

Geschäftsprozessmodellierung klinischer Behandlungspfade und deren Simulation für ein Krankenhausmodell

Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades

Dr. rer. nat.

an der Fakultät für Mathematik, Informatik und Naturwissenschaften

der Universität Hamburg

eingereicht beim Fach-Promotionsausschuss Informatik von

Milena Andonova

Einreichung: 01. September 2015

Disputation: 09. Mai 2016

Gutachter:
Prof. Dr. Bernd Page
Modellbildung und Simulation
Fachbereich Informatik
MIN-Fakultät
Universität Hamburg
Deutschland

Prof. Dr. Ingrid Schirmer
Informationstechnikgestaltung und Genderperspektive
Fachbereich Informatik
MIN-Fakultät
Universität Hamburg
Deutschland

Gewidmet dem Andenken meines Vaters Zdravko Andonov Mitrev

Kurzzusammenfassung

Die Sicherstellung einer nachhaltigen Gesundheitsversorgung aller Bürger gehört zu den wichtigsten Herausforderungen einer Gesellschaft. Dabei kommt dem Krankenhaus und seinen Akteuren große Bedeutung zu. Wirtschaftliche, soziale und politische Einflüsse führen seit Jahrzehnten zu einem steten Wandel des Gesundheitssystems. Das Anfang der 2000er-Jahre eingeführte Fallpauschalengesetz hat sich dabei besonders nachhaltig auf die Krankenhäuser ausgewirkt, da die kontinuierlichen Ausgabensteigerungen durch die pauschalisierte Vergütung auf Grundlage der Diagnosis Related Groups begrenzt werden sollten. Die Krankenhäuser reagieren darauf mit einer weitreichenden strategischen Neuausrichtung zugunsten einer preis-leistungsorientierten Behandlung, bei der gezielt wirtschaftliche, medizinische und technische Aspekte berücksichtigt werden müssen. In diesem Kontext bietet die Analyse der soziotechnischen Systeme einen geeigneten Ansatz zur Komplexitätsreduzierung der inhärenten Wechselwirkungen.

Die vorliegende Arbeit zeigt nun auf, wie sich mit den Mitteln der Geschäftsprozessmodellierung und Simulation eine vereinheitlichende Sicht auf die Prozesse im Krankenhaus etablieren lässt. Die Nutzung domänenunabhängiger Methoden zeichnet sich insbesondere dadurch aus, dass sich die (starre) Organisationsstruktur des Unternehmens durchbrechen und eine weitergehende Koordination der Funktionen sich sowohl innerhalb wie auch über die Grenzen der Fachbereiche hinaus gewährleisten lässt. Dabei werden die soziotechnischen Prozesse in Form eines allgemeinen, abstrakten Behandlungsprozesses aufbereitet, aus dem sich konkrete klinische Behandlungspfade ableiten lassen. Die Wahl einer geeigneten Modellierungsnotation ist hier von entscheidender Bedeutung. Somit wird ein Kriterienkatalog entwickelt, der die Auswahl einer geeigneten Notation unter der Berücksichtigung allgemeiner und domänenspezifischer Kriterien erlaubt.

Zur weitergehenden Analyse der Anwendungsdomäne werden die (statischen) Geschäftsprozessmodelle zu ausführbaren Simulationsmodellen erweitert. Diese bilden die komplexen Abläufe im Krankenhaus adäquat ab und leisten damit einen wertvollen Beitrag zur Untersuchung der Aufbau- und Ablaufstruktur innerhalb eines Krankenhausmodells. Die einzelnen Bestandteile der Aufbau- und Ablauforganisation, die modellierten klinischen Behandlungspfade und die für Experimente erforderlichen Simulationsgrundlagen lassen sich zu einem Ablaufmodell zusammenfassen. Hierbei werden diverse Erweiterungen beschrieben, wie z. B. die Anpassung der Allokationsstrategien der Ressourcen oder die Einbindung eines Qualifikationskonzepts.

Abstract

The health care system is the organization of people, institutions, and resources to deliver health care services in order to meet the health needs of target populations. Providing healthcare, especially of an adequate and sustainable standard, is a complex and challenging process. Medical, social, political and financial ramifications have influenced the public health sector for decades. In response to the rapidly rising costs (especially for inpatient hospital treatments), Diagnosis Related Groups were introduced in the early 2000s to regulate the compensations to hospitals. They responded to this drastic change by evaluating their processes to cut costs or increase the efficiency wherever possible. The purpose of this work is to offer new insights on how to analyze the relationship and interactions between different processes in order to reduce the overall complexity.

Modeling and simulation of business processes may provide an adequate representation of the processes occurring in a hospital. Using such a domain-independent methodology will help to elicit the actual structure of the organization by revealing the functional dependencies within processes that span across the boundaries of a single ward in the hospital. The socio-technological processes are described best when classified as abstract hospital processes. These can then serve as the foundation on which actual clinical pathways are defined. The choice of a modeling notation which can represent both generic and domain specific criteria is an important step in the accomplishment of such goal.

Once described in the form of business process models, the clinical pathways can be further evaluated using standard simulation modeling techniques. All organizational divisions in the hospital along with the clinical pathways are then subsumed under a general representational model. The eventual implementation of such a model incorporates additional features, such as resource allocation strategies or the integration of a qualification-based concept.

Inhaltsverzeichnis

1.	Einführung.....	1
1.1.	Aufbau der Arbeit.....	6
2.	Grundlagen.....	7
2.1.	Grundlagen der Geschäftsprozessmodellierung	8
2.1.1.	Geschäftsprozesse.....	9
2.1.2.	Aufgaben und Ziele der Geschäftsprozesse im Unternehmen	10
2.1.3.	Lebenszyklus der Geschäftsprozesse.....	11
2.2.	Simulation von Geschäftsprozessen	15
2.2.1.	Grundlagen der Simulation.....	15
2.2.2.	Ziele der Simulation von Geschäftsprozessen	18
2.2.3.	Grundlagen der Simulation von Geschäftsprozessen.....	20
2.3.	Grundlagen der Anwendungsdomäne	21
2.3.1.	Allgemeine Beschreibung der Behandlungsprozesse im Krankenhaus	21
2.3.2.	Aufbauorganisation im Krankenhaus	24
2.4.	Klinische Behandlungspfade	29
2.4.1.	Entwicklung der klinischen Behandlungspfade.....	29
2.4.2.	Ziele für den Einsatz von klinischen Behandlungspfaden	32
2.4.3.	Integration eines klinischen Behandlungspfads im Krankenhaus.....	34
3.	Kritik am derzeitigen Vorgehen	37
3.1.	Darlegung des Forschungsvorhabens	39
3.2.	Verwandte Ansätze	42
3.2.1.	Alternative Herangehensweisen zur Erstellung klinischer Behandlungspfade.....	42
3.2.2.	Alternative Ansätze zur Modellierung klinischer Behandlungspfade	43
3.2.3.	Bestehende Ansätze zur Simulation in der Krankenhausdomäne.....	45
4.	Entwicklung klinischer Behandlungspfaden mit den Mitteln der Geschäftsprozessmodellierung... ..	47
4.1.	Vorstellung der untersuchten Notationen	48
4.2.	Identifikation geeigneter Bewertungskriterien	51
4.2.1.	Nebenläufige Ausführung von Prozessen.....	53
4.2.2.	Unterstützung der hierarchischen Modellierung der Prozesse.....	54
4.2.3.	Vorzeitiges Verlassen eines Prozesses	56
4.2.4.	Nutzung von Qualifikationen für (menschliche) Ressourcen.....	59
4.2.5.	Grad der Operationalisierbarkeit	60
4.2.6.	Simulations-Anbindung.....	60

4.3.	Auswertung.....	60
4.3.1.	Umsetzung der Synchronisierung	60
4.3.2.	Umsetzung der Hierarchisierung	64
4.3.3.	Umsetzung des Qualifikationskonzepts	66
4.3.4.	Umsetzung der vorzeitigen Prozessterminierung.....	68
4.3.5.	Umsetzung der Operationalisierbarkeit	70
4.3.6.	Umsetzung der Simulationsanbindung	72
4.4.	Zusammenfassung der Studie	75
5.	Schaffung eines konzeptuellen Ablaufmodells.....	79
5.1.	Bestehende technische Systeme in Krankenhäusern	80
5.2.	Identifikation eines Ablaufmodells mit drei Schichten.....	82
5.2.1.	Datenschicht	82
5.2.2.	Prozessschicht.....	84
5.2.3.	Simulationsschicht	85
5.2.4.	Wechselwirkungen zwischen den Schichten	86
5.3.	Ableitung der Auswertungsperspektiven.....	87
5.3.1.	Dokumentationssicht	88
5.3.2.	Aggregationssicht	89
5.3.3.	Ressourcensicht	90
6.	Modellierung eines exemplarischen klinischen Behandlungspfads.....	91
6.1.	Parallele Bestätigungsuntersuchungen	93
6.2.	Verwerfen der Verdachtsdiagnose.....	96
6.3.	Qualifikationsprofile des medizinischen Personals	98
7.	Erweiterung der Ausführungsumgebung	101
7.1.	Darstellung der bestehenden Implementation.....	102
7.2.	Erweiterungen.....	106
7.2.1.	Einführung eines informationstragenden Tokens	107
7.2.2.	Erweiterung des Ressourcenkonzepts.....	110
7.2.3.	Beibehaltung der Token bei Terminierung der Prozessinstanz.....	120
7.2.4.	Realisierung der Auswertungssichten	123
8.	Durchführung einer prototypischen Simulationsstudie	127
8.1.	Vervollständigung des Ablaufmodells	128
8.2.	Konfiguration der Simulationsexperimente.....	131
8.3.	Vorstellung der Simulationsergebnisse	135
8.3.1.	Darstellung in den verschiedenen Auswertungsperspektiven	136
8.3.2.	Vergleich der verschiedenen Allokationsstrategien.....	142
8.3.3.	Variation der Zwischenankunftsdaten	146

9. Diskussion	153
9.1. Zusammenfassung	153
9.2. Grenzen dieser Arbeit.....	154
9.3. Ausblick	155
Anhang A: Darstellung der wichtigsten Notationselemente der jPDL	159
Anhang B: Formen der Diarrhö und Erkrankungsursachen	161
Anhang C: Prozessdefinition in der blockartigen Struktur	163
Literaturverzeichnis	169

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Absolute Ausgabenentwicklung des Gesundheitssektors von 1992 bis 2010 [GBE12]	3
Abb. 2: Relative Entwicklung der Ausgaben im Gesundheitssektor, des Bruttoinlandsprodukts sowie der Jahresteuerrate von 1992 bis 2010	3
Abb. 3: Prozentuale Aufgabenaufteilung nach Art der Einrichtung [GBE12]	4
Abb. 4: Geschäftsprozesse als horizontale Prozesse im Unternehmen in Anlehnung an [MJ00].....	8
Abb. 5: Phasen der Geschäftsprozesse nach Gehring und Gadatsch [GG99]	12
Abb. 6: Modellierungszyklus der Simulation nach Sargent [Sar11].....	16
Abb. 7: Schematische Darstellung einer diskreten ereignisorientierten Simulation nach [PK05]	17
Abb. 8: Abstrakte Krankenhausbehandlung nach Andonova [And07]	23
Abb. 9: Beschreibung des Diagnoseprozesses nach Gressner und Arndt [GA13].....	24
Abb. 10: Fachpersonalgruppen im Krankenhaus	25
Abb. 11: Organisation des Krankenhauspersonals nach Führungsbefugnissen in Anlehnung an [Bot13]	27
Abb. 12: Allgemeine Struktur eines Krankenhauses in Anlehnung an [Sch07] und [ERH10].....	28
Abb. 13: Entwicklung klinischer Behandlungspfade nach Curran [Cur ⁺ 05]	30
Abb. 14: Strukturierte Umsetzung klinischer Behandlungspfade nach Böckmann und Heiden [BH14]...	34
Abb. 15: Prozessorientierung statt Funktionsorientierung (entnommen aus Reichert [Rei00]).....	37
Abb. 16: Zeitliche Entwicklung der Standard-Modellierungsnotationen für die Geschäftsprozessmodellierung.....	49
Abb. 17: Schwache Kopplung nebenläufiger Prozesse.....	55
Abb. 18: Starke Kopplung nebenläufiger Prozesse.....	55
Abb. 19: Hierarchische Modellierung der klinischen Behandlungspfade.....	57
Abb. 20: Diagnose-Prozess bei akuten Abdomen und abdominalen Schmerzen nach [SB08].....	57
Abb. 21: Qualifikationskonzept für die Durchführung einer Blutentnahme	59
Abb. 22: Ausführungsmuster „All-or-Nothing“ nach Versteegen et al. [Ver ⁺ 02]	63
Abb. 23: Hierarchische Hinterlegung von Prozess-Alternativen innerhalb eines Modells	66
Abb. 24: Rollenbasierte Ressourcenallokation in Anlehnung an Xu, Liu und Zhao [XLZ08]	67

Abb. 25: Ausführungspattern „Straight Road with Exits“ nach Gruhn und Laue [GL07]	68
Abb. 26: Überführung von BPMN nach BPEL.....	71
Abb. 27: Ansätze zur Realisierung von Simulationsexperimenten für Geschäftsprozesse	74
Abb. 28: Computergestütztes Krankenhausinformationssystem (in Anlehnung an [ZS09])	80
Abb. 29: Einflussfaktoren des Ablaufmodells	82
Abb. 30: Zusammenwirkung der verschiedenen Schichten des Ablaufmodells	87
Abb. 31: Klinischer Behandlungspfad “Diarrhö”	92
Abb. 32: Verzweigungen in jPDL mit den Knoten <i>fork</i> und <i>decision</i>	94
Abb. 33: Umsetzung der nebenläufigen Ausführung mit synchronen und asynchronen Joins	95
Abb. 34: Umsetzung der nebenläufigen Ausführung mit asynchronen Joins	95
Abb. 35: Spezifikation des asynchronen Joins in jPDL	96
Abb. 36: Ausnahmebehandlung beim vorzeitigen Verlassen eines klinischen Behandlungspfades	98
Abb. 37: Qualifikationsprofile der Ressourcen aus der Datenschicht.....	99
Abb. 38: Anwendung des Rollenkonzepts für die Labor der Blutprobe	99
Abb. 39: Modellierung von Qualifikationsprofilen für die Abnahme der Blutprobe	100
Abb. 40: Einlesen der Simulationskonfiguration und Erzeugung des Simulationsexperiments	103
Abb. 41: Statische und dynamische Objekte des Ablaufmodells.....	105
Abb. 42: Erweiterung des Tokenkonzepts	108
Abb. 43: Nutzung der Token im ExecutionContext zur Auswertung regulärer Ausdrücke.....	109
Abb. 44: Rollenbasierte Ressourcenallokation (in Anlehnung an [XLZ08])	111
Abb. 45: „Unsichtbare Hand“ der Ressourcenzuordnung.....	112
Abb. 47: Lösungsdimensionen bei der finalen Ressourcenallokation.....	116
Abb. 46: Erweitertes Klassendiagramm zum Ressourcenkonzept	117
Abb. 48: Direkte Interaktionen zwischen Prozessinstanzen nach Choi, Lee und Kang [CLK10]	121
Abb. 49: Direkte Interaktionen zwischen Prozessinstanzen bei der vorzeitigen Terminierung	123
Abb. 50: Ereignisablauf zur Aktualisierung der statistischen Zähler.....	125
Abb. 50: Pflege der Patientendaten in PatientOS.....	129
Abb. 51: Pflege der Ressourcendaten in PatientOS	129

Abb. 52: Export der relevanten Patientendaten mit HL7-Nachrichten	130
Abb. 53: (Unidirektionale) Übergabe der Daten aus PatientOS an JBoss	131
Abb. 54: Choreographieanalyse im Ausgangsszenario.....	137
Abb. 55: Einsatzstatistik der Ressourcen.....	140
Abb. 56: Auslastungsanalyse der Ressourcen.....	141
Abb. 57: Gesamtkosten der Prozesse bei unterschiedlichen Allokationsstrategien	143
Abb. 58: Durchschnittliche Wartezeiten der Prozesse bei unterschiedlichen Allokationsstrategien	144
Abb. 59: Auslastungsprofile der Ressourcen bei unterschiedlichen Allokationsstrategien	145
Abb. 60: Abgearbeitete Prozessinstanzen bei der Variation der Zwischenankunftsraten	146
Abb. 61: Auslastung der Ressourcen bei SmallestCosts mit veränderten Zwischenankunftsraten.....	148
Abb. 62: Auslastung der Ressourcen bei BiggestCosts mit veränderten Zwischenankunftsraten	148
Abb. 63: Auslastung der Ressourcen bei LowestUtilization mit veränderten Zwischenankunftsraten....	149
Abb. 64: Auslastung der Ressourcen bei EarliestIdle mit veränderten Zwischenankunftsraten.....	149
Abb. 65: Gemeinsame Nutzung der Ressourcen durch zwei triviale Prozesse (KB1 und KB2)	150
Abb. 66: Vermeidung unnötiger Wartezeiten vor einer Ressource.....	151
Abb. 68 Unterschiedliche Diarrhöarten und Verursacher	161

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Arten von Geschäftsprozessen nach Moness [Mon10]	9
Tabelle 2: (Domänenabhängige) Bewertungskriterien für die Geschäftsprozessnotationen.....	52
Tabelle 3: Common Elements zur Variation des Ausführungsverhaltens der Operatoren in jPDL.....	62
Tabelle 4: Bewertung der Geschäftsprozessnotationen	76
Tabelle 5: Entwurfsmuster zur Bestimmung einer geeigneten Menge an Ressourcen [Rus ⁺ 05]	114
Tabelle 6: Entwurfsmuster zur Bestimmung des Zeitpunkts der Ressourcenallokation [Rus ⁺ 05].....	115
Tabelle 7: Entwurfsmuster zur Bestimmung der Art der Übergabe [Rus ⁺ 05]	115
Tabelle 8: Stochastische Bearbeitungsdauern und erforderliche Qualifikationen der Aktivitäten.....	132
Tabelle 9: Patientenschablonen aus dem Electronic Health Record System.....	133
Tabelle 10: Ressourcenschablonen aus dem Electronic Health Record System	134
Tabelle 11: Ausschnitt aus der Effizienzanalyse	139

Abkürzungsverzeichnis

ADT	Admission Discharge Transfer
ARIS	Architektur integrierter Informationssysteme
BPEL	Business Process Execution Language
BPMI	Business Process Management Initiative
BPMN	Business Process Modeling Notation
BPMS	Business Process Management Systems
BSG	Blutsenkungsgeschwindigkeit
CRM	Customer Relationship Management-System
DICOM	Digital Imaging and Communications in Medicine
DMP	Disease Management Programmen
DRG	Diagnosis Related Groups
eEPK	Erweiterte ereignisgesteuerte Prozessketten
EHRS	Electronic Health Record System
EKA	Evangelisches Krankenhaus Alsterdorf
ePA	Elektronische Patientenakte
EPA	European Pathway Association
EPK	Ereignisgesteuerte Prozessketten
ERP	Enterprise Resource Planning-System
GLEE	Guideline Execution Engines
GNU	Free Documentation License
HDF	HL7 Development Frameworks
HL7	Health Level 7
ICD	International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems
IMS	Intensiv-Informationen-Management-System
IN1	Insurance
jPDL	jBPM Process Definition Language
KB	Klinischer Behandlungspfad
KHG	Krankenhausfinanzierungsgesetz
KIS	Krankenhausinformationssystem
KSA	Kommunikationsstrukturanalyse
LIMS	Laborinformationssystem
LOINC	Logical Observation Identifiers Names and Codes
OBX	Observations
OMG	Object Management Group
PID	Patient Identification

RIS	Radiologisches Informationssystem
SGB	Sozialgesetzbuch
SOP	Standard Operation Procedure
XPDL	XML Process Definition Language
UML	Unified Modeling Language
WfMC	Workflow Management Coalition

1. Einführung

Die Gesundheitswirtschaft stellt mit einem jährlichen Volumen von rund 290 Mrd. Euro [GBE12] und 4,8 Mio. Beschäftigten [GBE13] einen der größten Einzelsektoren der deutschen Volkswirtschaft dar. Die Ausgaben des Gesundheitssystems werden mehrheitlich durch die öffentliche Hand getragen und dabei wiederum durch Sozialversicherungsbeiträge und Steuern finanziert. [LA07] Kontinuierlich (vgl. Abb. 1) steigen sie schon seit Jahrzehnten relativ zum Bruttoinlandsprodukt i. d. R. überproportional stark an. Zumeist liegen sie auch oberhalb der allgemeinen Preissteigerungsrate (vgl. Abb. 2). Diese Entwicklung lässt sich auf das Zusammenwirken unterschiedlicher Faktoren zurückführen:

- **Demografischer Wandel**

In den vergangenen Jahrzehnten hat der Anteil der älteren Menschen an der Gesamtbevölkerung kontinuierlich zugenommen. Dies ist auf eine signifikante Steigerung der durchschnittlichen Lebenserwartung zurückzuführen, die seit dem Ende der 1960er-Jahre von einem deutlichen Geburtenrückgang begleitet wird.¹ Bezogen auf die Anzahl sowie die Komplexität der Behandlungen lässt sich empirisch nachweisen, dass mit fortschreitendem Alter die Gesundheitsprobleme und damit verbunden auch die Kosten deutlich zunehmen, sodass eine entsprechende Steigerung der absoluten Ausgaben² in den entsprechenden Altersgruppen zu verzeichnen gewesen ist. [SWZ09]

- **Medizinisch-technischer Fortschritt**

Unter dem Begriff des medizinisch-technischen Fortschritts werden Produkt- und Prozessinnovationen im Gesundheitssystem subsumiert, die – idealerweise bei sinkendem Einsatz von Ressourcen – zur Verbesserung der medizinischen Versorgung führen. Dieser Fortschritt ist allerdings häufig mit Kostensteigerungen verbunden, da viele Innovationen etwa im Vergleich zu etablierten Produkten und Verfahren zu höheren Preisen angeboten

¹ Im öffentlichen Diskurs wird dieses Phänomen oft auch als „Pillenknicke“ bezeichnet. Dieser Begriff ist aber nach Meinung vieler Experten missverständlich, zumal er das komplexe Zusammenwirken unterschiedlicher Ursachen ausblendet. [GM14]

² Es besteht allerdings bislang kein allgemeiner Konsens über den genauen Einfluss auf die gesamtheitliche Ausgabenentwicklung, weil eine gesündere Lebensweise gleichzeitig zu einem gewissen kompensatorischen Effekt führt. Gerade für die (nähere) Zukunft haben sich daher verschiedene Szenarien (z. B. „Status-quo-Hypothese“, „Medikalisierungsthese“ und „Kompressionsthese“) entwickelt, mit denen die zukünftigen Auswirkungen des demografischen Wandels beschrieben werden können. Für einen weiterführenden Überblick sei an dieser Stelle auf die Ausführungen z. B. bei Overbeck [Ove07] oder Felder [Fel08] verwiesen.

werden.³ Dies ist u. a. auf höhere Herstellungs- und Anwendungskosten sowie auch auf Beiträge zu Forschung und Entwicklung zurückzuführen.⁴

- **Angebotsinduzierte Nachfrage**

Die Bereitstellung von wie auch die Nachfrage nach medizinischen Leistungen erfolgt in einem stark reglementierten Umfeld. Hierbei spielen die Möglichkeiten der Ärzte eine große Rolle, die Nachfrage zu beeinflussen, um höhere Umsätze bzw. Honorare zu erzielen. Die Versicherten wiederum haben dabei kaum Sparanreize, da sie typischerweise einen Vollversicherungsschutz haben. Es wird daher angenommen, dass dies zu einem deutlich höheren Behandlungsaufwand führt.

