

Mobile Computing

Christoph Niemann

Behandlung planung Notaufn

Mobile Computing

Herausgegeben von

Ch. Kittl, Graz, Österreich

Das Mediennutzungsverhalten der Menschen hat sich in den letzten Jahren stark intensiviert und gewandelt. Die Kombination aus der raschen Verbreitung mobiler Endgeräte und der Einführung neuer Dienste jenseits der reinen Sprachtelefonie führt zu einer Fülle neuer Möglichkeiten sowohl für Konsumenten als auch für Anbieter von Mobilfunkdiensten. Im Rahmen der Schriftenreihe werden herausragende Arbeiten aus dem breiten Forschungsfeld des Mobile Computing publiziert. Darin werden unter Einhaltung wissenschaftlicher Methoden Problemfelder aus der Praxis bearbeitet und Lösungsansätze vorgestellt. Das Hauptaugenmerk liegt neben der Entwicklung technologischer Artefakte auf der Ausgestaltung ökonomisch sinnvoller Geschäftsmodelle und der Nutzerakzeptanz solcher Systeme.

Herausgegeben von

DI Dr. Christian Kittl
evolaris next level GmbH,
Graz, Österreich

Christoph Niemann

Behandlungsplanung in der Notaufnahme von Krankenhäusern

Hybride Entscheidungsunter-
stützung in partiell automatisier-
baren Entscheidungssituationen

Mit einem Geleitwort von Prof. Dr. Torsten Eymann



Springer Gabler

RESEARCH

Christoph Niemann
Bayreuth, Deutschland

Dissertation Universität Bayreuth, 2011

ISBN 978-3-658-00817-8
DOI 10.1007/978-3-658-00818-5

ISBN 978-3-658-00818-5 (eBook)

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Gabler

© Springer Fachmedien Wiesbaden 2013

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Gabler ist eine Marke von Springer DE. Springer DE ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media.
www.springer-gabler.de

Geleitwort

Entscheidungsunterstützungssysteme (EUS) werden in Domänen benötigt, deren Komplexität rein menschlich geprägte Entscheidungsfindung nicht zulässt. In solchen Szenarien übernehmen EUS Teile der Entscheidungskompetenz und entlasten den Menschen. Dieser Ansatz ist allerdings nur so lange gangbar, wie die zur Entscheidungsfindung notwendige Information auch in digital kodierbarer Form vorhanden ist. Sobald sie nur implizit (z. B. als Erfahrungswissen) vorliegt, stoßen herkömmliche EUS an ihre Grenzen.

Diese Grenze untersucht die Dissertation, indem Mensch und Maschine nicht als substituierbare Systeme betrachtet werden, sondern sich gegenseitig ergänzen: In Form von Softwareagenten können Computer Daten schnell verarbeiten und im Gesamtsystem kommunizieren. Menschen bringen auf der anderen Seite Wissen in die Entscheidungsfindung ein, das nicht in maschinenlesbarer Form vorliegt und sich aus prinzipiellen Gründen nur unzureichend in den Computer übertragen lässt. Beide Komponenten ergänzen sich zu einer hybriden Entscheidungsunterstützung.

Diese Entscheidungsunterstützung untersucht dieses Buch prototypisch am Beispiel der Terminplanung im Krankenhaus. Das Gesundheitswesen zeichnet sich durch einen hohen Anteil an implizit vorhandenem medizinischem Wissen aus, über das die beteiligten menschlichen Akteure (Ärzte, med. Personal) verfügen und das zur medizinischen Bewertung unterschiedlicher Situationen benötigt wird. Dieses Wissen erwerben die Menschen vor allem durch Erfahrung. Es lässt sich daher nur unzureichend kodieren und den maschinellen Entscheidungsträgern zugänglich machen. Auf der anderen Seite müssen operative Daten (Raumbelegung, Aktivitätszustand) in die Entscheidungen eingebracht werden, die in der Masse nicht vom Menschen verarbeitet werden können, wenn die Skalierbarkeit des Gesamtsystems gewährleistet werden soll.

Bei den Entscheidungen in der Terminplanung im Krankenhaus geht es meist um eine Reihenfolgeplanung der Patienten auf verteilten Untersuchungsräumen bzw. –geräten. Während zentrale Optimierungsverfahren hierfür schnell sehr gute Lösungen errechnen können, arbeiten sie mit der Annahme der vollständigen Information. Diese Voraussetzung ist in Krankenhäusern allerdings nur bedingt gegeben, da die operativen Daten sich zwar kodieren lassen, medizinisches Fachwissen entzieht sich jedoch dieser Kodierbarkeit. Da es zu großen Teilen auf Erfahrung beruht, die sich selbst durch Expertensysteme nur in eng abgesteckten Bereichen abbilden lässt, muss ein EUS diese duale Natur der zur Verfügung stehenden Daten

berücksichtigen. Es kann im IS nur die operativen Daten verarbeiten, die letztendliche Entscheidung muss – unter Hinzunahme seines Erfahrungswissens – beim Menschen liegen.

