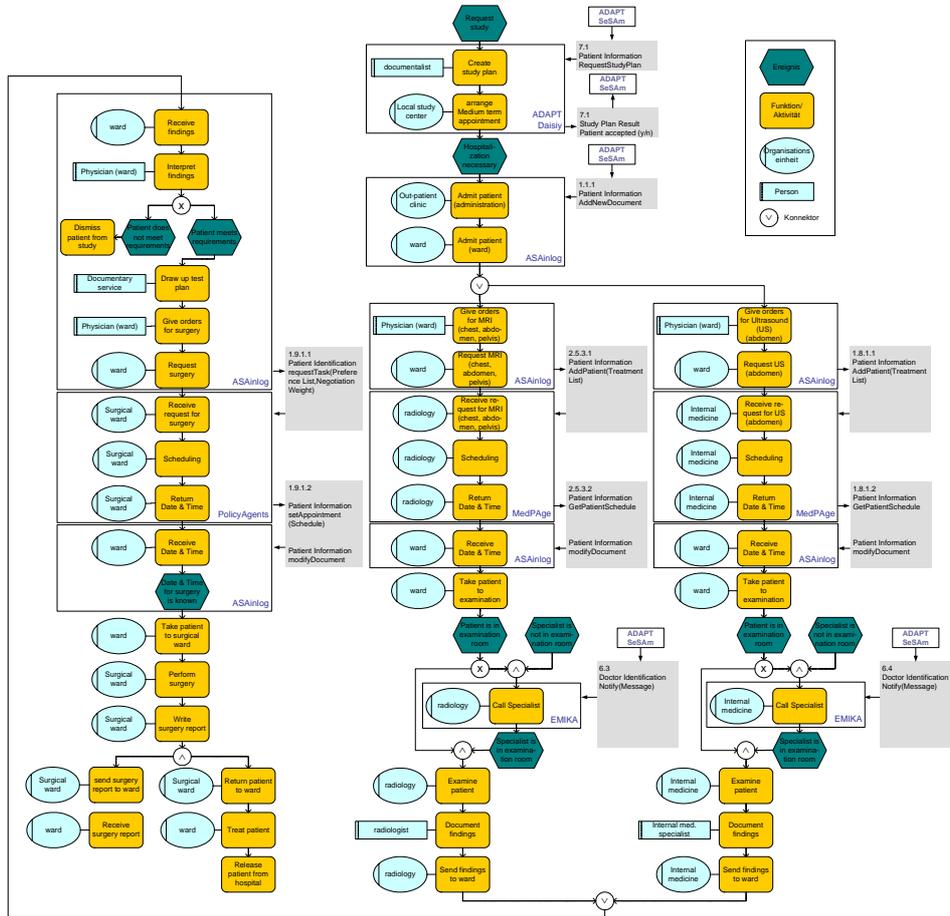


Abbildung 3: Exemplarischer Ausschnitt des Leistungsprozesses des integrierten Szenarios „Klinische Studien“

Rückt der eigentliche Zeitpunkt der Untersuchung oder der OP näher, werden die *TrackingServices* (EMKA) in Anspruch genommen, um ein bestimmtes Bett oder ein mobiles Untersuchungsgerät zu lokalisieren oder den Arzt über den bevorstehenden Termin zu informieren. Tritt beispielsweise ein Notfall ein und die Operation des Patienten ist notwendig, werden die zuständigen Systeme zum Management der Studie und zum Scheduling von OP-Dienstleistungen auf der Basis standardisierter Agentensprachen (in diesem Fall FIPA ACL – Agent Communication Language [FIPA03a] und Interaktionsprotokolle (bspw. FIPA Agent Interaction Protocol [FIPA03b]) gegebenenfalls einen geplanten Termin verlegen. Der dargestellte Prozessausschnitt endet in diesem Beispiel mit der zeitweiligen Entlassung des Patienten aus dem Krankenhaus.

