

Navigieren statt modellieren

Flexible Prozessgestaltung durch Endanwender

Claudia Reuter · Peter Dadam

Hohe Komplexität und extreme Flexibilitätsanforderungen erschweren den Einsatz von Prozesstechnologien in Kliniken. Guarded Process Spaces (GPS) unterstützen eine neue Art der Prozessmodellierung, die sich an den Bedürfnissen der Endanwender orientiert und die flexible Prozessanpassung zur Laufzeit ermöglicht.

Einführung

In einer globalisierten Welt müssen Unternehmen ihre Produkte und Dienstleistungen zunehmend rascher an sich verändernde Marktbedingungen und Kundenanforderungen anpassen, um wettbewerbsfähig zu bleiben. Ein entscheidender Faktor ist hierbei die flexible Gestaltung der Ge-

schäftsprozesse. Dementsprechend hat die Einführung von prozessorientierten Informationssystemen (poIS), die die Modellierung, die Ausführung und das Controlling von Prozessen unterstützen, bei Entscheidungsträgern vieler Branchen Priorität. Während poIS bzw. die ihnen meist zugrunde liegenden Prozess-Management-Systeme (PMS) ursprünglich zur Steuerung von industriellen Arbeitsabläufen sowie zur Systemintegration entwickelt wurden, melden inzwischen auch kunden- und dienstleistungsorientierte Domänen, wie z. B. das Gesundheitswesen, ihr Interesse an. Diese Anwendungsdomänen haben in der Regel erheblich höhere Anforderungen an kurze Realisierungsfristen für neue Prozesse, an deren rasche Anpassbarkeit an veränderte Rahmenbedingungen sowie an die Flexibilität, die konkrete Prozessausführung im Einzelfall individuell gestalten zu können. Besonders deutlich wird dies am Beispiel medizinischer Behandlungsabläufe. Zum einen sind hier neue medizinische Erkenntnisse stets ohne großen Zeitverzug

in die Behandlungsprozesse zu integrieren, zum anderen muss jeder Patient und jede Patientin individuell betrachtet und behandelt werden. Kein PMS kann dem zuständigen Arzt die Entscheidung und Verantwortung abnehmen. Das heißt, die derzeit im industriellen Umfeld gängige, zeitaufwendige Vorgehensweise bei der Erfassung, Modellierung, Implementierung und Inbetriebnahme von Prozessen, die dem Paradigma „write once, run forever“ folgt, ist für solche Anwendungsdomänen ungeeignet; außerdem ist auch die erforderliche Flexibilität zur Ausführungszeit in der Regel nicht vorhanden [6].

Hinsichtlich der Realisierung neuer und Adaption existierender Prozesse wird, insbesondere in stark wissensgetriebenen Anwendungsdomänen, kein Weg daran vorbeiführen, die Fachanwender sehr viel früher und sehr viel intensiver in die Prozessentwicklung einzubeziehen. Idealerweise sollten sie ihre Prozesse selbst realisieren können. Mit „Guarded Process Spaces“ (GPS) haben wir daher einen Weg zur Prozessmodellierung und -anpassung durch Endanwender entwickelt, den wir im Folgenden im Sinne eines Denkanstoßes vorstellen möchten. Der Beitrag ist wie folgt aufgebaut: Im nächsten Abschnitt gehen wir kurz auf domänenspezifische Modellierungssprachen sowie

DOI 10.1007/s00287-012-0651-2
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2012

Claudia Reuter
Zühlke Management Consultants AG,
Wiesenstr. 10a, 8952 Schlieren, Schweiz
E-Mail: claudia.reuter@zuehlke.com

Peter Dadam
Universität Ulm, Institut für Datenbanken und
Informationssysteme, 89069 Ulm, Deutschland
E-Mail: peter.dadam@uni-ulm.de

Zusammenfassung

Angesichts des zunehmenden Qualitäts- und Kostendrucks, werden Technologien zum Entwurf und zur Ausführung standardisierter Behandlungsprozesse als „klinische Pfade“ für Krankenhäuser immer relevanter. Im Gegensatz zu stark strukturierten Prozessen in der produzierenden Industrie, müssen Kliniken jedoch in der Lage sein, ihre Pfade schnell und flexibel an den Bedürfnissen ihrer Patientinnen und Patienten auszurichten. Mit Guarded Process Spaces (GPS) haben wir daher ein formales Konzept entwickelt, um Endanwendern im Krankenhaus selbst die Möglichkeit zu geben, ausführbare Behandlungsprozesse für ihre Patienten zu erstellen und dynamisch zu verändern. Unser Ansatz macht dabei Gebrauch von existierenden Prozesstechnologien, ohne sich auf ein bestimmtes System und bestimmte Benutzerschnittstellen festzulegen.

auf Flexibilitätsaspekte von PMS ein und stellen im Anschluss vor, wie eine prozessorientierte Benutzerführung bei klinischen Pfaden aussehen kann. Im Abschnitt „Guarded Process Spaces: Prozessmodellierung nach dem Navigationsparadigma“ beschreiben wir das Konzept der „Guarded Process Spaces“ (GPS) und die darauf basierende Prozessmodellierungsmethodik. Anschließend werden wir darlegen, wie sich Ad-hoc-Änderungen an klinischen Pfaden aus Anwendersicht realisieren lassen. Im Abschnitt „Implementierung von Guarded Process Spaces“ geben wir einen Einblick in die Implementierung von GPS. Zum Schluss diskutieren wir Anforderungen an eine Ausführungsumgebung.

Eine erweiterte Fassung dieses Beitrags findet sich in [16]; dort gehen wir etwas detaillierter auf existierende technische Lösungen zur Prozessflexibilisierung ein und stellen dar, wie diese als Basis für unseren GPS-Ansatz genutzt werden können. In [15] werden die formalen Grundlagen des Konzeptes ausführlich beschrieben.

Stand der Technik

Die Modellierungssprachen, die von Prozessexperten genutzt werden, um ausführbare Prozessmodelle zu erstellen, sind für Endanwender meist zu kompliziert oder erfordern einen hohen Ein-

arbeitungsaufwand. Aus diesem Grund werden sogenannte domänenspezifische Sprachen (domain-specific languages, DSL) für die Prozessmodellierung entwickelt, die sich an der Begriffs- und Denkwelt der Endanwender orientieren [4]. Im Prinzip werden hierbei DSL-Konzepte, die für Programmiersprachen oder Entwurfssprachen für Software- und Hardwaresysteme entwickelt wurden [10, 18], auf die Prozessmodellierung übertragen. Beispielsweise gibt es DSLs für die Modellierung von Prozessen in der öffentlichen Verwaltung [3], für die Erstellung prozess-orientierter Webanwendungen [8], für Behandlungspläne in der integrierten Versorgung [11] oder für medizinische Leitlinien [7]. In der Regel sind diese „prozessorientierten“ DSLs hinsichtlich ihres Ausführungsverhaltens informell beschrieben und modellieren Aspekte wie Informations- bzw. Datenflüsse eher grobgranular (falls überhaupt). Somit kann erst nach Transformation in ein formales Prozessmodell (z. B. ein hierfür geeignetes Petri-Netz [2]) mit genau definierten Struktur- und Verhaltensregeln überprüft werden, ob das vom Endanwender erstellte Prozessmodell technisch ausführbar ist. Eventuelle Modellierungsfehler lassen sich somit meist erst im Nachhinein feststellen und beheben. Das heißt, DSLs sind dafür ausgelegt, den Ist-Prozess zu erfassen oder auch als Vorlage für den Soll-Prozess zu dienen, sie sind jedoch nicht dafür geschaffen, um direkt ausführbare Prozesse zu erstellen.

Wenn aber die Realisierung ausführbarer Prozesse durch Endanwender das Ziel ist, dann muss stattdessen eine Modellierungsumgebung bereitgestellt werden, die für Endanwender intuitiv benutzbar ist und diese bei der Prozessmodellierung so führt, dass technische Modellierungsfehler, wie z. B. Verklemmungen, unvollständige Datenflüsse usw., möglichst von vornherein vermieden werden. Der sogenannte Correctness-by-Construction-Ansatz des ADEPT-Projekts [5, 13] zeigt einen guten Weg auf, wie man dies erreichen kann und hat die Entwicklung des GPS-Konzepts stark beeinflusst.

