Modellgestütztes Management in Krankenhausinformationssystemen am Beispiel der Klinischen Prozesssteuerung

Martin Burwitz, Hannes Schlieter, Werner Esswein

Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik, insb. Systementwicklung
Technische Universität Dresden
Schumann-Bau, Münchner Platz
01062, Dresden
{martin.burwitz, hannes.schlieter, werner.esswein}@tu-dresden.de

Abstract: Die Vernetzung und Kooperation in der klinischen Versorgung stellt zunehmend neue Anforderung an die Unterstützung medizinischer Prozesse. Die Informationstechnologie (IT) im Gesundheitswesen gewinnt entsprechend an strategischer Bedeutung und sieht sich neuen Potenzialen und Anforderungen gegenüber. Der Artikel beschäftigt sich mit der Entwicklung eines prozessorientierten Anwendungssystems zur Steuerung klinischer Behandlungsprozesse. Dabei werden Potenziale und Chancen Klinischer Behandlungspfade mit den Erkenntnissen der Modellierung verknüpft, um die Möglichkeiten des modellgestützten Prozessmanagements zu erschließen. Die Einschätzung und Erweiterung domänenspezifischer, modellsprachlicher Beschreibungsansätze für Klinische Pfade bilden die Grundlage für ein prototypisches Workflow-Management-System.

1 Informationssysteme im klinischen Umfeld – Ausgangssituation

Die Einführung des DRG-Systems leitete den Paradigmenwechsel im deutschen Gesundheitswesen ein. Die Änderung der Vergütung zwang die Krankenhäuser, ihre Versorgungsstrukturen prozessbezogen auszurichten. Daneben treibt die gesamtgesellschaftliche Entwicklung (Demografie, Multimorbiditäten) das System zu einer starken Spezialisierung und Arbeitsteilung entlang der Behandlungskette.

Das Krankenhaus steht damit neben der Managementthematik vor zwei zentralen Herausforderungen. Zum einen benötigt es Instrumente und Beschreibungsformen, mit denen es die innerklinische Kommunikation anleiten und überprüfen kann.

Zum anderen geht das Aufbrechen der klassischen Strukturen mit neuen Anforderungen an die IT-Unterstützung der Versorgung einher. Die Entwicklung von Krankenhausinformationssystemen (KIS) war bisher geprägt von einer evolutionären Entstehung von Modulen im Bereich der Labor-, Radiologie-, Pflege- und Bildarchivierungssysteme sowie im Bereich der administrativen, abrechnungsbezogenen Systeme. Der tatsächlichen Patientensteuerung anhand evidenzbasierter Prozesse wurde jedoch nur wenig begegnet, da die

erschienen im Tagungsband der INFORMATIK 2011
Lecture Notes in Informatics, Band P192
ISBN 978-3-88579-286-4
weitere Artikel online:
http://informatik2011.de/519.html

Systeme vielmehr auf die Abrechnung als auf die adäquate Prozessunterstützung abzielten. Die Folge der Entwicklung ist, dass das KIS in der Regel ein heterogenes Netzwerk von Programmsystemen unterschiedlicher Hersteller und Bauarten umfasst [WZB96].

Auf organisatorischer Ebene konnten sich Klinische Pfade (KP) in den letzten Jahren als erfolgversprechendes Werkzeug etablieren, um eine adäquate Beschreibung der Prozesse im Krankenhaus zu gewährleisten und den Spagat zwischen bestmöglicher Behandlung des Patienten und Wirtschaftlichkeit zu meistern [BDW+06]. Nun ist es Aufgabe der KIS, die in den KP getroffenen Regelungen zu reflektieren und die Entscheidungsfindung des Arztes als auch die Versorgungsplanung zu unterstützen und zu standardisieren.

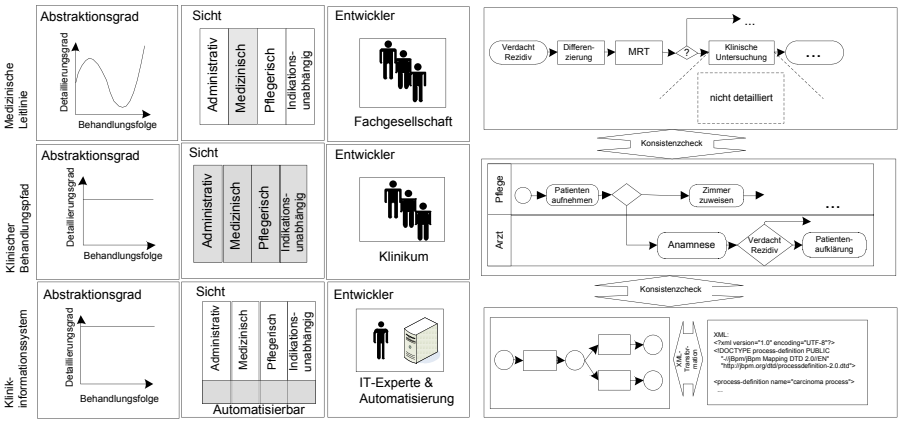

Abbildung 1: Übersicht des klinischen Informationssystems

Abbildung 1 verdeutlicht dazu den Zusammenhang, in dem Krankenhausorganisationen aktuell in Bezug auf den Einfluss medizinischer Handlungsanweisungen stehen. Auf der einen Seite stehen die Fachgesellschaften, die mit der Veröffentlichung Medizinischer Leitlinien Versorgungsstandards setzen [ÄA01], die im Rahmen der organisatorischen Einführung in Klinische Behandlungspfade münden. In letzter Konsequenz erreicht man eine Integration zwischen der Standardisierung und dem operativen Tagesgeschäft nur, wenn in KP verankertes Prozesswissen in das KIS integriert, die Behandlung auf dieser Basis unterstützt wird und die Erkenntnisse, die auf operativer Ebene gewonnen werden, zurückfließen.

Die aktuelle Pfadverwendung wird jedoch meist nicht über die organisatorische Ebene hinaus betrieben, sodass KP oft nur als Behandlungsbeschreibungen und -dokumentationen dienen und kaum operative Unterstützung leisten. Die pfadgetriebene IT-Integration scheitert somit überwiegend an einer zu starken Trennung von Prozesskonzeption und Prozessausführung.