Ziel der hybrischen Entscheidungsunterstützung ist eine Erhöhung der Flexibilität. Die Struktur des Untersuchungsraums als fix ansehend, konzentriert sich Herr Niemann auf die Möglichkeiten, Entscheidungsflexibilität und Prozessflexibilität zu beeinflussen. Die Entscheidungsflexibilität wird durch eine verbesserte Informationslage maximiert. Dabei greift Herr Niemann auf das Paradigma des Ubiquitous Computing zurück. Seit einiger Zeit rückt die Verwirklichung dieses Leitbildes durch die verbesserten Möglichkeiten, immer kleiner, günstiger und zahlreicher werdende Rechneinheiten in alltägliche Objekte zu integrieren und miteinander zu vernetzen, in greifbare Nähe. Die dadurch verfügbaren Informationen werden aggregiert und mit Kontextinformationen angereichert. Damit entsteht jedoch mehr statt weniger Information – dieses Vorgehen ist also nicht geeignet, den „information overload“ zu minimieren. Dazu braucht es den nächsten Schritt, die Verbesserung der Prozessflexibilität durch Vorverarbeitung.

Die Arbeit kombiniert nun zwei unterschiedliche Ansätze, die eine dezentrale, nicht explizite Form des Wissensbestandes berücksichtigen. Der agentenbasierte Ansatz, dessen Fokus auf der Dezentralität und Flexibilität der Prozesse liegt, wird kombiniert mit dem Ansatz der eUS, der auf das Zusammenspiel von menschlichem und maschinelltem Entscheidungswissen abstellt. Dafür sieht die Systemarchitektur ein Multiagentensystem (MAS) vor, dessen Software-Agenten die Entscheidungsträger im Krankenhaus repräsentieren. Durch Interaktion der Agenten untereinander werden Entscheidungen vorbereitet, die durch Rückkopplung des jeweiligen Software-Agenten mit „seinem“ Entscheidungsträger evaluiert bzw. ausgewählt werden.

Ich empfehle dieses Buch allen Lesern aus Wissenschaft und Praxis, die vor ähnlichen Problemen in der Unterstützung von Informationssystemen im Gesundheitswesen stehen. Sowohl zum Problemverständnis wie auch zum beispielhaften Lernen über mögliche Lösungen wird dieses Buch einen wesentlichen Beitrag leisten. Ich wünsche Ihnen, den Lesern, daher viele Einsichten und dem Buch selber einen großen Leserkreis.

Danksagung

Während meiner Arbeit an diesem Projekt wurde ich von vielen unterstützt und motiviert. Ihnen gilt nach der Fertigstellung des Buches mein ganzer Dank, da diese Dissertation ohne sie nicht so entstanden wäre, wie es jetzt der Fall ist.

Besonders möchte ich mich bei meinem Doktorvater Prof. Dr. Torsten Eymann bedanken, an dessen Lehrstuhl ich meine Forschung betrieben habe. Seine kontinuierlichen Hinweise und die konstruktive Kritik haben mir geholfen, die Aussagen dieser Arbeit zu formulieren und voranzubringen. Er hat mir die Teilnahme an vielen Konferenzen und Workshops ermöglicht, die meine Forschung bereichert haben. Die Ideen, die ich dort aufnehmen konnte, haben die Arbeit deutlich geprägt. Mein Zweitbetreuer Prof. Dr.-Ing. Stefan Jablonski hat mich unkompliziert betreut. Seine Hinweise haben geholfen, die Arbeit in bestimmten Punkten zu schärfen und zu verbessern. Dafür bedanke ich mich sehr herzlich. Ebenso gilt dieser Dank für meine ehemaligen Kollegen am Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik der Universität Bayreuth. Im Rahmen der verschiedenen Kolloquien haben sie meine Arbeit kritisch hinterfragt und dadurch zu deren Verbesserung beigetragen. Besonders hervorheben möchte ich dabei meine beiden Kollegen Stefan König und Sebastian Hudert. Mit ihnen habe ich sehr eng in verschiedenen Projekten und Veröffentlichungen zusammengearbeitet; sie haben die Entstehung der Arbeit durch viele Höhen und Tiefen mitverfolgt und unterstützt. Am Lehrstuhl konnte ich mich jederzeit auf eine hervorragende technische und organisatorische Infrastruktur verlassen. Dafür haben immer wieder Axel Pürkhauer und Karin Tauscher gesorgt. Für diese Unterstützung gebührt ihnen großer Dank.