- **Veränderte Wahrnehmung der Gesundheitsleistungen**

Durch den Zugang zu einer schier unermesslichen „Informationsflut [...] in der Welt der modernen Kommunikation“ [Ott12] verändert sich die Interaktion zwischen Ärzten und Patienten. Der Patient entwickelt sich zu einem fordernden Partner, der die Erbringung von Gesundheitsleistungen in immer stärkerem Maße als Dienstleistung versteht. [BW14] Hierdurch steigen die Ansprüche an Transparenz, Aufklärung und Ergebnisqualität, wodurch wiederum höhere Aufwände bei der Leistungserbringung entstehen.

Mit einer eigenständigen Abschwächung oder gar einer Umkehr der Ausgabenentwicklung ist schon deshalb nicht zu rechnen, weil davon ausgegangen wird, dass diese Einflussfaktoren auch weiterhin unvermindert wirken werden. [BFS09] Eine wesentliche Aufgabe des Staates ist es allerdings, eine flächendeckende und nach Möglichkeit priorisierungs- und rationierungsfreie Versorgung seiner Bürger mit Gesundheitsleistungen sicherzustellen. Diese Ziele werden aber durch eine unkontrollierte Steigerung der Ausgaben grundlegend gefährdet.

Der Gesetzgeber greift daher regelmäßig regulierend ein, wie die vielen Gesundheitsreformen seit Mitte der 1970er-Jahre belegen.⁵ Dabei hat er im Wesentlichen die Möglichkeit, die Einnahmen zu erhöhen oder die Ausgaben zu begrenzen. Ersteres kann vor allem durch die Erhöhung des Sozialversicherungsbeitrags realisiert werden. Dessen Bemessung ist ein Politikum, da die Beiträge zur Sozialversicherung eine nicht unerhebliche finanzielle Belastung der Versicherten sowie, bei

³ Allerdings weisen Bratam und Wydra [BW13] darauf hin, dass sich der Kosten-Nutzen-Effekt einer Innovation nicht genau erfassen lässt. Besonders problematisch ist dabei, dass der medizinisch-technologische Fortschritt in empirischen Studien häufig als Residualgröße genutzt wird, sodass ihm alle Steigerungen der Gesundheitsausgaben zugerechnet werden, die nicht eindeutig anderen Faktoren zuordenbar sind.

⁴ Die Preise können aber auch ungewollte Effekte (z. B. ineffiziente Anbieter- bzw. Preisstrukturen sowie Kosten für Unter- oder Überversorgung) beinhalten. [Sch06]

⁵ Für eine kompakte Zusammenfassung der unterschiedlichen Reformen und ihrer Hintergründe sei an dieser Stelle auf die Darstellung von Gerlinger [Ger14] verwiesen.

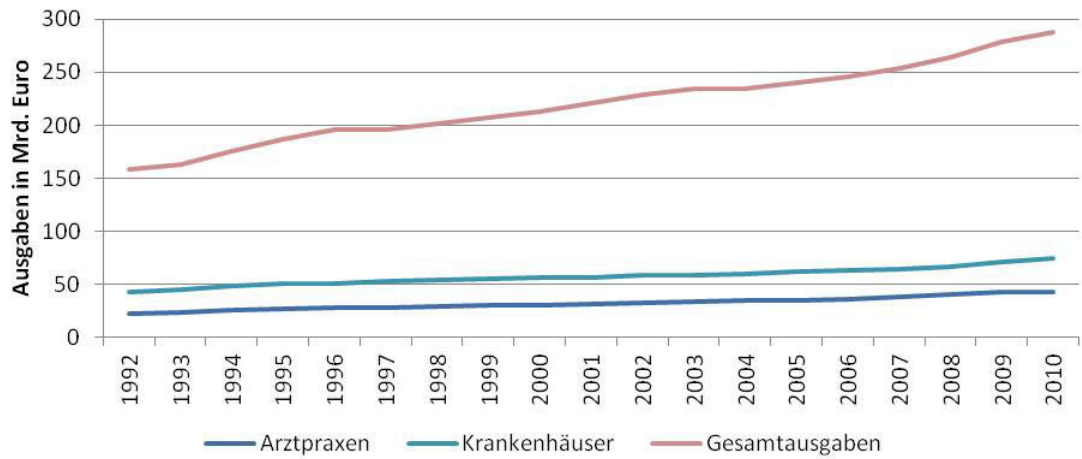


Abb. 1: Absolute Ausgabenentwicklung des Gesundheitssektors von 1992 bis 2010 [GBE12]

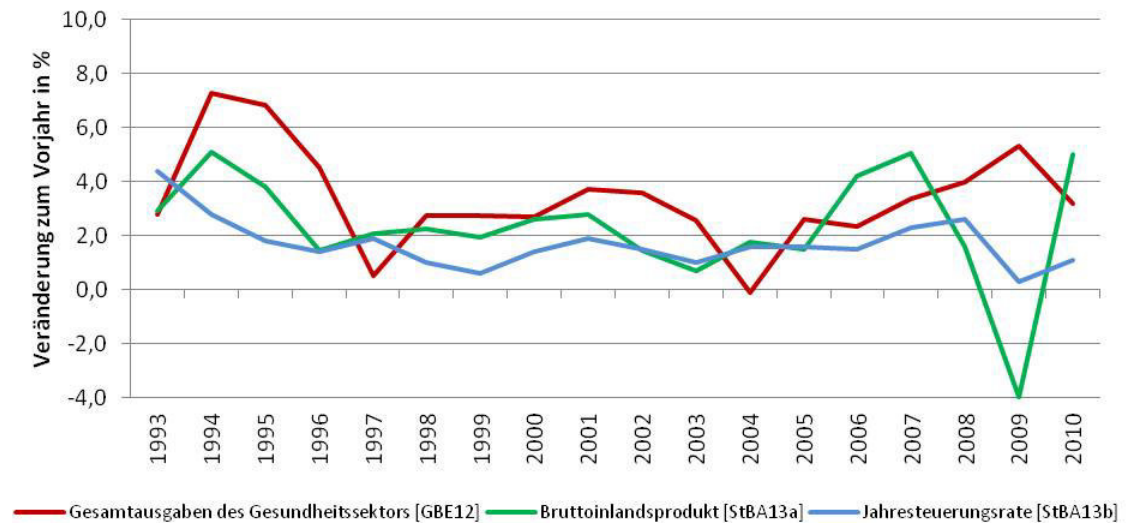


Abb. 2: Relative Entwicklung der Ausgaben im Gesundheitssektor, des Bruttoinlandsprodukts sowie der Jahresteuerrate von 1992 bis 2010

Berücksichtigung der paritätischen Finanzierung, der gesamten Wirtschaft darstellen. [KK12] Daher konzentrieren sich die meisten Maßnahmen des Gesetzgebers auf eine Begrenzung bzw. Reduzierung der Ausgaben.

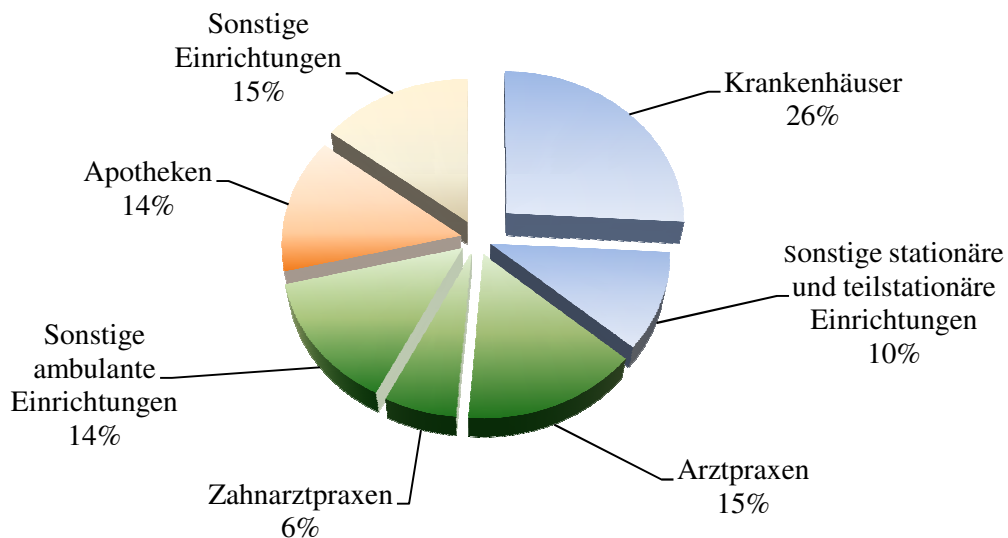


Abb. 3: Prozentuale Aufteilung nach Art der Einrichtung [GBE12]

Der größte Anteil an den Gesamtausgaben entfällt auf die Krankenhäuser. Für sie wurden 2010 rund 75 Mrd. Euro ausgegeben, was wiederum 26 % der Gesamtausgaben (vgl. Abb. 3) entspricht. [GBE12] Wegen dieses hohen Anteils sind Kostendämpfungsmaßnahmen vorrangig auf die Krankenhäuser ausgerichtet.

Einschneidend war dabei die Abschaffung des Selbstkostendeckungsprinzips durch das Gesundheitsstrukturgesetz vom 20. Dezember 1992. Dadurch wurde die bis dahin praktizierte vollständige Erstattung aller anfallenden Behandlungskosten durch ein pauschalisierendes Vergütungssystem ersetzt. Die bisherige Praxis bot nach Überzeugung der Experten zu wenig Anreiz für ein wirtschaftliches Handeln. [EG03]

Allerdings wurde bis dahin auch vielfach die Meinung vertreten, dass sich die Krankenhäuser aufgrund ihres humanitären und gesellschaftlichen Auftrages sowie ihrer starken Abhängigkeit von politischen Rahmenbedingungen nicht dem Wettbewerb der Marktwirtschaft stellen müssen sollten. Die Etablierung genau solch eines Wettbewerbs zwischen den Krankenhäusern wurde nun aber angestrebt, um die individuelle Wirtschaftlichkeit und die Transparenz zu erhöhen sowie die Verweildauer der Patienten (auf einen international üblichen Wert) zu reduzieren. [BFS09] Als mittelbare und dabei durchaus gewollte Konsequenz wurde vom Gesetzgeber akzeptiert, dass jene

Krankenhäuser, die mit dieser Form der Finanzierung nicht kostendeckend arbeiten können, entweder Betten abbauen⁶ oder gar geschlossen werden müssen. [BKS06]

Das neue Vergütungssystem wurde bis zum Jahr 2003 durch ein Mischsystem aus Fallpauschalen, Sonderentgelten und tagesgleichen Pflegesätzen realisiert. Mit dem Fallpauschalengesetz vom 23. April 2002 wurde dann die endgültige Zuwendung zu Fallpauschalen auf Grundlage der sog. *Diagnosis Related Groups* (DRG) vollzogen.⁷

Bruckenberger, Klaue und Schwintowski [BKS06] erläutern, dass dieses System eine medizinisch-ökonomische Patientenklassifikation vornimmt, bei der die Behandlungsfälle in „eine beschränkte Anzahl klinisch definierter Gruppen mit möglichst ähnlichen Behandlungskosten [eingeteilt werden]“.⁸ Krankenhäuser erhalten somit für die Behandlung eines DRG nunmehr einen Pauschalbetrag, mit dem sämtliche Kosten abgegolten sind.⁹

Da die Krankenhäuser nicht über eine Preisautonomie für ihre angebotenen Leistungen verfügen, findet zwischen ihnen kein Preis-, sondern ein Auslastungswettbewerb statt. Dabei konkurrieren sie um eine möglichst hohe Auslastung ihrer bereitgestellten Infrastruktur. Dieser „Wettbewerb um Behandlungsfälle“ wird dabei vorrangig über die Qualität der Leistungen geführt. Dabei ist zu bedenken, dass sie bei den qualitätsfördernden Maßnahmen erheblichen Einschränkungen durch die rechtlichen Rahmenbedingungen des SGB V unterliegen. [BKS06]

Die Krankenhäuser benötigen somit brauchbare Instrumente, um mit leistungsstarken und zugleich effizienten Angeboten gegenüber anderen Mitbewerbern zu bestehen. Hierzu zählen u. a. Leistungsspezialisierungen sowie organisatorische Veränderungen. Aber auch der Einsatz von Informationstechnologien hat in den vergangenen Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen. Entsprechend

⁶ Seit der Verabschiedung des Krankenhausfinanzierungsgesetzes im Jahre 1972 entwickelte sich in Deutschland eine deutliche Überkapazität an Krankenhausbetten, die von den Krankenhäusern weder selbstständig noch freiwillig abgebaut wurde. [Neu04] Dieser Bettenüberhang wurde von Experten vor der Einführung der Fallpauschalenvergütung auf bis zu 30 % geschätzt. [BKS06] Mittlerweile sank diese Quote allerdings auf unter 10 %. [Aug⁺10]

⁷ Die Deutsche Krankenhausgesellschaft, die Spitzenverbände der gesetzlichen Krankenkassen und der Verband der privaten Krankenversicherung – als zuständige Vertragspartner für die Einführung und Pflege des neuen Entgeltsystems – einigten sich bereits am 27. Juni 2000 in der „Vereinbarung über die Einführung eines pauschalierenden Entgeltsystems nach § 17 b KHG“, dass die australische Version der DRGs (die sog. *Australian Refined DRG*) in der Version 4.1 als Grundlage für die Entwicklung eines deutschen DRG-Systems zu verwenden sei.

⁸ Eine detaillierte Darstellung für die Ableitung einer DRG findet sich z. B. bei Kern und Kohen [KK11a].

⁹ Der Betrag orientiert sich dabei an einem vereinbarten Aufwand, der für die Behandlung einer sog. Hauptdiagnose vereinbart wird. Dieser Betrag kann allerdings variieren, wenn die vereinbarten Verweildauern nicht eingehalten werden, d. h. bei einer Unterschreitung der geplanten Verweildauer wird die Pauschale gekürzt bzw. bei einer Überschreitung angehoben. Darüber hinaus können aber auch sog. Zusatzentgelte zur Vergütung bestimmter Leistungskomplexe erhoben werden, die nicht in direktem Zusammenhang mit der Hauptdiagnose stehen oder die unabhängig vom eigentlichen Krankheitsbild hohe Kosten verursachen und zu einer unnötigen Ausdifferenzierung der Fallpauschalen führen würden. [Wac14] Sie spielen in der Praxis aber eher eine untergeordnete Rolle.

lässt sich aus informatischer Sicht ein verstärkter Einsatz unterstützender Systeme, z. B. Krankenhausinformationssystemen (KIS), fachspezifischen Informationssystemen, Enterprise-Ressource-Planning-Systemen (ERP) oder Customer Relationship Management-Systemen (CRM) beobachten.

Die derzeitige Forschung im Bereich der Medizin und der angewandten Informatik sucht deshalb nach brauchbaren Ansätzen, um diesen Herausforderungen zu begegnen und zu einer ausreichenden Selbstregulierung beizutragen. Einen zentralen Stellenwert der Arbeit nimmt dabei die Untersuchung dieser Fragestellungen durch den Einsatz von Simulationstechniken sowie der Geschäftsprozessmodellierung ein.

1.1. Aufbau der Arbeit

Die Arbeit beginnt in Kapitel 2 mit einer Darstellung der relevanten Grundlagen aus den Bereichen der Geschäftsprozessmodellierung, der Simulation sowie der Anwendungsdomäne. In Kapitel 3 werden die Ziele des Forschungsvorhabens dargelegt und verwandte Ansätze bei der Modellierung und Simulation klinischer Behandlungspfade einer kritischen Würdigung unterzogen. In Kapitel 4 erfolgt eine Bewertung bestehender Notationen zur Geschäftsprozessmodellierung unter Berücksichtigung allgemeiner wie auch domänenspezifischer Kriterien. Anhand des erstellten Kriterienkatalogs ist zudem die Auswahl einer geeigneten Notation vorzunehmen. In Kapitel 5 wird anschließend ein konzeptuelles Ablaufmodell zur Integration klinischer Behandlungspfade in der bestehenden Systemlandschaft des Krankenhauses geschaffen. Dieses Modell beschreibt die Aufgaben, die Verantwortlichkeiten sowie auch die Wechselwirkungen zwischen den abgeleiteten Prozessschichten und -sichten. In Kapitel 6 wird dieses Vorgehen anhand eines exemplarischen klinischen Behandlungspfads verdeutlicht. Dabei werden die wesentlichen Aspekte wie auch die Herausforderungen an die Modellierung beleuchtet. Unterschiedliche Ansätze sind vorzustellen und gegeneinander abzuwiegen. Kapitel 7 beschreibt die Funktionalität und die Struktur der bestehenden Implementation sowie die vorgenommenen Erweiterungen. Es werden insbesondere die Anforderungen an eine Ressourcenallokation ermittelt und innerhalb der Ausführungsumgebung verortet. Kapitel 8 enthält eine Analyse sowie eine Zusammenfassung der Ergebnisse einer prototypischen Simulationsstudie. Hier werden die Wirkung unterschiedlicher Allokationsstrategien und -algorithmen miteinander verglichen. Die Arbeit endet in Kapitel 9 mit einer Zusammenfassung der gewonnenen Erkenntnisse. Dabei werden auch die Grenzen dieser Studie sowie mögliche Anschlussarbeiten erläutert.

2. Grundlagen

Der Einsatz der Geschäftsprozessmodellierung hat sich in vielen Anwendungsdomänen bereits als geeigneter Ansatz zur Erfassung und Strukturierung funktionenübergreifender und komplexer (Leistungs-)Prozesse erwiesen. Das Geschäftsprozessmanagement spielt bei der effizienten Ausgestaltung der Prozesse und bei deren Integration in die Organisation eine zentrale Rolle. Es erlaubt die Definition und Abgrenzung verschiedener Phasen im Erstellungsprozess und gestattet damit eine fortlaufende Überprüfung von Korrektheit und Angemessenheit der erstellten Modelle.

Allerdings können die komplexen Wechselwirkungen zwischen den Geschäftsprozessen und der zugrunde liegenden Aufbau- und Ablauforganisation erst durch eine Operationalisierung der Prozesse vollständig erfasst werden. Neben der Integration in realen Systemen können die Prozesse aber auch eine simulierte Ausführung erfahren, was eine Analyse der inhärenten Interaktionen erlaubt, ohne dabei störend in den täglichen Betrieb einzugreifen.

Dies bietet einen durchaus geeigneten Ansatz, um die soziotechnischen Prozesse im Krankenhaus zu untersuchen. Da sich die wirtschaftlichen, medizinischen und technischen Aspekte gemeinsam auf die Qualität der Prozesse auswirken, sind sie nicht isoliert voneinander zu betrachten. Somit werden in diesem Kapitel zuerst die notwendigen Grundlagen dargestellt, bevor im weiteren Verlauf dieser Arbeit eine Überführung des methodischen Ansatzes in die Anwendungsdomäne vorgenommen wird.

Im Unterkapitel 2.1 werden zunächst die Grundlagen der Geschäftsprozessmodellierung dargestellt und der (iterative) Modellierungsprozess zur Erstellung und Operationalisierung der Modelle beschrieben. Anschließend werden im Unterkapitel 2.2 die Grundlagen der Simulation vorgestellt. Dabei sind insbesondere die Anforderungen zur Simulation von Geschäftsprozessen zu erläutern. Im Unterkapitel 2.3 folgen dann die Einführung in die Anwendungsdomäne¹⁰ und die Beschreibung der Behandlungsprozesse im Krankenhaus, bevor das Kapitel mit einer kompakten Darstellung der Entwicklung sowie der Integration der klinischen Behandlungspfade im Krankenhaus im Unterkapitel 2.4 endet.

¹⁰ Die Darstellung beschäftigt sich dabei vorrangig mit der Situation in Deutschland. Die Anforderungen und Herausforderungen sind aber durchaus mit Krankenhäusern in anderen (westlichen) Industrienationen vergleichbar. Eine detaillierte Darstellung kann jedoch im Rahmen der vorliegenden Arbeit leider nur bedingt geleistet werden. Für einen entsprechenden Vergleich sei daher an dieser Stelle auf die Ausführungen von Zander [Zan02] und Eichhorst [Eic13] verwiesen.

2.1. Grundlagen der Geschäftsprozessmodellierung

Durch den Einsatz neuer technologischer und organisatorischer Entwicklungen wurden in den vergangenen Jahrzehnten enorme Effizienzsteigerungen erreicht. Der Fokus lag dabei in erster Linie auf der Untersuchung und der Optimierung einzelner Tätigkeiten bzw. kurzer Arbeitsabläufe bezüglich ihrer Aufteilung in Elementaraufgaben [Sta06] sowie einer effizienten Kapazitätsauslastung [SK10]. Dies hatte eine immer weitreichendere Spezialisierung und Autonomisierung der einzelnen Funktionen im Unternehmen zur Folge. Rummler und Brache [RB13] weisen in diesem Zusammenhang aber darauf hin, dass eine lokale Optimierung der Funktionen nicht zwingend zu einer gleichzeitigen Optimierung der (wertschöpfenden) Prozesse führen muss, da diese i. d. R. orthogonal zu den Funktionen und der Aufbauorganisation verlaufen.