Im weiteren Verlauf der Arbeit wird aufgezeigt, wie auf Basis von modelliertem Prozesswissen die Prozessorganisation im Krankenhaus unterstützt und die Integration der Einzelebenen bis in die IT geschafft werden kann. Damit soll die Patientensteuerung und Agilität des Krankenhauses verbessert werden.

2 Modellierung Klinischer Pfade

2.1 Anforderungen an Pfad-Modellierungssprachen

Mit Blick auf die zentralen Charakteristika können Prozesse der medizinischen Leistungserbringung als medizinische Geschäftsprozesse aufgefasst werden [HHSF10]. Unter Ausrichtung auf den Patienten definieren sich diese grundsätzlich durch zielgerichtete Abläufe von Tätigkeiten (Behandlungsschritten) und Entscheidungen und werden durch Ereignisse bzw. Patientenzustände initialisiert.

Anforderung A 1 *Eine Sprache zur Modellierung Klinischer Behandlungspfade sollte grundlegende Konzepte der medizinischen Geschäftsprozessmodellierung (Patientenzustand, Behandlungsschritt, Entscheidung und Prozessfluss) enthalten.*

Aufgrund der Eigenschaften des Behandlungsprozesses als Dienstleistung am Patienten, sind die einzelnen Behandlungsschritte meist sequentiell durchzuführen. Verschiedene Ablaufanalysen existierender Anwendungsfälle haben dabei jedoch ergeben, dass die konkrete Reihenfolge von Prozessinstanz zu Prozessinstanz variieren kann [HHSF10]. Ergänzend dazu existieren auch medizinisch abhängige Behandlungsschritte, die eine parallele und zeitgleiche Ausführung zwingend erfordern. So kann eine spezielle Untersuchung möglicherweise nur unter gleichzeitiger Medikation des Patienten erfolgen.

Anforderung A 2 *Eine Sprache zur Modellierung Klinischer Behandlungspfade sollte die Modellierung sowohl unbestimmter Reihenfolgebeziehungen als auch zwingend paralleler Beziehungen zwischen Behandlungsschritten ermöglichen.*

Klinische Behandlungspfade unterstützen die Ausführung medizinischer Prozesse unter Berücksichtigung der verfügbaren Ressourcen. Dabei werden auch Input-/Outputbeziehungen zwischen Prozessschritten und Informationsobjekten abgebildet. Weiterhin definieren sie organisatorische Aspekte und Verantwortlichkeiten, um eine effiziente Koordination aller beteiligten Akteure zu ermöglichen. Letzteres erhält im Hinblick auf die Entwicklung eines Anwendungssystems zusätzliche Relevanz, da über die Definition der Verantwortlichkeiten der Pfadelemente auch die Zugriffssteuerung und -kontrolle innerhalb des Anwendungssystems erfolgen kann.

Anforderung A 3 *Eine Sprache zur Modellierung Klinischer Behandlungspfade sollte Konzepte zur Modellierung von Ressourcen (Daten, Dokumente) und Verantwortlichkeiten (Rollen) bereitstellen und eine Verknüpfung mit den Konzepten der Geschäftsprozessmodellierung erlauben.*

Klinische Behandlungspfade werden auf der Grundlage von Medizinischen Leitlinien und evidenzbasiertem Wissen entwickelt. Unabhängig von der jeweiligen Anwendungsdomäne werden Geschäftsprozesse maßgeblich durch Entscheidungen geprägt. Evidenzbasierte Entscheidungen innerhalb Klinischer Pfade besitzen jedoch im Vergleich zu einfachen organisatorischen Entscheidungen einige zusätzliche Charakteristika. Entscheidungen bezüglich

alternativer Behandlungswege und entsprechend der Durchführung verschiedener Therapien beruhen meist auf mehreren Kriterien [Mei05]. Auf Basis der patientenindividuellen Ausprägungen dieser Kriterien wird zur Ausführung des Klinischen Pfades über den weiteren Behandlungsverlauf entschieden. Dabei können, bereits während der Modellierung und Planung des Pfades, Regeln definiert werden, welche aus der Kombination der Ausprägungen einen entscheidungsunterstützenden Vorschlag generieren. Ergänzend muss jedoch auch eine ärztliche Entscheidung gegen den systemseitig generierten Vorschlag möglich sein, welcher letztendlich, unter entsprechender Dokumentation und Begründung, die höhere Priorität zuzuordnen ist.

Anforderung A 4 *Eine Sprache zur Modellierung Klinischer Behandlungspfade sollte Konzepte zur Darstellung evidenzbasierter Entscheidungen unter Integration entsprechender medizinischer Entscheidungskriterien sowie Regeln zur Vorschlagsgenerierung zur Verfügung stellen.*

Klinische Pfade dienen als Instrument zur Kommunikation zwischen den beteiligten Akteuren, bei entsprechender Aufbereitung vor allem auch zur Information des Patienten sowie dessen Angehörigen. Besondere Relevanz erhält in diesem Zusammenhang die Information bezüglich der geplanten Dauer einer Behandlung oder Therapie. Zusätzlich spielen diese Informationen auch für die Organisation und Planung der Ressourcen innerhalb der Klinik eine entscheidende Rolle. Neben zeitlichen Aspekten kommen weitere ökonomische Kenngrößen hinzu, deren Integration in Klinische Behandlungspfade eine umfassende Managementunterstützung erlauben.

Anforderung A 5 *Eine Sprache zur Modellierung Klinischer Behandlungspfade sollte die Integration wirtschaftlicher Aspekte wie zeitliche Terminierung sowie Kenngrößen bezüglich Kosten und Erlöse in das Prozessmodell erlauben.*

2.2 State-of-the-Art: Modellbasierte Beschreibungsformen Klinischer Pfade

Um den spezifischen, individuellen Anforderungen und Problemstellungen im Anwendungsbereich der Medizin zu begegnen, wurden verschiedene Modellierungsansätze zur Beschreibung klinischer Behandlungsprozesse entwickelt. Eine Auswahl existierender, domänenspezifischer Sprachen, die der modellbasierten Beschreibung bzw. Kodierung medizinischer Sachverhalte dienen, soll nachfolgend kurz vorgestellt und anhand der formulierten Anforderungen an eine Modellierungssprache für Klinische Behandlungspfade evaluiert werden.