Aufseiten der PMSe existiert heute eine Vielzahl verschiedener Prozessmodellierungssprachen. Mit BPMN 2.0 [23] wurde jüngst der Versuch unternommen, eine PMS-unabhängige Modellierungssprache als Industriestandard zu etablieren. Ob diese aufgrund der großen Funktionalitätsunterschiede auf PMS-Ebene jedoch die proprietären PMS-Modellierungssprachen einmal

Abstract

Facing increasing cost and quality pressure, technologies for design and execution of standardized treatment processes as “clinical pathways” become more and more interesting for hospitals. In contrast to well-structured processes in the producing industry, hospitals have to adapt their pathways quickly and flexibly to the ever-changing demands of their patients. With Guarded Process Spaces (GPS), we developed a formally based concept that makes it possible to enable clinicians to create and change processes themselves. Thereby, our approach makes use of existing process technology while abstracting from specific systems and user interfaces.

in großem Stil ablösen wird oder im Wesentlichen auf BPEL-basierte PMS [22] beschränkt bleibt, muss abgewartet werden. Allerdings legt BPMN 2.0 nur die Syntax und Semantik der Modellkonstrukte fest. Ob und wie ein Benutzer bei der Prozessmodellierung vom Modelleditor geführt wird, ist Sache des jeweiligen Herstellers; und zwar unabhängig davon, ob BPMN oder eine andere Notation verwendet wird. Folglich gibt es auch keinerlei Aussagen darüber, wie man sich Ad-hoc-Änderungen auf Prozessinstanzebene vorzustellen hat; diese werden bislang ohnehin nur von ganz wenigen PMS unterstützt [20]. Nach heutigem Stand der Technik müsste daher ein Endanwender, der selbst Ad-hoc-Änderungen durchführen will, sich nicht nur tief mit Prozessmodellierung im Allgemeinen (Kontroll- und Datenflussmodellierung), sondern auch mit der speziellen Modellierungssprache des zugrunde liegenden PMS auseinandersetzen, um die gewünschten Modifikationen ausführen zu können. Ob das dann auch zu einem technisch robust ausführbaren Prozess führt, steht wieder auf einem anderen Blatt. (Dies ist natürlich keine realistische Option für Endanwender.) Auch hier muss – wie bei der Prozessmodellierung – ein Weg gefunden werden, der es Endanwendern auf relativ intuitive Weise und ohne große Einarbeitung gestattet, ad hoc gebotene Änderungen auf Prozessinstanzebene vorzunehmen.

Möglichkeiten der Ad-hoc-Definition und Anpassung von Prozessabläufen werden derzeit auch

unter dem Schlagwort „Adaptive Case Management“ diskutiert [19]. Ein „Fall“ bzw. „Case“ bezeichnet eine Situation, die durch Auswahl einer Anzahl von Aktionen zum Abschluss geführt werden soll. Der Prozessablauf ist dabei nicht oder nur zum Teil vordefiniert. Die Entscheidung, welche Aufgaben zu einem gegebenen Zeitpunkt ausgeführt werden, um zum gewünschten Ergebnis zu gelangen, wird (zumindest in einem gewissen Umfang) ad hoc von den verantwortlichen Mitarbeitern getroffen. Im Gegensatz dazu ermöglicht der von uns entwickelte Ansatz „Guarded Process Spaces“ die Modellierung von ausführbaren Standardprozessen durch Endanwender, die jedoch von Fall zu Fall variiert werden können.

Prozessorientierte Benutzerführung bei klinischen Pfaden

Es ist typisch für die ärztliche Vorgehens- und Denkweise, dass diagnostische oder therapeutische Tätigkeiten als „Weg“ bzw. Prozess verstanden werden, entlang dessen immer wieder (Auswahl)-Entscheidungen getroffen werden müssen. Bietet ein poIS einem Arzt die jeweils anstehenden relevanten Auswahlentscheidungen und Funktionen an, wird dieser mit einem solchen System sehr rasch zurecht kommen (sofern die Bedienoberfläche adäquat gestaltet ist). Abbildung 1 veranschaulicht, wie man sich eine einfach gestaltete „Arbeitsliste“ eines Arztes vorstellen kann. Zum einen sieht er alle aktuell für ihn anstehenden Aufgaben (oberes Teilfenster in Abb. 1), zum anderen kann er auch in einen Prozess „hineinsehen“ und sich den aktuellen Zustand des Prozesses anzeigen lassen (unteres Teilfenster in Abb. 1). Auf diese Weise können sich Ärzte und Krankenschwestern jederzeit ein Bild vom bisherigen Behandlungsverlauf und von den als nächstes anstehenden Schritten verschaffen. Gleichzeitig unterstützen solche Systeme die medizinische Dokumentation und sind darüber hinaus auch in der Lage, die Bereitstellung der benötigten Ressourcen zu koordinieren.

Abbildung 2 illustriert, wie ein Arzt in seinem Entscheidungsprozess unterstützt werden kann. Sie zeigt eine mögliche Benutzeroberfläche, nachdem eine Aktivität in der Arbeitsliste ausgewählt wurde. Auf der rechten Seite wird hier ein Ausschnitt aus dem Behandlungsverlauf angezeigt und auf der linken Seite werden die durchzuführenden Untersuchungen zur Auswahl angeboten.