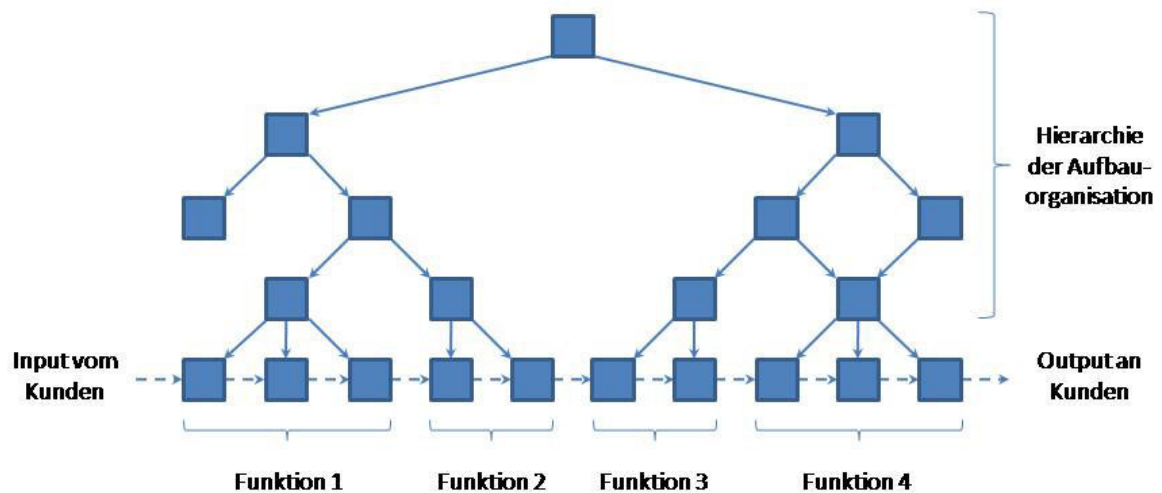


Abb. 4: Geschäftsprozesse als horizontale Prozesse im Unternehmen in Anlehnung an [MJ00]

Die inhärenten Beziehungen zwischen den Funktionen wurden dadurch in den Hintergrund gedrängt, wodurch die Kosten für die Koordination zwischen den verschiedenen Bereichen des Unternehmens immer weiter anstiegen, was auch durch den Einsatz moderner Informations- und Kommunikationstechnologie nur bedingt abgefangen werden konnte. [BK03]

Die Unternehmen streben daher nach geeigneten Techniken und Werkzeugen, um die zunehmende Komplexität der Planungsaufgaben (wieder) bewältigen zu können. [BGW11] Um die Effizienz im Unternehmen weiter steigern zu können, verlagert sich der Fokus derzeit auf eine horizontale Betrachtung der Prozesse, d. h. es erfolgt eine Aufbereitung und Strukturierung der Aufgaben, Organisation, Kosten und Vergütungen entlang des wertschöpfenden Prozesses über die Grenzen der einzelnen Funktionen hinweg (vgl. Abb. 4). Eine zentrale Rolle kommt hierbei dem Geschäftsprozessmanagement zu.

2.1.1. Geschäftsprozesse

Haux et al. [Hau⁺98a] definieren einen Geschäftsprozess als „[eine] Menge von zielgerichteten Aktivitäten, welche in einem logischen und zeitlichen Zusammenhang stehen und in ihrer Gesamtheit zur Erfüllung von Unternehmensaufgaben beitragen.“

Nach Schmelzer und Sesselmann [SS13] lassen sich Geschäftsprozesse in zwei Arten untergliedern: Die primären Geschäftsprozesse strukturieren die „originäre Wertschöpfung“ (d. h. die Herstellung und Vermarktung eines Produktes bzw. die Erbringung einer Dienstleistung). Die sekundären Geschäftsprozesse beschäftigen sich hingegen mit den unterstützenden und steuernden Prozessen im Unternehmen (vgl. Tabelle 1).

Art	Geschäftsprozesstyp	Hauptaufgaben	Beispiele
Primär	Leistungsprozesse	Erstellung und Vermarktung von Produkten bzw. Dienstleistungen für externe Kunden	<ul style="list-style-type: none"> - Auftragsentwicklungsprozesse - Produktionsprozesse - Serviceprozesse
	Unterstützungsprozesse	Schaffung der Rahmenbedingungen für effiziente Leistungsprozesse durch Ressourcenbereitstellung	<ul style="list-style-type: none"> - Personalmanagementprozesse - Beschaffungsprozesse - IT-Managementprozesse - Wissensmanagementprozesse
Sekundär	Führungsprozesse	Sicherung der Unternehmenskultur, kurz-, mittel- und langfristige Unternehmensplanung, -steuerung und -entwicklung	<ul style="list-style-type: none"> - Strategieplanungsprozesse - Budgetierungsprozesse - Auditprozesse

Tabelle 1: Arten von Geschäftsprozessen nach Moness [Mon10]

Während die primären Geschäftsprozesse also einen unmittelbaren Nutzen für die (externen) Kunden erbringen, verfügen die sekundären Geschäftsprozesse nur über einen mittelbaren Einfluss auf die wertschöpfenden Prozesse, indem sie deren Rahmenbedingungen (z. B. durch das Ressourcenmanagement oder die Entwicklung und Umsetzung der Unternehmensstrategie) beeinflussen.

Die Geschäftsprozesse bieten dabei einen gesamtheitlichen Ansatz [Sch98] und umfassen neben den eigentlichen Produktions- bzw. Dienstleistungsprozessen auch weitere Teilprozesse, wie z. B. Vertriebs- und Auftragsabwicklungsprozesse, Beschaffungsprozesse sowie Innovations- und Entwicklungsprozesse. [Wil04] Sie durchbrechen somit die starre Organisationsstruktur des Unternehmens (deren Kern die Zerlegung des Gesamtunternehmens in Teilsysteme mit gemeinsamen oder unmittelbar zusammenhängenden Aufgaben bildet) und dienen der koordinierten Ausführung über die Grenzen der einzelnen Funktionen und Abteilungen hinaus. [BK03]

Aufgrund ihrer Domänenunabhängigkeit haben Geschäftsprozesse mittlerweile ein sehr breites Anwendungsspektrum erreicht. Exemplarische Anwendungen finden sich z. B. in der Automobilbranche [Wil04], der Energieversorgungsbranche [Bun12], der Produktion [GP14], dem Handel [Tho⁺07], der Versicherungsbranche [Bro10] sowie der Logistik [AML13]. Der Einsatz der Geschäftsprozesse dient aber noch immer vorrangig zur Strukturierung der wertschöpfenden Prozesse, auch wenn die explizite Einbindung der sekundären Prozesse kontinuierlich an Bedeutung gewinnt. [Mue11]

2.1.2. Aufgaben und Ziele der Geschäftsprozesse im Unternehmen

Die Einführung von Geschäftsprozessen in einer Organisation erfolgt in erster Linie zur Schaffung von Transparenz über die Abläufe bei der Leistungserbringung. [Sta06] Sie dient aber keinem Selbstzweck, sondern trägt zum angemessenen Controlling sowie zur effizienten Führung im Unternehmen bei. Zudem kann die Wettbewerbsfähigkeit der Organisation erhöht werden, wenn sich das Wissen im Unternehmen durch die Nutzung der Geschäftsprozesse verorten lässt, wenn also relevante Informationen identifiziert und zielgerichtet für die Leistungserbringung eingesetzt werden können. [KO10]

Gadatsch [Gad12] führt hierzu aus, dass sich durch die Transparenz im Idealfall eine „durchgängige Zielhierarchie“ innerhalb der Organisation unterstützen lässt. Diese erlaubt damit einerseits eine Analyse der einzelnen Geschäftsprozesse, während sie andererseits aber auch deren Beitrag zu den übergeordneten Unternehmenszielen und weiterführenden Wechselwirkungen (z. B. mit vor- und nachgelagerten Auftraggebern oder -nehmern sowie der Aufbauorganisation) berücksichtigt:

- Auf der Ebene der einzelnen Geschäftsprozesse erlaubt die Erfassung und Strukturierung bereits die Identifikation individueller Schwachstellen (z. B. Redundanzen von Prozessschritten oder unnötige Wartezeiten) innerhalb des Prozesses. Der Einsatz von Geschäftsprozessen trägt somit maßgeblich zur Vereinheitlichung der Abläufe bei der Leistungserbringung und einer damit verbundenen Qualitätssicherung bei. [Vog96] Neben diesem offensichtlichen Vorteil im unternehmensinternen Einsatz können die Erkenntnisse auch externen Entitäten gegenüber genutzt werden, z. B. im Compliance-Management [Ste11], zur Verbesserung der Kundenzufriedenheit durch verbesserte Auskunftsbereitschaft [Obe96] oder für einen Vergleich mit externen Wettbewerbern bzw. anderen Abteilungen im Unternehmen [Pos10].
- Da für die Leistungserbringung Unternehmensressourcen notwendig sind, stehen Geschäftsprozesse in direkter Wechselwirkung mit der Aufbauorganisation. Durch ihre Querschnittfunktion wirken die Prozesse abteilungs- und funktionsübergreifend. [BK03] Deshalb muss an den jeweiligen Funktions- bzw. Abteilungsgrenzen ein systematischer und geordneter Austausch von Informationen und Materialien sichergestellt werden. [Mon10] Die Etablierung von Geschäftsprozessen unterstützt dabei die Identifikation und Festlegung geeigneter Schnittstellen.
- Durch die Analyse der Geschäftsprozesse im Zusammenspiel mit anderen (Geschäfts-) Prozessen und unter Einbeziehung der (in der Aufbauorganisation hinterlegten) Kostensätze können wichtige Kennzahlen für die Leistungserbringung ermittelt werden, wie z. B. Durchlauf- und Wartezeiten, Prozesskosten und Ressourcenauslastungsprofile.

Diese Aufgabenstellungen lassen sich dabei aus zwei unterschiedlichen Blickwinkeln betrachten. Zum einen können sie einer reinen Dokumentation der Prozesse dienen, womit der Kenntnisstand innerhalb der Organisation erhöht und eine gemeinsame Kommunikationsgrundlage geschaffen wird. Zum anderen können die Geschäftsprozesse auch zur Optimierung der Abläufe beitragen, da sie sowohl für eine Erfassung des Ist- als auch zur Modellierung des Soll-Zustands geeignet sind. [SGS08]

2.1.3. Lebenszyklus der Geschäftsprozesse

Der zielfdienliche Einsatz von Geschäftsprozessen erfordert neben einem geordneten Erstellungsprozess auch die fortwährende Überprüfung hinsichtlich ihrer Angemessenheit. Das Geschäftsprozessmanagement beschäftigt sich daher mit der ordnungsmäßigen Konstruktion, Dokumentation, Umsetzung und Wartung von Geschäftsprozessen im Unternehmen. Zusätzlich zur effizienten Ausgestaltung der Prozesse gehört dazu auch deren Integration in das Unternehmen unter Berücksichtigung seiner Unternehmenskultur und strategischen Ausrichtung. [SK10]

Gehring und Gadatsch [GG99] befürworten dabei die Abgrenzung einer fachlich-konzeptionellen sowie einer operativen Ebene.

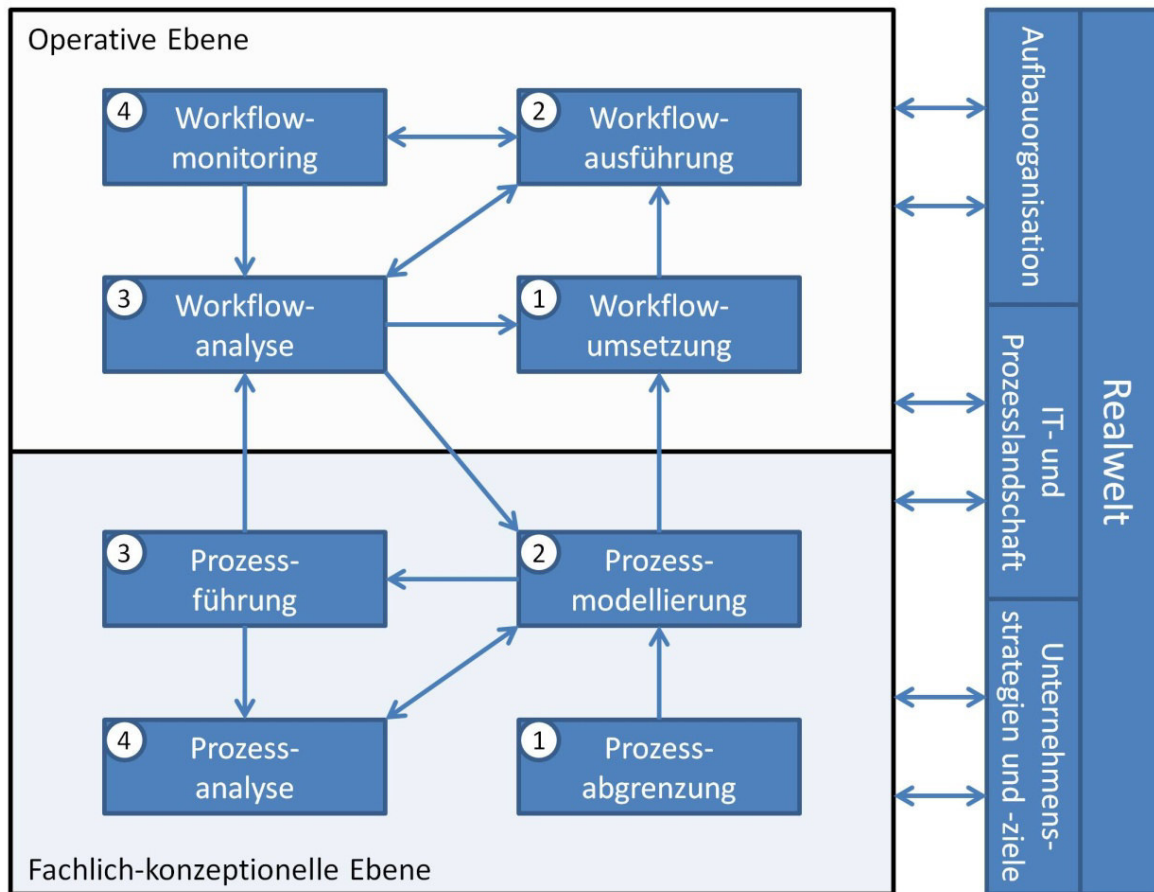


Abb. 5: Phasen der Geschäftsprozesse nach Gehring und Gadatsch [GG99]

Die fachlich-konzeptionelle Ebene beschäftigt sich mit den theoretischen Zusammenhängen der Geschäftsprozesse und dient somit der Erfassung, Dokumentation und Modellierung der Prozesse mit Hilfe (mehr oder weniger) formaler Methoden. Hierbei lassen sich folgende Phasen unterscheiden (vgl. Abb. 5):

1. Die **Prozessabgrenzung** beschäftigt sich mit der Identifikation der relevanten Prozesse in der Organisation unter Berücksichtigung der bestehenden Aufgabenfelder, Ziele und weiteren strategisch orientierten Anforderungen (wie z. B. der Berücksichtigung von kritischen Erfolgsfaktoren des Unternehmens oder der Realisierung von Nutzenpotenzialen und Rationalisierungsreserven). [GG99] Sie beinhaltet zudem die Abgrenzung von vor- und nachgelagerten sowie nebengelagerten Aktivitäten. [ZO10] In einem iterativen Vorgehen werden die identifizierten Kandidaten anschließend bewertet und die letztlich zu modellierenden Prozesse ausgewählt.
2. Die **Prozessmodellierung** befasst sich mit der formalen Erfassung der Prozesse. Hierbei werden die relevanten Aspekte herausgearbeitet und in ein fachliches Modell überführt. Abhängig vom geplanten Einsatzzweck der Geschäftsprozesse kann dabei z. B. eine völlige Neugestaltung der Abläufe oder eine weitergehende Automatisierung bestehender Prozesse angestrebt werden. [GG99] Durch ein strukturiertes Vorgehen lassen sich Komplexität und Dynamik reduzieren und so letztlich beherrschbar machen. [ZO10]
3. Die **Prozessführung** dient der Steuerung und Kontrolle der entstandenen Prozesse. [SGS08] Hierfür wird eine Menge sog. Prozess-Führungsgrößen definiert, d. h. es werden Kennzahlen bzw. Messgrößen abgeleitet, mit denen der Prozessfortschritt bzw. -erfolg erfasst werden kann. [GG99] Diese Führungsgrößen leiten sich wiederum aus den allgemeinen Erfolgsfaktoren und der übergeordneten Strategie der Organisation sowie den Besonderheiten der eigentlichen Prozesse unter Berücksichtigung des angestrebten Einsatzzwecks der Geschäftsprozesse ab. [Rom05] Die Prozessführung ist somit eine wichtige Vorbedingung, ehe eine Ausführung und Analyse der Geschäftsprozesse vorgenommen werden kann.
4. Die **Prozessanalyse** dient der (frühzeitigen) Untersuchung der statischen Struktur eines Prozesses, indem Abfragen auf die einzelnen Aktivitäten sowie ihre Ausführungsreihenfolge und Interaktionen untereinander ausgeführt werden. [KB13] Hiermit lassen sich z. B. der Ressourceneinsatz (bezogen auf Personen und Sachmittel) [JMW07], die notwendigen Informationsschnittstellen und damit verbundene Medienbrüche [KB13] sowie Redundanzen in den Prozessschritten [Lar⁺13] ermitteln.

Die operative Ebene beschäftigt sich mit den funktionalen Zusammenhängen eines Workflows. Ein Workflow ist in Anlehnung an die Definition der *Workflow Management Coalition* (WfMC) eine (teil-)automatisierte Form des Geschäftsprozesses, welcher eine reale Ausführung der Prozesse ermöglicht. Die operative Ebene baut somit auf dem Unterbau der fachlich-konzeptionellen Ebene auf. Hierbei lassen sich wiederum folgende Phasen unterscheiden (vgl. Abb. 5):

1. Die **Workflow-Umsetzung** beschreibt die Überführung des fachlich-konzeptionellen Modells in seine operationalisierte Form. [GG99] Hierbei müssen neben den eigentlichen Prozessabläufen auch die bestehende (IT-)Systemlandschaft, die Organisation und die Anforderungen der tatsächlichen Anwender berücksichtigt werden. [FFO06] So sind alle Schnittstellen der zugrunde liegenden Aufbauorganisation zu berücksichtigen, die an den Funktions- und Abteilungsgrenzen für den systematischen und geordneten Austausch von Informationen und Materialien genutzt werden. [Mon10] Für den praktischen Einsatz ist zudem die (technische) Stabilität der Workflows von besonderer Bedeutung und muss während der Umsetzung durch entsprechende Tests sichergestellt werden. [Wes99]
2. In der **Workflow-Ausführung** wird nun die eigentliche Ausführung der Prozesse im engeren Sinne in einem realen System vorgenommen. Dabei wird z. B. festgelegt, wie Dokumente, Informationen und Aufgaben zwischen den beteiligten Akteuren auszutauschen sind, um eine Aktion in Abhängigkeit von mehreren prozeduralen Regeln auszuführen. [Aal13] Die Interpretation und Instanziierung der Prozessdefinitionen erfolgt dabei durch die sog. Workflow-Engine. [Gad12] Diese konkretisiert die Schnittstellen zu anderen Programmen, sodass die entsprechenden Transformationen des Geschäftsprozesses ausgeführt werden können. Der Grad der inhärenten Automatisierung reicht dabei von einfachen Workflows, die keine expliziten Aufrufe von Anwendungssoftware in den entsprechenden Prozessschritten bieten, bis hin zur vollautomatisierten Abwicklung des gesamten Geschäftsprozesses. [FFO06]
3. In der **Workflowanalyse** wird die Wirkung der Workflows im Zusammenspiel mit der vorhandenen oder zukünftigen informationstechnischen Systemlandschaft untersucht. Dabei werden z. B. die Wirkung einer Organisationsveränderung bzw. die Einführung einer Prozessinnovation auf das System analysiert. Dies kann wiederum zu einer Anpassung der bestehenden Systemlandschaft führen.¹¹
4. Das **Workflowmonitoring** ermöglicht eine fortlaufende Überwachung des Prozessverhaltens. Durch eine systematische Gegenüberstellung von Ist- und Soll-Kennzahlen lassen sich steuernde Informationen aus der produktiven Ausführung der Prozesse generieren, die bei Bedarf eine Anpassung des Workflows initiieren können.

Während für die Modellierung der Geschäftsprozesse bzw. Workflows in der Vergangenheit eher sequenzielle Ansätze genutzt wurden, die sich vorwiegend mit der einmaligen Erfassung und Aufbereitung der Prozesse befassten, wird heutzutage vor allem eine zyklische bzw. kontinuierliche Verbesserung der Prozesslandschaft angestrebt. [NPW12] Durch die Analyse sowohl auf fachlich-konzeptioneller als auch operativer Ebene können Schwachstellen im Prozess frühzeitig und schnell

¹¹ Für eine weitergehende Darstellung der einzelnen Aktivitäten sei an dieser Stelle insbesondere auf die Darstellung in Dern [Der06] verwiesen.

identifiziert werden, die wiederum eine Anpassung des zugrundeliegenden Modells oder der operativen Form auslösen. [KIP10]

2.2. Simulation von Geschäftsprozessen

Wie im vorangegangenen Teilkapitel dargestellt wurde, ermöglicht die Geschäftsprozessmodellierung im Rahmen der Operationalisierung eine Überführung der Prozesse in ausführbare Programme. Neben ihrer Integration in realen Anwendungssystemen können diese operationalisierten Prozesse aber auch als Grundlage für Simulationsmodelle genutzt werden. Hiermit lassen sich Experimente durchführen, die zu einem weiterreichenden Wissenszuwachs über die Prozesse im Unternehmen führen können, der sich durch andere Methoden nicht oder nur mit hohem Aufwand generieren ließe.

2.2.1. Grundlagen der Simulation

Die experimentelle Evaluation von Modellen ist seit jeher ein treibender Faktor in der Informatik. Bereits in den 1960er-Jahren wurden mit SIMULA, SLAM, Arena oder SimScript dedizierte Programmiersprachen entwickelt¹², die sich auf die Ausführung von Simulationen spezialisierten. [Wai09] Seitdem hat sich die (computergestützte) Simulation in fast allen wissenschaftlichen Forschungsgebieten als wertvoller methodischer Ansatz etablieren können, da sie auch für die Untersuchung komplexer Systeme geeignet ist, bei denen analytische Methoden versagen. [Win03]

Mit der Durchführung von Experimenten versucht der Anwender Rückschlüsse über die Funktionsweise eines Systems zu gewinnen (vgl. Abb. 6). Ein System stellt dabei einen bewusst ausgewählten Ausschnitt der realen Welt dar. Der Nutzer muss von seinem subjektiven Blickwinkel aus entscheiden, welche Teile der Realität er für den Gang seiner Untersuchung vernachlässigen kann.¹³ Das System besitzt typischerweise eine innere Struktur, da es durch weitere, klar unterscheidbare Elemente zu beschreiben ist, zwischen denen (geordnete) Abhängigkeiten und Interaktionen bestehen. [Klu00] Das dynamische Systemverhalten entsteht durch die Veränderungen der Elemente im Zeitverlauf, wobei der Systemzustand die Ausprägung aller Elemente zu einem Zeitpunkt zusammenfasst.