6.2 Kolonkarzinombehandlung

Das Kolonkarzinom ist mit einer Inzidenz von 40:100.000 das dritthäufigste Karzinom in Deutschland [Ps98]. Neben der medizinischen Relevanz (im besten Fall liegt die Fünf-Jahre-Überlebenswahrscheinlichkeit bei 95-100% und im schlechtesten Fall unter 6 % [Ps98]) war die Involvierung aller Einzelprojekte ausschlaggebend für die Wahl des Kolonkarzinoms, dessen Diagnose und Behandlung, als Referenzszenario. Um sicher zu stellen, dass der Prozess eine realistische medizinische Vorgehensweise widerspiegelt, wurde er in Zusammenarbeit mit Anästhesisten, Internisten und Chirurgen der Charité entwickelt und von weiteren Ärzten anderer Kliniken evaluiert. Grundlage für die Verfeinerung der einzelnen Funktionen sind die in den Projekten in verschiedenen Krankenhäusern gemachten Erfahrungen.

Das Beispielszenario beginnt mit der Ankunft eines Patienten im Krankenhaus, der aufgrund seiner Beschwerden in der Rettungsstelle des Krankenhauses aufgenommen wird. Der Arzt in der Rettungsstelle veranlasst für diesen Patienten eine Blut- und Röntgenuntersuchung. Die Aktivitäten innerhalb der Rettungsstelle werden hierbei von den Agenten des AGIL² Projektes koordiniert. Verfügt die Rettungsstelle jedoch zum Beispiel nicht über eine eigene Radiologie, kommt es in diesem Fall bereits zu einer Interaktion mit der funktionsbereichsübergreifenden Planung, Steuerung und Koordination des MedPage Multiagentensystems, da nun diese Röntgenanforderung mit den Anforderungen anderer Funktionsbereiche koordiniert werden muss. Nach Übermittlung der Röntgenuntersuchungsanfrage an die Agenten des EMIKA Projektes übernehmen diese die Ressourcenkoordination innerhalb der Radiologie und sorgen dafür, dass das für die Untersuchung benötigte Personal sowie Untersuchungsgeräte trotz existierender Terminpläne zeitnah zur Notfallbehandlung verfügbar sind. Dadurch ist eine flexible Koordination der Ressourcen und des Personals unter ständig wechselnden Anforderungen möglich.

Auf der Grundlage der Befunde der Blut und Röntgenuntersuchung wird ein chirurgisches Konsil von dem Arzt in der Rettungsstelle angeordnet (Terminkoordination über MedPage). Hierbei entscheidet sich, ob der Patient sofort operiert werden muss, ob der Patient zunächst zur Beobachtung im Krankenhaus bleibt oder ob der Patient entlassen werden kann. Im Rahmen dieses Beispielprozesses wird ein Darmverschluss diagnostiziert, wodurch eine sofortige Operation bedingt wird.