Außerhalb der Lehrstuhlteams habe ich von den Hinweisen von Prof. Dr. Jörg Rambau und Prof. Dr. Rainer Hegselmann im Rahmen von Kolloquien profitiert. Die interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen den Lehrstühlen hat neue Perspektiven auf die Forschung eröffnet, die für mich inspirierend waren und für die ich mich bedanken möchte.

Um die Ideen der Arbeit evaluieren zu können, war ich auf möglichst realistische Durchlaufdaten aus einer Notaufnahme angewiesen. Diese konnte ich im Rahmen eines Forschungsaufenthalts an der University of Missouri in den USA erheben. Dabei haben mir Prof. Lanis Hicks, PhD und Patricia Alafaireet, PhD vom Department for Health Management and Informatics unbürokratisch bei der Datenerhebung geholfen und so erst eine realistische Evaluation der vorgeschlagenen Verfahren ermöglicht. Dafür möchte ich

mich bei ihnen bedanken. Der Forschungsaufenthalt in den USA wurde vom DAAD gefördert, die Publikation dieses Buches hat die evolaris next level GmbH durch den Publikationsfonds unterstützt. Beiden Institutionen danke ich dafür.

Schließlich gilt mein Dank meinen Eltern und meiner Familie. Sie haben mir das Studium ermöglicht und mir immer alle Freiheiten gelassen. Auch durch ihre Unterstützung ist die Arbeit nun fertiggestellt worden.

Kurz vor Abgabe der Arbeit haben Freunde von mir Teile der Arbeit Korrektur gelesen und mir so geholfen. Dafür möchte ich mich bei Alexander und Sabine (die mich zusätzlich als Mitbewohner ertragen haben) genauso bedanken wie bei Matthias.

Abschließend möchte ich mich bei meiner Freundin Carolin bedanken. Sie hat wohl am engsten mitbekommen, wie die Arbeit voranschritt und auch alle Sackgassen dabei miterlebt. Ihre Unterstützung und ihre Kommentare haben mich oft geerdet und so dazu beigetragen, die Arbeit fertig zu stellen. Auch hat sie die Arbeit zu verschiedenen Zeitpunkten gelesen und verbessert. Bei ihr möchte ich mich dafür besonders bedanken.

München, im Oktober 2012

Christoph Niemann

Zusammenfassung

Krankenhäuser stehen – auch bedingt durch die Umstellung von der verweildauerbasierten Abrechnung auf eine pauschalierte Bezahlung – unter erheblichem Kostendruck, den sie durch eine bessere Auslastung von Ressourcen auszugleichen versuchen. Am Beispiel der Notaufnahme einer Klinik schlägt die Arbeit ein Planungsunterstützungsverfahren vor, das die Behandlungsplanung teilautomatisiert und so die menschlichen Entscheidungsträger entlastet.

Die Arbeit stellt zuerst die Grundlagen der Behandlungsplanung im Krankenhaus dar. Der vorgeschlagene Planungsmechanismus verknüpft unterschiedliche Technologien aus den Bereichen des *Ubiquitous Computing*, der *Verhandlungstheorie* und der *Multiagentensysteme* zu einem System. In die Planung gehen dabei Ortsinformationen über alle Akteure in der Notaufnahme ein, die automatisiert erfasst werden. Die zusätzliche Informationsquelle wird mit den Behandlungsplänen und weiteren Daten aus dem Klinikinformationssystem zusammengeführt. So können Fehler in Form von Abweichungen des aktuellen Behandlungsplans vom Soll-Zustand automatisiert identifiziert werden. Das System versucht, die Fehler durch Softwareagenten-basierte Verhandlungen zu beheben, in denen mögliche Verschiebungen oder Substituierungen von Behandlungen bewertet werden. Wenn eine mögliche Alternative gefunden wurde, schlägt das System sie dem betroffenen medizinischen Personal vor, das die Behandlungen annehmen oder ablehnen kann. In einem iterativen Prozess entsteht ein neuer Behandlungsplan, der die Wartezeiten der Patienten verringert, ohne vom medizinischen Personal eine manuelle Optimierung des Behandlungsplans zu verlangen.