NAVIGIEREN STATT MODELLIEREN

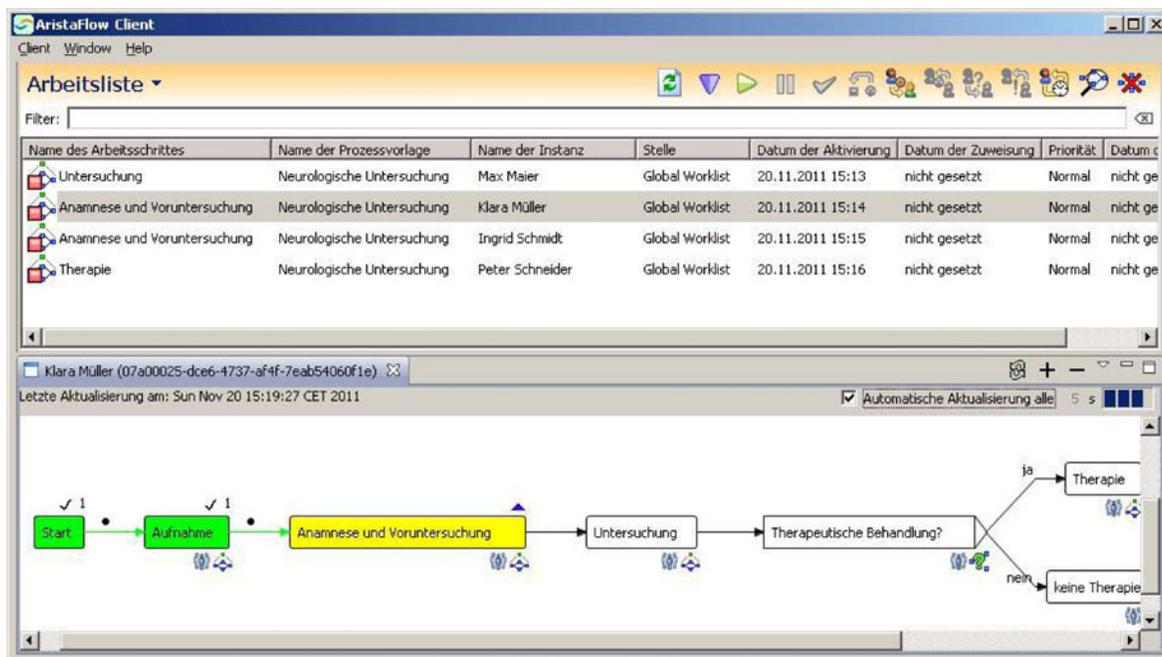


Abb. 1 Visualisierung von Prozessen und Arbeitslisten für Endanwender

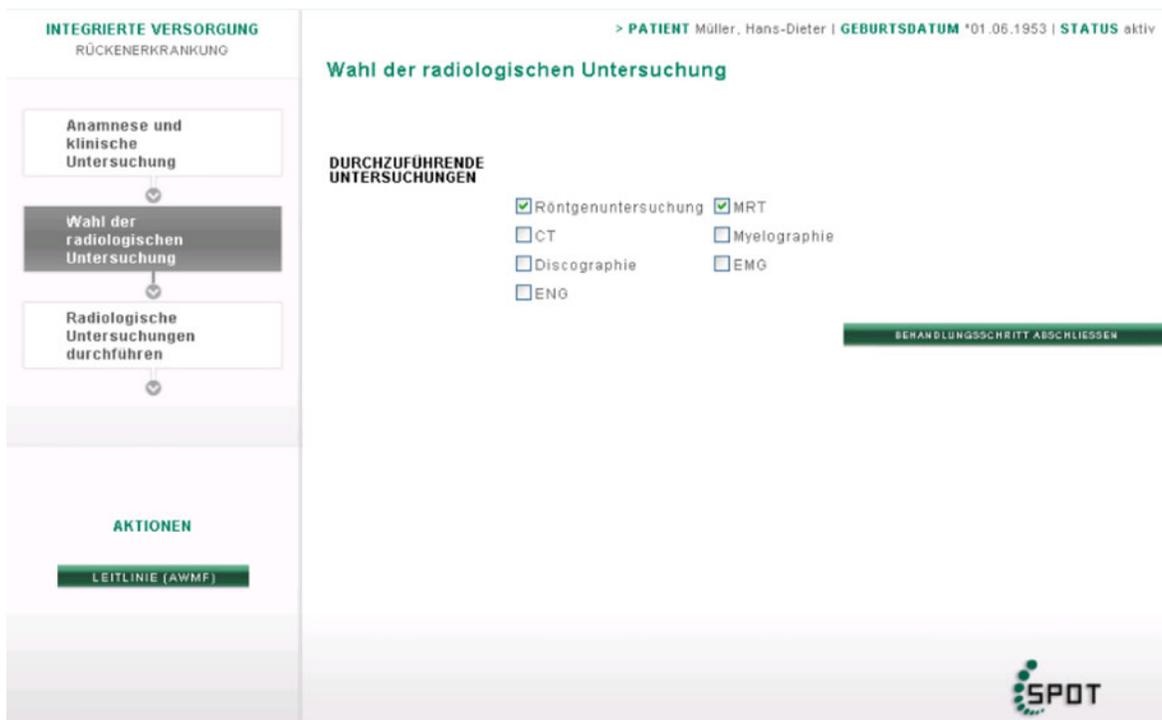


Abb. 2 Durchführung einer Aufgabe aus der Arbeitsliste und Festlegung des weiteren Prozessverlaufs

Im konkreten Fall sieht der klinische Pfad standardmäßig die Durchführung einer Röntgen- und einer MRT-Untersuchung für den Patienten vor.

Das Anzeigen dieser Tätigkeiten geht in der Regel weit über eine reine Erinnerungsfunktion hinaus. Meist werden bei der Auswahl einer bestimmten Untersuchung Aufgaben wie Terminvereinbarung,

Reservierung von medizinischen Geräten, Anzeige der Patientenakte usw. automatisch vom poIS angestoßen und durchgeführt. Auf diese Weise kann das medizinische Personal von vielen administrativen Tätigkeiten entlastet werden.

Wie eingangs erwähnt, muss das medizinische Personal jedoch auch die Möglichkeit haben, im Bedarfsfall vom klinischen Pfad abzuweichen. Die dafür notwendigen Aktionen von Seiten der Fachanwender müssen intuitiv sein und sollten sich nach Möglichkeit auf das Einblenden weiterer Alternativen und das Setzen zusätzlicher Haken bei der gewünschten Untersuchung beschränken. Eine derartige, scheinbar simple Änderung kann jedoch komplexe technische Auswirkungen haben, die vor den Fachanwendern komplett verborgen bleiben müssen. Wie man poIS so einrichten kann, dass sie jeweils die relevanten Auswahlentscheidungen darstellen und den Prozess in Abhängigkeit der ärztlichen Entscheidungen (neu) ausrichten, ist Gegenstand der folgenden Abschnitte.

Guarded Process Spaces: Prozessmodellierung nach dem Navigationsparadigma

Klinische Pfade lassen sich in Module zerlegen, die wiederum eine Vielzahl einzelner Behandlungsschritte zusammenfassen und meist nicht nur in einem Pfad, sondern in vielen Pfaden zum Einsatz kommen können. Sind diese Module identifiziert und technisch implementiert, können sie von Ärzten zu neuen klinischen Pfaden kombiniert oder zur Anpassung vorhandener Pfade genutzt werden. Die Herausforderung liegt nun darin, die Fachanwender bei der Komposition dieser Module nicht sich selbst zu überlassen, sondern die Komposition so zu steuern, dass mit minimalem manuellem Aufwand ein ausführbarer Prozess entsteht, der im Hinblick auf Kontroll- und Datenflüsse korrekt ist. Um das zu erreichen, haben wir mit „Guarded Process Spaces“ (GPS) ein Werkzeug entwickelt, das es Endanwendern ermöglicht, ausführbare Prozesse nach dem Navigationsparadigma zu kreieren. Gegenüber dem Modellierer verhält sich ein GPS wie ein Navigationssystem, das seinem Nutzer mögliche Routen aufzeigt, um von der aktuellen Position zu einem gewünschten Ziel zu gelangen. Den Weg vom Ausgangspunkt bis hin zum Ziel muss der Modellierer in der Regel über mehrere Etappen zurücklegen. Am Ende einer jeden Etappe präsentiert der GPS

die alternativen Routen, um von dort aus das Ziel zu erreichen. Mit jeder Etappe nimmt hierdurch die Menge an Auswahlmöglichkeiten kontinuierlich ab. Die auf diese Weise festgelegte Route vom Startpunkt bis hin zum Ziel repräsentiert einen bestimmten ausführbaren klinischen Pfad.

Der GPS gibt eine grobe, hierarchische Struktur vor, in der die Pfadmodule und die jeweiligen Auswahlmöglichkeiten angeordnet sind. Jedes Pfadmodul kann weitere Module oder auch bereits konkrete Aufgaben umfassen. Der Prozessmodellierer navigiert also durch den GPS, um z. B. einen Standardprozess für die stationäre Behandlung von Wirbelsäulenerkrankungen zu entwickeln. Alle Aufgaben, die er im GPS auswählt, werden im resultierenden Prozessmodell vorhanden sein. [Abbildung 3](#) visualisiert eine mögliche Grundstruktur für einen GPS zur Entwicklung verschiedener klinischer Pfade in einer Einrichtung.

Auf oberster Ebene unterteilt der GPS klinische Pfade in Aufnahmetag, OP-Tag, post-operativer Tag 1–n usw. Bei der Erstellung eines klinischen Pfads für Wirbelsäulenerkrankungen entscheidet der Prozessmodellierer z. B., dass es einen Aufnahmetag geben soll; durch diese erste Auswahlentscheidung werden die Module „Administrative Aufnahme“ und „klinische Diagnostik“ für die weitere Konfiguration freigeschaltet. Bei der administrativen Aufnahme handelt es sich um Routinetätigkeiten, die immer gleich ablaufen und daher vom Modellierer nicht weiter konfiguriert werden müssen. Bei der klinischen Diagnostik hingegen kann der Modellierer die nötigen radiologischen und labortechnischen Untersuchungen auswählen. Seine Wahl bestimmt, wie der ausführbare Prozess aussieht, der nach Abschluss der Modellierungsarbeiten automatisch für das Ziel-PMS generiert wird. Indem der GPS es erlaubt, Wechselwirkungen zwischen Pfadmodulen und Aufgaben zu definieren, wird der Prozessmodellierer davon entlastet, selbst die logische Reihenfolge der Aktivitäten festzulegen. Auch um die korrekte datentechnische Versorgung der Anwendungskomponenten, die später vom poIS beim Starten einer Aufgabe ausgeführt werden, muss er sich nicht kümmern.