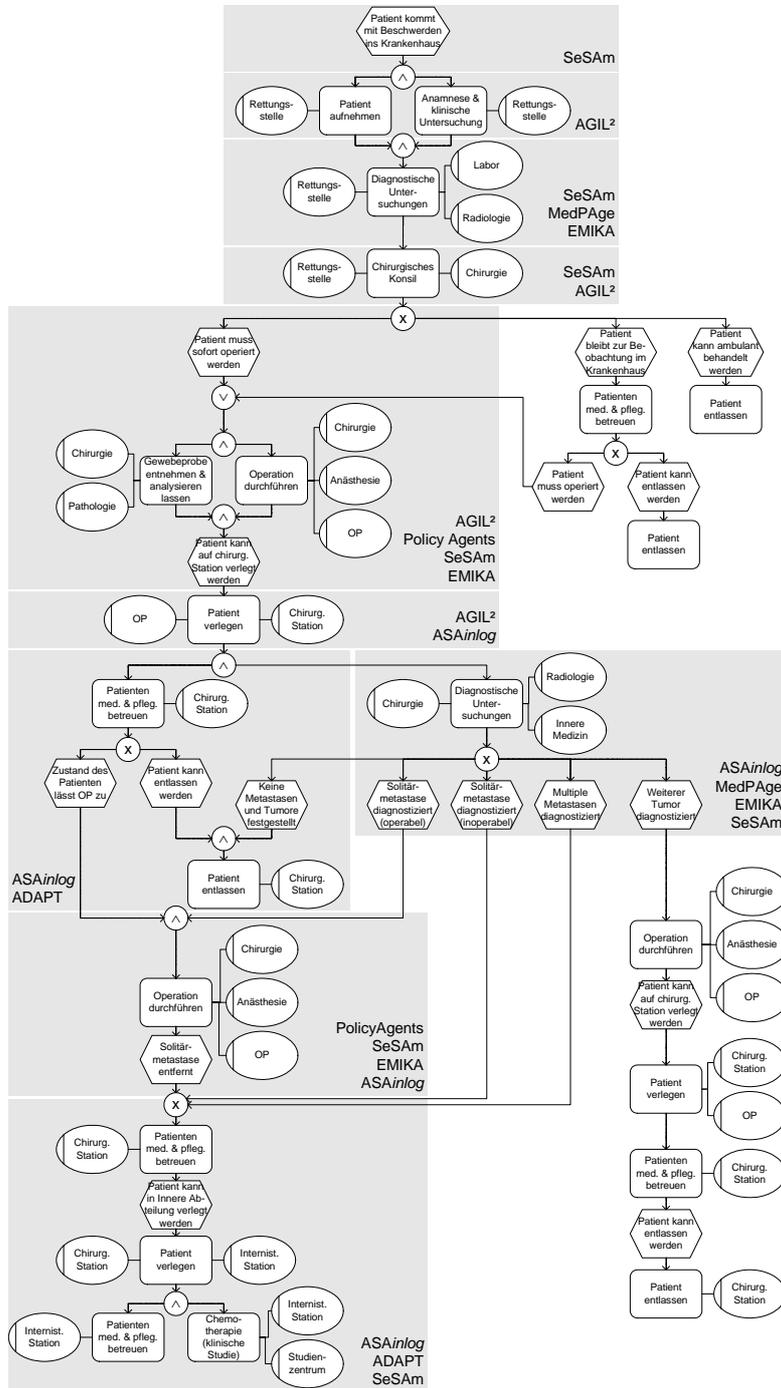


Abbildung 4: Projektübergreifender Prozess der AG Krankenhauslogistik

Dadurch entsteht eine Schnittstelle zu der OP-Koordination des Policy-Agents Projektes, welches die Terminplanung für die Operationsräume unter Berücksichtigung der Präferenzen der verschiedenen an der Operation beteiligten Akteure übernimmt.

Während der Operation wird ein Tumor diagnostiziert, wenn möglich auch entfernt und eine Gewebeprobe zur Untersuchung an die Pathologie geschickt. Nach dem Eingriff wird der Patient auf die chirurgische Station verlegt und dort betreut. Durch weitere, ergänzende Untersuchungen sollen Metastasen und weitere Tumore ausgeschlossen werden. Hierbei werden diese diagnostischen Maßnahmen (siehe Abbildung 5) wiederum von dem MedPAge Projekt koordiniert, wobei der stationäre Patient in regelmäßigen Abständen durch die EMIKA Agenten für Kontrolluntersuchungen in der Radiologie eingeplant wird.