Die Evaluation des Verfahrens erfolgt im Rahmen einer Simulation. In einem Multiagentensystem wird eine Notaufnahme simuliert, in der das Verfahren eingesetzt wird. Durch die unvorhergesehenen Patientenankünfte stellt die Notaufnahme eine der dynamischsten Umgebungen in der Klinik dar. In ihr muss das System seine Leistungsfähigkeit unter Beweis stellen. In der Simulation treffen die Patienten zufallsbasiert mit unterschiedlichen Verletzungen und Behandlungsprioritäten ein. Die Verteilungen, aus denen die Patientenankünfte generiert werden, sowie alle anderen Parameter ent-

sprechen denen einer realen Notaufnahme. Im Rahmen einer statistischen Analyse leitet die Arbeit die Verteilungen aus historischen Ankunftsdaten einer Notaufnahme ab.

Im Ergebnis zeigt sich das entwickelte System einem rein regelbasierten Warteschlangensystem überlegen. Die Wartezeiten der Patienten können durch die Anwendung des Verfahrens verringert werden, ohne die Auslastung der Ressourcen zu stark zu verringern. Insgesamt zeigt die Simulation, dass die Behandlungsplanung zumindest geeignet ist, in bestimmten Bereichen automatisiert durchgeführt zu werden. Eine Vollautomatisierung erscheint indes nicht möglich, da das medizinische Wissen nicht für eine maschinelle Planung zugänglich ist. Dadurch unterscheidet sich die Behandlungsplanung von der vollautomatisierten Planung, z. B. in der industriellen Fertigung.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Problemstellung und Motivation	2
1.2	Ziele	3
1.3	Forschungsfrage	4
1.4	Lösungsansatz	5
1.5	Aufbau der Arbeit	6
2	Forschungsmethode	7
2.1	Forschungsergebnis	9
2.2	Forschungsprozess	13
3	Patientensteuerung im Krankenhaus	21
3.1	Krankenhausdomäne	21
3.2	Behandlungsplanung und Patientensteuerung	31
3.3	Behandlungsplanung in der Notaufnahme	38
3.4	Zieldiskussion	42
4	Modellierung des Untersuchungsszenarios	49
4.1	Notaufnahme am University Hospital	49
4.2	Modellbildung	51
4.3	Zusammenfassung des Untersuchungsszenarios	72
5	Lösungsansatz	75
5.1	Strukturflexibilität	75
5.2	Entscheidungsflexibilität	76
5.3	Prozessflexibilität	84
6	Implementierung	125
6.1	Datenerhebung	125
6.2	Simulationsumgebung	127
6.3	Approximation durch Zufall	130
6.4	Simulation	136

7	Auswertung	139
7.1	Demonstration	139
7.2	Evaluation	145
7.3	Zusammenfassung der Ergebnisse	163
8	Ausblick	169
8.1	Anwendbarkeit in Kliniken	169
8.2	Anwendbarkeit in anderen Domänen	171
	Anhang	175
A	Detailtabellen	177
A.1	Detailtabellen der multinomialen logistischen Regression . .	177
A.2	Mediane der Wartezeiten	179
B	Marktpreise in der argumentationsbasierten Verhandlung	185
	Literatur	187
	Sachverzeichnis	215

Tabellenverzeichnis

3.1	Kategorien und Zielzeiten im MTS	40
4.1	Patientenankünfte in der Notaufnahme	58
4.2	Näherungsformel für die kritischen Werten des ks-Tests . . .	61
4.3	ks-Test der Schätzfunktion für die esi-Level 3 und 4	63
4.4	Teststatistik des ks-Tests für die esi-Level 1, 2 und 5	64
4.5	Unvorhergesehene Entlassungen	66
4.6	Behandlungsschritte und deren Häufigkeiten	70
4.7	Koeffizienten der multinomialen logistischen Regression . .	70
A.1	Behandlungsschritte und deren Häufigkeiten	177
A.2	Multinomiale logistische Regression der Behandlungsschritte	178
A.3	Mediane der Wartezeiten (Verhandlung und Argumentation)	179
A.4	Mediane und Maximalwerte der Wartezeiten (signalbasiert)	183