Durch die Experimente erhält der Anwender ein tiefgehendes Verständnis über die Struktur und das dynamische Verhalten des Systems. Diese Experimente lassen sich aber häufig nicht direkt am

¹² Eine weiterführende Zusammenfassung der (geschichtlichen) Entwicklung der Simulation wird z. B. bei Nance [Nan93] dargestellt.

¹³ Diese können dann als Umwelt des Systems interpretiert werden, mit der das System dennoch über Ein- und Ausgabeschnittstellen verbunden sein kann.

realen System realisieren, da dieses für den Nutzer nicht direkt zugänglich ist¹⁴ oder die Beschaffung der notwendigen Beobachtungen als zu teuer, störend oder gefährlich bewertet wird. [DD11]

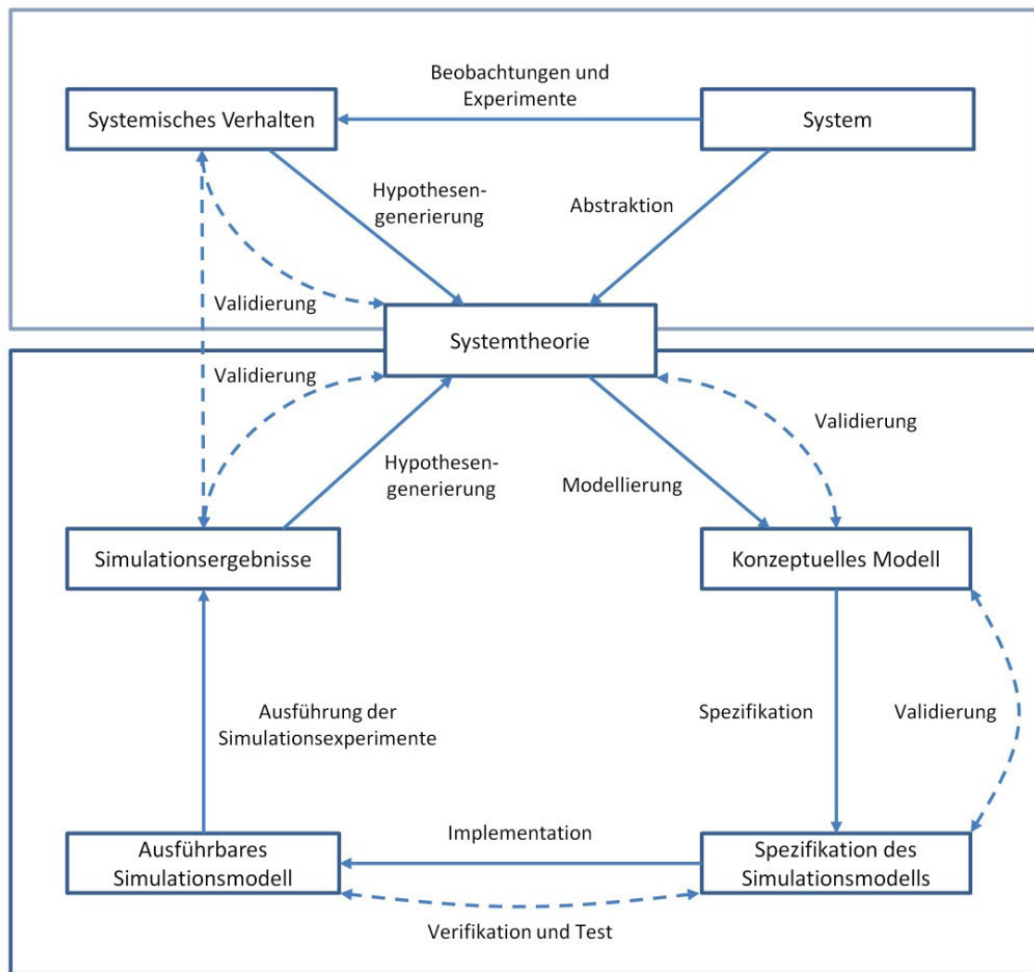


Abb. 6: Modellierungszyklus der Simulation nach Sargent [Sar11]

Der Anwender benötigt daher eine geeignete stellvertretende Repräsentation des Systems mit seiner immanenten Struktur und seinem (dynamischen) Verhalten, die er im Zuge seiner Analysen untersuchen und (nach Möglichkeit beliebig) manipulieren kann. Das System wird somit durch ein Modell ersetzt, an dem sich die Experimente vornehmen lassen. [Ban⁺10] Hierbei wird das System durch Idealisierungen und Abstraktion auf eine fasslichere und leichter realisierbare Darstellung seiner definierenden Bestandteile und Sachverhalte reduziert. [Spa09] In der computergestützten Simulation lassen sich zwei grundlegende Modellierungsparadigmen unterscheiden:

Die kontinuierliche Simulation beschäftigt sich mit der Abbildung von Modellen, bei denen sich die Zustände (bzw. die beschreibenden Zustandsvariablen) fortwährend verändern können. Die

¹⁴ Das System kann z. B. zu groß bzw. zu klein sein oder nur in einer zu kurzen bzw. zu langen Zeitspanne existieren, um mit vorhandenen technischen Mitteln erfasst und beobachtet zu werden.

Repräsentation des Zusammenhangs zwischen Zeitfortschritt und Zustandsänderung erfolgt hier vornehmlich durch die Nutzung von Differenzialgleichungssystemen. In den Simulationsexperimenten werden diese Differenzialgleichungen dann mittels numerischer Integration approximiert.¹⁵

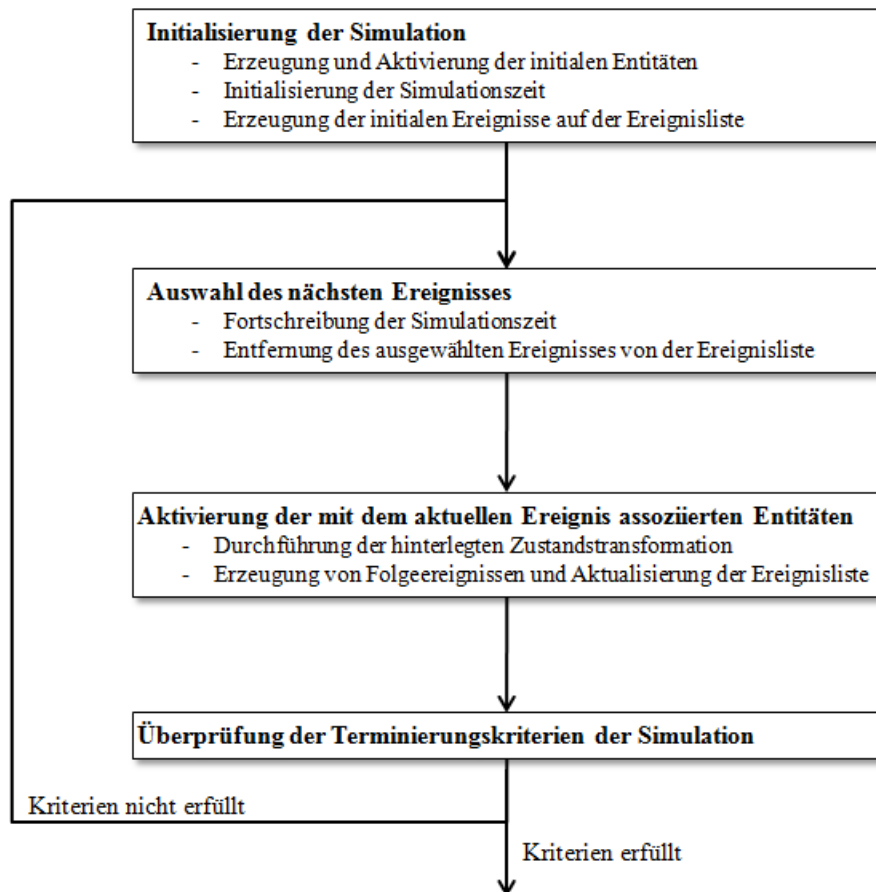


Abb. 7: Schematische Darstellung einer diskreten ereignisorientierten Simulation nach [PK05]

Im Gegensatz hierzu erfolgt die Änderung des Modellzustands in der diskreten Simulation nur durch den Eintritt und die Abarbeitung von Ereignissen an einer diskreten und somit endlichen Menge an Zeitpunkten. Die Ereignisse kapseln die Anpassungen an den Entitäten¹⁶, die zu einem Zeitpunkt gemeinsam ausgeführt werden müssen.¹⁷ Zwischen diesen Ereignissen bleibt der Zustand

¹⁵ Die Simulation erfolgt in diskreten, aber möglicherweise infinitesimalen (Zeit-)Schritten, sodass es sich letztlich um eine quasi-kontinuierliche Simulation handelt. [PK05]

¹⁶ Entitäten sind solche Modellelemente, deren Zustand sich während der Simulation verändern kann. [SH95] Hierfür besitzen sie typischerweise entsprechende Schnittstellen und eine Menge an hinterlegten Regeln, mit denen sich eine entsprechende Zustandsüberführung bewirken lässt. [PK05]

¹⁷ Hierbei ist allerdings die Unterscheidung zwischen der virtuellen und modellbezogenen Simulationszeit einerseits und der real verbrauchten Prozessorzeit andererseits notwendig: Obwohl die Ausführung der

unverändert. Somit kann die Zeitspanne zwischen zwei Ereignissen vernachlässigt und übersprungen werden. Durch die Verkettung von Ereignissen kann der Modellierer die logische und temporale Anpassung der verschiedenen Entitäten und somit des abgeleiteten Modellzustands im Zeitverlauf beschreiben.

Alle Ereignisse, die bislang noch nicht abgearbeitet wurden, werden auf einer Ereignisliste nach einer vorgegebenen Sortierreihenfolge zwischengespeichert. Der sog. *Scheduler* sorgt für die konsistente Abarbeitung der Ereignisse, d. h. er wählt jeweils das nächste Ereignis von der Ereignisliste aus und aktualisiert ggf. die Simulationszeit, weist den Kontrollfluss den beteiligten Entitäten zur Anpassung ihres (internen) Zustands zu, ordnet neu entstandene Ereignisse in der Ereignisliste ein bzw. löscht nicht länger benötigte Ereignisse aus der Ereignisliste und überprüft, ob die Ausführung der Simulation beendet werden kann. [Wai09]

Während der Ausführung des Modells werden Statistiken erfasst, mit denen die Veränderungen des Modellzustands bzw. der Entitäten festgehalten und nachverfolgt werden können. Nach der Terminierung des Simulationslaufs können sie ausgewertet und zu weiterführenden Ergebnissen aggregiert werden. Dabei ist aber zu beachten, dass die Ergebnisse per se nur das erstellte Modell bzw. den durchgeführten Simulationslauf beschreiben. Erst nach der Bestätigung einer hinreichend validen Abbildung des erstellten Modells und dem erfolgten Nachweis statistischer Genauigkeit lassen sich die gewonnenen Erkenntnisse auch auf das zugrundeliegende System übertragen.

2.2.2. Ziele der Simulation von Geschäftsprozessen

Die Verbindung zwischen der (computergestützten) Simulation und der Modellierung von Geschäftsprozessen lässt sich im Wesentlichen auf die rasante Verbreitung des sog. *Business Process Reengineering*s am Ende der 1980er-Jahre zurückführen. [EK94] Dieser Ansatz propagierte (ursprünglich) ein „fundamentales Überdenken und radikales Redesign“ [HC93] der bestehenden Prozesslandschaften mit dem Ziel einer merklichen Performanzsteigerung (bezogen auf messbare Leistungsgrößen) im Unternehmen. Dabei wurde nicht etwa nur eine „marginale Anpassung“ der Prozesse angestrebt; vielmehr sollten die Modellierer explizit eine vollständige Überarbeitung der Prozesse in Betracht ziehen. [STK05] Da solche drastischen Anpassungen aber häufig mit hohen Kosten verbunden sind, wurde nach sinnvollen Ansätzen und Methoden gesucht, mit denen die Auswirkungen bereits frühzeitig abgeschätzt werden können. Neben analytischen Ansätzen etablierte sich dafür auch die Nutzung von Simulationsexperimenten, da diese zur Generierung verlässlicher Prognosen über komplexe und stochastische Systeme genutzt werden können.

hinterlegten Transformationen in den Entitäten natürlich eine entsprechende Dauer auf dem Prozessor beansprucht, wird unterstellt, dass die Simulationszeit beliebig lange angehalten werden kann, um so die logische Zusammengehörigkeit dieser Aktivitäten und die unverzügliche Abarbeitung im Verständnis des diskreten Simulationsparadigmas zu gewährleisten.

Nach einer Phase der Euphorie Mitte der 1990er-Jahre stellte sich allerdings Anfang der 2000er-Jahre heraus, dass Simulationsansätze bei weitem nicht die zuvor erwartete Akzeptanz und Verbreitung gefunden hatten. [Hlu04] Der methodische Ansatz erfordert ein bislang im weiteren Maße noch nicht realisiertes Gleichgewicht zwischen einer intuitiven bzw. allgemein verständlichen Bedienung und gleichzeitiger Genauigkeit bei der Problemlösung. [VCH07] Die Entkopplung von Modellierung und Simulation hatte bislang dazu geführt, dass die Überführung der grafischen Modelle in ein ausführbares Simulationsmodell mit hohem Aufwand bei der Programmierung verbunden gewesen war. [Nut11]

Seit Mitte der 2000er-Jahre ergeben sich aber aus dem Kontext der Workflow-Ausführung wiederum verstärkte Bestrebungen nach einer Automatisierbarkeit der Geschäftsprozesse, die auch einen positiven Effekt für die Simulation besitzt. So ist in den letzten Jahren eine Vielzahl von Werkzeugen entwickelt worden, die neben der grafischen Aufbereitung der Prozesse auch deren simulierte Ausführung erlauben. Diese bieten eine geeignete Grundlage, um die Herausforderungen für die Simulation von Geschäftsprozessen erneut zu evaluieren.

Die Simulation von Geschäftsprozessen geht dabei idealerweise weit über die reine Strukturierung und Visualisierung der Aktivitäten hinaus. Die Simulationsumgebung dient hier als Werkzeug mit steuernder Wirkung, das eine virtuelle Ausführung der Prozesse ohne manuelle Eingriffe durch Anwender oder Interaktionen mit anderen Komponenten der Systemlandschaft ermöglicht. Mit der Durchführung von Simulationsexperimenten lassen sich daher vielfältige Fragestellungen untersuchen.

So führen Neumann, Rosemann und Schwegmann [NRS12] u. a. folgende Ziele auf:

- Ermittlung von syntaktischen und semantischen Mängeln in den Prozessmodellen durch die Überprüfung der Korrektheit der modellierten Prozesslogik und ihrer Übereinstimmung mit dem realen Ablauf.
- Bestimmung von belastbaren Gesamtdurchlaufzeiten und -prozesskosten unter von hinterlegten Zeiten und Kosten an den einzelnen Funktionen.
- Identifikation von Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Instanzen eines Geschäftsprozesses bzw. der kollektiven Wirkung unterschiedlicher Geschäftsprozesse.
- Prognose der Auswirkungen bei Variation der Eingangsgrößen, wie z. B. der Veränderung des Auftragsvolumens.
- Bewertung alternativer Prozessstrukturen, wie z. B. einer Variation der Ressourcenausstattung oder dem Einsatz unterschiedlicher Zuordnungsstrategien.

Die gewonnenen Erkenntnisse können einer weiterführenden Analyse unterzogen werden, um wiederum zu Anpassungen an den Geschäftsprozessmodellen zu führen. [KIP10] Die Simulation bietet damit einen methodischen Ansatz für die Umsetzung der Anforderungen aus dem Geschäftsprozessmanagement und steht insbesondere im Einklang mit den Anforderungen des Lebenszyklus der Geschäftsprozesse (vgl. Kap. 2.1.3).

2.2.3. Grundlagen der Simulation von Geschäftsprozessen

Wie bereits in Kapitel 2.1.1 dargestellt, werden im Rahmen der Geschäftsprozessmodellierung die logisch zusammengehörigen Aktivitäten für die Erfüllung der übergeordneten Aufgaben eines Unternehmens beschrieben. Der Modellierer schränkt daher die Betrachtung auf die relevanten Prozesse zur Leistungserbringung innerhalb dieses Unternehmens ein. Für die Überführung in ein (operationalisierbares) Modell nutzen die meisten Notationen im Kontext der Geschäftsprozessmodellierung einen graphenorientierten Modellierungsansatz. [Str11] Dabei werden die Prozesse innerhalb des Unternehmens mittels semi-formaler oder formaler Methoden auf einen gerichteten Graphen abgebildet. [Koc11]

Gemäß der allgemeinen Definition besteht ein Graph aus einer Menge an Knoten und Kanten. Dabei repräsentieren die Knoten die aktiven Elemente der Ablauflogik und beschreiben neben den eigentlichen Aktivitäten im Unternehmen auch die Verzweigungen und Ereignisse zur Steuerung des Kontrollflusses. Die Kanten sind hingegen gerichtete Verbindungen zwischen den Knoten und beschreiben die logische Abfolge der Aktivitäten. [HH94]

Durch die graphische Aufbereitung sind solche graphenorientierten Modelle im Vergleich zu analytischen oder nicht formalisierten Modellen für den Fachanwender eher intuitiv zu verstehen. [Koc11] Sie zeichnen sich zudem durch eine hohe Flexibilität bei der Darstellung aus, welche insbesondere bei einer Kombination mit objektorientierten Entwurfsmustern für die Beschreibung der realen Zusammenhänge eine besondere Bedeutung gewinnt. [Wag02] Damit kann auch eine relativ einfache Überführung in ausführbare Programme erreicht werden, welche sonst oft mit aufwendigen Erweiterungen und Anpassungen der Workflow Engine verbunden wäre. [Sta09]

Bei der Überführung in Simulationsmodelle muss berücksichtigt werden, dass die so erstellten Geschäftsprozessmodelle sowohl einen prozessorientierten als auch einen ereignisorientierten Modellierungsaspekt besitzen. Der eigentliche Graph beschreibt den Ablauf des zugrunde liegenden Geschäftsprozesses als simulierbarer Entität. Hieraus lassen sich entsprechende Elementarereignisse bei Beginn und Abschluss der individuellen Aktivitäten generieren.

Zudem existiert aber auch eine Vielzahl externer Ereignisse, die nicht explizit innerhalb des eigentlichen Prozessmodells abgebildet werden. Hierzu zählt z.B. die Generierung neuer Prozessinstanzen. Die Simulationsmodelle müssen somit um entsprechende Entitäten bzw. Ereignisse angereichert werden, um diesen Anforderungen zu genügen.

2.3. Grundlagen der Anwendungsdomäne

Krankenhäuser stellen eine wesentliche Säule der gesundheitlichen Versorgung dar. Sie bieten eine hochspezialisierte, medizinisch-organisatorische Infrastruktur (d. h. eine Konzentration von Spezialisten und medizinisch-technischen Geräten), mit der die Versorgungssicherheit im Falle einer plötzlichen bzw. besonders schweren Erkrankung oder eines Unfalls für die Einwohnerschaft in ihrem Einzugsgebiet gewährleistet werden kann. [RG06] Im Folgenden werden die wesentlichen Aspekte eines abstrakten Krankenhausmodells in ihrer Abgrenzung zu anderen Organisationsformen herausgearbeitet.

2.3.1. Allgemeine Beschreibung der Behandlungsprozesse im Krankenhaus

Die ärztliche Behandlung in einem Krankenhaus dient der Feststellung und Heilung bzw. Linderung von Krankheiten oder körperlichen Schäden. Dabei lassen sich drei Hauptformen unterscheiden:

- **Vollstationäre Behandlung**

Bei der vollstationären Behandlung wird der Patient für einen gewissen Zeitraum im Krankenhaus untergebracht und versorgt. Dies ist vor allem dann der Fall, wenn die Erkrankung so schwerwiegend ist, dass eine regelmäßige ärztliche Beobachtung vorgenommen werden muss, der Patient in dieser Zeit krankenpflegerische Betreuung benötigt oder die Behandlung aufgrund ihrer Komplexität der besonderen Infrastruktur des Krankenhauses bedarf. Die vollstationäre Behandlung umfasst alle Leistungen, die für die medizinische Versorgung der Patienten notwendig sind. Dies umfasst neben der eigentlichen ärztlichen Behandlung auch Krankenpflege sowie Unterkunft und Verpflegung.¹⁸

- **Teilstationäre Behandlung**

Bei einer teilstationären Behandlung nimmt der Patient das Krankenhaus nur für eine beschränkte Zeitspanne in Anspruch. [Kni12] Im Gegensatz zur vollstationären Behandlung muss der Patient aber nicht fortlaufend versorgt werden, sondern nur für mehrere Stunden, während der Nacht oder am Wochenende. [KK11b]

- **Ambulante Behandlung**

Die ambulante Behandlung wird typischerweise durch den Arzt oder Zahnarzt in dessen Praxis oder in der Wohnung des Kranken vorgenommen. Sie kann für hochspezialisierte Leistungen und seltene Erkrankungen auch in dafür zugelassenen Krankenhäusern durchgeführt werden.¹⁹

¹⁸ Man vergleiche hierbei auch die Definition und die (rechtliche) Abgrenzung in § 33 SGB VII.

¹⁹ Man vergleiche hierzu auch § 116b SGB V.

Obwohl die Erbringung der verschiedenen Formen nicht dem beliebigen Ermessen des Krankenhauses bzw. des Patienten unterliegt,²⁰ ist die vollstationäre Behandlung noch immer die häufigste Behandlungsform. Entsprechend sind die Aufbau- und Ablauforganisation im Krankenhaus an diesen Anforderungen ausgerichtet. Die Behandlung durchläuft dabei typischerweise eine Reihe grundlegender Phasen (vgl. Abb. 8), deren gemeinschaftliches Wirken einen abstrakten Ausgangsprozess darstellt, der für die Behandlung eines individuellen Krankheitsbilds verfeinert werden kann.

- **Aufnahme**

Die Aufnahme dient zur Vermittlung eines Vertrags zwischen Patient und Krankenhaus über die medizinische Behandlung und ggf. auch die Unterbringung während einer stationären Behandlung. Das Krankenhaus prüft dabei zuerst, ob ein Anspruch auf Krankenhausbehandlung besteht. Hierbei werden auch erste Daten des Patienten erfasst (z. B. Alter, Geschlecht und Aufnahmegrund), die für die nachgelagerten Diagnostik-, Therapie- und Pflegeprozesse genutzt werden können.