2.2.1 Klinischer Algorithmus

Klinische Algorithmen stellen den Aspekt der Logik in den Mittelpunkt der Betrachtungen. Dabei gilt es, ausgehend von einem eindeutig formulierten Ausgangszustand über Entscheidungen und Wenn-Dann-Bedingungen in endlich vielen Schritten zu einer Lösung

zu gelangen [Mei05]. Die Notation des Klinischen Algorithmus orientiert sich an einzelnen Konzepten des Flussdiagramms. Startpunkt ist der beschriebene medizinische Zustand eines Patienten. Dieser wird durch die Konzepte Behandlungsschritt und Entscheidung ergänzt. Der Prozessfluss sorgt für die logische Verknüpfung aller Elemente und kann mithilfe einer Nummerierung zur Darstellung einer Reihenfolge verwendet werden. Ohne Berücksichtigung von organisatorischen Aspekten sowie individuellen Patientendaten findet die Modellierung eines Klinischen Algorithmus ausschließlich auf der Ebene Medizinischer Leitlinien statt.

2.2.2 Guide

Als Erweiterung des Klinischen Algorithmus führt Guide einige zusätzliche Sprachkonstrukte ein, die speziell für medizinische Sachverhalte genutzt werden können [SL04]. Es wird zwischen atomaren und zusammengesetzten Behandlungsschritten unterschieden, um verschiedene Detaillierungsgrade zu erreichen. Zusätzlich können sequentielle, iterative sowie parallele Abläufe mithilfe von logischen Konnektoren dargestellt werden. Weiterhin unterscheidet Guide subjektive von regelbasierten Entscheidungen und führt eigene Sprachkonstrukte für Wartezyklen und die Überwachung eines Patientenzustands ein. Die grundsätzliche Modellierung in Guide findet ebenfalls auf der Ebene Medizinischer Leitlinien statt. Durch die Belegung von Attributen ermöglicht Guide jedoch die Modellierung verschiedener Abstraktionsstufen [SL04]. Die Aufnahme und Belegung organisatorischer Attribute dient der Überführung des Leitlinienmodells in einen Klinischen Pfad, während die Aufnahme individueller Patientendaten eine Pfadinstanz erzeugt.

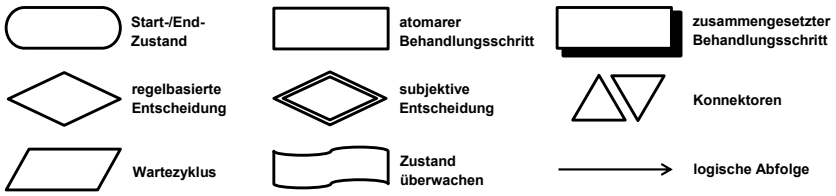

Abbildung 2: Sprachkonstrukte Guide (nach [SL04])

2.2.3 PROforma

Dieser modellbasierte Ansatz ist von Eigenschaften einer formalen Sprache geprägt und versucht gleichzeitig den Anspruch der formalen Korrektheit mit einer intuitiven Modellierung zu vereinbaren [SL04]. Modelle der Sprache PROforma bestehen aus einem Netzwerk von *tasks* wobei ein *task* durch ein von vier verschiedenen Subkonstrukten repräsentiert werden kann. Jedes Konstrukt wird durch eine Menge von Attributen genauer spezifiziert und definiert darüber eine Beschreibung, Auslöser sowie Vor- und Nachbedingungen und Ziele. Dabei stellt ein *task* einige allgemeingültige Attribute zur Verfügung während die Subkonstrukte zusätzlich eigene Attribute kapseln.

ISBN 978-3-88579-286-4

Ein *plan* beschreibt eine Menge von Aktionen die auszuführen sind und bildet damit das Grundkonzept zur Darstellung von Behandlungsabläufen. Ein *plan* kann dabei zur Darstellung verschiedener Granularitäten wiederum aus *plans* zusammengesetzt sein oder andere *tasks* enthalten um den Prozess zu beschreiben. Eine *decision* repräsentiert eine Entscheidung, stellt dabei relevante Informationen und mögliche Optionen zur Verfügung und erzeugt mithilfe definierter Regeln einen Vorschlag für eine Option auf Basis der aktuellen Daten. Eine *action* stellt einen einfachen Arbeitsschritt dar, vergleichbar mit dem Konzept des atomaren Behandlungsschrittes in Guide. Schließlich stellen *enquiries* benötigte Daten und Informationen, deren Beschreibung sowie Methoden zur Informationsgewinnung zur Verfügung [Mei05]. Um eine intuitive Darstellung zu erreichen, können beliebig weitere Subkonstrukte mit neuen spezifischen Attributen gebildet werden.

2.2.4 Prodigy

Prodigy stellt zunächst die Beschreibung der Struktur eines Behandlungsprozesses in den Mittelpunkt und ist dabei als entscheidungsunterstützendes Instrument zur Wahl der richtigen Behandlung gedacht [SL04]; [Mei05]. Der Behandlungsablauf wird in verschiedene Szenarien eingeteilt, wobei jedes Szenario einer Behandlungsvariante bzw. einem klinischen Zustand des Patienten entspricht. Der Prozess wird weiterhin durch Übergänge zwischen den Szenarien dargestellt. Bedingungen innerhalb eines Szenarios übernehmen die Steuerung, welcher Zustandsübergang eintritt. Ein Übergang wird dabei durch einfache *action steps* oder komplexe *subguidelines* beschrieben, welche die auszuführenden Tätigkeiten erläutern.

Ohne die Möglichkeit der Modellierung organisatorischer Gegebenheiten oder patientenindividueller Informationen findet die Modellierung in Prodigy ausschließlich auf Basis Medizinischer Leitlinien statt.

2.2.5 GLIF

Bereits aus der Bezeichnung des Guideline Interchange Formats (GLIF) geht die damit verbundene Absicht hervor, einen unabhängigen Austauschstandard für Medizinische Leitlinien zur Verfügung zu stellen [Mei05]. Die Modellierung erfolgt dabei auf drei Ebenen. Auf einem konzeptuellen Level wird der Behandlungsablauf mithilfe von Flowcharts, ähnlich der Darstellung eines Klinischen Algorithmus, unter Verwendung der durch das Metamodell ([GLI01]) zur Verfügung gestellten Elemente modelliert und dient vor allem als Überblick für menschliche Rezipienten [Mei05]. Auf der zweiten Ebene werden nun verschiedene Kriterien festgelegt, die den Ablauf steuern, um den Prozess für eine Maschine zu interpretieren. Schließlich können auf der letzten Stufe Mappings erzeugt werden, um institutions- und patientenspezifische Informationen in den Ablauf einfließen zu lassen und das Modell innerhalb des Informationssystems einer Organisation zu verwenden [Mei05]; [GLI01].