Was die Benutzeroberfläche für die Modellierung klinischer Pfade nach dem Navigationsparadigma angeht, muss sich die Art der Darstellung im Prinzip nicht von der Darstellung bei der späteren Ausführung des Pfads unterscheiden. Das

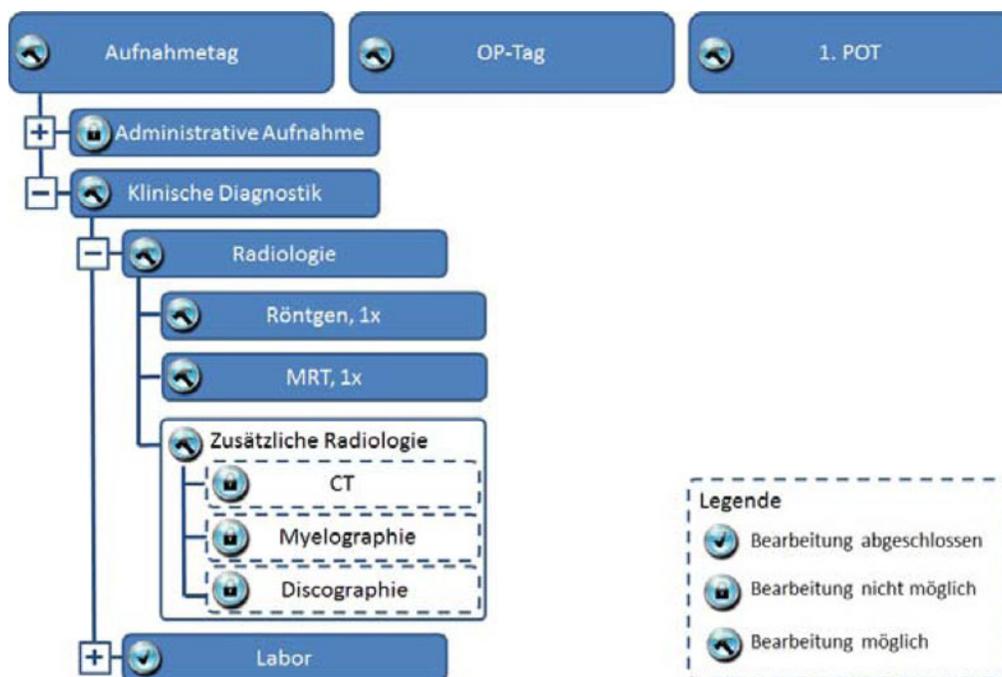


Abb. 3 Grundstruktur zur Festlegung eines klinischen Behandlungspfades

heißt, wenn der Prozessmodellierer festlegt, welche konkreten radiologischen Untersuchungen im klinischen Pfad durchzuführen sind, hat er im Wesentlichen dieselbe Benutzeroberfläche vor Augen wie die Ärztin, die den Pfad für ihren Patienten später instanziiert. In unserem Beispiel könnte es sich also in beiden Fällen um die in Abb. 2 gezeigte Oberfläche handeln. Der einzige Unterschied ist, dass der Modellierer noch alle Aus- und Abwahlentscheidungen treffen muss, während die behandelnde Ärztin bereits anhand der gesetzten Häkchen erkennt, welche Untersuchungen standardmäßig vorgesehen sind. Trotzdem muss sie die Freiheit haben, die Auswahl im Sinne ihres Patienten nachträglich zu verändern. Wie wir noch zeigen werden, unterstützt der GPS Endanwender auch bei der flexiblen Anpassung eines klinischen Pfades zur Laufzeit.

Prozessmodellierung nach dem Navigationsparadigma ermöglicht es somit Anwendern, mental vollständig in ihrer vertrauten Denkwelt zu bleiben und lediglich die Aktivitäten zu bestimmen, die ausgeführt werden sollen. Alle daraus folgenden „technischen“ Aspekte werden quasi „im Verborgenen“ auf Ebene des GPS geregelt. Der GPS „weiß“ auch, welche Aufgaben von anderen Aktivitäten abhängen oder welche sich gegenseitig

ausschließen. Auf diese Weise lassen sich – ähnlich dem „Correctness-by-Construction“-Prinzip von ADEPT [5, 13] – bestimmte Modellierungsfehler automatisch verhindern.

Dynamische Prozessänderung aus Anwendersicht

Die Instanziierung und Ausführung eines klinischen Pfades basiert auf der Konfiguration des GPS für einen bestimmten Zweck, wie z. B. die Behandlung von Wirbelsäulenerkrankungen. Je nachdem, wie allgemein der GPS gestaltet wird, kann der GPS anders konfiguriert werden, um andere Diagnosen zu behandeln. Genau dieses Prinzip kann man sich auch zunutze machen, um Standardprozesse dynamisch zu verändern. Die Anpassung von Prozessinstanzen erfolgt im Prinzip auf dieselbe Art und Weise, wie auch der klinische Pfad initial erstellt wurde: Der Anwender lässt sich vom GPS (zusätzliche) Routen anzeigen und wählt daraus die Gewünschte aus.

Bei den erforderlichen Änderungen am klinischen Pfad kann zwischen „einfachen“ und „komplexen“ Abweichungen unterschieden werden. Bei einfachen Abweichungen werden z. B. einzelne Aktivitäten abgewählt, die in der Standardkonfiguration vorhanden sind; oder umgekehrt