- **Diagnostik**

Die Diagnostik beschreibt die Prozesse zur Identifikation einer Erkrankung bzw. gesundheitlichen Störung aufgrund der vorliegenden Symptomatik des Patienten. Die Diagnostik ist dabei ein mehrstufiger und iterativer Prozess (vgl. Abb. 9), bei dem eine Verdachtsdiagnose durch das Sammeln und Bewerten von Symptomen, Beschwerden und Befunden bis zu einer definitiven Diagnose konkretisiert wird. [GA13]

- **Therapeutik**

Die Therapeutik beschreibt die Prozesse zur Behandlung von Krankheiten und Verletzungen mit dem Ziel der Wiederherstellung der physischen und psychischen Funktion bzw. der Beseitigung oder Linderung der mit der Krankheit einhergehenden Symptome.

- **Pflege**

Die Pflege beschreibt die nicht-medizinische Versorgung des Patienten im Krankenhaus. Dazu gehört neben der Behandlungspflege (z. B. Verbandwechsel und Wundpflege) auch die Grundpflege (z. B. Unterstützung bei der Körperpflege), sofern der Patient durch seine Erkrankung oder die Behandlungen in diesen Tätigkeiten eingeschränkt ist.

- **Entlassung oder Verlegung**

Mit der Verlegung in ein anderes Krankenhaus oder der Entlassung des Patienten endet die Behandlung im Krankenhaus. Sie gilt entweder als abgeschlossen oder kann durch eine (ambulante) Versorgung fortgesetzt werden.

²⁰ Im Allgemeinen wird die vollstationäre Behandlung in einem Krankenhaus als die medizinisch intensivste und wirtschaftlich aufwendigste Behandlungsform bewertet. [Nof11] Der Gesetzgeber hat daher einen rechtlichen Rahmen umrissen, der die Nachrangigkeit der vollstationären Behandlung vorgibt. [Zim12] Man vergleiche auch die Vorgaben in § 39 I 1 SGB V.

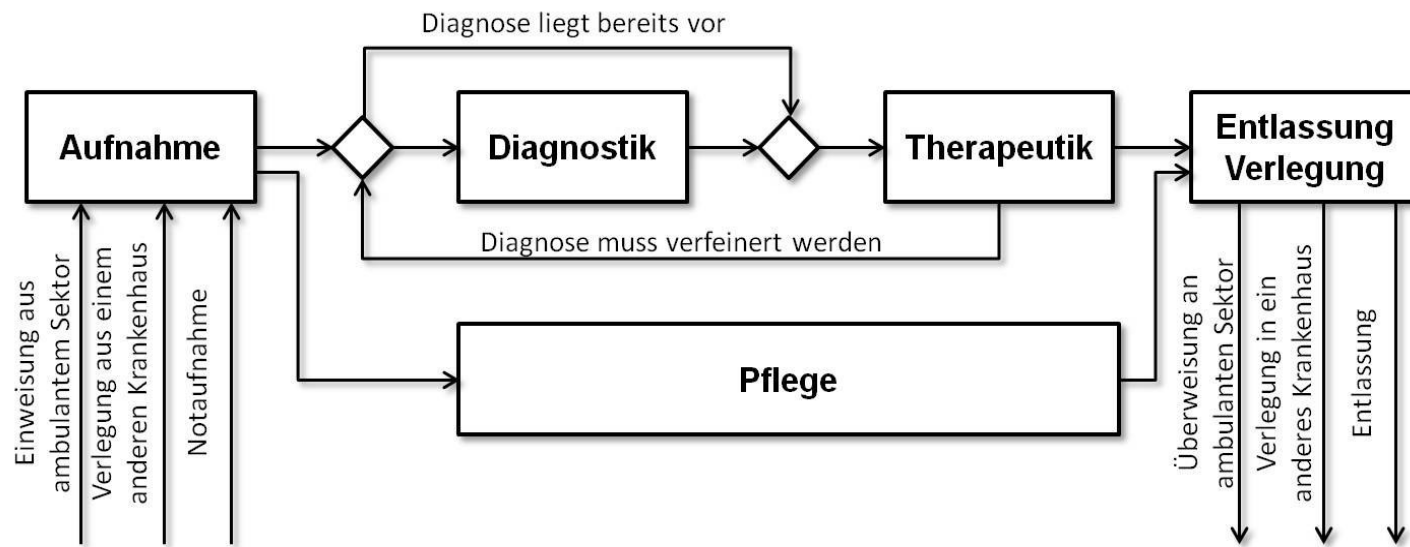


Abb. 8: Abstrakte Krankenhausbehandlung nach Andonova [And07]

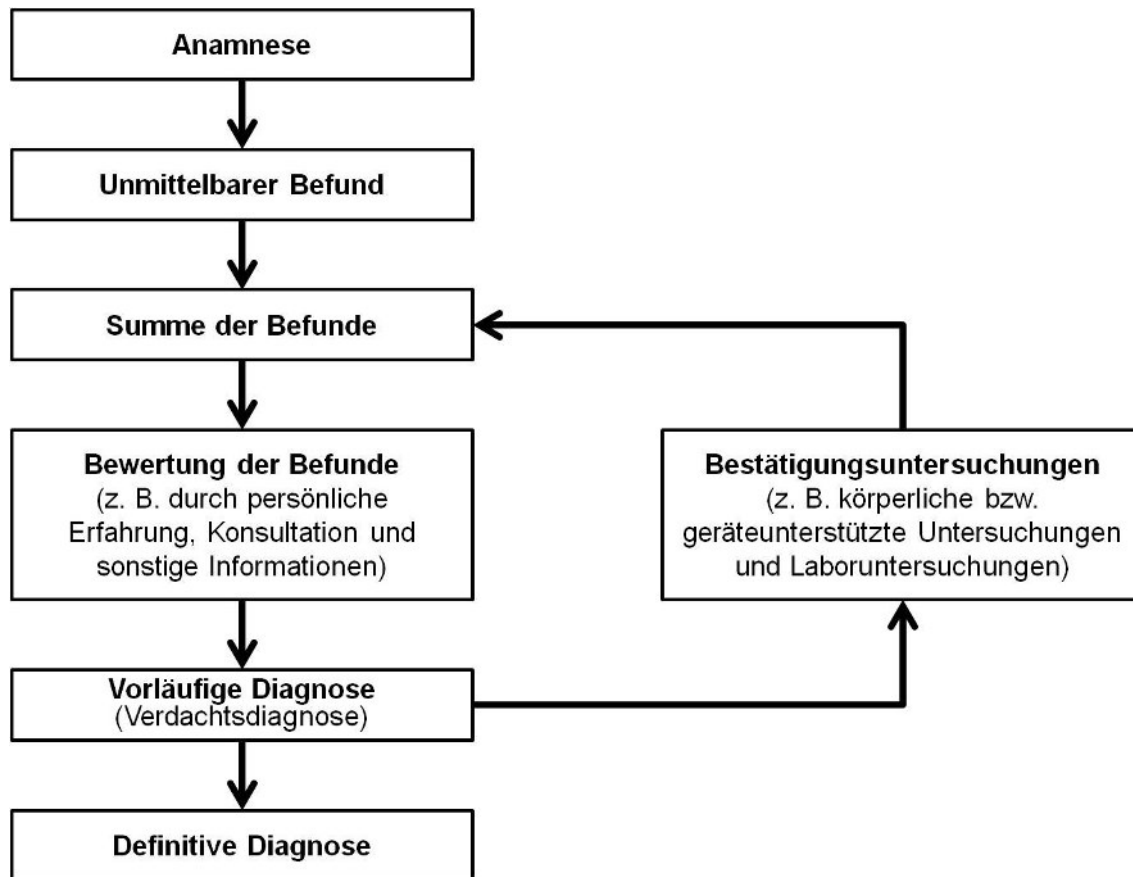


Abb. 9: Beschreibung des Diagnoseprozesses nach Gressner und Arndt [GA13]

Die Behandlungen im Krankenhaus zeichnen sich dabei häufig durch die parallele und iterative Ausführung der vorgestellten Teilprozesse aus, zwischen denen zudem komplexe Wechselwirkungen bestehen können. Darüber hinaus müssen nicht alle Teilprozesse sequenziell ausgeführt werden. So kann z. B. auf eine Wiederholung von Untersuchungen im Rahmen der Diagnostik verzichtet bzw. diese im Grenzfall komplett übersprungen und unverzüglich mit der Therapie begonnen werden, wenn eine (verlässliche) Diagnose bereits durch die einweisende bzw. verlegende Stelle bereitgestellt wurde.

2.3.2. Aufbauorganisation im Krankenhaus

Wie im vorangegangenen Kapitel dargelegt worden ist, stellt die Leistungserbringung im Rahmen der Krankenhausbehandlung eine „komplexe Sach- und Dienstleistung“ [Wah08] dar. Diese wird typischerweise von einem interdisziplinären Team erbracht. Das Krankenhauspersonal ist stark berufsständisch organisiert und kann daher gemäß seiner Ausbildung in ärztliches und nichtärztliches Fachpersonal (vgl. Abb. 10) unterschieden werden. [Bot13]

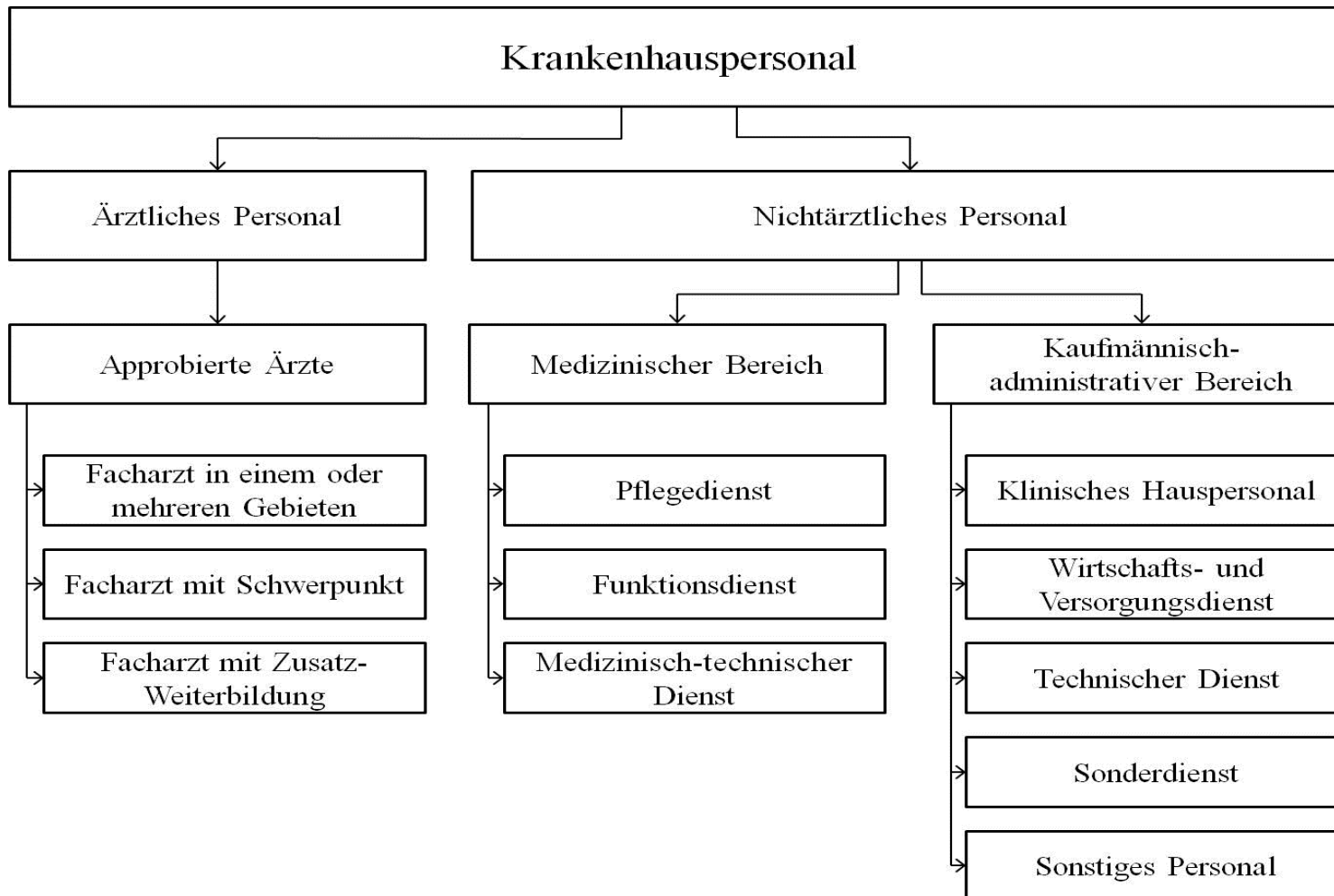


Abb. 10: Fachpersonalgruppen im Krankenhaus

- Das **ärztliche Fachpersonal** besteht im Wesentlichen aus Fachärzten in ihrem jeweiligen medizinischen Fachgebiet.²¹ Die Fachärzte können sich zudem durch Schwerpunkt- und Zusatz-Weiterbildungen weiter spezialisieren. Ein Schwerpunkt beschreibt dabei eine qualifizierende Weiterbildung innerhalb des Fachgebiets, die auf der Ausbildung zum Facharzt aufbaut.²² Die Zusatz-Weiterbildungen enthalten hingegen fachgebietsübergreifende Inhalte, die somit in Ergänzung zu verschiedenen Facharztprofilen erworben werden können.
- Das **nichtärztliche Fachpersonal** lässt sich wiederum in einen medizinischen und einen kaufmännisch-administrativen Bereich untergliedern. [AS02] Der medizinische Bereich umfasst jene Mitarbeiter, die mehr oder minder direkt an den Behandlungen beteiligt sind. Er besteht aus dem Pflege- und Funktionsdienst²³ sowie dem medizinisch-technischen Dienst. Der kaufmännisch-administrative Bereich hatte in vergangenen Betrachtungen einen eher untergeordneten Charakter, gewinnt aber mit den verschärften Wettbewerbsbedingungen zunehmend an Bedeutung, da er durch die Regulierung der Rahmenbedingungen indirekt Einfluss auf die Behandlungen nimmt. Zu dieser Gruppe zählen z. B. das klinische Hauspersonal, der technische Dienst sowie der Versorgungsdienst.

Betrachtet man das Personal im Krankenhaus nun nach organisatorischen Gesichtspunkten bzw. nach Führungsbefugnissen (vgl. Abb. 11), so herrschen typischerweise hierarchische Organisationsstrukturen vor. [His⁺14] Dies ist auf die Direktions- bzw. Weisungsbefugnisse und einige relativ stark reglementierte Vorgänge während der Behandlung (wie z. B. die Ausfertigung der Arztbriefe durch den Chefarzt, den zuständigen Oberarzt sowie den betreuenden Stationsarzt) zurückzuführen. [BW14]

Aus medizinischer Sicht lassen viele Aktivitäten sich aber auch über Leistungsbefugnisse steuern. [HBD13] Die kompetente Abarbeitung der Aufgaben kann dabei von unterschiedlichen Personen (auch bei Zugehörigkeit zu nichtärztlichen Personalgruppen) durchgeführt werden, sofern diese die notwendigen Qualifikationsanforderungen erfüllen und entsprechende Vereinbarungen zur Delegation bzw. Substitution innerhalb des Krankenhauses getroffen wurden. [Ber09]

²¹ Die Fachärzte müssen dafür vorgeschriebene Aus- bzw. Weiterbildungsinhalte und -zeiten für eine medizinische Spezialisierung in einem medizinischen Fachgebiet ableisten und in einer Prüfung ihre Facharztkompetenz nachweisen. In Deutschland werden die Inhalte und Abgrenzungen der verschiedenen Gebiete und Facharztprofile durch die Weiterbildungsordnungen der regionalen Landesärztekammern in Verbindung mit den zugehörigen Richtlinien (in Abstimmung mit den medizinischen Fachgesellschaften, den Berufsverbänden und der Bundesärztekammer) beschrieben. In den aktuellen Weiterbildungsordnungen finden sich dabei insgesamt 33 Fachgebiete und 51 Facharztprofile.

²² So enthält z. B. das Fachgebiet „Radiologie“ die Schwerpunkte „Kinderradiologie“ und „Neuroradiologie“.

²³ In Abgrenzung zum Pflegedienst besteht der Funktionsdienst aus dem medizinischen und pflegerischen Personal in nichtständigen Funktionsbereichen und umfasst z. B. Hebammen, Entbindungshelfer und Ergotherapeuten.

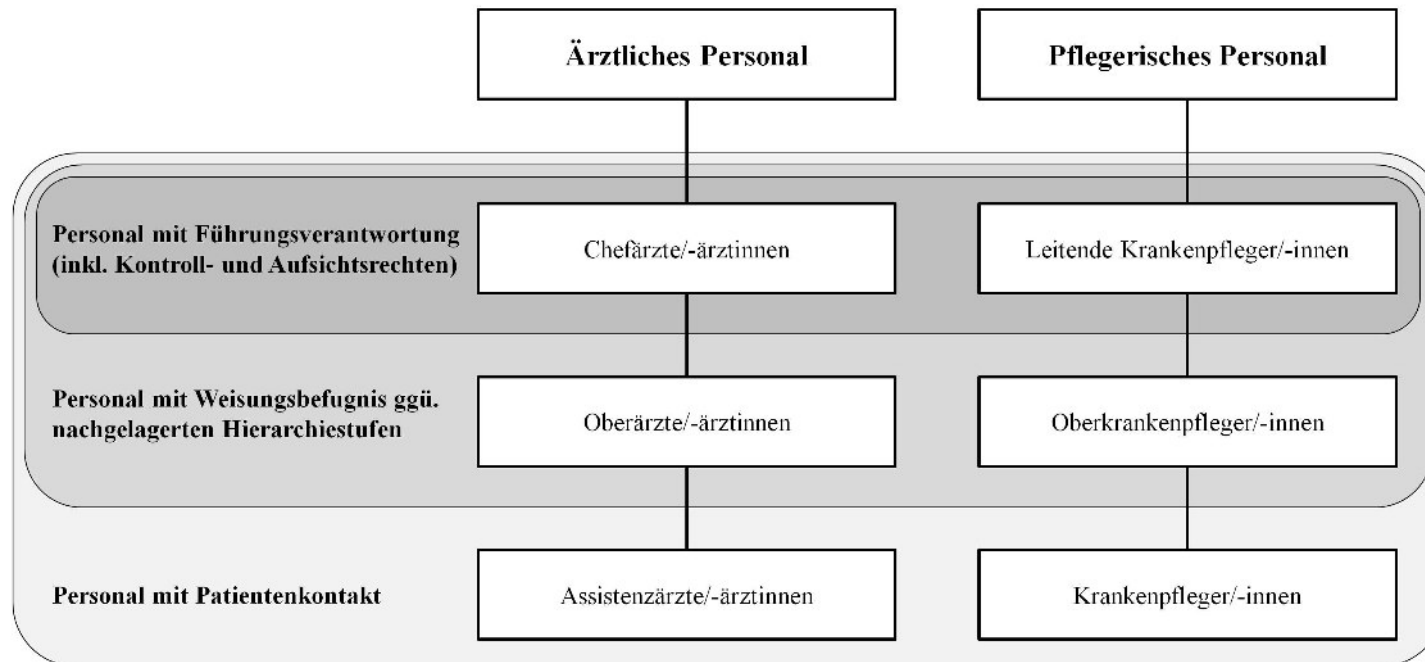


Abb. 11: Organisation des Krankenhauspersonals nach Führungsbefugnissen in Anlehnung an [Bot13]

Abgesehen von der Strukturierung des Personals lassen sich in der Literatur aber kaum allgemeine Aussagen zur übergeordneten Organisationsstruktur eines Krankenhauses finden. Eine solche kann recht individuell definiert werden und orientiert sich dabei an der strategischen Ausrichtung des einzelnen Krankenhauses. In der bisherigen Form wurden Krankenhäuser häufig nach ihren Fachabteilungen²⁴ gegliedert, die jeweils vergleichsweise autonom handeln konnten.

In den letzten Jahren wird jedoch immer stärker die Etablierung interdisziplinärer Zentren (häufig auch als Kompetenzzentren bezeichnet) angestrebt, die die strategische Ausrichtung des Krankenhauses auf einen Schwerpunkt ermöglicht. Diese Organisationsform bietet einen sog. *Single-Point-of-Care* [Gre05], wodurch eine weitergehende Patienten- und Prozessorientierung gewährleistet werden kann (vgl. Abb. 12).

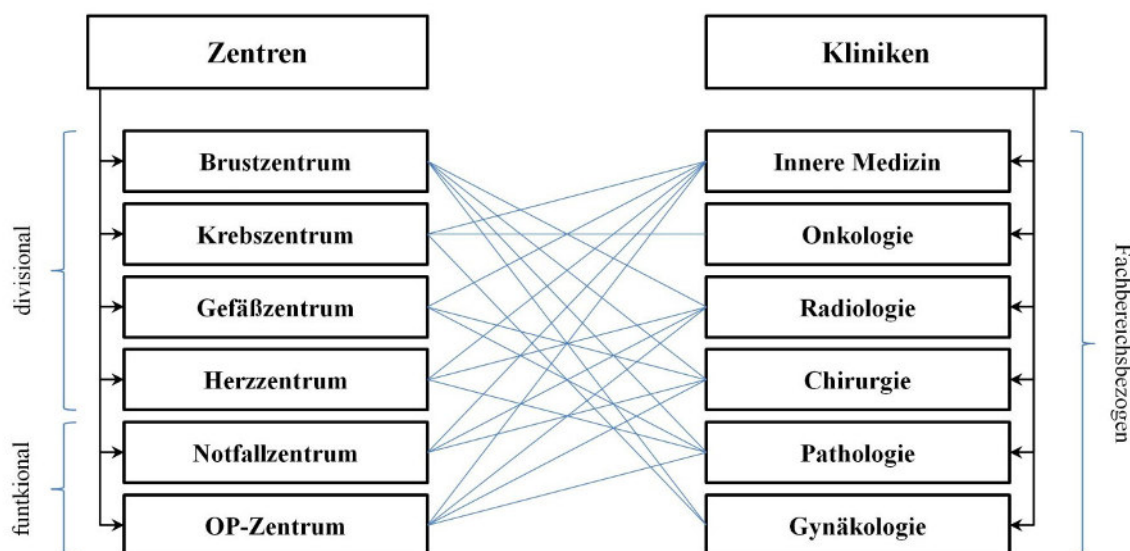


Abb. 12: Allgemeine Struktur eines Krankenhauses in Anlehnung an [Sch07] und [ERH10]

Conrad [Con13] führt dazu aus, dass ein solches Vorgehen eine stringente Ausrichtung sämtlicher (Behandlungs-)Prozesse am Kundennutzen erfordert. Dies führt somit zu einer vertikalen Integration des Krankheitsbildes, d. h. es wird eine vollständige und sektorübergreifende Betreuung von der Prävention über Diagnostik und Therapie bis hin zu Rehabilitation und Nachsorge angestrebt. Hierfür muss eine organisierte, interdisziplinäre Zusammenarbeit vormals getrennter Professionalitäten und medizinischer Fachbereiche etabliert werden, welche dann zu einer horizontalen und lateralen Integration führt.