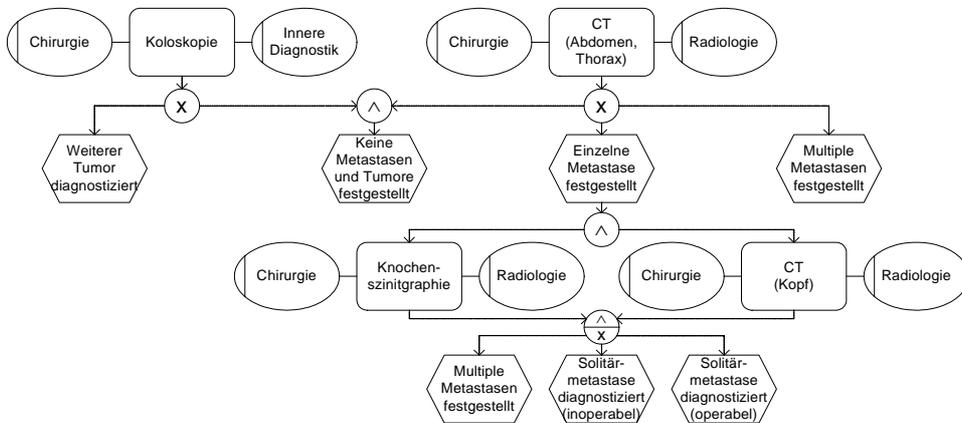


Abbildung 5: Diagnostische Untersuchungen

Werden keine Metastasen oder Tumore gefunden, ist der Patient durch den chirurgischen Eingriff geheilt und benötigt keine weitere Therapie. Werden jedoch Metastasen nachgewiesen, entscheiden Anzahl und Lokalisation über das weitere Vorgehen. Wird eine einzelne Metastase diagnostiziert, wird diese so genannte Solitärmetastase, soweit chirurgisch therapierbar, in einer weiteren Operation entfernt (Koordination über Policy-Agents). Werden mehrere Metastasen in einem Organ oder in mehreren Organen festgestellt oder ist die Solitärmetastase aufgrund ihrer Lokalisation nicht operabel, ist ein operativer Eingriff nicht mehr sinnvoll. Dieser Patient wird in jedem Fall anschließend chemotherapeutisch weiter behandelt.

Für klinische Studien werden häufig Patienten gesucht, die spezielle Studienbedingungen erfüllen müssen. Im Verlauf des Prozesses wird kontinuierlich überprüft, ob der Patient die Studienbedingungen erfüllt und an einer Studie teilnehmen kann. Das ADAPT Projekt übernimmt hierbei die Auswahl des Patienten für eine klinische Studie und optimiert die Durchführung dieser Studie (vgl. Abbildung 4). Erfüllt der Patient die Bedingungen und stimmt er einer Teilnahme zu, wird er zum Studienpatienten für eine adjuvante Chemotherapie.