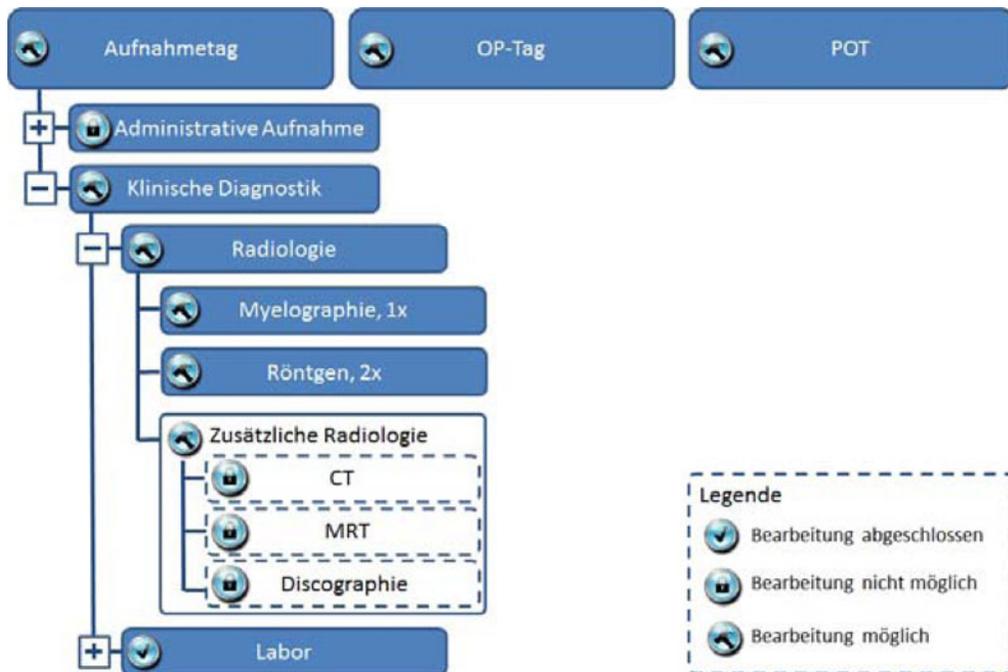


Abb. 4 Ad-hoc Änderung der Konfiguration des GPS

selektiert man Aktivitäten, die im Standardablauf nicht vorkommen. Mit einfachen Abweichungen lassen sich also im Bedarfsfall z. B. Art und Anzahl der radiologischen Untersuchungen variieren. Abbildung 3 illustriert einen GPS, der standardmäßig so konfiguriert ist, dass eine Röntgenuntersuchung und ein MRT durchgeführt werden. Um aber z. B. einen wiederkehrenden Bandscheibenvorfall von einer postoperativen Vernarbung unterscheiden zu können, sind andere Maßnahmen erforderlich. Der behandelnde Arzt muss hierfür am Patienten eine Myelografie und anschließend zwei Röntgenuntersuchungen vornehmen. Das bedeutet, er muss den Navigationspunkt „Radiologie“ des GPS rekonfigurieren. In unserem Beispiel deselektiert er die Aktivität „MRT“ und wählt stattdessen die Aktivität „Myelografie“ unterhalb des Navigationspunktes aus. Auch die Aktivität „Röntgen“ wird rekonfiguriert, indem die Anzahl der Röntgenuntersuchungen auf zwei erhöht wird; die maximale Anzahl, mit der eine Aktivität ausgeführt werden kann, hängt dabei von der im GPS eingestellten Knotenkardinalität ab. Mithilfe von im GPS im GPS hinterlegten Constraints wird im Beispiel systemseitig außerdem beachtet, dass die Myelografie, also das Spritzen eines Kontrastmittels, vor den beiden Röntgenuntersuchungen stattfinden muss.

Abbildung 4 zeigt die veränderte Konfiguration des GPS.

Nach dieser Rekonfiguration enthält der klinische Pfad des Patienten nun die Aktivität Myelografie gefolgt von zwei Röntgenuntersuchungen. Die Benutzeroberfläche für den Arzt muss derart gestaltet sein, dass einfache Abweichungen bzw. Rekonfigurationen mit minimalem Aufwand realisiert werden können, etwa durch das Setzen und Entfernen von Häkchen bei möglichen radiologischen Untersuchungen, wie in Abb. 2 dargestellt.

Wie bereits aus dem Beispiel ersichtlich wurde, setzt die Rekonfiguration bei einfachen Abweichungen sehr weit unten in der baumartigen Hierarchie des GPS an, nämlich bei solchen Navigationspunkten, die nur noch über elementare Aktivitäten als Nachfolger verfügen. Das Selektieren und Deselektieren von Aktivitäten hat dementsprechend direkte, einfach nachvollziehbare Auswirkungen auf die Gestaltung des klinischen Pfades: Wird z. B. eine Aktivität unterhalb eines Navigationspunktes im GPS entfernt, verschwindet sie auch aus dem Pfad bzw. der Pfadinstanz des Patienten. Es braucht nicht viel Phantasie, um sich vorstellen zu können, dass die Rekonfiguration von Navigationspunkten, die höher in der Hierarchie des GPS angesiedelt sind, zu sehr viel komplexeren Abweichungen im Prozess führen.

{ NAVIGIEREN STATT MODELLIEREN

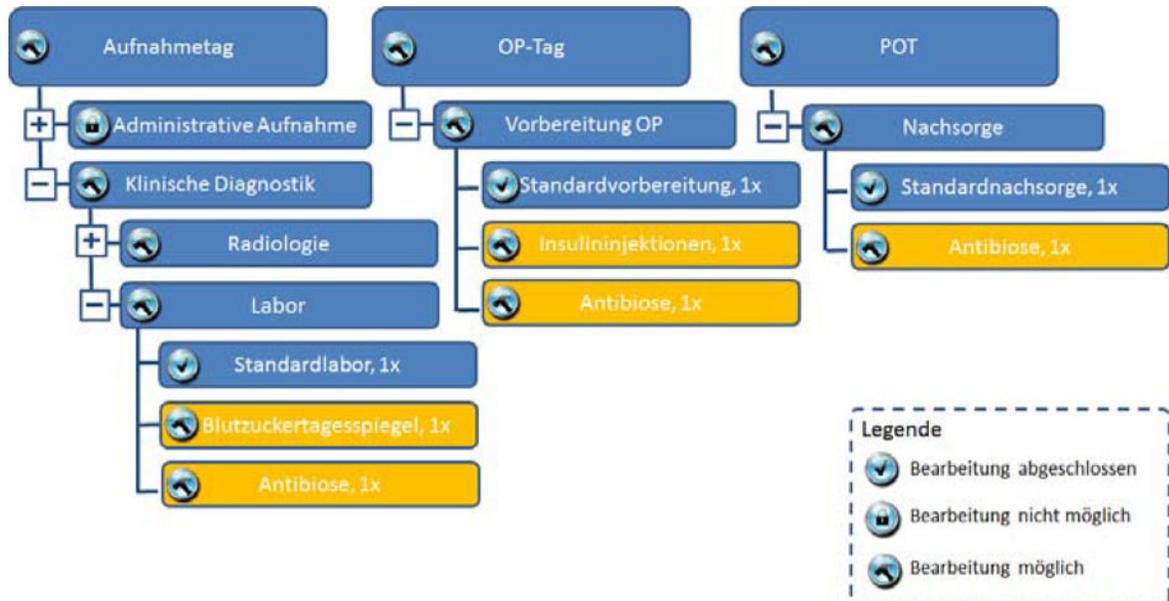


Abb. 5 Konfiguration des GPS nach Anwendung einer Prozessvariante

Wählt man beispielsweise statt dem Navigationspunkt „Radiologie“ schon die nächst höhere Ebene „Klinische Diagnostik“ zur Rekonfiguration aus, so wirkt sich dies nicht nur auf sämtliche radiologische Untersuchungen, sondern auch auf das gesamte Labor aus. Noch einschneidender sind Änderungen auf Ebene des stationären Behandlungstags oder gar der Rekonfiguration des Wurzelknotens des GPS. Änderungen an solchen Stellen können die radikale Neuordnung ganzer Prozessabschnitte zur Folge haben. Je stärker die organisatorische Planung der Patientenbehandlung auf IT-technisch realisierten klinischen Pfaden basiert, desto gefährlicher können die Konsequenzen komplexer Abweichungen werden. Nichtsdestotrotz sind solche Abweichungen medizinisch immer wieder indiziert; bei Diabetepatienten mit erhöhtem Komplikationsrisiko müssen z. B. ein Blutzuckertagespiegel erstellt, Antibiosemaßnahmen ergriffen und die Versorgung mit Insulin während der Operation sichergestellt werden. Selbst wenn sich die Änderungen in solchen Fällen auf mehrere einfache Abweichungen reduzieren lassen, besteht durch ihre Vielzahl doch die Gefahr, dass notwendige Aktivitäten übersehen werden und daher nicht im klinischen Pfad vorkommen.

Der GPS bietet dank seiner Constraints bereits eine Möglichkeit, Abhängigkeiten zwischen Aktivitäten zu erzwingen und Rekonfiguratio-

nen automatisch zu vervollständigen. Um aber die Durchführung von komplexen Abweichungen oder einer Vielzahl von kleineren Abweichungen für die Benutzer so einfach wie möglich zu machen, wurde auf Basis von GPS auch ein Konzept für sogenannte „Prozessvarianten“ entwickelt. Prozessvarianten bieten die Möglichkeit, Maßnahmen zur Rekonfiguration von GPS vorzudefinieren; d. h. jede Variante besteht aus einer Kette von einzelnen Änderungsmaßnahmen, die dazu führen, dass der GPS in der gewünschten Weise automatisch rekonfiguriert und der klinische Pfad des Patienten entsprechend angepasst wird. Neben dem klinischen Pfad als Standardprozess können also Prozessvarianten für besonders häufig vorkommende Abweichungsursachen (wie z. B. Nebendiagnosen oder Komplikationen) zur Verfügung gestellt werden. Damit beschränkt sich die Durchführung von komplexen Abweichungen für die Benutzer auf die Auswahl einer Prozessvariante. Angenommen, es wurde eine Prozessvariante für Patienten mit Diabetes mellitus angelegt. In unserem konkreten Beispiel führt die Anwendung dieser Variante dazu, dass das Labor am Aufnahmetag um einen Blutzuckertagespiegel erweitert, am OP-Tag Insulininjektionen vorbereitet und jeden Tag Antibiosemaßnahmen vorgesehen werden, um das Infektionsrisiko zu minimieren. Abbildung 5 verdeutlicht beispielhaft, wie sich die Modifikationen der Prozessvariante durch

den gesamten GPS ziehen. Die Variante ermöglicht sowohl das Einfügen einmaliger Aktivitäten, wie z. B. die Erweiterung des Standardlabors am Aufnahmetag um einen Blutzuckerspiegel, als auch die Einplanung wiederkehrender Maßnahmen, wie z. B. Antibiose bis zur Entlassung des Patienten.