²⁴ Vgl. Fußnote 21.

2.4. Klinische Behandlungspfade

In der Vergangenheit wurde im Wesentlichen davon ausgegangen, dass die Krankenhäuser aufgrund ihres humanitären und gesellschaftlichen Auftrags sowie ihrer starken Abhängigkeit von politischen Rahmenbedingungen nicht vom marktwirtschaftlichen Wettbewerb betroffen sein sollten. [BW03] Wie bereits einleitend in Kap. 1 beschrieben, hat sich diese Sichtweise maßgeblich gewandelt und letztlich zur Einführung neuer Entgeltsysteme geführt.

Die DRGs werden heutzutage als Bemessungsgrundlage für die Krankenhausfinanzierung in vielen Ländern der Welt herangezogen. [Ver09] Sie ermöglichen eine (medizinisch-ökonomische) Klassifikation der Patienten mit ähnlichen Erkrankungen und vergleichbarem ökonomischem Aufwand. Somit kann eine ergebnis- bzw. abrechnungsorientierte Erfassung der Behandlung erfolgen, die letztlich eine umfassende Klammerung verschiedener Behandlungsansätze ermöglicht. [Van07]

Allerdings sind die DRGs schon per Definition nicht geeignet, die Behandlungsprozesse selber hinreichend zu erfassen und zu strukturieren, auch wenn in der Regel davon auszugehen ist, dass die betroffenen Patienten eine vergleichbare medizinische Behandlung erhalten haben. In den vergangenen Jahrzehnten wurde daher verstärkt nach Ansätzen für ein strukturiertes Vorgehen bei der Diagnose und Behandlung gesucht.

2.4.1. Entwicklung der klinischen Behandlungspfade

In den letzten Jahren haben sich dabei die klinischen Behandlungspfade²⁵ zur Strukturierung und Vereinheitlichung des (medizinischen) Vorgehens durchgesetzt. Sie basieren auf den Ansätzen evidenzbasierter Medizin, d. h. dem Versuch, bewährte klinische Praxis mittels (mehr oder weniger) formaler Methoden zu erfassen und zu strukturieren, um das medizinische Personal in seinem Handeln zu unterstützen.²⁶

²⁵ In der Literatur lassen sich synonym verwendete Begriffe identifizieren, zwischen denen letztlich keine scharfe Abgrenzung existiert. [LBI08] Hierzu zählen in der deutschsprachigen Literatur u. a. Bezeichnungen wie Versorgungspfad, Behandlungsstandard, Behandlungsablauf, Indikationspfad oder integrierter PatientInnenpfad. In der englischsprachigen Literatur wird hingegen vorrangig der Begriff *clinical pathway* genutzt. Aber auch hier finden sich alternative Bezeichnungen, wie z. B. *critical pathway*, *clinical care plan*, *multidisciplinary treatment plan* oder *case map*.

²⁶ In der praktischen Anwendung besteht dabei aber ein fließender Übergang zwischen klinischen Behandlungspfaden und anderen Planungs- oder Qualitätssicherungsinstrumenten im Krankenhaus, wie z. B. Checklisten, klinischen Algorithmen, evidenzbasierten Behandlungsrichtlinien, Versorgungsleitlinien, Disease-Management-Programmen (DMP) oder Standard Operating Procedures (SOP). Zur Abgrenzung der Ansätze wird an dieser Stelle auf die Ausführungen z. B. von Audebert et al. [Aud⁺06], Roeder und Küttner [KR07] oder Schreyögg, Weinbrenner und Busse [SWB12] verwiesen.

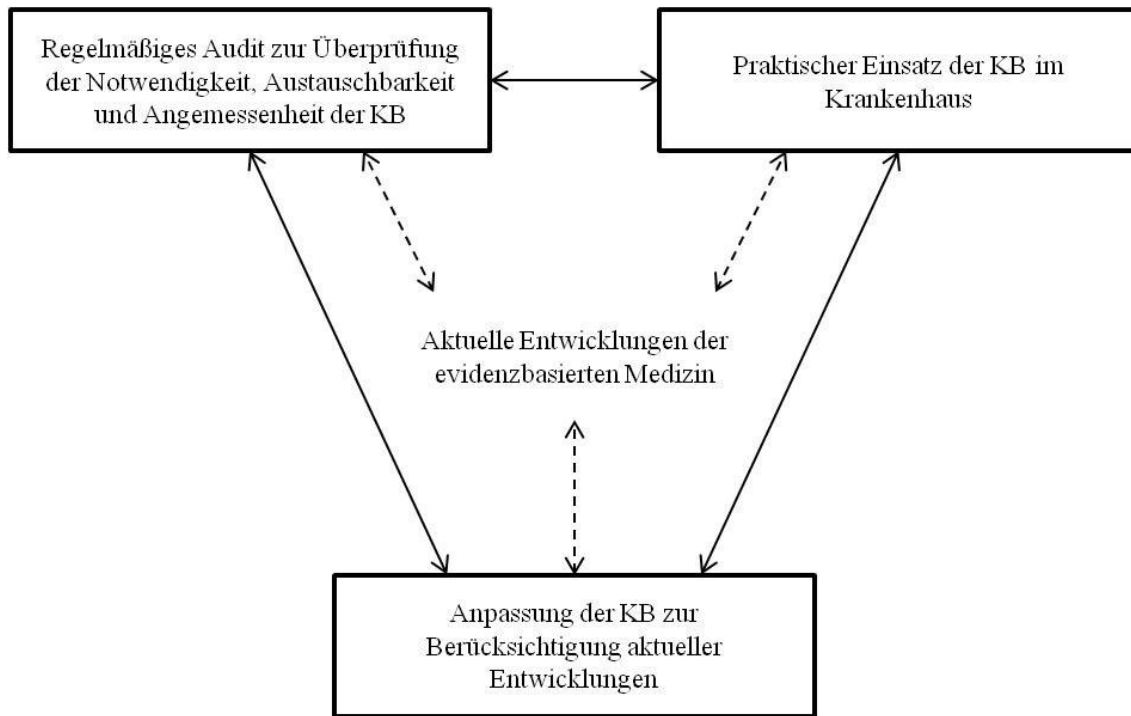


Abb. 13: Entwicklung klinischer Behandlungspfade nach Curran [Cur⁺05]

Die ersten Ansätze entstanden in den 1970er-Jahren in Amerika. [Van07] Sie orientierten sich am Vorgehen der Netzplantechnik, die bereits seit mehr als zwei Jahrzehnten erfolgreich in der Industrie eingesetzt worden war, und übertrugen sie auf medizinische Fragestellungen. [KR07] Diese frühen Ansätze waren allerdings noch wenig strukturiert und fanden daher praktisch keine weitere Verbreitung.

Erst 1985 findet sich die erste belegbare praktische Anwendung am New England Medical Center in Boston. [ZBE87] Hier wurden die Methoden des Case Managements mit der Identifikation der „kritischen Pfade“ vereint. [Zan02] In den darauffolgenden Jahren begann die rasante Verbreitung der klinischen Behandlungspfade in den USA, gefolgt von England, Kanada und Australien. Seit Mitte der 1990er-Jahre kam es zu einer sukzessiven Übernahme dieser Ansätze in den (westlichen) Industrienationen. Mittlerweile werden sie in Australien und Nordamerika flächendeckend sowie auch in den meisten europäischen Ländern genutzt. In Afrika, Asien und Südamerika besitzen sie hingegen eine geringere Verbreitung (Ausnahmen bilden hierbei z. B. Südafrika, Japan, Korea und Singapur). [Zan02]

In Deutschland findet eine breitere Berücksichtigung erst Ende der 1990er-Jahre und somit verhältnismäßig spät statt. [Zan02] Die letztliche Nutzung der klinischen Behandlungspfade kann sicherlich auf den immer drängenderen Handlungsbedarf zurückgeführt werden, der durch den

Wandel im Gesundheitswesen und die Reformierung der Krankenhausfinanzierung Ende der 1990er-Jahre ausgelöst wurde.²⁷

Aus dieser historischen Betrachtung heraus ist es wenig verwunderlich, dass in der Literatur eine Vielzahl von Definitionen existiert.²⁸ In dieser Arbeit wird stellvertretend die Definition von Greiling, Mormann und Westerfeld [GMW03] genutzt:

„Klinische Behandlungspfade sind abteilungs-, berufsgruppen- und professionsübergreifende, medizinisch und ökonomisch abgestimmte Handlungsleitlinien für den gesamten Behandlungsablauf einer Gruppe homogener Behandlungsfälle.“

Aus dieser Definition lassen sich die wesentlichen Aspekte ableiten, die (in dieser oder ähnlicher Form) in die meisten Definitionen einfließen:

- **Bezug zu einer bestimmten Patientengruppe**

Die klinischen Behandlungspfade zielen auf die Vereinheitlichung bzw. Standardisierung des (medizinischen) Vorgehens während der Behandlung für eine homogene Patientengruppe ab. Die Patienten müssen also eine gleichartige Symptomatik aufweisen und auch in Bezug auf allgemeine Parameter, wie z. B. ihrem Alter und (allgemeinen) Gesundheitszustand, vergleichbar sein. [Enc08] In Einzelfällen (z. B. bei Multimorbiditäten oder der Behandlung von Risikopatienten) kann bzw. muss daher im Interesse des Patienten von den vorgegebenen Prozessen abgewichen werden.²⁹

- **Nutzung durch ein interprofessionelles Behandlungsteam**

Die angebotenen Leistungen im Krankenhaus werden durch das gemeinschaftliche Wirken verschiedener Spezialisten (aus z. T. unterschiedlichen Berufsgruppen) erbracht, um so der Komplexität der zu behandelnden Erkrankungen angemessen zu begegnen (vgl. Kap. 2.3). Durch die patientenzentrierte Ausrichtung der Leistungsprozesse müssen die Aktivitäten der beteiligten Akteure aufeinander abgestimmt werden. [Roe07] Dabei können potenzielle Konflikte während der Behandlung (in Bezug auf Vorgehen oder Verantwortung) schon frühzeitig identifiziert und aufgelöst werden.

²⁷ So weist Gerlinger [Ger14] darauf hin, dass die Reformen der 1970er- und 1980er-Jahre auf eine „strukturkonservierende Kostendämpfungspolitik“ ausgerichtet waren. Durch die Einführung des pauschalisierenden Vergütungssystems bis zum Jahr 2003 (vgl. Kap. 1) wurden die Krankenhäuser in weit höherem Maße dazu gezwungen, neue Ansätze und Techniken zur Anpassung ihrer Strukturen und ihres Vorgehensmodells zu nutzen.

²⁸ Für eine weiterführende Diskussion und einen Vergleich der unterschiedlichen Definitionen wird an dieser Stelle auf die Arbeit von Roeder und Küttner [RK07] sowie Heiden [Hei15] verwiesen.

²⁹ In diesen Fällen bietet sich hingegen die Durchführung eines sog. *Case Managements* an, mit dem die zumeist komplizierten und kostenintensiven Behandlungen von Einzelfällen geplant, bewertet, implementiert, koordiniert, überwacht und evaluiert werden können. [Pfo10]

- **Definition eines diagnostischen und therapeutischen Handlungskorridors**

Bei der Festlegung eines klinischen Behandlungspfads besteht immer ein immanentes Spannungsfeld zwischen dem Ziel der Vereinheitlichung im medizinischen Vorgehen und der notwendigen Entscheidungsfreiheit des einzelnen Mediziners, mit der er die Behandlung seiner ihm anvertrauten Patienten z. B. an mögliche Komplikationen oder Unverträglichkeiten anpassen kann. Klinische Behandlungspfade umreißen daher immer nur einen Handlungskorridor, der bei begründetem Verdacht auch wieder verlassen werden kann, um das Wohl des Patienten nicht zu gefährden. [RK07]

Die klinischen Behandlungspfade bilden somit (in Verbindung mit einer entsprechenden Organisationsform im Krankenhaus) ein geeignetes Mittel, um eine inter- bzw. multidisziplinäre und prozessorientierte Strukturierung der Behandlungen zu gewährleisten.

2.4.2. Ziele für den Einsatz von klinischen Behandlungspfaden

Der Einsatz klinischer Behandlungspfade zielt in erster Linie auf eine (weitestgehende) Vereinheitlichung der Behandlung ab. Im Einzelnen lassen sich dabei folgende (Teil-)Ziele identifizieren:

- **Vermeidung unnötiger Prozessschritte**

Durch die strukturierte Erfassung und Aufbereitung der Behandlung wird eine Reflektion des (medizinischen) Vorgehens angestoßen, wodurch Zweck und Ziele der einzelnen Prozessschritte kritisch hinterfragt werden können. Durch die Analyse der Wechselwirkungen lassen sich inhärente Abhängigkeiten zwischen den (Teil-)Prozessen identifizieren. Dies erlaubt die Identifikation unnötiger oder ineffizienter Prozessschritte, wodurch doppelte Erfassungen bzw. Untersuchungen vermieden und Such- bzw. Wegezeiten reduziert werden können. [Wur08]

- **Reduktion der Behandlungsvariabilität**

Die Beurteilung von Ergebnissen und Qualität der Behandlung wird bisher durch ein uneinheitliches Vorgehen bei der Behandlung gleichartiger Patienten maßgeblich erschwert. Mit der Reduktion der Behandlungsvariabilität durch die Skizzierung eines Soll-Prozesses (mit der logischen Chronologie der Behandlung) wird die Grundlage für den effektiven Vergleich des Vorgehens geschaffen. [Pfö10] Hiermit können Abweichungen erkannt werden, um z. B. Komplikationen frühzeitig zu identifizieren und geeignete intervenierende Maßnahmen einzuleiten. [Ble⁺06]

- **Koordination der interdisziplinären Behandlung**

Bei einer unkoordinierten Zusammenarbeit der verschiedenen Experten entstehen „Reibungsverluste“, die zu Verzögerungen oder gar zu Behandlungsfehlern führen können. [RK06] Bei einer frühzeitigen Abstimmung der (Teil-)Prozesse lassen sich die relevanten Schnittstellen identifizieren. Somit kann ein geordneter Austausch der relevanten Informationen (wie z. B. Terminvereinbarungen oder die Übergabe von Behandlungsergebnissen) etabliert werden.

Bei der Umsetzung der primären Ziele ergeben sich auch sekundäre Effekte, die sich positiv auf die gesamte Qualität der Behandlungen auswirken:

- **Verkürzung der Verweildauern im Krankenhaus**

Durch die Vereinheitlichung der Behandlungen kann die Verweildauer der Patienten häufig reduziert werden, da die Behandlung insgesamt effizienter durchgeführt wird. So berichten u. a. Roeder und Küttner [RK06], De Bleser et al. [Ble⁺06] sowie Rotter et al. [Rot⁺10] in ihren Surveys übereinstimmend, dass die durchschnittliche Verweildauer nach der Einführung klinischer Behandlungspfade gesunken ist. Allerdings wird die Verkürzung der Verweildauer auch durch weitere Begleitfaktoren beeinflusst und könnte daher (zumindest teilweise) durch allgemeine Entwicklungen im Gesundheitswesen³⁰ erklärt werden. [LBI08] Eine differenzierte Analyse der zugrunde liegenden Ursachen fand bislang nicht statt.

- **Verbesserung der Dokumentationsqualität und -effizienz**

Durch die Nutzung eines klinischen Behandlungspfades lässt sich die Dokumentationskultur im Krankenhaus ohne Qualitätsabstriche verbessern. So beschrieb Short [Sho97] schon relativ frühzeitig einen Ansatz, mit dem die Kausalität der Dokumentation umgekehrt werden kann: Anstelle der bisherigen Praxis, sämtliches Vorgehen zu erfassen, werden durch ein sog. *charting by exception* nur die Abweichungen vom erstellten Soll-Prozess dokumentiert.

- **Verbesserung der Kommunikation mit den Patienten**

Die verständliche Aufbereitung der Prozesse ermöglicht es, den Patienten besser über seine Behandlung zu informieren und aufzuklären. Durch diese Partizipation werden das Vertrauen in die sowie auch die Zufriedenheit mit der Behandlung messbar gesteigert. [Sch⁺08]

Die Umsetzung dieser Ziele verbessert somit (aus medizinischer Sicht) zugleich die Qualität und die Ergebnisse der Behandlung. Darüber hinaus ermöglicht sie eine weitreichende Effizienzsteigerung. [BT13]

³⁰ So besitzt bereits das fallpauschalierte Vergütungssystem einen inhärenten Anreiz zur Verkürzung der Verweildauer, da die Kosten nicht mehr im vollen Umfang erstattet werden. [RH07]

2.4.3. Integration eines klinischen Behandlungspfads im Krankenhaus

Für den praktischen Einsatz eines klinischen Behandlungspfads muss das medizinische Wissen mit den lokalen Gegebenheiten des individuellen Krankenhauses abgestimmt werden. [Hei12] Dabei kann auf sog. medizinische Leitlinien zurückgegriffen werden, in denen das konsentrierte Wissen zur Behandlung einer Krankheit beschrieben wird.

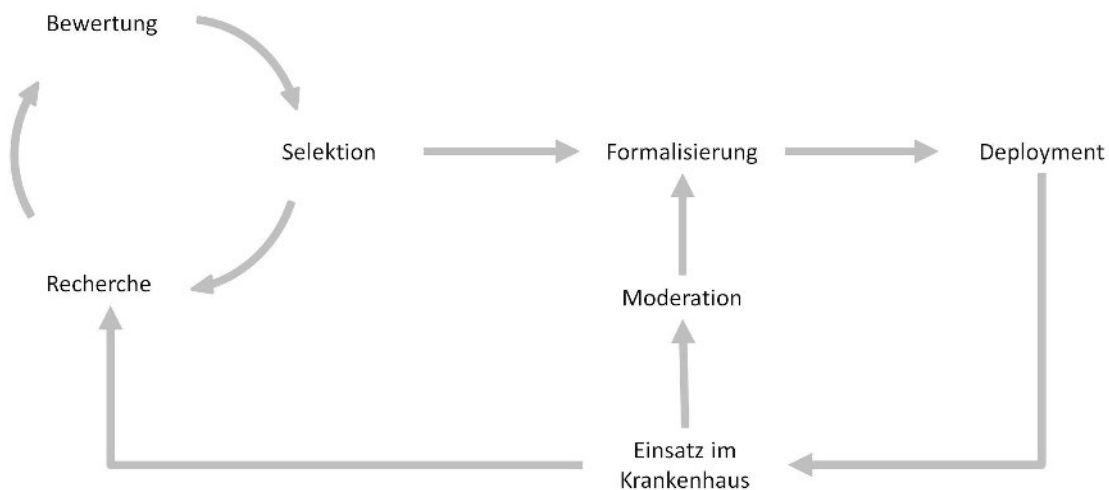


Abb. 14: Strukturierte Umsetzung klinischer Behandlungspfade nach Böckmann und Heiden [BH14]

Böckmann und Heiden [BH14] beschreiben hierfür einen vierteiligen Umsetzungsprozess (vgl. Abb. 14), der für die Überführung in anwendbare klinische Behandlungspfade genutzt werden kann:

1. Leitlinienextraktion

Die Ableitung eines klinischen Behandlungspfads beginnt typischerweise mit einer (Literatur-)Recherche, um relevante Leitlinien für die Behandlung eines vorgegebenen Krankheitsbilds zu identifizieren. Die potenziellen Kandidaten müssen inhaltlich bewertet und auf ihre Angemessenheit für das eigene Krankenhaus untersucht werden. Dies resultiert idealerweise in der Selektion einer einzelnen Leitlinie, die nun konkret eingeführt werden soll. Ansonsten muss dieser Prozessschritt wiederholt werden, indem die Recherche nach weiteren Leitlinien intensiviert und ausgedehnt wird.

2. Formalisierungsprozess

Die Überführung in einen klinischen Behandlungspfad erfordert eine Formalisierung der Leitlinie, d. h. unter Anwendung einer Modellierungsnotation wird ein (mehr oder minder) formalisierter Prozess erstellt, der aus medizinischer Sicht äquivalent zur Leitlinie sein muss.

3. Pfadmoderation

Die Auswahl der Leitlinien und die Formalisierung des Prozesses müssen in enger Abstimmung mit den späteren Nutzern der Pfade erfolgen, um die Akzeptanz zu erhöhen und die individuelle Situation des Krankenhauses angemessen zu berücksichtigen. Im Rahmen einer Pfadmoderation wird ein Konsens zwischen allen beteiligten Akteuren angestrebt, bei dem auch das Erfahrungs- und Faktenwissen des medizinischen Personals adäquat mit einfließt. [LR07]

4. Deploymentprozess

Die Pfade müssen abschließend in den praktischen Krankenhaus-Alltag eingebunden werden. Dabei findet auch eine Umsetzung in der (informationstechnologischen) Infrastruktur statt, d. h. die Pfade werden im Krankenhausinformationssystem verankert und mit den bestehenden (allgemeinen) Prozessen, der Aufbauorganisation und anderen klinischen Behandlungspfaden in Beziehung gesetzt.

Nach der Integration in der Aufbau- und Ablauforganisation können die klinischen Behandlungspfade ihre praktische Anwendung finden. Zudem lassen sich Regeln definieren, die eine zyklische Überprüfung der Angemessenheit sowie der Effizienz der Pfade vornehmen und bei Bedarf eine Anpassung anstoßen, sodass der Prozess letztlich wieder von vorne beginnt.