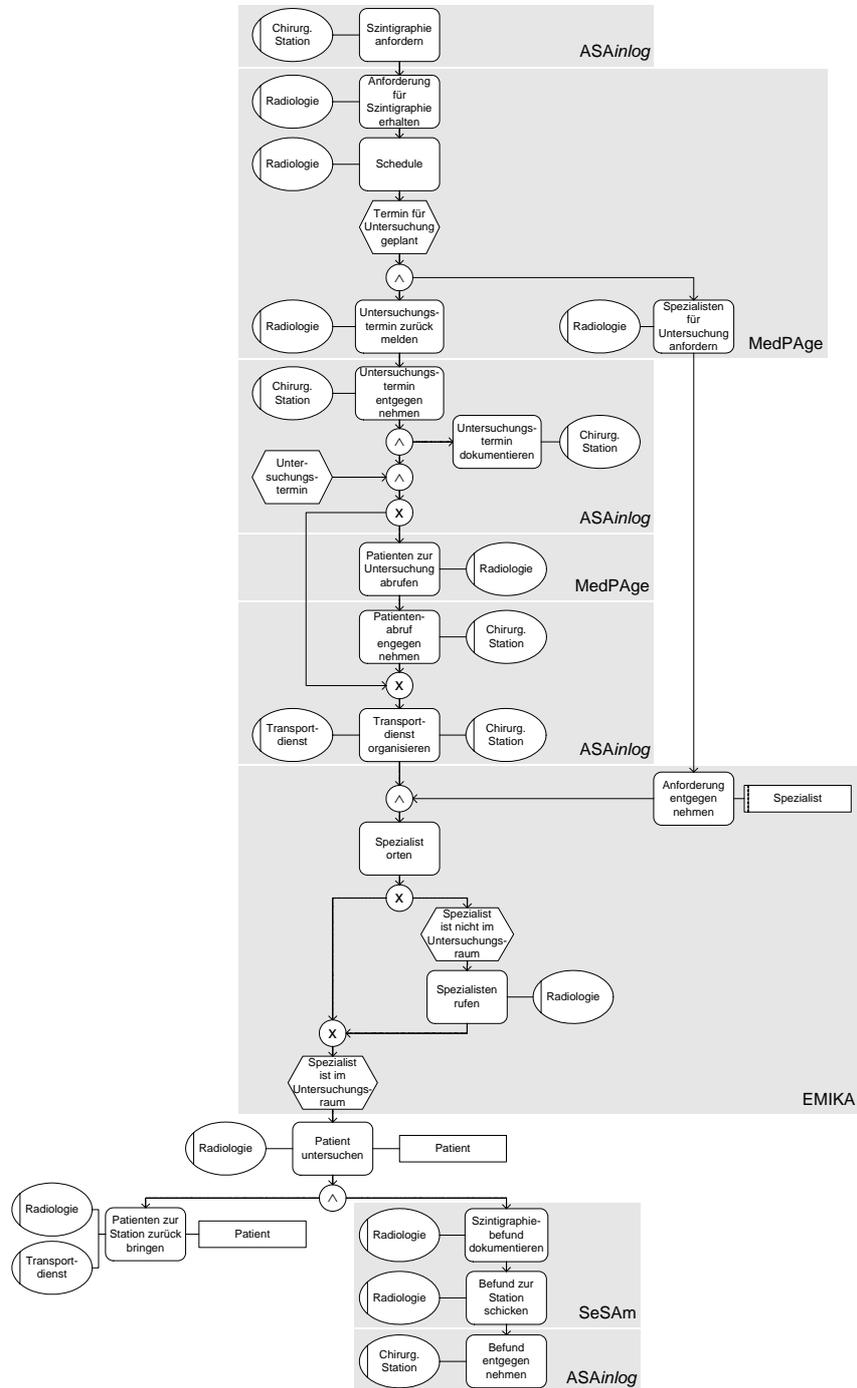


Abbildung 6: Diagnostische Untersuchung im Detail am Beispiel Szintigraphie

Während des gesamten Prozesses interagieren die bisher beschriebenen Projekte mit den Agenten des *ASainlog* Projektes, die in Form von aktiven Dokumenten die für den Behandlungsprozess des Patienten relevanten Informationen verwalten und bei Bedarf bereitstellen. Diese Interaktion wird in Abbildung 6 beispielhaft zwischen den Multiagenten Systemen *ASainlog*, *MedPAge* und *EMIKA* verdeutlicht.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Das Ziel der Arbeitsgemeinschaft Krankenhauslogistik ist der Einsatz intelligenter Softwareagenten in realitätsnahen betriebswirtschaftlichen Anwendungsszenarien in der Domäne Krankenhaus. Hierfür wurden zunächst die betrachteten Problemstellungen aufgezeigt. Um eine möglichst hohe Abdeckung dieser Probleme zu erreichen wurden von den einzelnen Mitgliedern der Arbeitsgemeinschaft heterogene Problemstellungen verfolgt. Die Zielsetzungen der einzelnen Projekte wurden in diesem Beitrag kurz beschrieben. Aufgrund der hohen Interdependenzen zwischen den einzelnen Projekten wurde das Vorgehen der Arbeitsgemeinschaft zur Integration der jeweils entwickelten Multiagentensysteme dargelegt. Hierfür wurde – in Zusammenarbeit mit der Arbeitsgemeinschaft Technologie das Agententechnologie-Testbed *Agent.Hospital* entwickelt [Kr03]. In diesem Rahmen wurde in diesem Beitrag die zur Kommunikation zwischen den Agentensystemen notwendige Entwicklung der gemeinsamen Ontologie *OntHoS* sowie die Erstellung eines projektübergreifenden Referenzprozesses beschrieben.

Die anschließenden Schritte für die Arbeitsgemeinschaft Krankenhauslogistik sind die Evaluation des Gesamtsystems und die Realisierung der Anbindung von Legacy-Systemen im Krankenhaus. Ferner gilt es den Focus auf die Anbindung von vor- und nachgelagerten Leistungserbringern des Krankenhauses (z.B. niedergelassene Ärzte, Rehabilitationseinrichtungen) zu erweitern. Hierbei kommt der Arbeitsgemeinschaft Krankenhauslogistik die offene Architektur von *Agent.Hospital* und die bereits bei der Integration gemachten Erfahrungen zugute.

Literaturverzeichnis

- [AK03] Anhalt, C.; Kirn, St.: RealAgentS – Realistic Agent Application Scenarios. <http://141.24.72.19/realagents/geturl.php?ID=120>, Abruf am 19.07.2003.
- [AP01] Awizen, M.; Paulussen, T. O.: Modellierung von Kommunikationsprotokollen für die dezentrale, agentenunterstützte Koordination von Krankenhausprozessen. In (Bauknecht, K.; Brauer, W.; Mück, Th. Hrsg.): Informatik 2001: Wirtschaft und Wissenschaft in der Network Economie - Visionen und Wirklichkeit, Tagungsband, Bd. 157, S. 883-888, Österr. Computer-Ges.: Wien
- [Be01] Beuscart-Zéphir, M.; Anceaux, F.; Cinquette, V.; Renard, J.: Integrating users' activity modeling in the design and assessment of hospital electronic patient records: the example of anesthesia. In: International Journal of Medical Informatics, 2001, S. 157-171.
- [Be02] Becker, M.; Heine, C.; Herrler, R.; Krempels, K.H.: OntHoS – An Ontology for Hospital Scenarios. Technical Report No. 300, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Institut für Informatik, September 2002.