2.2.6 Vergleich der Modellierungsansätze

Die grundlegenden Sprachmittel sind in allen Ansätzen vergleichbar und lassen sich in die zentralen Konzepte der Prozessmodellierung, wie sie in Anforderung 1 dargestellt werden, überführen [Sed08]. Der Ansatz Guide stellt dabei das umfangreichste Repertoire an Konzepten zur Verfügung, während einzig PROforma keine Zustände erlaubt.

Eine Möglichkeit zur Darstellung der in Anforderung 2 formulierten Kontrollstrukturen ist in keinem der Ansätze explizit gegeben. Guide stellt zwar mit logischen Konnektoren ein Mittel zur Verfügung, parallele und variante Prozessabläufe zu beschreiben, unterscheidet hier jedoch nicht dediziert zwischen logischer Variabilität und zeitlicher Parallelität.

Lediglich Guide, PROforma und GLIF ermöglichen eine teilweise Integration von benötigten Ressourcen und Organisationseinheiten (Anforderung 3) durch die Festlegung von Attributen. Diese unterscheiden als einzige auch zwischen subjektiven und regelbasierten Entscheidungen, stellen jedoch keine entscheidungsunterstützenden, logischen Konzepte zur Verfügung. Somit wird die Forderung nach einem Konzept für evidenzbasierte Entscheidungen (Anforderung 4) von keinem der Ansätze vollständig erfüllt.

Die in Anforderung 5 formulierten Integrationsmöglichkeiten zeitlicher und ökonomischer Kenngrößen sind in keinem Modellierungsansatz gegeben und müssen in einem folgenden Schritt entsprechend ergänzt werden.

Anforderung	**A 1**				**A 2**		**A 3**	**A 4**	**A 5**
Sprache	**Zustand**	**Behandlungsschritt**	**Entscheidung**	**Prozessfluss**	**varianter Ablauf**	**Parallelisierung**	**Ressourcen, Organisationseinheiten**	**evidenzbasierte Entscheidung**	**ökonomische Kenngrößen**
Klinischer Algorithmus	●	●	●	●	–	–	–	–	–
Guide	●	●	●	●	○	○	○	○	–
PROforma	–	●	●	●	–	–	○	○	–
Prodigy	●	●	●	●	–	–	–	–	–
GLIF	●	●	●	●	–	–	○	○	–

● Anforderung erfüllt ○ Anforderung nur teilweise erfüllt – Anforderung nicht erfüllt

Tabelle 1: Anforderungserfüllung der Modellierungsansätze

Tabelle 1 fasst die Erfüllung der Anforderungen durch die verschiedenen Sprachansätze zusammen. Hierbei wird deutlich, dass die vorgestellten modellbasierten Beschreibungs-

ansätze vor allem im Bereich der domänenspezifischen Anforderungen Defizite aufweisen. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit der Entwicklung einer umfassenden, domänenspezifischen Modellierungssprache, welche an den bereits existierenden Konzepten ansetzt und die bestehenden Defizite durch entsprechende Spracherweiterungen beseitigt.

3 Spracherweiterung

Entsprechend der in Anforderung 2 formulierten variablen Prozessabläufe wird die Modellierungssprache um das Konzept der **Region** erweitert. Mithilfe einer Parametrisierung der Region können verschiedene Prozesssituationen abgebildet werden, in denen die Ausführung einzelner Tätigkeiten mithilfe logischer Regeln kombiniert wird. So darf aus einer Menge möglicher Behandlungen beispielsweise nur eine einzige durchgeführt werden (XOR). Andere Situationen ermöglichen mitunter die Durchführung beliebig vieler Schritte (OR^*/OR^+) während wiederum andere die Ausführung aller Tätigkeiten innerhalb der Region erfordern (AND). In der computergestützten Anwendung (siehe Abschnitt 4) werden an dieser Stelle sämtliche betroffene Tätigkeiten zur Ausführung freigegeben und sind somit nicht mehr voneinander abhängig. Im Gegensatz zu einer fest vorgeschriebenen Reihenfolge kann dies zu einer Verkürzung der gesamten Behandlungsdauer führen, indem Wartezeiten verringert werden.

Neben der Modellierung varianter Prozessabläufe mittels Regionen fordert die Analyse verschiedener Behandlungsprozesse ein Konzept zur Darstellung parallel durchzuführender Tätigkeiten. Dabei wird der Prozessfluss in mehrere nebenläufige Handlungsstränge aufgeteilt. Diese werden gleichzeitig zur Ausführung freigegeben und schließlich wieder zu einem gemeinsamen Prozessfluss synchronisiert. Zur Erfüllung dieser Anforderung wird das Konzept der **Parallelisierung** eingeführt.

Ergänzend zur Modellierung der Ablaufstrukturen und zur Integration einer bestehenden Dokumentenlandschaft muss ein umfassendes klinisches Unternehmensmodell auch den Prozess tangierende Dokumente berücksichtigen. Dies umfasst jene Dokumente, die für einen Prozessschritt als Input benötigt werden und solche, die während eines Prozessschrittes erzeugt oder ergänzt werden müssen. Dies unterstützt und vereinfacht die umfassende Dokumentation des Behandlungsprozesses als Ziel des Einsatzes Klinischer Pfade. Zur Darstellung dieser Aspekte wird das **Dokument** als Modellierungskonzept eingeführt. Dieses kann dabei mithilfe des **Informationsflusses** als Input bzw. Output von Behandlungsschritten und Entscheidungen modelliert werden.