3. Kritik am derzeitigen Vorgehen

Bei der bisherigen Betrachtung wurden Krankenhäuser typischerweise durch eine Organisations- sowie eine Funktionssicht abgebildet. Dabei orientierten sich die einzelnen Bereiche innerhalb der Organisation auf die Erbringung ihrer individuellen Leistungen. Eine patientenbezogene und den gesamten Behandlungsprozess umfassende Sicht war in der Vergangenheit noch nicht üblich. Somit fanden auch die Planung, Überwachung und Optimierung wichtiger ambulanter und stationärer Kernprozesse an den Grenzen verschiedener Bereiche im Krankenhaus keine explizite Berücksichtigung. Oft wurden dafür organisatorische Probleme bei der bereichsübergreifenden Kommunikation und Kooperation aufgeführt. [Rei⁺00]

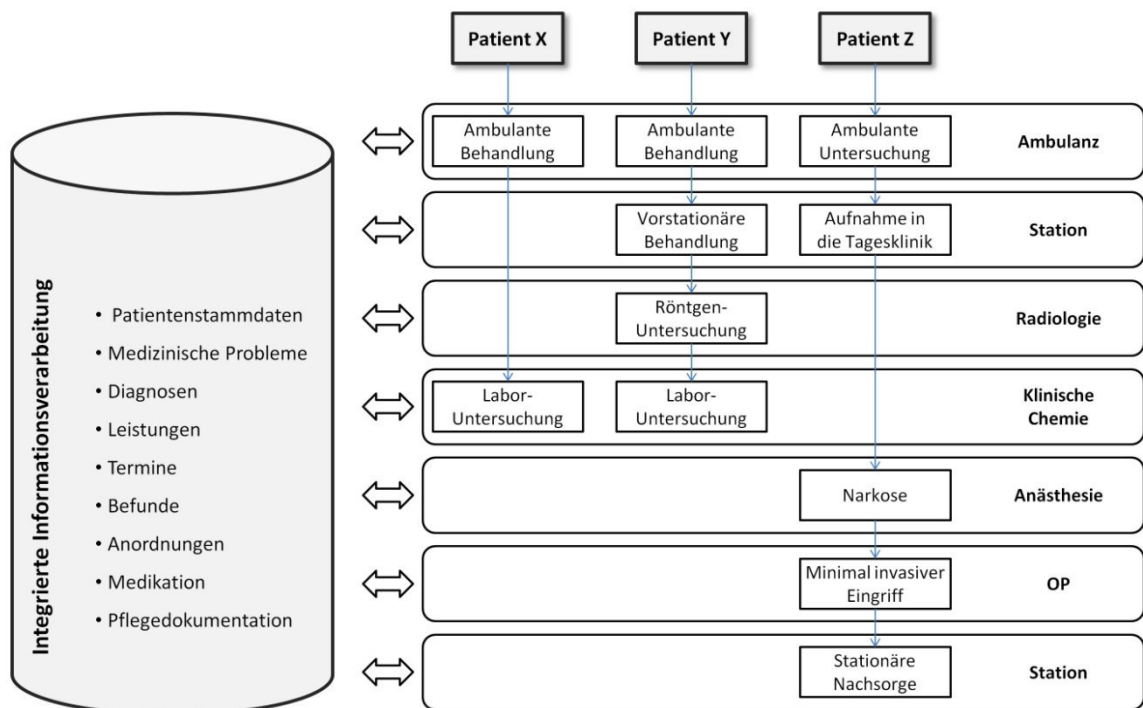


Abb. 15: Prozessorientierung statt Funktionsorientierung (entnommen aus Reichert [Rei00])

Seit Beginn der 2000er-Jahre führen die bereits dargestellten Entwicklungen im Gesundheitswesen allerdings zum Wandel von einer rein funktionalen zu einer prozessorientierten Sichtweise (vgl. Abb. 15). Dabei lässt sich eine Reihe medizinischer als auch patientenbezogener Vorteile realisieren. So führt Reichert [Rei00] aus, dass mit diesem Ansatz überflüssige Untersuchungen (z. B. wiederholte Blutwertbestimmung für die verschiedenen Fachabteilungen) oder mehrfache Ärzte-Visiten (z. B. durch Zusammenfassung mehrerer Aufklärungsgespräche) vermeidbar wären.

Um die Abläufe durch die Bereitstellung der notwendigen Mittel und Ressourcen effizient zu unterstützen, mündet das Bestreben der Krankenhäuser daher in eine weiterführende Integration dieser prozessorientierten Sichten innerhalb ihrer sozio-technischen Systemlandschaft.

Mit den klinischen Behandlungspfaden wurde mittlerweile ein prozessorientierter Ansatz entwickelt, der die strukturierte Aufbereitung der Abläufe erlaubt. Eine Vielzahl aktueller Studien beschreibt den Nutzen und die Auswirkungen einer Einführung klinischer Behandlungspfade aus medizinischer Sicht (z. B. in der Psychiatrie und Psychotherapie bei Dick et al. [Dic⁺06], in der Endokrinologie und Diabetologie bei Gallwitz et al. [GLD⁺06], in der Rheumatologie bei Lakomek et al. [Lak⁺07] oder in der Unfallchirurgie bei Homagk, Deml und Hofmann [HDH12]).

Neben der medizinischen Aufbereitung der Prozesse müssen aber auch ökonomische Fragestellungen berücksichtigt werden, um das Krankenhaus beim Erreichen seiner übergeordneten Ziele zu unterstützen. Die bestehenden Ansätze sind hierfür nur bedingt geeignet. Dies ist im Wesentlichen auf die folgenden Faktoren zurückzuführen:

- **Vernachlässigung ökonomischer Fragestellungen**

Die klinischen Behandlungspfade beschreiben vorrangig das medizinische Vorgehen zur Diagnose, Behandlung und (in einem eingeschränkten Rahmen) Pflege bei einem vorgegebenen Krankheitsbild [CC02]. Dabei wird ihre Wirkung überwiegend anhand medizinischer Indikatoren (wie z. B. Medikamentenbedarf, Narkosedauer oder Mortalität) erfasst. [LBI08] Diese Kennzahlen sind aber nur bedingt zur Bemessung der strategischen und operativen Ziele im Rahmen einer preis-leistungsorientierten Versorgung der Patienten geeignet. Die ökonomischen Faktoren werden häufig nur als positiver Nebeneffekt³¹ angesehen und nicht explizit in die Betrachtung miteinbezogen.

- **Unzureichende Berücksichtigung methodischer Ansätze zur Formalisierung**

Die zugrunde liegende Diskrepanz kann in gewissem Umfang sicher auch auf die mangelnde Berücksichtigung bestehender Erfassungs- bzw. Darstellungsformen der Prozesse zurückgeführt werden. So beschreiben Burwitz, Schlieter und Esswein [BSE11] in ihrer Arbeit, dass Behandlungen in vielen Krankenhäusern noch immer vorrangig durch unstrukturierte Beschreibungen und Dokumentationen (z. B. Angaben zu Differenzialdiagnosen oder Leitsymptomen) unterstützt werden. In Bezug auf den bereits beschriebenen Prozess von Böckmann und Heiden (vgl. Kap.2.4.3) kommt es also nur zu

³¹ So führen Roeder und Küttner [RK06] aus, dass eine Qualitätssteigerung natürlich vielfach auch mit einer direkten oder indirekten Kostenreduktion verbunden sei: Jeder unnötige Verweildauertag verursache zusätzliche Kosten, ohne zugleich den Fallpauschalenerlös positiv zu beeinflussen. Auch die Reduktion unnötiger Leistungen führe zu einer Kostensenkung, ohne dass medizinisch notwendige Leistungen rationiert werden müssten oder die Qualität negativ beeinflusst würde. Als weiterer Nebeneffekt werde auch eine Absenkung der Sekundärkosten erreicht, da Haftpflichtansprüche reduziert würden und die komplikationsbedingte Verlängerung der Verweildauer seltener vorkomme.

einer vollständigen Umsetzung des ersten Prozessschritts. In den letzten Jahren setzen sich zwar durchaus besser strukturierte Darstellungsformen wie etwa Entscheidungsbäume [Pfo10] oder Gantt Charts [Van07] durch. Mit diesen Ansätzen lassen sich die komplexen Wechselwirkungen der Pfade nicht angemessen beschreiben und auch die Dauer der Behandlung sowie die Höhe der hierfür anfallenden Kosten sind so nicht zu erfassen.

- **Lokale Umsetzung der klinischen Behandlungspfade**

Die Beschreibung klinischer Behandlungspfade erfolgt in der (medizinischen) Fachliteratur vorrangig zur Abbildung dezidiertes Krankheitsbilder oder zur Unterstützung einzelner Funktionen bzw. Fachabteilungen. Eine ausreichende Unterstützung für die Koordination sowie die Überwachung integrativer und interdisziplinärer Prozessabläufe, die über die Grenzen der einzelnen Funktion hinausreichen, bieten sie häufig jedoch nicht. [RLM09] Eine einheitliche Strukturierung der Leistungserbringung über die Grenzen der einzelnen Pfade hinaus ist hierbei kaum zu gewährleisten, sodass Aufwand und Kosten für die Erstellung und Wartung der Pfade entsprechend ansteigen. Zudem können Widersprüchlichkeiten bei vergleichbaren (Teil-)Pfadern entstehen, die sich wiederum in einer geringeren Akzeptanz innerhalb des Personals niederschlagen.

Die geforderte Prozessorientierung lässt sich offenkundig nur durch eine weiterreichende Formalisierung und Strukturierung der Prozesse erreichen, bei denen das medizinische Vorgehen auch schon frühzeitig mit Kostendaten und Zeitdauern zur Ermittlung einer effizienten Leistungserbringung verknüpft wird.

3.1. Darlegung des Forschungsvorhabens

Die in der vorliegenden Dissertation enthaltenen Untersuchungen basieren auf den gesammelten Erkenntnissen sowie den verbliebenen ungeklärten Fragen bei der Ausarbeitung der vorangegangenen anwendungsorientierten Diplomarbeit für das Evangelische Krankenhaus Alsterdorf (EKA), Hamburg. Jene Arbeit untersuchte die organisatorischen Auswirkungen bei der Einführung neuer Informationstechnologien und trug den Titel: „Organisations- und Softwareanalyse anhand der Standard-Software Lorenzo ClinicCentre vor dem Hintergrund einer aufbauorganisatorischen Veränderung“ [And07]. Schon damals war besonders auffällig gewesen, dass das gerade erst neu eingeführte Krankenhausinformationssystem nicht im prognostizierten Rahmen genutzt worden war. Ein wichtiger Grund hierfür lag in der Ablehnung des neuen Systems durch das Personal, das die Innovation als unnötige Belastung angesehen hatte.

Im Rahmen dieser Arbeit wird nun ein allgemeinerer Ansatz untersucht. Ansetzend bei den aufgezeigten Defiziten des derzeitigen Vorgehens wird die Einsatzmöglichkeit der Geschäftsprozessmodellierung zur Umsetzung klinischer Behandlungspfade evaluiert. Dabei sind im weiteren Verlauf dieser Arbeit folgende Aufgabenstellungen zu untersuchen:

- **Eignung der Geschäftsprozessmodellierung zur Umsetzung klinischer Behandlungspfade**

Bei einem Vergleich zwischen dem Vorgehensmodell zur Umsetzung klinischer Behandlungspfade (vgl. Kap. 2.4.3) und der Modellierung von Geschäftsprozessen (vgl. Kap. 2.1) ergeben sich weitgehende Überschneidungen in Bezug auf die inhärenten Zielsetzungen und die eingesetzte Methodik. In beiden Fällen sollen die Abläufe innerhalb einer Organisation über die Grenzen der einzelnen Funktionen hinweg erfasst und aufbereitet werden, um die Effizienz bei der zugrunde liegenden Aufgabenbearbeitung zu steigern. Die Krankenhausdomäne zeichnet sich aber den typischen Anwendungsdomänen der Geschäftsprozessmodellierung gegenüber durch einige Besonderheiten aus, die weiterführende Anforderungen an die Vorgehensweise und die konkreten Notationen stellen. So ist bei den Interaktionen zwischen den interdisziplinären und integrierten Aktivitäten (im Zusammenspiel mit knappen Ressourcen) eine „extrem hohe Praxisvariabilität“ [LR07] festzustellen, d. h. es ist nicht möglich, alle Aktivitäten und Ausnahmen des medizinischen Handelns vollständig zu erfassen und in einer Art Behandlungsplan zu hinterlegen. [Pom⁺14] Die vorliegenden Ansätze zur Modellierung von Geschäftsprozessen müssen daher dediziert hinsichtlich ihrer Eignung zur Abbildung der klinischen Behandlungspfade untersucht werden.

- **Funktionenübergreifende Modellierung der klinischen Behandlungspfade**

Die abstrakte Betrachtung mittels der Geschäftsprozessmodellierung ermöglicht neue Sichtweisen auf die inhärente Organisation eines Krankenhauses. Prozessbasierte Modellierung kann die Beherrschbarkeit der Anwendungsdomäne steigern, wenn sie konsequent als Grundlage der Steuerungs-, Qualitätssicherungs- und Fortbildungsinstrumente genutzt wird. Eine wesentliche Herausforderung stellt dabei die funktionenübergreifende Modellierung der Prozesse dar, d. h. die Betrachtung der Behandlungsabläufe darf nicht nur aus der Perspektive des individuellen Krankheitsbildes bzw. des einzelnen Fachbereichs entstehen. Diese eingeschränkte Sicht könnte potenziell zu einer unvollständigen oder gar widersprüchlichen Erfassung der verschiedenen (Teil-)Prozesse führen. Stattdessen muss ein vereinheitlichender Ansatz gewählt werden, mit dem sich die interdisziplinäre Zusammenarbeit bei der Behandlung beschreiben lässt. Einen besonderen Stellenwert nehmen daher die Wiederverwendung wohldefinierter Bausteine innerhalb der Prozesse sowie die gemeinschaftliche Strukturierung mit den Mitteln der Hierarchisierung ein.

- **Steigerung der Akzeptanz durch den Einsatz einer nutzergerechten Modellierungsform**

Wie bereits einleitend in diesem Kapitel beschrieben, belegen zahlreiche Studien den besonderen Stellenwert, den klinische Behandlungspfade für die Vereinheitlichung von Behandlungen einnehmen. Dennoch steht das medizinische Personal ihrem Einsatz in der Praxis häufig ablehnend gegenüber. Der Vorgabe eines „starrten schematischen Vorgehens“ [Rei⁺00] wegen befürchtet die Belegschaft eine Einschränkung professioneller Entscheidungsfreiheit. Zudem muss der notwendige Lern- und Einarbeitungsaufwand zum Verständnis der erstellten Prozesse (gerade in einer unvertrauten Modellierungsform) angesichts knapper, auch zeitlicher Ressourcen im Krankenhaus eher kritisch bewertet werden. [Heß12] Bei der Umsetzung der Prozesse ist daher in weitaus höherem Maße auf die nutzergerechte Aufbereitung der Prozesse zu achten. Noch vor der eigentlichen Umsetzung der klinischen Behandlungspfade muss eine tiefgreifende Analyse der Anwendungsdomäne stattfinden, mit der die besonderen Anforderungen aus Sicht der eigentlichen Anwender identifiziert werden können.

- **Nutzung von Simulationsfunktionalität**

Schon die statische Analyse klinischer Behandlungspfade lässt häufig bereits wichtige Rückschlüsse über die realen Abläufe im Krankenhaus zu. Hierbei bleiben aber wichtige Details verschattet, die erst bei der Anwendung der Pfade erfasst werden können. Durch deren simulierte Ausführung lassen sich schon frühzeitig verlässliche Prognosen hinsichtlich der Dauer, Kosten und Effizienz generieren, ohne störend in den Klinikalltag einzugreifen. Mit der Modellierung wird bislang allerdings in erster Linie die Kontrollflussperspektive erfasst, die die logische Sequenz der Behandlungsschritte beschreibt. Für die vollständige Spezifikation eines Simulationsmodells ist dies allerdings unzureichend, da auch die (direkten und indirekten) Interaktionen zwischen den Prozessen und der hinterlegten Aufbau- bzw. Ablauforganisation hinreichend genau beschrieben bzw. durch entsprechende Abstraktionen und Idealisierungen ersetzt werden müssen. Entsprechende Untersuchungen fanden bislang im Kontext der klinischen Behandlungspfade nicht statt und lassen sich aufgrund der besonderen Anforderungen der Anwendungsdomäne nur bedingt aus dem derzeitigen Stand zur Simulation von Geschäftsprozessen übertragen.

Für die weitergehende Unterstützung des Umsetzungsprozesses sind daher weitere Werkzeuge und Methoden innerhalb des Krankenhausinformationssystems zu integrieren, um die effiziente Überführung der Pfade zu unterstützen und den Einsatz von Simulationen zu ermöglichen.

3.2. Verwandte Ansätze

Die Krankenhausdomäne bietet natürlich schon aufgrund ihrer immanenten Bedeutung eine große Bandbreite von Forschungsansätzen, die sich zum Teil mit den Untersuchungen in dieser Arbeit überschneiden. Hier wird im Wesentlichen eine Konkretisierung des abstrakten Prozesses von Böckmann und Heiden [BH14] zur Erstellung klinischer Behandlungspfade untersucht (vgl. Kap. 2.4.3). Bei der Modellierung klinischer Behandlungspfade ist das medizinische Vorgehen mit einer geeigneten Methodik zu strukturieren, zu erfassen und in ein aussagekräftiges Modell zu überführen, mit dem der Anwender in seinen Tätigkeiten unterstützt werden kann. Die nun folgenden Unterkapitel beschreiben die Bezüge zu verwandten Arbeiten hinsichtlich der allgemeinen Herangehensweise, der Auswahl einer Modellierungsnotation und des Einsatzes von Simulationsansätzen in der Anwendungsdomäne.

3.2.1. Alternative Herangehensweisen zur Erstellung klinischer Behandlungspfade

Der zugrunde liegende Prozess von Böckmann und Heiden beschreibt einen transformierenden Ansatz, mit dem das konsenterte Wissen aus den medizinischen Leitlinien in eine alternative Darstellungsform überführt wird. Die eigentliche Modellierung ist dabei im Wesentlichen ein händischer Vorgang und unterliegt den subjektiven Wahrnehmungen des Modellierers. In der Literatur finden sich nun alternative Herangehensweisen, mit denen der manuelle Aufwand reduziert und die Objektivität erhöht werden soll:

- Durch den Einsatz adaptiver Methoden (wie z. B. Process Mining) können die inhärenten Prozessbeziehungen aus einer Menge vorhandener Datensätze über vergangene Behandlungen (z. B. aus der elektronischen Patientenakte) abgeleitet werden. Es handelt sich somit um einen rekonstruktiven Ansatz, der auf die automatisierte Analyse und Aufbereitung der Prozesse aus einer Menge vergangener (tatsächlicher) Behandlungen ausgerichtet ist. In realistischen Einsatzszenarien konnten bislang aber noch keine zufriedenstellenden Ergebnisse erzeugt werden, da die bereits beschriebene Praxisvariabilität zu einer Überanpassung der Modelle führte. [YS14] Der Ansatz ist dennoch geeignet, um (gleichartige) Ausführungen der Pfade in unterschiedlichen Organisationen³² zu untersuchen oder einen Abgleich der tatsächlichen Ausführung der Prozesse gegenüber einem vorgegebenen Soll-Prozess vorzunehmen.

³² So vergleichen z. B. Mans et al. [Man⁺08] in ihrer Arbeit die Behandlung von Patienten mit Schlaganfall aus unterschiedlichen Krankenhäusern anhand der generierten Behandlungsverläufe.

- In der Vergangenheit wurden die klinischen Leitlinien zumeist in unstrukturierter Textform erfasst, wodurch die Anpassung an die individuelle Situation im Krankenhaus weiteren Hürden unterliegt. [Ohn⁺98] Um die Überführung in klinische Behandlungspfade und den Austausch zwischen verschiedenen Institutionen zu erleichtern, wurden seit Ende der 1990er-Jahre vereinheitlichende Notationen entwickelt, die eine systematische Aufbereitung der Leitlinieninformationen ermöglichen. Mittlerweile findet sich eine Vielzahl konkurrierender Notationen, die z. B. einen regelbasierten (Arden Syntax), logikbasierten (PROforma), netzwerkbasierten (PRODIGY) oder vorgangsbasierten Ansatz (GUIDE) verfolgen. Durch die Entwicklung sogenannter Guideline Execution Engines (GLEE) wird nun die direkte Ausführung der Leitlinien ermöglicht. Entsprechende Untersuchungen finden sich z. B. bei Wand et al. [Wan⁺04], Tu et al. [Tu⁺07] und De Backere et al. [Bac⁺12]. Eine Anpassung an die individuelle Situation im einzelnen Krankenhaus wird durch die vorgefundenen Ansätze allerdings noch nicht ermöglicht, sodass (berechtigte) Zweifel hinsichtlich der Akzeptanz des medizinischen Personals bestehen. Zudem konzentrieren sich die Ansätze vorrangig auf die Erfassung des medizinischen Vorgehens. Somit bleiben die ökonomischen Fragestellungen weiterhin unbeantwortet.

Die Modellierung klinischer Behandlungspfade steht somit im Spannungsfeld zwischen automatischer Generierung und subjektiver Modellierung der Prozesse. Hierbei beschränken sich die vorliegenden Ansätze aber zumeist auf ein einzelnes Krankheitsbild, sodass bislang noch keine belastbaren Erkenntnisse in Bezug auf eine funktionenübergreifende Prozesslandschaft vorliegen, mit denen die Wechselwirkungen der Prozesse bzw. Prozessinstanzen beschrieben werden können.

3.2.2. Alternative Ansätze zur Modellierung klinischer Behandlungspfade

Die Ansätze zur Modellierung klinischer Behandlungspfade standen relativ lange in der Tradition von Zander, Bower und Etheredge (vgl. Kap. 2.4.1) und orientierten sich an betriebswirtschaftlichen Methoden. Dabei wurden vor allem Techniken aus dem Bereich der Netzplantechnik (z. B. Gantt- oder PERT-Diagramme) auf die Anwendungsdomäne übertragen. Sie ermöglichen eine klare Strukturierung der Vorgangsbeziehungen und dienen der Ermittlung eines kritischen Pfads sowie der zugehörigen Behandlungskosten. [CC98] Im praktischen Einsatz scheiterten sie aber oftmals an den besonderen Anforderungen zur Abbildung von Prozessalternativen³³ und der notwendigen Strukturierung über die Grenzen des einzelnen Behandlungspfads hinaus. Daher werden diese Ansätze heutzutage deutlich seltener verwendet.

³³ So führt z. B. Neuhaus [Neu08] in ihrer Arbeit aus, dass sich alternative Ausführungsvarianten nicht innerhalb eines einzelnen Gantt Charts darstellen lassen.