Grundsätzlich können Prozessvarianten zur automatischen Anpassung von allen klinischen Pfaden verwendet werden, die auf der Konfiguration desselben GPS beruhen. So können Vorerkrankungen wie Diabetes mellitus unabhängig von der aktuell zu behandelnden Diagnose berücksichtigt werden. Da im medizinischen Alltag auch Abweichungen nicht immer gleich sind – z. B. können nicht alle Diabetespatienten identisch behandelt werden – wird in [15] ein Konzept vorgestellt, das Prozessvarianten selbst wieder als GPS realisiert. In diesem Fall können die Anwender sogar Einfluss darauf nehmen, wie eine Variante in einem konkreten Behandlungsfall zu wirken hat. Die Vorgehensweise bei der Konfiguration von Prozessvarianten ist dann exakt dieselbe wie bei der Modellierung klinischer Pfade. Im Prinzip kann daher dieselbe Technologie mit denselben Benutzeroberflächen verwendet werden.

Wie die manuelle Rekonfiguration kann auch eine Prozessvariante einen klinischen Pfad nur so verändern, wie es der GPS zulässt; d. h. die Variante

muss den Vorgaben bei der Prozessgestaltung entsprechen, die sich z. B. aus der Knotenhierarchie oder den Constraint-Definitionen des GPS ergeben. Es können natürlich aber auch Situationen auftreten, die die Durchführung von Aktivitäten erforderlich machen, die im GPS nicht vorgesehen sind. Um auch auf solche Fälle reagieren zu können, ist es möglich, in allen Teilbereichen des GPS Aktivitäten zur Auswahl zu stellen, die es Endanwendern erlauben, die aufgetretene Varianz und die ergriffenen Maßnahmen im Prozessablauf textuell zu dokumentieren. Auf diese Weise kann einerseits weiterhin prozessorientiert gearbeitet werden und andererseits wird deutlich, an welchen Stellen der GPS noch unvollständig ist und ergänzt werden muss.

Implementierung von Guarded Process Spaces

Abbildung 6 illustriert, wie Prozessmodellierung nach dem Navigationsparadigma technisch realisiert wird. GPS werden als baumartig strukturierte Graphen implementiert. Die Knoten des Graphen repräsentieren entweder Navigationspunkte oder konkrete Prozessaktivitäten. Jeder Navigationspunkt ist mit einem logischen Operator verknüpft, wie etwa AND, OR, XOR und OPT (für optional). Die Operatoren diktieren die Regeln, nach denen die

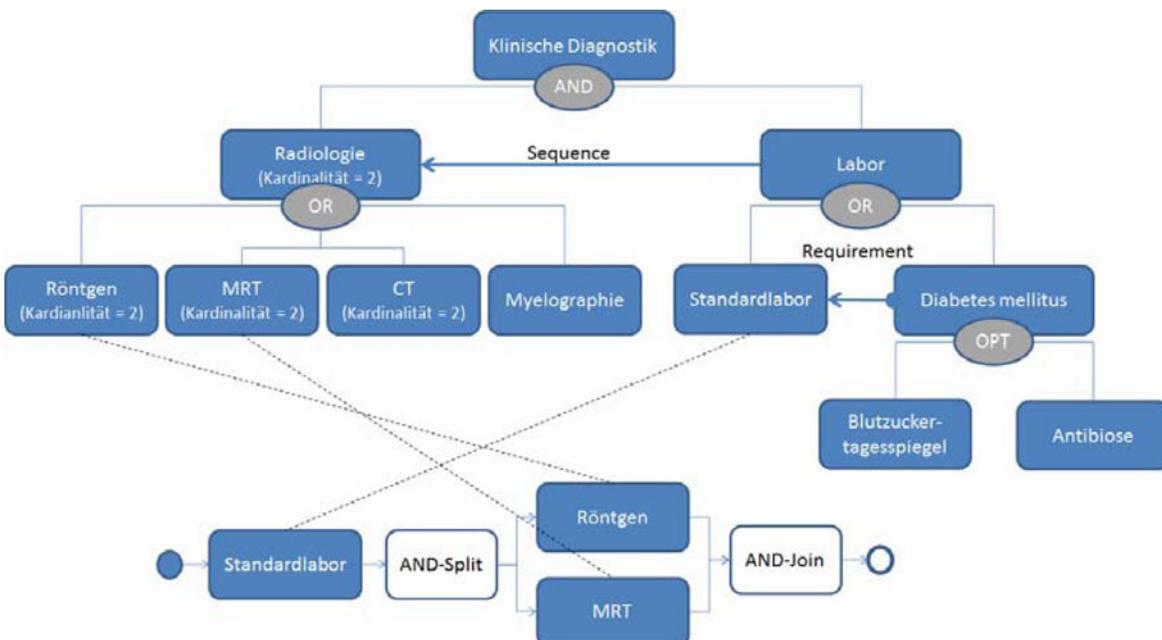


Abb. 6 Entwicklung ausführbarer Prozesse auf Basis des GPS

untergeordneten Knoten eines Navigationspunkts ausgewählt werden können. Zum Beispiel ist der Wurzelknoten des GPS in Abb. 6 „Klinische Diagnostik“ mit einem AND-Operator versehen, was bedeutet, dass automatisch alle Nachfolgerknoten selektiert werden. Dem OR-Operator zufolge muss unterhalb des Navigationspunktes „Radiologie“ mindestens eine Aktivität ausgewählt werden. Die Knoten unterhalb des Navigationspunktes „Diabetes mellitus“ müssen aufgrund des OPT-Operators hingegen nicht selektiert werden. Die Knotenkardinalität gibt an, dass der Navigationspunkt „Radiologie“ einschließlich seiner Nachfolger bis zu zwei Mal in einer Konfiguration des GPS vorkommen darf; dasselbe gilt zusätzlich für die Aktivitäten „Röntgen“, „MRT“ und „CT“. Mithilfe von Knotenkardinalitäten ist es also möglich, Schleifen im Prozess zu modellieren. Zur Diagnostik von Wirbelsäulenerkrankungen werden neben dem Standardlabor üblicherweise eine Röntgen- und eine MRT-Untersuchung durchgeführt. Wegen des Sequence-Constraints soll das Labor vor der Radiologie stattfinden. Der Requirement-Constraint hingegen besagt, dass die zusätzlichen Laboruntersuchungen bezüglich einer Diabetesvorerkrankung nur dann durchgeführt werden dürfen, wenn das Standardlabor erledigt ist. Durch den Einsatz von OPT-Operatoren und das Weglassen von Constraints lässt sich die Flexibilität bei der Prozessgestaltung maximieren. Dies ist insbesondere dann sinnvoll, wenn man nicht zuviel Zeit in die Prozessdefinition investieren, sondern die verschiedenen Prozessabläufe lieber in der Praxis evaluieren möchte. Dieses Maximum an Flexibilität ist jedoch auch mit dem höchsten Aufwand für die Endanwender verbunden, da sie jede Aktivität manuell auswählen müssen. Eine Anreicherung des GPS durch Constraints und der Einsatz von anderen Operatoren führen dann zu einem höheren Maß an Effizienz durch mehr Standardisierung.