Weiterhin dient die Zuordnung von Verantwortlichkeiten der multiprofessionellen und interdisziplinären Zusammenarbeit verschiedenster Akteure des Behandlungsprozesses und sorgt für eine optimale Ablauforganisation sowie Klärung rechtlicher Verpflichtungen. Zur Integration von Verantwortlichkeiten wird die Modellierungssprache um das Konzept der **Rolle** erweitert. Diese repräsentiert eine Stelle innerhalb der Krankenhausorganisation (z.B. Stationsarzt, Krankenschwester), welcher institutionsspezifisch reale Mitarbeiter zugeordnet werden können. Die Zuordnung einer Rolle zu Behandlungsschritten und Entscheidungen bildet somit die Verantwortlichkeit einer Stelle und darüber hinaus ei-

ner Menge von Mitarbeitern über den jeweiligen Prozessschritt ab. Diese Abbildung dient gleichzeitig als Grundlage für das Berechtigungsmanagement bzw. die Zugriffssteuerung innerhalb des Anwendungssystems.

Medizinische Leitlinien, die ohne systematische Recherche und Analyse der den Empfehlungen zugrunde liegenden Belege (Evidenz) erstellt werden, entsprechen nicht dem internationalen Qualitätsstandard. Entsprechend existiert u.a. die Forderung zu dokumentieren, in welchem Umfang sich die Empfehlungen auf Ergebnisse klinischer Studien oder Expertenmeinungen stützen. Hierfür dienen verschiedene Klassifikationsmechanismen der Bewertung der Qualität einzelner Erkenntnis- und Informationsquellen und damit auch der Leitlinie. Um eine Entscheidung innerhalb des Behandlungsprozesses hinsichtlich ihrer Evidenz zu bewerten und der Dokumentationsforderung nachzukommen, wird dem Konzept der Entscheidung das Attribut **Evidenzniveau** zugeordnet. Dieses erlaubt die Klassifizierung der Entscheidung entsprechend des Systems von Evidenz-Stufen der AWMF [ÄA01].

Um eine Entscheidungsunterstützung auf Basis von evidenzbasiertem Wissen zu gewährleisten, muss das Konzept der Entscheidung zusätzlich um einige Konstrukte erweitert werden. Dabei soll es dem Modellierer möglich sein, verschiedene **Entscheidungskriterien** zu definieren. Ergänzend kann die Beschreibung einer bestimmten **Entscheidungslogik** während der Pfadausführung einen Vorschlag auf Grundlage dieser Kriterien generieren. Beispielsweise erfolgt die Entscheidung zur Medikation eines Patienten auf Basis dessen Blutzuckerwertes. Das Modell sollte in diesem Falle den Blutzuckerwert als Kriterium, einschließlich eines üblichen Wertintervalls, aufnehmen und der Entscheidung zuordnen. Liegt der Wert des Patienten bei Pfadausführung außerhalb des Intervalls ist eine entsprechende Medikation durchzuführen. Sofern dies nicht der Fall ist, kann darauf verzichtet werden. Mithilfe logischer Ausdrücke kann ein derartiger Sachverhalt abgebildet und in der Entscheidung hinterlegt werden. Unabhängig von der vorgeschlagenen Prozessalternative kann der verantwortliche Entscheider unter entsprechender Begründung einen entgegengesetzten Pfadverlauf einschlagen.

Je nach Zustand und Entwicklung des Patienten bzw. dessen Genesung führen die zu treffenden Entscheidungen innerhalb eines Pfades zu unterschiedlichen Pfadverläufen. Zur optimalen Planung einer Behandlung sollte es dabei möglich sein, die entsprechende Pfadvariante, die ein Patient beschreiten wird, zu prognostizieren. Hierfür können statistische Werte bezüglich der Pfadvarianten herangezogen werden, welche sich aus dem Verlauf vorangegangener Behandlungen erschließen lassen. Ausgehende Prozessflüsse (Alternativen) einer Entscheidung werden mit den entsprechenden **Eintrittswahrscheinlichkeiten** attributiert. Wie in einem Entscheidungsbaum ergibt sich durch die Kombination sämtlicher Entscheidungen die Gesamtheit der möglichen Varianten eines Pfades, welche somit jeweils durch ihre Gesamtwahrscheinlichkeiten gekennzeichnet sind.

Um die Kostenfaktoren einer Behandlung zu kennen und zu steuern, können Klinische Pfade als Werkzeug für eine effektive Prozesskostenrechnung verwendet werden. Dabei werden einzelne Prozesselemente mit Kostenkennzahlen bewertet. Zur Pfadausführung am Patienten können somit sämtliche anfallenden Behandlungskosten von Beginn an prognostiziert und kontrolliert werden. In Verbindung mit der Klassifizierung des Behandlungsfalles im DRG-System können Erlöse gegenübergestellt werden. Somit erhalten Klinische

Pfade eine zusätzliche Relevanz für die Buchhaltung und vor allem das Controlling. Ein wichtiger ökonomischer Faktor ist die Aufenthaltsdauer des Patienten im Krankenhaus bzw. dessen Behandlungsdauer im Allgemeinen. Je mehr Zeit eine Behandlung in Anspruch nimmt, umso höher steigen die Kosten für Hotellerie- und Logisleistungen. Unabhängig davon liegt eine schnellstmögliche Behandlung auch im Interesse des Patienten. Die Integration ökonomischer Kennzahlen wird innerhalb des vorliegenden Beitrags auf den Aspekt der Zeit beschränkt. Ein Ansatz zur Modellerweiterung mit Kostengrößen ist beispielsweise in [Mei05] nachzulesen und wird hier nicht weiter verfolgt. Hingegen muss es möglich sein, durchzuführende Behandlungsschritte mit einer geplanten **Durchführungsdauer** zu bewerten. Ungeachtet logistischer Einflüsse durch Raum- bzw. Ressourcenbuchungen kann die Gesamtdauer eines Behandlungsprozesses und damit der Entlassungszeitpunkt des Patienten geplant werden und ermöglicht ex post eine Beurteilung der Effizienz einzelner Behandlungsschritte sowie der gesamten Behandlung. Dafür wird die Dauer als Attribut in das Konzept des Behandlungsschrittes integriert.

Tabelle 2 stellt die erarbeiteten Sprachkonzepte den definierten Anforderungen gegenüber und fasst zusammen, wie die erkannten Defizite bestehender Sprachen beseitigt werden können.