Abbildungsverzeichnis

2.1	Forschungszyklus	8
2.2	Forschungsprozess	14
3.1	Aufbau der Krankenhauslogistik	32
3.2	Flexibilitätsbetrachtung	35
3.3	Algorithmus zur ESI-Kategorisierung	42
4.1	Zwischenankunftszeiten in der Notaufnahme	54
4.2	Unabhängigkeit der Patientenankünfte	56
4.3	Stationarität der Patientenankünfte	57
4.4	Schätzer der Patientenankünfte	62
4.5	Ankünfte der ESI-Level 1, 2 und 5	63
4.6	Altersstruktur der Patienten	65
4.7	Wahrscheinlichkeiten für einzelne Behandlungsschritte . . .	72
5.1	Schichtenarchitektur zur Aggregation der Daten aus dem Sensornetzwerk	85
5.2	Architektur für Softwareagenten	87
5.3	Preisbildung in der DA	106
5.4	Schematische Agentenarchitektur für Verhandlungsagenten	111
5.5	Zielhierarchie der Agententypen	113
5.6	Mögliche Angriffe auf die Zielhierarchie	123
6.1	Entity-Relationship-Modell der Datenbank	128
6.2	Zufällige Patientenankünfte	131
6.3	Entscheidungsbaum mit Wahrscheinlichkeiten für einen Be- handlungsabbruch	134
6.4	Entscheidungsbaum mit abgetragenen Wahrscheinlichkeiten	135
6.5	Vererbungshierarchie der SA	136
7.1	Auswirkungen unterschiedlicher Zwischenankunftszeiten .	143
7.2	Entwicklung der Wartezeit	144
7.3	Patientenankünfte in der Simulation	147

7.4	Kumulierte Wartezeit in der signalbasierten Koordination . . .	148
7.5	Wartezeit in der signalbasierten Koordination	149
7.6	Kumulierte Wartezeit in der verhandlungsbasierten Koordination	150
7.7	Wartezeiten in der verhandlungsbasierten Koordination . . .	151
7.8	Entwicklung der Marktpreise im verhandlungsbasierten Verfahren	155
7.9	Zuwächse der Budgetfunktionen	156
7.10	Marktpreise im verhandlungsbasierten Verfahren abhängig vom Budgetfaktor	157
7.11	Kumulierte Wartezeit in der argumentationsbasierten Koordination	158
7.12	Wartezeiten in der argumentationsbasierten Koordination . . .	159
7.13	Kumulierte Anzahl der Argumentationen	166
7.14	Arbeitszeit der Ärzte	167
8.1	Systemarchitektur für eine hybride Behandlungsplanung . . .	173
B.1	Entwicklung der Marktpreise im argumentationsbasierten Verfahren	185
B.2	Marktpreise im verhandlungsbasierten Verfahren abhängig vom Budgetfaktor	186

Abkürzungsverzeichnis

ABN	argumentation based negotiation
ACF	Autocorrelation function
BDI	belief, desire, intention
CERN	Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire
CMS	Centers for Medicare and Medicaid Services
CS	Computer Science
CT	Computertomograph
DA	Doppelauktion
DFG	Deutsche Forschungsgemeinschaft
DRG	Diagnosis Related Groups
DS	Design Science
DSRM	Design Science Research Methodology
ESI	Emergency Severity Index
EUS	Entscheidungsunterstützungssystem
G-DRG	German diagnosis related groups
GKV	Gesetzliche Krankenversicherung
HCFA	Health Care Financing Administration
HDLC	High-Level Data Link Control
HL7	Health Level 7
HRO	High Reliability Organization

IID	Independant and identically distributed
IS	Informationssystem
ISDT	Information Systems Design Theory
ISR	Information Systems Research
IT	Informationstechnik
KIS	Klinikinformationssystem
KS-Test	Komolgorow-Smirnow-Test
MAS	Multiagentensystem
MTA	Medizinisch-technische Assistentin
MTS	Manchester Triage System
NHPP	Nicht-homogener Poissonprozess
Repast	Recursive Porous Agent Simulation Toolkit
RFID	Radio Frequency Identification
SA	Softwareagent
SIMIS	Simulation for the Internet of Services
SOD	state oriented domain
SPP	Schwerpunktprogramm
SQL	Structured Query Language
TOD	task oriented domain
UC	Ubiquitous Computing
WLAN	wireless local area network
WOD	worth oriented domain

1 Einleitung

In Deutschland sind die Aufwendungen der gesetzlichen Krankenversicherungen (GKV) in den letzten zehn Jahren von ca. 120 Mrd. Euro auf über 160 Mrd. Euro gestiegen [Bun11, Tab. 9.6]. Der Anteil der gesetzlich Versicherten stellt mit 79,4 % an den selbst Versicherten¹ die Mehrheit der Versicherten dar [Bun11, Tab. 8.2]. Deshalb können die Aufwendungen der GKV als Indikator für die Entwicklung der Aufwendungen im Gesundheitswesen insgesamt herangezogen werden.