- [BKS01] Becker, M.; Krempels, K.-H.; Schiffelholz, S.-D.: Artificielle Policy-Agenten zur Terminkoordination im Akutkrankenhaus. In: Proceedings der Informatiktage 2001, Bad Schussenried 2001.
- [Bu02] Burke, D.; Wang, B.; Wan, T.; Diana, M.: Exploring Hospitals' Adoption of Information Technology. In: Journal of Medical Systems, 2002, S. 349-355.
- [CB02] Czap, H.; Becker, M.: A New Scheduling Approach for Hospital Operating Theatres. In: European Journal of Medical Research, Vol. 5, Suppl. 1, München, 2002, S. 16-17.
- [CB03] Czap, H.; Becker, M.: Multi-Agent Systems and Microeconomic Theory: A Negotiation Approach to solve Scheduling Problems in High Dynamic Environments, in Proceedings of 36th Annual Hawaii International Conference on System Sciences, Hawaii 2003.
- [Dh03] Dharma Guideline Model. <http://smi-web.stanford.edu/projects/eon/DharmaUserGuide>, Abruf am 19.07.2003.
- [DI84] Dlugos, N.: Eine Untersuchung zur Reorganisation in Krankenhäusern mit einer empirischen Studie im Bereich des betrieblichen Transportwesens. Bochum, 1984.
- [Du97] Duesing, W.; Winter, U. J.: Der Weg vom Krankenhaus zum Gesundheitszentrum. In (Winter, U. J. u.a. Hrsg.): Modernes Krankenhaus-Management, Stuttgart u.a., 1997, S.38 - 43.
- [Fi03a] FIPA ACL Message Structure Specification. <http://www.fipa.org/specs/fipa00061/>, Abruf am 19.07.2003.
- [Fi03b] FIPA Application specifications. <http://www.fipa.org/repository/applicationspecs.php3>, Abruf am 27.01.2003.
- [Gi02] Ginneken, A.: The computerized patient record: balancing effort and benefit. In: International Journal of Medical Informatics, 2002, S. 97-119.
- [Gr97] Greulich, A.: Prozeßmanagement im Krankenhaus. Schriftenreihe zum Managementhandbuch Krankenhaus, Band 8, Heidelberg, 1997.
- [He94] Herder-Dorneich, P.: Ökonomische Theorie des Gesundheitswesens: Problemgeschichte, Problembereiche, Theoretische Grundlagen. Baden-Baden, 1994.
- [He02] Herrler, R.; Heine, C.; Klügl, F.: Appointment Scheduling Among Agents: A Case Study In Designing Suitable Interaction Protocols. In: AMCIS 2002 Proceedings, S. 1456-1463, Dallas, 2002.
- [He03] Heine, C.; Herrler, R.; Petsch, M.; Anhalt, C.: ADAPT - Adaptive Multi Agent Process Planning & Coordination of Clinical Trials. In: AMCIS 2003 Proceedings, Tampa/Florida, 2003.
- [Ja03] JADE – Java Agent Development Framework. <http://sharon.csel.it/projects/jade>, Abruf am 19.07.2003.
- [Ja97] Jaster, H.-J.: Qualitätssicherung im Krankenhaus. In (Jaster, H.-J. Hrsg.): Qualitätssicherung im Gesundheitswesen, Stuttgart u.a., 1997.
- [Ki03a] Kirn, St.; Heine, C.; Herrler, R.; Krempels, K.-H.: Agent.Hospital Agentenbasiertes offenes Framework für klinische Anwendungen. In: Proceedings of the 6. Int. Conference on Wirtschaftsinformatik 2003, Dresden, 2003 (to appear).
- [Ki03b] Kirn, St.; Heine, C.; Herrler, R.; Krempels, K.-H.: Agent.Hospital - agent-based open framework for clinical applications. In (Kotsis, G.; Reddy, S. Eds.): 12th IEEE International Workshops on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises (WET ICE 2003). CS Press, Los Alamitos, CA 2003, pp. 36-41.
- [Kr03] Krempels, K.-H. et.al.: Entwicklung intelligenter Multi-Multiagentensysteme – Werkzeugunterstützung, Lösungen und offene Fragen. Proc. Informatik2003, Frankfurt, 29.9.-2.10.2003 (in diesem Band).
- [KRS00] Knublauch, H.; Rose, T.; Sedlmayr, M.: Towards a Multi-Agent System for Proactive Information Management in Anesthesia. In: Proc. of the Agents-2000 Workshop on Autonomous Agents in Health Care, Barcelona, Spain, 2000.