Anforderung		Sprachkonzept
A1	Zustand	
	Behandlungsschritt	
	Entscheidung	
	Prozessfluss	
A2	varianter Ablauf	
	paralleler Ablauf	
A3	Dokumente	
	Organisationseinheiten	
A4	evidenzbasierte Entscheidung	Attribute: Evidenzniveau, Zielgröße, Entscheidungslogik, Wahrscheinlichkeit
A5	ökonomische Kennzahlen	Attribut: Dauer eines Behandlungsschrittes

Tabelle 2: Anforderungen und korrespondierende Sprachkonzepte

erschienen im Tagungsband der INFORMATIK 2011
Lecture Notes in Informatics, Band P192
ISBN 978-3-88579-286-4
weitere Artikel online:
http://informatik2011.de/519.html

4 Modellgestützte Prozesssteuerung

Die modellgetriebene Prozesssteuerung kann in Modellierungs-, Planungs- und Ausführungsphase unterteilt werden. Die Modellierungsphase umfasst die grundlegende Abbildung des Behandlungsablaufs. Während der Planungsphase wird das Prozessmodell durch verschiedene Parameter erweitert, um organisationsspezifische Gegebenheiten zu integrieren. Schließlich werden die Pfadmodelle während der Ausführungsphase für individuelle Patienten instanziiert, sodass deren Behandlung einem möglichen Weg durch das Pfadmodell folgt und entsprechend gesteuert wird.

Mithilfe des Modellierungswerkzeugs erfolgt zunächst die Erstellung und Parametrisierung des Pfadmodells zur Anpassung an organisationsspezifische Gegebenheiten. Die grundsätzliche Prozessmodellierung, unter Darstellung domänenspezifischer Workflowmuster, wird dabei durch die Integration von evidenzbasierten Informationen bezüglich anstehender Entscheidungen ergänzt. Dies ermöglicht eine Entscheidungsunterstützung während der Durchführung von Behandlungen auf Basis festgelegter Zielgrößen und des aktuellen Patientenzustands. Die Spezifikation verschiedener Pfadvarianten, unter Angabe der Eintrittswahrscheinlichkeiten verschiedener Entscheidungsalternativen, bezieht Erfahrungswerte des Behandlungsteams bereits in die Modellerstellung mit ein und unterstützt die Entscheidungsfindung zukünftiger Behandlungen bei der Ausführung der Klinischen Pfade. Die Zuordnung verantwortlicher Rollen organisiert die Zuständigkeiten und schafft die Basis für ein Berechtigungsmanagement der einzelnen Prozessschritte. Zur Integration des Systems in ein bestehendes KIS können Behandlungsschritte mit entsprechenden Modulen oder Funktionen verknüpft werden. So kann während der Durchführung einer Röntgenuntersuchung das damit verbundene Bildarchivierungs- und Kommunikationssystem (PACS) aus dem entsprechenden Behandlungsschritt heraus gestartet werden. Eine modellhafte Integration des Dokumentenflusses, über den gesamten Behandlungsprozess hinweg, erlaubt die komplette Dokumentationsintegration entlang des Behandlungsprozesses und stellt diese durch Kontrollmechanismen innerhalb der Ausführungsumgebung sicher.

Die Ausführung verknüpft die Modelldaten mit patientenspezifischen Informationen. Dabei wird der individuelle Behandlungsverlauf als Weg durch den Pfad prognostiziert (siehe Pfeildarstellung in Abbildung 3). Die Behandlungsschritte werden auf Basis der Modelldaten zeitlich geplant und in einer Pfadübersicht dargestellt. Ein Ampelsystem beschreibt den aktuellen Standpunkt des Patienten innerhalb des Pfades und kontrolliert die Durchführung der einzelnen Schritte entsprechend der modellierten Ablaufbeschreibung. In Abbildung 3 ist dies auf der rechten Seite beispielhaft für die Behandlung eines Weisheitszahns dargestellt. Für den Patienten wurden bereits die obligatorische Anamnese sowie die Röntgenuntersuchung durchgeführt. Im Rahmen der optionalen Behandlungen erfolgte eine CT, während auf eine Stanzbiopsie verzichtet wurde.

Während der Ausführung des Klinischen Pfades wird bei jeder Behandlungsentscheidung ein Entscheidungsvorschlag generiert. Dieser basiert auf der Auswertung patientenspezifischer Daten bzgl. der modellierten Zielgrößen. Bei Abweichungen vom geplanten Behandlungsverlauf folgt eine erneute Prognose der weiteren Behandlung. Im Beispielpfad wäre dies sowohl in der Entscheidung zum Therapieverlauf (medikamentös vs. operativ)

erschienen im Tagungsband der INFORMATIK 2011
Lecture Notes in Informatics, Band P192
ISBN 978-3-88579-286-4
weitere Artikel online:
http://informatik2011.de/519.html