Um sicherzustellen, dass die Einstellungen in den Navigationspunkten tatsächlich zu korrekten Prozessmodellen führen, wurden in [15] formale Korrektheitskriterien für GPS definiert. Diese Kriterien verhindern unter anderem, dass Constraints im Widerspruch zur Struktur des GPS oder den logischen Operatoren stehen. Aufgrund der Flexibilitätsoptionen bei der Modellierung und Anpassung klinischer Pfade kann die Art und Anzahl der Datenobjekte, die zur Laufzeit erzeugt

werden, variieren. In [15] wird für jede Anwendungskomponente, die mit Prozessaktivitäten verknüpft sein kann, eine Schnittstellendefinition angegeben, die auch die erforderlichen oder optionalen Datenobjekte spezifiziert. Darüber hinaus wird beschrieben, wie Datenabhängigkeiten auf Basis des GPS berücksichtigt werden können.

Je mehr generelles Wissen in einem GPS hinterlegt wird, desto einfacher werden die Prozessmodellierung und damit die Generierung ausführbarer Prozesse durch die Fachanwender. Um die Entwicklung klinischer Pfade so einfach zu machen wie oben beschrieben, müssen GPS alle möglichen Prozessaktivitäten, Entscheidungsoptionen und Constraints der betrachteten Anwendungsdomäne enthalten. Das Nutzenpotenzial und die Akzeptanz von GPS hängen deshalb stark davon ab, wie gut der GPS die Prozessaspekte der Domäne abdeckt. Aus diesem Grund müssen Endanwender von vornherein an der Entwicklung von GPS beteiligt werden. Die technische Umsetzung des GPS, die Implementierung ausführbarer Anwendungskomponenten für Prozessaktivitäten oder die Feinheiten des Datenflusses werden hingegen weiterhin in der Verantwortung entsprechender IT-Spezialisten liegen. Um die Komplexität der GPS-Erstellung zu reduzieren, bietet sich ein iteratives Vorgehen an, bei dem der GPS erst grob entworfen und nach jeder Validation zusammen mit den Endanwendern weiter ausgearbeitet wird. Dabei kann auch der Handlungsspielraum zwischen Flexibilität und Standardisierung, den GPS bieten, gezielt genutzt werden.

Ein wichtiges Ziel bei der Entwicklung von GPS besteht in der Separierung der Modellierung und Änderung klinischer Prozesse von spezifischen Prozesstechnologien bzw. PMS. Aus diesem Grund sind die Modelle zur Abbildung des GPS und die daraus abgeleiteten Prozessmodelle und -varianten systemneutral. Die Transformation in ausführbare Prozesse gemäß definierten Prozessmodellierungssprachen erfolgt nach formal spezifizierten Regeln. GPS gestatten im Prinzip die Nutzung unterschiedlicher technischer Realisierungsoptionen, um Prozessflexibilität zu erreichen. Vorstellbar sind z. B. der Einsatz von bedingten Verzweigungen, Late-Binding-Mechanismen [1], Variationspunkten [9], deklarativen [12] oder adaptiven PMS [13]. Allerdings führen bedingte Verzweigungen schnell zu

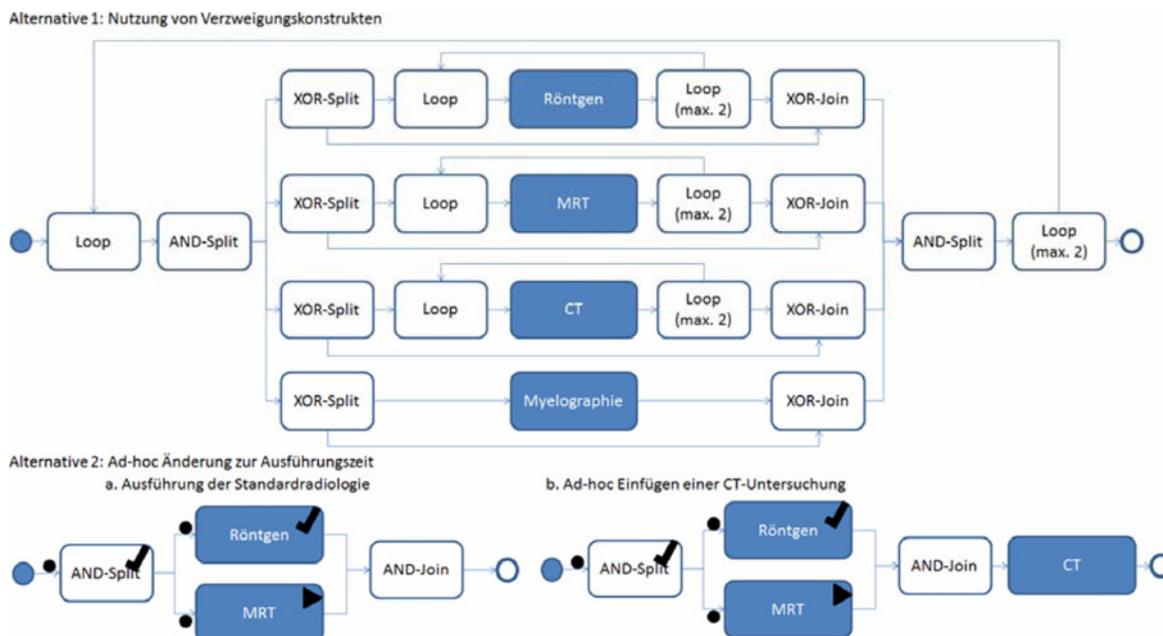


Abb. 7 Alternativen zur technischen Realisierung kleinerer Abweichungen vom Standardprozess in ADEPT2

sehr komplexen Prozessmodellen mit einem hohen Anteil von Redundanz, wie das folgende Beispiel veranschaulicht.

Abbildung 7 illustriert die zwei unterschiedlichen Optionen, wie der Navigationspunkt „Radiologie“ des GPS aus Abb. 6 in ein ausführbares Prozessmodell umgewandelt werden kann. Die erste Alternative zeigt, wie bedingte Verzweigungsstrukturen genutzt werden können, um die im GPS definierten Möglichkeiten in eine konkrete Prozessstruktur zu übersetzen. Dabei muss ein komplexes Konstrukt, bestehend aus einer parallelen und vier separaten bedingten Verzweigungen, erzeugt werden. Aufgrund der Knotenkardinalitäten sind teilweise zusätzlich Schleifenstrukturen notwendig. Die zweite Alternative demonstriert, wie man verfahren kann, wenn man den Prozess zur Ausführungszeit flexibel um Untersuchungen ergänzen darf. Der Standardprozess sieht lediglich eine Röntgen- und eine MRT-Untersuchung vor. In Abb. 7a hat die Ausführung des Prozesses bereits begonnen. Die Röntgenuntersuchung ist beendet und die MRT-Untersuchung läuft. Die behandelnde Ärztin entscheidet sich für eine zusätzliche CT-Untersuchung. Da das Röntgen bereits abgeschlossen und die MRT-Untersuchung schon gestartet ist, wird die CT-Untersuchung nicht mehr parallel, sondern sequenziell hinter den anderen

Aktivitäten eingefügt (siehe Abb. 7b). Wie dieses Beispiel andeutungsweise zeigt, vereinfacht die Nutzung „echt“ adaptiver PMS die Abbildung zwischen GPS und technischem Prozessmodell ganz erheblich; darüber hinaus sind Abweichungen konsequent nachvollziehbar und die Flexibilität nimmt zu, weil zusätzliche Aktivitäten zu beliebigen Zeitpunkten in das Modell eingefügt werden können.

Da Late-Binding-Mechanismen und Variationspunkte Flexibilität zur Laufzeit nur in einem sehr eingeschränkten Umfang zulassen, wurde für die prototypische Evaluierung des Konzepts als Implementierungsplattform das PMS ADEPT2 [5, 13] bzw. seine kommerzielle Version, die Aristaflow[®] BPM Suite [21] eingesetzt, da dieses aufgrund seiner mächtigen API-Funktionen und seinen umfassenden Fähigkeiten in Bezug auf Ad-hoc-Abweichungen derzeit die optimalen Voraussetzungen für die Unterstützung GPS-basierter klinischer Pfade bietet (siehe [15, 17] für technische Details).