Der Anteil der Krankenhausbehandlungen an den Aufwendungen stellt den größten Kostenblock dar und schwankt um 35,1 % [Bun11, Tab. 9.6A]. Durch die prognostizierte demographische Entwicklung in Deutschland werden die nachgefragten Behandlungen im Gesundheitssystem in Deutschland in Zukunft deutlich zunehmen: Wegen des höheren Anteils älterer Menschen an der Gesamtbevölkerung werden insbesondere typische „Alterskrankheiten“ wie Diabetes oder Herzinsuffizienzen zunehmen und entsprechende Kosten für das Gesundheitssystem verursachen. Diese Kosten können durch die momentane Struktur des System nicht aufgefangen werden und sind – bei gleichbleibenden Kosten für die einzelnen Behandlungen – nur durch eine Veränderung der Einnahmeseite, also höhere Krankenkassenbeiträge auszugleichen.

Große Dienstleister wie Kliniken und Krankenhäuser besitzen eine Möglichkeit, um mit der prognostizierten Entwicklung umzugehen. Sie haben durch die innerbetriebliche Organisation erheblichen Einfluss auf die Ausgabenseite und können so von Effizienzsteigerungen direkt profitieren: Wenn die Behandlungskosten für einzelne Behandlungen gesenkt werden, können diese Minderausgaben dazu führen, dass bei gleichbleibenden Einnahmen pro Behandlung mehr Behandlungen mit dem gleichen Budget durchgeführt werden können. Damit stehen das Gesundheitssystem insgesamt und besonders die Kliniken und Krankenhäuser als größter Ort der Kostenentstehung unter großem Druck, Kosten einzusparen. Diese Arbeit untersucht die Mög-

¹Krankenversicherte Personen können sich entweder selbst versichern oder sie können als Familienangehöriger mitversichert sein. Als Familienangehöriger mitversichert sind 24,4 % der Gesamtbevölkerung. Selbst versichert sind 74,2 % der Bevölkerung, nicht versichert oder ohne Angabe zur Versicherung sind lediglich 0,9 % [Bun11, Tab. 8.2].

lichkeit, solche Einsparungen durch die verbesserte Behandlungsplanung im Krankenhaus zu ermöglichen.

1.1 Problemstellung und Motivation

Krankenhäuser und Kliniken sind hoch dynamische Systeme mit einer kontinuierlich variierenden Anzahl an Akteuren. Diese Arbeit betrachtet eine Klinik als ein offenes System, in dem Patienten Leistungen nachfragen, die vom medizinischen Personal erbracht werden. Aus volkswirtschaftlicher Perspektive kann ein Krankenhaus als Ort des Leistungsaustausches zwischen Anbieter und Nachfrager angesehen werden.

Motiviert von dieser marktbasierten Perspektive stellt sich die Frage, ob sich in ein Krankenhaus auch die marktübliche, dezentrale Koordination übertragen lässt. Heutige Kliniken arbeiten mit einem zentralen (oftmals manuellen) Koordinationsmechanismus, der den einzelnen Behandlungen die benötigten Ressourcen zuweist. So soll eine möglichst effektive (im Sinne der Heilung der Patienten) und effiziente (im Sinne der entstehenden Kosten) Behandlung sichergestellt werden. In der Regel findet diese Behandlungsplanung manuell durch Menschen statt und kann – je nach lokalen Gegebenheiten des Hauses – verschiedene Formen annehmen. Häufig anzutreffen ist die Koordination durch eine speziell dafür abgestellte Person, die permanent oder temporär für die Planung zuständig ist. Andere Formen der Planung sind morgendliche Konferenzen oder Langzeitplanungen mit Horizonten von zum Teil mehreren Wochen bis Monaten.

Allen diesen Koordinationsformen ist gemein, dass sie wegen der menschlichen Beteiligung zu großem Teil auf Erfahrungswissen beruhen und nicht gut skalieren. Deshalb kommt es bei der menschlichen Planung immer wieder zu Ineffizienzen, die sich in einer Unterlastung der vorhandenen Ressourcen ausdrücken können. Wenn das Krankenhaus aus Kostengründen versucht, solche Unterlastungen z. B. durch Überbuchung kostenintensiver Ressourcen wie Computertomographen (CT) zu vermeiden, kommt es zwar nicht zu einer Kostensteigerung, allerdings hat diese Praxis andere negative Effekte wie eine erhöhte Wartezeit für die Patienten, die sich auf die Aufenthaltsdauer und die Zufriedenheit der Patienten auswirkt. Daher existieren für ein Krankenhaus Anreize, die Behandlungsplanung so zu gestalten, dass die Ressourcen bei möglichst geringer Wartezeit der Patienten ausgelastet werden.