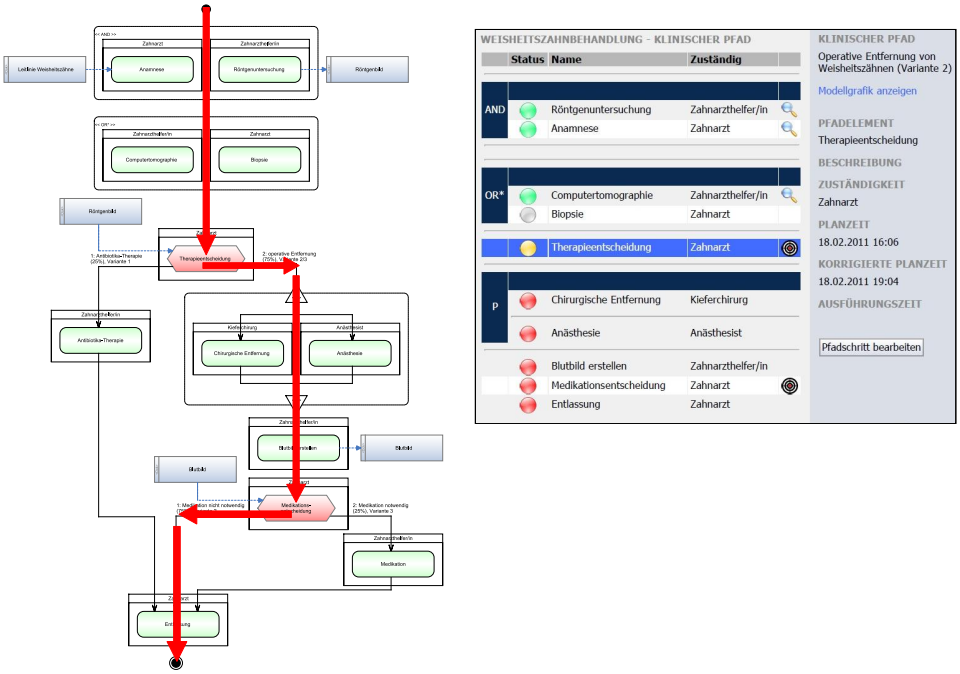

Abbildung 3: Modellierung und Ausführung eines Behandlungsprozesses

als auch in der Entscheidung über die weitere Medikation (ja vs. nein) möglich. Dem in Abbildung 3 dargestellten Behandlungsstand zufolge, muss nun die Indikation für eine operative Entfernung geprüft werden, um die entsprechende Therapieentscheidung zu treffen. Über die Parametrisierung der Entscheidung wird dafür eine Empfehlung entsprechend den hinterlegten Indikationen gegeben.

5 Implementierungsvorschlag

Das vorgeschlagene Anwendungssystem besteht aus zwei Komponenten, einerseits zur Prozessmodellierung und andererseits zur Prozessausführung. Zur Modellierung der Klinischen Behandlungspfade wird das Werkzeug Cubetto Toolset® verwendet. Dieses generische Modellierungswerkzeug ist eine eigenständige Java-Applikation und erlaubt die Definition einer Modellierungssprache mithilfe der E^3-Notation. Diese ist eine speziell für die Methodenentwicklung konzipierte Sprache und erlaubt die Abbildung sowohl der abstrakten als auch der konkreten Syntax einer Modellierungssprache. Als zweite Komponente stellt eine Web-Applikation Funktionen der Planung und vor allem der Ausführung der Pfadinstanzen zur Verfügung. Diese wird auf einem lokalen Apache-Webserver realisiert. Die Kommunikation zwischen beiden Teilsystemen erfolgt über ein entsprechendes plattform- und implementierungsunabhängiges Datenaustauschformat. Aufgrund der

Eigenschaften der Pfadmodelle als Prozessbeschreibungen wird hierfür eine XML-Datenstruktur verwendet, welche sich an der XML Process Definition Language orientiert. Das beschriebene Architekturmodell ist in Abbildung 4 dargestellt.

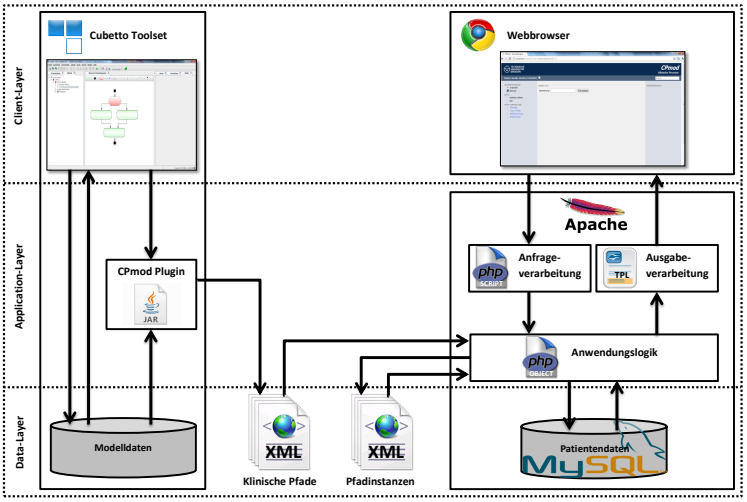

Abbildung 4: Systemarchitektur des Prototyps

Die Modelltransformation in ein unabhängiges XML-Format ermöglicht die Verwendung der Modelldaten innerhalb verschiedener Systemumgebungen und vereinfacht die Integration in das bestehende KIS. Die Überführung wird durch ein Plugin im Cubetto Toolset realisiert, welches eine einfache Integration der ergänzenden Funktionalität gewährleistet.

6 Potenziale für das Modellgestützte Management

Die bisherigen Ausführungen des Beitrages haben vor allem die Ableitung von Prozesswissen und dessen Überführung in ein WfMS in den Mittelpunkt gerückt.

Während der Ausführung der Prozesse im operativen Tagesgeschäft fallen jedoch zahlreiche Erkenntnisse an, die normalerweise nur schwer identifiziert werden können, da eine Vielzahl an Entscheidungen und Prozessparametern nicht dokumentiert wird bzw. das Krankenhaus sich derer gar nicht bewusst ist. Die zusätzliche Dokumentation würde hingegen zu viele Ressourcen binden und dadurch weder auf Führungs- noch auf operativer Ebene akzeptiert werden.

Vielmehr müssen Erkenntnisse, die im Tagesgeschäft anfallen - im Sinne eines Managementzyklus - permanent in eine Verbesserung der krankenhausspezifischen KP zurückfließen. Der beschriebene modellbasierte, integrative Ansatz bildet dafür die konzeptuelle Grundlage. Spezifische Fragestellungen können auf Basis der für jeden Patienten hinterlegten Pfadinstanzen analysiert werden. Darüber hinaus existieren definierte Informationswege sowie die Modelle als standardisiertes Medium, in dem organisationales Wissen abgelegt

und entsprechend angepasst werden kann. Im Managementzyklus bildet die Summe der Pfadinstanzen die Kontrollgröße. Werden definierte Schwellwerte während des Prozess-Measurements überschritten, obliegt es dem Krankenhaus ggf. bestehende Behandlungen oder Verfahrensanweisungen, die im KP verankert sind, zu hinterfragen und wenn nötig anzupassen.

Weiterhin entstehen Informationen, die gleichermaßen dem Unternehmenscontrolling (Prozesskostenrechnung) sowie der Unternehmensführung bei der strategischen Gestaltung der Krankenhausprozesslandschaft dienlich sein können. Damit schließt sich der modellgetriebene Managementzyklus. Die zunächst geschaffene Möglichkeit, agile Prozesse aus den medizinischen Leitlinien mit Hilfe von KP auszuführen, dient nun dem kontinuierlichen Verbesserungsprozess und dem Rückfluss von Informationen.