Zusammenfassung und abschließende Bemerkungen

Trotz ihrer Potenziale im Hinblick auf Qualitätssicherung, Kostenkontrolle und Reduktion des administrativen Arbeitsaufwandes werden PMS in Krankenhäusern bisher selten eingesetzt. Um

vom medizinischen Personal akzeptiert zu werden, müssen die Systeme die folgenden Anforderungen erfüllen: Erstens müssen Endanwender die Möglichkeit haben, selbständig korrekte und ausführbare technische Prozessmodelle zu erstellen. Zweitens müssen sie in der Lage sein, Prozesse auch zur Ausführungszeit flexibel an die Bedürfnisse ihrer Patienten anzupassen. Mit Guarded Process Spaces (GPS) haben wir hier eine Lösung vorgestellt, die es Endanwendern ermöglicht, Prozesse nach dem Navigationsparadigma zu entwickeln und zu ändern. Wir haben gezeigt, wie GPS die Endanwender bei der Auswahl der Prozessaktivitäten unterstützen, wie sie die Einhaltung bestimmter Bedingungen und Abhängigkeiten gewährleisten und wie die zugrunde liegende technische Umsetzung aussieht. Die Lösung basiert auf einem formalen Konzept, das bereits prototypisch realisiert wurde, hier aber aus Platzgründen nur in Ausschnitten präsentiert werden konnte. Eine ausführliche Beschreibung findet sich in [15]. Bei GPS handelt es sich nicht um eine zusätzliche domänenspezifische Modellierungssprache, sondern vielmehr um eine neue, alternative Herangehensweise an die Prozessmodellierung, die die Möglichkeit zur flexiblen Prozessadaption zur Laufzeit einschließt. Sie ist im Prinzip unabhängig von einer bestimmten Prozesstechnologie, erfordert aber – um das volle Leistungsspektrum der GPS nutzen zu können – Prozess-Management-Systeme, die hinsichtlich Ad-hoc-Abweichungen wesentlich über das hinausgehen, was heutige Systeme üblicherweise anbieten [6].

Die meisten der in [15] beschriebenen Konzepte wurden im Rahmen des SPOT-Projektes [24] als „Proof-of-Concept“-Prototyp implementiert und damit die grundsätzliche Machbarkeit des Ansatzes demonstriert. Darüber hinaus wurden die Benutzerschnittstellen (siehe Screen-Casts SPOT-Demonstrator [25]) in enger Zusammenarbeit mit Ärzten und Pflegepersonal diskutiert. Das sehr positive Feedback stimmt uns zuversichtlich, dass der in diesem Beitrag vorgeschlagene Weg sehr vielversprechend ist, wobei ein „echter“ Praxistest mit „echten“ Akzeptanzstudien natürlich erst mit einem erheblich vollständiger implementierten System und entsprechend „vollständigem“ GPS möglich ist. Dies gilt natürlich auch für die Beurteilung des Aufwands sowie die Entwicklung einer geeigneten Vorgehens-

weise zur Erstellung eines echten, praxistauglichen GPS.

Literatur

1. Adams M, ter Hofstede AHM, Edmond D, van der Aalst WMP (2006) Worklets: a service-oriented implementation of dynamic flexibility in workflows. In: Proc CoopIS 2006, 14th Int Conf on Cooperative Information Systems, Montpellier, France, Oct/Nov 2006, LNCS 4275:291–308
2. Beccuti M, Bottrighi A, Franceschini G, Montani S, Terenziani P (2009) Modeling clinical guidelines through Petri Nets. In: Proc AIME'09, 12th Conf on Artificial Intelligence in Medicine, Verona, Italy, Aug 2009, LNCS 5651:61–70
3. Becker J, Pfeiffer D, Räckers M (2007) Domain specific process modelling in public administrations – the PICTURE-approach. In: Proc EGOV 2007, 6th Int Conf on Electronic Government, Regensburg, Germany, Sep 2007, LNCS 4645:68–79
4. Conradi R, Jaccheri ML () Process modelling languages. In: Software Process: Principles, Methodology, and Technology, LNCS 1500:27–52
5. Dadam P, Reichert M (2009) The ADEPT project: a decade of research and development for robust and flexible process support. *Comp Sci Res Dev* 23(2):81–98
6. Dadam P, Reichert M, Rinderla-Ma S (2011) Prozessmanagementsysteme: nur ein wenig Flexibilität wird nicht reichen. *Informatik-Spektrum* 4:364–376
7. De Clearcq P, Kaiser K, Hasman A (2008) Computer-interpretable guideline formalisms. In: Computer-based medical guidelines and protocols: a primer and current trends. IOS Press, pp 22–43
8. Freudenstein P, Buck J, Nussbaumer M, Gaedke M (2007) Model-driven construction of workflow-based web applications with domain-specific languages. In: Proc MDWE'07, 3rd Int Workshop on Model-driven Web Engineering, Milano, Italy, 2007, /CEUR-WS/Vol-261/paper02
9. Hallerbach A, Bauer T, Reichert M (2009) Configuration and management of process variants. In: Handbook of Business Process Management, Bd 1, Springer, pp 237–256
10. Mernik M, Heering J, Sloane AM (2005) When and how to develop domain-specific languages. *ACM Comp Surv* 37(2):316–344
11. Neuhaus J, Houta S, Reuter C (2010) Ansätze bei der Umsetzung von Behandlungsplanpfaden – Flexibilisierungskonzepte am Beispiel der Behandlung von Wirbelsäulenerkrankungen. In: Ambulante und Sektoren übergreifende Behandlungspfade, Medizinisch Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, Berlin, S 79–97
12. Pesic M, Schonenberg MH, Sidorova N, van der Aalst WMP (2007) Constraint-based workflow models: change made easy. In: Proc CoopIS 2007, 15th Int Conf on Cooperative Information Systems, Vilamoura, Portugal, Nov. 2007, LNCS 4803: 77–94
13. Reichert M, Dadam P (1998) ADEPT_{flex} – supporting dynamic changes of workflows without losing control. *J Intell Inf Sys* 10:93–128
14. Reichert M, Weber B (2012) Enabling Flexibility in Process-Aware Information Systems. Springer
15. Reuter C (2011) Modellierung und dynamische Adaption klinischer Pfade auf Basis semantischer Prozessfragmente. Dissertation, TU Dortmund
16. Reuter C, Dadam P, Rudolph S, Deiters W, Trillsch S (2011) Guarded Process Spaces (GPS): a navigation system towards creation and dynamic change of healthcare processes from the end-user's perspective. In: Proc BPM 2011 Int Workshops, Clermont-Ferrand, France, August 2011, LNBI 100:237–248
17. Rudolph S (2010) Semantische Komposition von Prozessfragmenten im Umfeld dynamischer Prozessmodellierung. Diplomarbeit, TU Dortmund
18. Strembeck M, Zdun U (2009) An approach for the systematic development of domain-specific languages. *Softw Pract Exp* 39:1253–1292
19. Svenson K (ed) (2010) Mastering the Unpredictable. How Adaptive Case Management will Revolutionize the Way That Knowledge Workers get Things Done. Meghan-Kiffer Press, Tampa, Florida
20. Weber B, Sadiq S, Reichert M (2009) Beyond rigidity – dynamic process lifecycle support – a survey on dynamic changes in process-aware information systems. *Comp Sci Res Dev* 23(2):47–66
21. <http://www.AristaFlow.com>, letzter Zugriff 9.10.2012
22. <http://docs.oasis-open.org/wsbpel/2.0/OS/wsbpel-v2.0-OS.html>, letzter Zugriff 9.10.2012
23. <http://www.omg.org/spec/BPMN/>, letzter Zugriff 9.10.2012
24. <http://www.spot.fraunhofer.de/Anwendungsbereiche/Gesundheit/>, letzter Zugriff 9.10.2012
25. <http://www.spot.fraunhofer.de/Anwendungsbereiche/Gesundheit/screencast-gesundheit.jsp>, letzter Zugriff 9.10.2012