In dieser Zielsetzung, einerseits eine hohe Auslastung in der Klinik und andererseits eine möglichst geringe Wartezeit für die Patienten zu gewährleisten, liegt ein Zielkonflikt [Axt78, S. 33]², der sich nicht generell auflösen lässt. Die Klinikleitung muss in den Konfliktfällen ein Ziel dem anderen überordnen und so eine Priorisierung vornehmen. Allerdings besteht in aktuellen Planungssystemen nicht einmal die Möglichkeit, eine solche Priorisierung vorzunehmen, da die Konflikte oftmals erst viel zu spät erkannt werden. Außerdem besteht Unklarheit darüber, ob der aktuelle Plan tatsächlich ein effizienter Plan ist oder ob es Möglichkeiten gäbe, den Plan zu verbessern.

Ein weiteres Problem entsteht durch die Dynamik des Systems. Durch Verschiebungen, die erst bei Planausführung erkannt werden (z. B. eine verlängerte Operation aufgrund von Komplikationen), muss der Plan kontinuierlich adaptiert werden. Nachfolgende Behandlungen müssen zu anderen Zeitpunkten stattfinden oder von anderem Personal durchgeführt werden. Die Adaption des Plans hängt dabei von zwei wesentlichen Eigenschaften ab: Auf der einen Seite steht die Ressourcenauslastung der Klinik zum momentanen Zustand, auf der anderen Seite steht die medizinische Bewertung der unterschiedlichen zur Disposition stehenden Behandlungen. Der wesentliche Unterschied zwischen beiden Eigenschaften ist dabei die potenzielle Automatisierbarkeit. Während ein Informationssystem (IS) die Ressourcenauslastung bei geeigneter Ausstattung automatisiert erkennen und beurteilen kann, scheitert es an der medizinischen Beurteilung. Sie beruht in weiten Teilen auf nicht kodierbarem Erfahrungswissen des medizinischen Personals, das sich nur sehr begrenzt in allgemeiner Form in IS übertragen lässt.

1.2 Ziele

Das Ziel dieser Arbeit ist die IS-gestützte Verbesserung der Planung und Umplanung von Behandlungen in Kliniken. Aus der Eigenschaft der nur partiellen Automatisierbarkeit der Behandlungsplanung ergeben sich sowohl die Unterziele als auch der Beitrag zur Forschung. Im Gegensatz zur industriellen Fertigung, die in vollständig automatisierbaren Umgebungen stattfindet, muss in Kliniken die menschliche Entscheidungskompetenz mit einbezogen werden, die nicht im Vorhinein kodierbar ist. Medizinische

²In der Literatur ist der Konflikt als das „Dilemma der Ablaufplanung“ [Gut83, S. 214 ff.] bekannt. Axtner formuliert ihn für die Patientenbehandlung.

Planung in diesem Sinn kann daher nur eine Ad-hoc-Planung sein, die, ausgehend vom aktuellen Wissensstand, einen sinnvollen Plan generiert und diesen zur Durchführung vorschlägt. Sobald (erneut) Komplikationen auftreten, muss eine Umplanung stattfinden, die eine möglichst geringe Beeinträchtigung bereits geplanter Behandlungen nach sich zieht. Die Umplanung sollte also möglichst lokal erfolgen. Je weniger Behandlungen von der Umplanung betroffen sind, desto geringer fällt die Disruption anderer Patienten aus. Da Veränderungen eines bestehenden Plans in der Regel als störend empfunden werden, vermeidet eine lokale Umplanung Ereignisse, die sich potenziell mindernd auf die Patientenzufriedenheit auswirken. Weiterhin muss gelten, dass die medizinische Behandlungseffektivität durch eine Veränderung der logistischen Planung nicht beeinträchtigt werden dürfen. Die is-gestützte Behandlungsplanung muss sich im Rahmen der durch die manuelle Planung gesetzten medizinischen Maßstäbe bewegen.

1.3 Forschungsfrage

Aus dem Ziel der Arbeit ergibt sich die übergreifende Forschungsfrage:

Kann die Behandlungsplanung im Krankenhaus durch is unterstützt werden, ohne deren Automatisierung zum Nachteil des Patienten erreichen zu lassen?

Aus dieser Hauptforschungsfrage ergeben sich mehrere Unterfragen, die im Einzelnen beantwortet werden müssen:

- Welche Informationen stehen in einer Klinik zur Verfügung, um die Behandlungsplanung zu automatisieren?
- Welche Daten können zusätzlich (ohne direkte Interventionsnotwendigkeit) erhoben werden, um die Planung zu ermöglichen?
- Welcher Grad an Automatisierung der Behandlungsplanung stellt einen akzeptablen Kompromiss zwischen der vollständigen Automatisierung und der vollständig manuellen Planung dar?
- Wie stark können die zur Verfügung stehenden Daten verdichtet werden, ohne negative Effekte einer zu starken Verdichtung hervorzurufen?