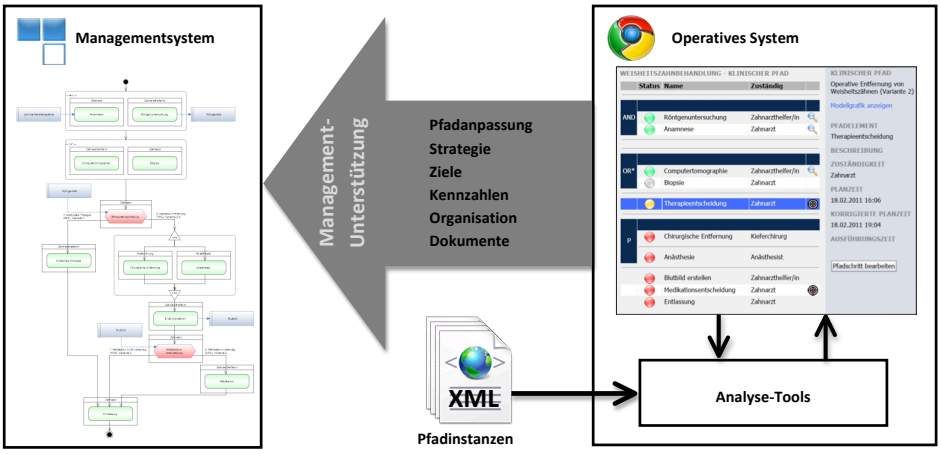

Abbildung 5: Potenziale des Modellgestützten Managements

Im aktuellen Entwicklungsstadium des Prototyps wird bspw. aufgeschlüsselt, welche Pfadtypen, wie häufig vom Arzt verlassen werden. Im Rahmen einer Prozessanalyse können diese Abweichungen herangezogen werden, um zu diskutieren, ob einerseits die vorbedachten Pfade nicht genau oder gar fehlerhaft sind oder ob andererseits eine nicht indizierte und ausreichend begründete Behandlungsempfehlung getroffen werden. Zudem ermöglicht das Monitoring die Bestimmung der tatsächlichen Häufigkeiten, in der eine Pfadvariante ausgeführt wird.

Wenn man diese Gedanken weiter verfolgt (den allgemeinen Datenschutz ausgeklammert), so lassen sich aus den bestehenden Daten weiterhin Arbeits- und Belastungsprofile für Mitarbeiter bezüglich bestimmter Behandlungen erstellen, Durchlaufzeiten für einzelne Patienten oder Patientenklassen analysieren, typische Behandlungsmuster identifizieren und tatsächliche Ressourcenallokationen bewerten.

Wie in Abbildung 5 dargestellt, ergeben sich damit nicht nur Potentiale im Wechselspiel zwischen vorgedachten KP und tatsächlichen Pfadinstanzen, sondern auch zwischen ausführender Ebene und den Ebenen des mittleren und des Top-Managements.

7 Fazit

Im vorliegenden Beitrag wurde gezeigt, wie mit Hilfe einer engen Verknüpfung von Prozessmodellen und Anwendungssystemen auch eine stärkere Integration organisatorischen Wissens in die operative Ebene erreicht werden kann. Ein modellbasierter Ansatz unterstützt zudem die Prozessagilität im Sinne der Flexibilität hinsichtlich neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse der Medizin und damit der einfachen Anpassung der Behandlungsprozesse. Ein dem vorgeschlagenen Ansatz entsprechendes System fördert neue Arbeitsprinzipien und Berufsbilder in der Medizin. Weiterer Forschungsbedarf liegt insbesondere in der Fragestellung, wie die, über die sukzessive Verfolgung von Abweichungen und Entscheidungen der Ärzte, gewonnenen Informationen adäquat in die Prozessmodelle zurückfließen können. Gleichzeitig muss untersucht werden, welche Möglichkeiten der Unterstützung echter Prozessagilität im Sinne einer spontanen Anpassung von Prozessinstanzen existieren und wie diese auf Basis des vorgestellten Modellansatzes umgesetzt werden können.

Literatur

[ÄA01] ÄZQ und AWMF. Das Leitlinien-Manual. *Zeitschrift für ärztliche Fortbildung und Qualitätssicherung (ZaeFQ)*, 95(Supplement I):1–84, 2001.

[BDW+06] L. De Bleser, R. Depreitere, K. De Waele, K. Vanhaecht, J. Vlayen und W. Sermeus. Defining pathways. *Journal of Nursing Management*, 14(7):553–563, 2006.

[GLI01] Guideline Interchange Format 3.4 Technical Specification, 04 2001. abgerufen am 13.01.2011.

[HHSF10] David Heise, Michael Heß, Stefan Strecker und Ulrich Frank. Rekonstruktion eines klinischen Behandlungspfads mithilfe domänenspezifischer Erweiterungen einer Geschäftsprozessmodellierungssprache: Anwendungsfall und Sprachkonzepte. In Oliver Thomas und Markus Nüttgens, Hrsg., *Dienstleistungsmodellierung 2010*, Seiten 210–227. Physica-Verlag HD, Heidelberg, 2010.

[Mei05] C. Meiler. *Modellierung, Planung und Ausführung Klinischer Pfade: Eine integrierte modellbasierte Betrachtung evidenzbasierter, organisatorischer und betriebswirtschaftlicher Gesichtspunkte*. Ibidem-Verlag, 2005.

[Sed08] M. Sedlmayr. *Proaktive Assistenz zur kontextabhängigen und zielorientierten Unterstützung bei der Indikationsstellung und Anwendung von Behandlungsmaflnahmen in der Intensivmedizin*. Dissertation, RWTH Aachen, 2008.

[SL04] K. Sarshar und P. Loos. Klassifikation von Sprachen zur Modellierung medizinischer Behandlungspfade. *Modellierung betrieblicher Informationssyteme - MobIS*, Seiten 43–59, 2004.

[WZB96] A. F. Winter, R. Zimmerling und O. J. Bott. Das Management von Krankenhausinformationssystemen: Eine Begriffsdefinition. In *Tagungsband zur 41. GMDS-Jahrestagung*, Bonn, 1996.

erschienen im Tagungsband der INFORMATIK 2011
Lecture Notes in Informatics, Band P192
ISBN 978-3-88579-286-4
weitere Artikel online:
http://informatik2011.de/519.html