- [LFS95] Lanzola, G.; Falasconi, S.; Stefanelli, M.: Cooperative Software Agents for Patient Management. In: Proc. of the 5th Conference on Artificial Intelligence in Medicine in Europe (AIME), Pavia, Italy, 1995.
- [MZ03] Marinakis, H.; Zwemer, F.: An Inexpensive Modification of the Laboratory Computer Display Changes Emergency Physicians' Work Habits and Perceptions. In: Annals of Emergency Medicine, S. 186-190.
- [Pa03] Paulussen, T. O.; Jennings, N. R.; Decker, K. S.; Heinzl, A.: Distributed patient scheduling in hospitals. Erscheint in: Proc. 18th Int. Joint Conf. on AI, Acapulco, Mexico, 2003.
- [Ps98] Pschyrembel Klinisches Wörterbuch. 258. Aufl., de Gruyter, 1998.
- [Re03] RealAgentS-Plattform. <http://www.realagents.org>, Abruf am 19.07.2003.
- [Ry99] Rychlik, R.: Gesundheitsökonomie und Krankenhausmanagement: Grundlagen und Praxis. Stuttgart u.a., 1999.
- [Sc90] Schlüchtermann, J.: Patientensteuerung: am Beispiel der Radiologie eines Krankenhauses. Josef Eul Verlag GmbH, Bergisch Gladbach, 1990.
- [Sc99] Schmidt-Rettig, B.: Profitcenter-Organisation und Prozessorganisation – Konflikt oder Konsens?. In (Eichhorn, S.; Schmidt-Rettig, B. Hrsg.): Profitcenter und Prozessorientierung: Optimierung von Budget, Arbeitsprozessen und Qualität, Stuttgart u.a., 1999, S. 207 - 216.
- [Se84] Seidensticker, A.: Organisation des Operationsbereiches im Krankenhaus: eine empirisch explorative Studie zur Beurteilung zentralisierter versus dezentralisierter Operationsbereiche. Frankfurt a.M., 1984.
- [St01] Staccini, P.; Joubert, M.; Quaranta, J.; Fieschi, D.; Fieschi, M.: Modelling health care processes for eliciting user requirements: a way to link a quality paradigm and clinical information system design. In: International Journal of Medical Informatics, 2001, S. 129-142.
- [STM02] Sackmann, S.; Eymann, T.; Müller, G.: EMIKA - Real-Time Controlled Mobile Information Systems in Health Care Applications. In (H.-B. Bludau, A. Koop): Mobile Computing in Medicine. Proceedings of the Second Conference on Mobile Computing in Medicine, Workshop of the Project Group MocoMed, GMDS-Fachbereich Medizinische Informatik & GI-Fachausschuss 4.7, 11. April 2002, Heidelberg, Germany. GI-Edition Lecture Notes in Informatics. Bonn: Gesellschaft für Informatik, 2002.
- [Th96] Thompson, D.; Yarnold, P.; Williams, D.; Adams, S.: Effects of Actual Waiting Time, Perceived Waiting Time, Information Delivery, and Expressive Quality on Patient Satisfaction in the Emergency Department. In: Annals of Emergency Medicine, 1996, S. 657-665.
- [We87] von Wendt: Patientensteuerung an Computer-Tomographen. In: Veröffentlichungen des Instituts für Industrie- und Krankenhausbetriebslehre der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster, Universität Münster, Münster, 1987.
- [Wi03] Willmott, S.; Constantinescu, I.; Dale, J.; Somacher, M.; Marinheiro, R.; Mota, L.; Bothelo, L.; Bonnefoy, D.; Picault, J.; Poslad, S.; Tan, J.; Bothelo, L.: Agentcities Network Architecture Recommendation. <http://www.agentcities.org/rec/00001/act-frec-00001a.pdf>, Abruf am 19.07.2003.