1.4 Lösungsansatz

Der Lösungsansatz liegt in der dezentralen Koordination der Behandlungen in einer Klinik. Die Arbeit nutzt einen marktbasierten Mechanismus, der auf Grundlage des volkswirtschaftlichen Marktes die Koordination innerhalb einer Klinik modelliert.

Abgebildet werden die verschiedenen Einflussgrößen für die Behandlungsplanung in eine Koordinationsvariable, auf deren Basis die Planung stattfindet. Dabei kommt es zu einer Verdichtung der verfügbaren Daten in einer Variablen. Durch die Datenreduktion kann die Planung auf Basis des vergleichsweise einfachen Ausgleichs von Nachfrage und Angebot auf einem künstlichen Markt stattfinden. Allerdings stellt sich die Frage, ob die Verdichtung Daten verschleiert, die für eine sinnvolle Behandlungsplanung notwendig gewesen wären.

Die Arbeit schlägt daher unterschiedliche Koordinationsmechanismen vor, mit denen die Behandlungsplanung partiell automatisiert werden kann. Die Ansätze unterscheiden sich im Grad der Automatisierung und befinden sich auf einem Spektrum zwischen der vollständig manuellen Planung (is stellen lediglich Daten bereit) und der stark automatisierten Planung, in der menschliche Entscheidungen nur noch in Notfällen benötigt werden. Die konkrete, angewandte Forschungsfrage deutet die Verortung der Arbeit in der gestaltungsorientierten Forschung an. Daraus ergibt sich die Forschungsmethode und der Ansatz, um die vorgeschlagenen Mechanismen zu evaluieren. Um die unterschiedlichen Ansätze zu vergleichen, werden sie einander in einer Simulation gegenübergestellt. Es kommen historische Planungsdaten zum Einsatz, die die Behandlungspfade einzelner Patienten durch eine bestimmte Station darstellen. Ebenso sind in den Daten die Umplanungen enthalten, die aufgrund von nicht vorhersehbaren Veränderungen der Situation entstanden. Aus der Simulation lässt sich im Nachhinein die entstandene Warte- und Behandlungszeit ermitteln. Zum Planungszeitpunkt ist das nicht möglich, da zukünftige Ereignisse (Ankunft neuer Patienten bzw. Verzögerung von Behandlungen) noch nicht bekannt sind. Im Vergleich kann beurteilt werden, welcher Koordinationsmechanismus das beste Ergebnis liefert.

1.5 Aufbau der Arbeit

Die Arbeit gliedert sich wie folgt: Das Kapitel 2 erläutert die der Arbeit zugrunde liegende Forschungsmethode. Die weiteren Kapitel ergeben sich aus dem dort vorgestellten Forschungsprozess.

Die Patientensteuerung im Krankenhaus beschreibt das Kapitel 3. Neben der Problembeschreibung erläutert es die Ziele der Patientensteuerung aus der Sicht der unterschiedlichen beteiligten Akteure. Ebenso stellt das Kapitel das aggregierte Untersuchungsszenario vor, das in der Simulation abgebildet wird.

Das Kapitel 4 umfasst den empirischen Teil der Arbeit. Es stellt die Behandlungsplanung in der Notaufnahme in einer Universitätsklinik in den USA vor, die als Grundlage für die Simulation der Behandlungsplanung dienen.

Die theoretische Modellbildung findet in Kapitel 5 statt. Das Modell befindet sich dabei auf der Ebene des Fachkonzeptes und beinhaltet keine Spezifika der Implementierung. Der vorgeschlagene dezentrale Koordinationsmechanismus baut auf den Grundlagen anderer Forschungsgebiete auf und überträgt sie in die Behandlungsplanung. Sowohl die zugrunde liegenden Technologien und Modelle als auch die Modellierung des Artefaktes finden in diesem Kapitel statt.

Auf Eigenschaften und Besonderheiten des entwickelten Artefaktes geht das Kapitel 6 ein. Dort wird auch die verwendete Simulationsumgebung für die Auswertung erläutert.

Die eigentliche Simulation beschreibt das Kapitel 7. Es stellt die Ergebnisse der Evaluation vor und beantwortet damit die aufgeworfenen Forschungsfragen.

Die Arbeit schließt mit dem Kapitel 8. Es generalisiert das Ergebnis auf andere Domänen, soweit dies möglich erscheint. Zusätzlich wirft es neue Forschungsfragen auf, die sich aus der Bearbeitung der Patientensteuerung und dem neuen Lösungsansatz ergeben.