In der Literatur werden nun verschiedene methodische Ansätze untersucht, mit denen sich eine Überführung des medizinischen Wissens vornehmen lässt:

- In der Arbeit von González-Ferrer et al. [Gon⁺13] wird die automatisierte Ableitung von Gantt-Diagrammen aus (maschinenlesbaren) Leitlinien beschrieben. Die Diagramme dienen dabei nur der grafischen Aufbereitung der Behandlungsprozesse. Dieser Ansatz ermöglicht eine multi-perspektivische Betrachtung der klinischen Behandlungspfade. Die Arbeit konzentriert sich aber auf das medizinische Vorgehen und bietet sowohl in Bezug auf ökonomische Fragestellungen als auch auf die gemeinschaftliche Betrachtung der verschiedenen Krankheitsbilder innerhalb eines Krankenhauses keinerlei weiterführende Abstraktionen.
- Um die Akzeptanz durch das medizinische Personal zu erhöhen, beschreiben Heise et al. [Hei⁺10] in ihrer Arbeit die Entwicklung einer eigenständigen Modellierungsnotation, in der domänenspezifische Notationselemente (z. B. die Bereitstellung eines eigenständigen Prozesstyps zur Abbildung therapeutischer Prozesse) verankert wurden. Die verschiedenen Aktivitäten sind hier insbesondere durch dedizierte Attribute (z. B. die Hinterlegung von Diagnose-, Operations- und Prozedurschlüsseln) auf den Einsatz in der Anwendungsdomäne ausgerichtet. Ein solcher Ansatz fördert vorrangig die Vereinheitlichung der Behandlungen, da durch die Erstellung eines durchgängigen Metamodells standardisierte (Teil-)Prozesse entstehen, die für verschiedene Krankheitsbilder herangezogen werden können. Durch die Entwicklung der proprietären Notation steigen allerdings auch die Aufwände für die Erstellung und Wartung der Prozesse bzw. deren letztliche Umsetzung stark an. Zudem führen die Autoren aus, dass die Betrachtung (wiederum) auf die Beschreibung des medizinischen Vorgehens abzielt und ökonomische Fragestellungen explizit vernachlässigt wurden.
- Einen gänzlich anderen Ansatz untersuchen hingegen Sarshar und Loos [SL05]. Sie nutzen gefärbte Petri-Netze zur Modellierung der klinischen Behandlungspfade. Mit solchen formalen Methoden kann eine automatische Analyse und Verifikation der Prozesse mit Hilfe mathematischer Beweise durchgeführt werden. Dadurch lassen sich entsprechende Invarianten im Prozessablauf identifizieren, die beim Einsatz weniger formalisierter Methoden eventuell verborgen bleiben. Ein wesentlicher Nachteil dieses Ansatzes ist allerdings der wenig intuitive Zugang zur Modellierung für Anwender ohne tiefgreifendes informatisches Wissen, der eine weitere Verbreitung dieses Ansatzes (auch außerhalb der Krankenhausdomäne) massiv behindert. [GR99]

- Im Rahmen ihrer Dissertation hat Eisentraut eine Klassenbibliothek zur Modellierung von medizinischen Prozessen auf Grundlage der Unified Modeling Language (UML) konzipiert. [Eis10] Das entstandene (Meta-)Modell bietet dabei einen ontologischen Rahmen zur Abbildung der Aufbau- und Ablauforganisation eines Krankenhauses, in den die klinischen Behandlungspfade eingebettet werden können. Allerdings bleiben die Fragen zur Operationalisierung der Prozesse weitestgehend unbeantwortet.

Die verschiedenen Ansätze unterscheiden sich somit in Bezug auf Anspruch, Fokus und Formalisierungsgrad deutlich voneinander. Sie reichen letztlich von proprietären Ansätzen bis hin zum Einsatz formalisierter Notationen. Bislang fehlt ein einheitliches (Meta-)Modell, das einen entsprechenden Austausch der Methodik erlauben würde.

3.2.3. Bestehende Ansätze zur Simulation in der Krankenhausdomäne

Aufgrund der inhärenten Komplexität bieten sich Simulationsansätze für die Untersuchung der Anwendungsdomäne besonders an. In der Vergangenheit wurden dabei vorrangig diskrete, ereignisorientierte Modelle zur Untersuchung punktueller Fragestellungen genutzt. So beschreiben z. B. Jun, Jacobson und Swisher [JJS99] die Untersuchung des Patientenflusses (z. B. für die Patientenaufnahme oder die Terminvereinbarungen) und der Kapazitätsplanung in Bezug auf Betten, Geräte und (medizinisches) Personal als wesentliche Anwendungsfälle. In der jüngeren Vergangenheit erweitern sich diese Ansätze um zusätzliche Modellierungsparadigmen und ganzheitliche Fragestellungen, die auf eine vollständigere Erfassung des zugrunde liegenden Systems abzielen:

- Am Markt finden sich mittlerweile verschiedene integrierte Lösungen zur Aufbereitung der klinischen Behandlungspfade, die auch explizit eine simulierte Ausführung der Pfade anbieten. So stellen z. B. Orbis, medico/s, Clinic Center und Carestation bereits entsprechende Simulationsfunktionalitäten bereit. Diese beschränken sich allerdings zumeist auf die visuelle Veranschaulichung der modellierten Prozesse und sind daher nur eingeschränkt geeignet, um belastbare Aussagen über die gesamtheitlichen Prozesse im Krankenhaus zu generieren.
- Durch den Einsatz (multi-)agentenbasierter Modelle verschiebt sich der Fokus zugunsten der individuellen Akteure und die Erfassung der Prozesse aus der Sicht des einzelnen Patienten bzw. Mitarbeiters im Krankenhaus wird ermöglicht. Die Einbeziehung räumlicher Modelle erlaubt dabei eine realistischere Bestimmung der Wegezeiten innerhalb des Krankenhauses. Entsprechende Untersuchungen finden sich z. B. bei Hotchkiss et al. [Hot⁺05] oder Laskowski und Mukhi [LM09].

Mit den verschiedenen Simulationsstudien bietet sich ein reichhaltiger Fundus an Konfigurationen, (Teil-)Modellen und Simulationsergebnissen, die letztlich zur validen Abbildung eines Krankenhauses beitragen können.

4. Entwicklung klinischer Behandlungspfade mit den Mitteln der Geschäftsprozessmodellierung

Für die Entwicklung und Nutzung eines klinischen Behandlungspfads muss das allgemein anerkannte Wissen einer medizinischen Leitlinie (bei Berücksichtigung der individuellen Situation des einzelnen Krankenhauses) einem Formalisierungsprozess unterzogen werden. Dabei wird unter Anwendung einer Modellierungsnotation ein (mehr oder minder) formalisierter Prozess erstellt. Wie bereits im vorangegangenen Kapitel kritisch dargelegt, konzentrieren sich die derzeitigen Ansätze vorrangig auf die Erfassung der medizinischen Aspekte eines einzelnen Krankheitsbilds.

Mit der Geschäftsprozessmodellierung können hier supplementäre Effekte realisiert werden, denn diese Notationen erlauben bereits die Erfassung von Kosten und Vorgangszeiträumen, die sich später für eine Analyse unter Effizienzgesichtspunkten nutzen lassen. Dies liefert einen signifikanten Beitrag zum Erreichen übergeordneter Zielsetzungen des Krankenhauses für die zugleich preisgünstige sowie auch effiziente Erbringung von Behandlungsleistungen. Darüber hinaus statten die Notationen das Krankenhaus mit sinnvollen Methoden aus, um dem Wandel im Gesundheitswesen angemessen begegnen zu können.

Im Formalisierungsprozess muss allerdings sichergestellt werden, dass die entstandenen klinischen Behandlungspfade aus medizinischer Sicht äquivalent zur Leitlinie zu sein haben. Das inhärente Vorgehen unterscheidet sich aber durchaus vom typischen Prozedere in anderen Anwendungsdomänen, sodass hier eine detaillierte Analyse vonnöten ist.

In diesem Kapitel werden daher Kriterien hergeleitet, die zur Bewertung bestehender Notationen im Bereich der Geschäftsprozessmodellierung genutzt werden, um schließlich einen geeigneten Kandidaten für die Umsetzung klinischer Behandlungspfade auszuwählen. Die zugrunde liegenden Bewertungskriterien verbinden dabei die Vorgaben aus der Medizin mit dem etablierten Vorgehen aus dem Bereich der Softwareentwicklung und bilden so den notwendigen konzeptuellen Rahmen für die Integration klinischer Behandlungspfade mit der Geschäftsprozessmodellierung.

Im folgenden Unterkapitel 4.1 werden zunächst die untersuchten Notationen kompakt dargestellt. Anschließend werden im Unterkapitel 4.2 die Bewertungskriterien anhand der Vorgaben aus der Anwendungsdomäne hergeleitet und mit entsprechenden Beispielen verdeutlicht. Die Bewertung der Notationen entlang dieser Kriterien folgt dann im Unterkapitel 4.3, bevor das Kapitel mit der Zusammenfassung der Studie und der letztlichen Auswahl einer Modellierungsnotation für den weiteren Verlauf dieser Arbeit im Unterkapitel 4.4 endet.

4.1. Vorstellung der untersuchten Notationen

In den letzten beiden Jahrzehnten wurde eine Vielzahl von Modellierungsansätzen und -notationen zur systematischen Erfassung von Geschäftsprozessen entwickelt (vgl. Abb. 16). Mit den ereignisgesteuerten Prozessketten, der Business Process Modeling Notation und der Business Process Execution Language haben sich inzwischen drei Standards³⁴ etabliert, die auch eine weitere Verbreitung im praktischen Einsatz erreichen konnten. Neben diesen Standards wurden drei weitere Notationen untersucht, die bereits für die Modellierung von Prozessen in Krankenhäusern genutzt wurden.³⁵

- **Ereignisgesteuerte Prozessketten**

In Europa zählen die 1992 entstandenen ereignisgesteuerten Prozessketten (EPK) von IDS Scheer zu einem der am weitesten verbreiteten Ansätze der Geschäftsprozessmodellierung. Sie wurden im Rahmen der sog. Architektur integrierter Informationssysteme (ARIS) zur sichtenorientierten Modellierung von Geschäftsprozessen entwickelt. Grundsätzlich leiten sich die Modelle von Petri-Netzen ab und können deshalb als eine spezielle Variante der Bedingungs-Ereignisnetze verstanden werden, die eine Anzahl dedizierter Verknüpfungsoperatoren besitzt. Seit ihrer Einführung erfuhren die EPK verschiedene Erweiterungen, wobei das bekannteste Beispiel hierfür die sog. erweiterten ereignisgesteuerten Prozessketten (eEPK) darstellen. [Sch01] Diese Erweiterung ermöglicht eine Modellierung des „Geschäftsprozesses im Ganzen“ [Gad12] im Rahmen der sog. Steuerungssicht und integriert dabei entsprechende Elemente zur Organisations-, Daten- und Leistungsmodellierung. [Sei06]

- **Business Process Modeling Notation**

Die Business Process Modeling Notation (BPMN) wurde 2002 von der Business Process Management Initiative (BPMI) entwickelt. Mit der BPMN sollte eine intuitive Notation geschaffen werden, die es allen Beteiligten im Kontext der Geschäftsprozessmodellierung ermöglicht, ihre Prozesse darzustellen und zu nutzen. Hierfür wurde der Schwerpunkt auf eine grafische Repräsentation der Geschäftsvorfälle gelegt. [Whi04] Dies soll das intuitive Verständnis von Interaktionen und Geschäftshandlungen zwischen den beteiligten Organisationen bzw. Akteuren ermöglichen. Das so erlangte Verständnis komplexer Abläufe fördert wiederum die Kommunikation sowohl zwischen den beteiligten Unternehmen als auch innerhalb des eigenen Unternehmens.

³⁴ Teilweise wird hierbei auch noch die XML-Process Definition Language (XPDL) als eigenständiger Standard aufgeführt. Da allerdings eine bidirektionale Überführung zwischen den Modellen der XPDL und der BPMN möglich ist, beschränkt sich die weitere Betrachtung ausschließlich auf die Letztere. [Bar09]

³⁵ Die Auswahl basiert dabei auf den Ausführungen von Reichert [Rei00], Langman et al. [Lan⁺09] sowie Heise et al. [Hei⁺10].

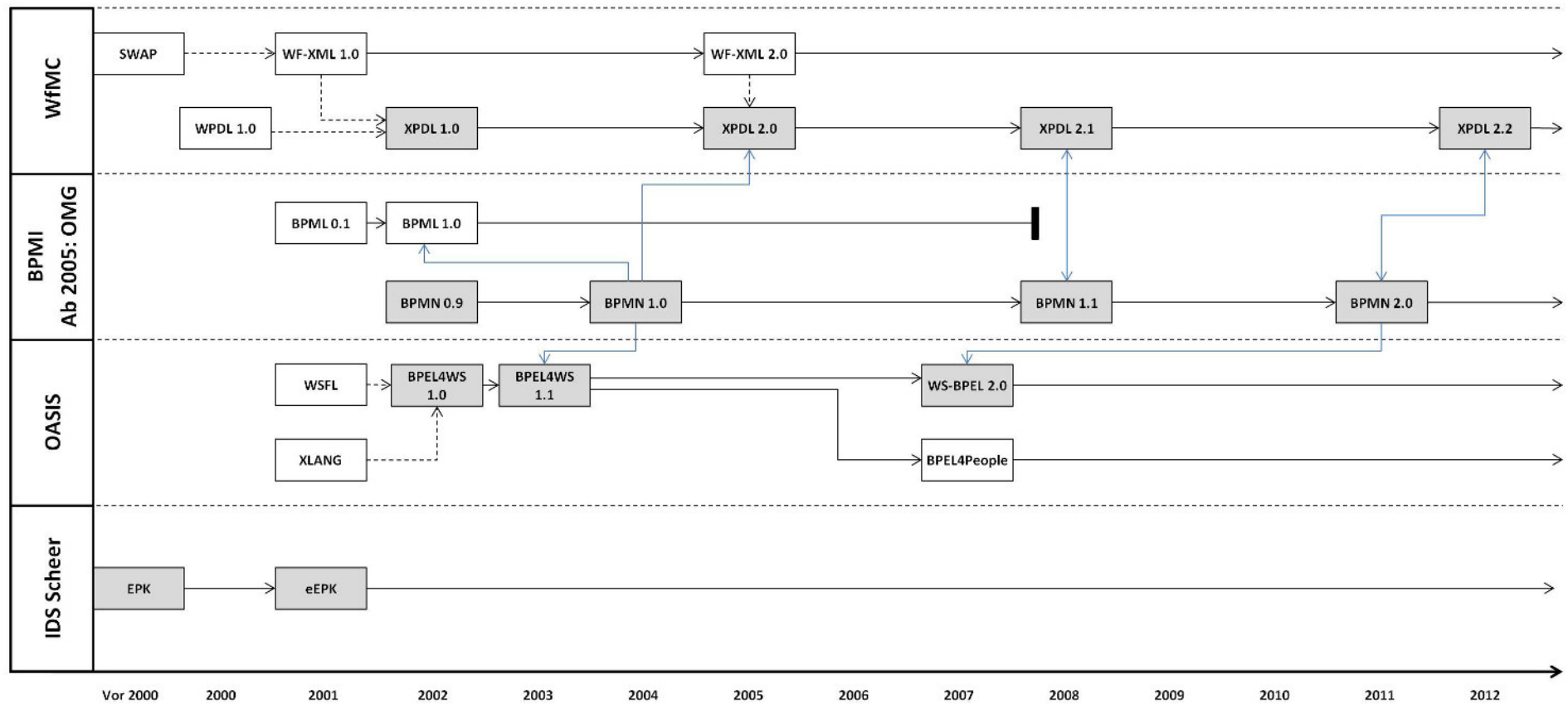


Abb. 16: Zeitliche Entwicklung der Standard-Modellierungsnotationen für die Geschäftsprozessmodellierung

- **Business Process Execution Language**

Die Business Process Execution Language (BPEL) ist eine XML-basierte Notation zur Beschreibung von Geschäftsprozessen, deren einzelne Aktivitäten durch Webservices³⁶ implementiert werden. Die im Jahr 2002 von IBM, BEA Systems und Microsoft vorgestellte Notation wird dabei zur Beschreibung von Webserviceorchestrierungen verwendet, womit die gemeinschaftliche Ausführung der Webservices beschrieben und gesteuert werden kann (indem z. B. die Reihenfolge des Nachrichtenaustauschs zwischen den Anwendungen festgelegt wird). Die Beschreibung wird dabei in selbstreferenzierter Form bereitgestellt und kann somit wiederum in einen eigenständigen Webservice ausgelagert werden. Mit der sog. WS-BPEL Extension for People (BPEL4People) wurde zudem eine Erweiterung für eine standardisierte Interaktion von Webservices mit manuellen Aufgaben spezifiziert, womit sich auch nicht-automatisierte Geschäftsprozesse hinreichend beschreiben lassen.

- **jBPM Process Definition Language**

Die jBPM Process Definition Language (jPDL) wurde 2004 von JBoss entwickelt und versucht die inhärenten Vorteile der BPMN und der BPEL zu kombinieren, indem die Modellierung wiederum auf einer XML-basierten Notation aufsetzt, die sich aber dicht an der Abbildung von gerichteten Graphen orientiert. [Cum07] Dabei können die grafische Darstellung und das eigentliche Prozessmodell beliebig substituiert werden. Die Beschreibung der Funktionen und Knoten ist eng an die objektorientierte Programmierung mit Java angelehnt und orientiert sich an typischen Mustern, wie z. B. der strukturierten Ausnahmebehandlung mit Exceptions. Im Vergleich zur BPMN können die Kontrollflussmechanismen individuell erweitert werden und bieten somit vielfältige Formen der Unterstützung sowohl für synchrone als auch für asynchrone Prozesskommunikation.

- **Adonis**

Adonis wurde 1995 von der BOC Information Technologies Consulting GmbH in Zusammenarbeit mit der Universität Wien entwickelt und basiert auf dem sog. BPMS-Paradigma³⁷. Dieser Ansatz unterstellt, dass ein Unternehmen durch seine Produkte, Geschäftsprozesse, Organisationseinheiten und Informationstechnologie charakterisiert wird. [Sar⁺05] Daher werden diese Elemente auch während der Modellierung und Optimierung gemeinschaftlich betrachtet. Adonis arbeitet dabei auf verschiedenen Graphenmodellen, die untereinander vernetzt werden können. Die Modelle zur

³⁶ Webservices sind eine Software-Technologie zur Unterstützung der Integration von Anwendungen. Ihre Software-Komponenten können durch die Verwendung von Schnittstellen auf standardisierte Weise als Dienste in verteilten Applikationen zur Verfügung gestellt werden. [Gab15]

³⁷ Die Abkürzung BPMS steht für *Business Process Modelling Systems* und wurde von Karagiannis, Junginger und Strobl [KJS96] eingeführt. Mit diesem Ansatz sollen künftige Adaption der Prozesse antizipiert und bereits frühzeitig durch eine entsprechende Verteilung der Modelle in dedizierten Rahmenwerken berücksichtigt werden.

Beschreibung der Geschäftsprozesse werden hierfür mit entsprechenden Elementen bzw. Verweisen auf die verfügbaren Dokumente, Produkte und IT-Systeme im Unternehmen angereichert.

- **Bonapart**

Bonapart wurde 1992 von der UBIS GmbH entwickelt. Die Notation orientiert sich an der Kommunikationsstrukturanalyse (KSA), wie Krallmann sie Mitte der 1980er-Jahre an der Technischen Universität Berlin entwickelte. Die KSA unterstützt die in einem (prozessorientierten) Systemmodell abgebildete Reorganisation der bestehenden Informations- und Kommunikationsstrukturen. [Nic01] Hierfür werden die Aufgaben, Stellen, Informationen und Informationsflüsse innerhalb des Unternehmens erfasst und analysiert. [KFG02] Bonapart verfeinert diese Vorgehensweise durch die Berücksichtigung des objektorientierten Ansatzes. Die entstandenen Modelle enthalten daher Referenzen auf Objektbibliotheken, in denen weiterführende Informationen (wie z. B. Kosten- und Zeitprofile) an den einzelnen Objekten hinterlegt werden können. [KW98]

4.2. Identifikation geeigneter Bewertungskriterien

Die Erfassung von klinischen Behandlungspfaden mit den Mitteln der Geschäftsprozessmodellierung kann eine entsprechende Akzeptanz im Krankenhaus nur dann erreichen, wenn die Notation eine geeignete Methodik bereitstellt, die den Entwickler bzw. Anwender bei der Erstellung, Nutzung und Wartung seiner Modelle nachhaltig unterstützt. [Wil08] Der Prozess der Modellierung und der Umsetzung in ausführbare Programme muss unter Wahrung von Qualitäts-, Kosten- und Zeitaspekten begleitet werden. Dabei sind diverse allgemeine Kriterien, wie z. B. Korrektheit, Robustheit oder Benutzerfreundlichkeit zu berücksichtigen, die für die allgemeine Modell- und Softwarequalität von Bedeutung sind.

In der Vergangenheit wurde schon eine Vielzahl solcher Vergleiche zwischen den verschiedenen Notationen durchgeführt. Entsprechende Studien finden sich z. B. bei Kurczynski [Kur08], Schütze [Sch09], Kopp et al. [Kop⁺09] und Todorov [Tod13]. Letztlich besitzen alle vorgestellten Kandidaten die notwendige Reife, um den Anforderungen der Geschäftsprozessmodellierung gerecht zu werden.

Diese allgemeinen Anforderungen müssen allerdings auch unter Berücksichtigung von kontextabhängigen Anforderungen angepasst und konkretisiert werden. Koschmider, Oberweis und Schoknecht [KOS12] führen in ihrer Arbeit hierzu aus, dass derzeit noch keine hinreichende kontextabhängige Modellierung oder systematische Wiederverwendung von Geschäftsprozessmodellen stattfindet.

Kriterium	Ausprägung	Erläuterung
Korrektheit	Grad der Synchronisierung	Nebenläufige Ausführung und Synchronisation von Teilprozessen
	Vorzeitiges Verlassen eines Prozesses	Ausnahmen für Komplikationen und unerwartete Interaktionen
Wiederverwendbarkeit	Qualifikationen-Zuordnung (menschlicher) Ressourcen	Zuweisung von Aufgaben an Ressourcen anhand eines Qualifikationsprofils
	Hierarchisierung der Prozesse	Detaillierung und Konkretisierung eines (Haupt-)Prozesses durch Subprozesse zur redundanzfreien und wartungsarmen Modellierung
Übertragbarkeit	Grad der Operationalisierbarkeit	Operative Ausführbarkeit des (grafischen) Modells
	Simulations-Anbindung	Bereitstellung von Simulations-funktionalität zur Ausführung

Tabelle 2: (Domänenabhängige) Bewertungskriterien für die Geschäftsprozessnotationen

Die abgeleiteten Anforderungen der Anwendungsdomäne lassen sich dabei den folgenden drei Kriterien zuordnen:

- **Korrektheit**

Ein Modell wird als korrekt angesehen, wenn es die tatsächlichen Abläufe des Anwendungskontextes hinreichend genau widerspiegeln kann. Die Notationen müssen daher in Bezug auf ihre Syntax und Semantik über ein hinreichendes Maß an Reife und Umfang verfügen, um die komplexen Sachverhalte im Krankenhaus beschreiben zu können. Dabei ist aber gleichzeitig zu berücksichtigen, dass die (potenziellen) Anwender nicht über einen entsprechenden technischen Hintergrund verfügen, sodass hier auch die intuitive Erfassung der Modelle sichergestellt werden muss.

- **Wiederverwendbarkeit**

Die Wiederverwendbarkeit ist ein methodischer Ansatz der Softwaretechnik, der nach allgemeinen Anforderungen, Entwurfsmustern und (softwaretechnischen) Methoden sucht, mit denen die geforderte (Software-)Qualität bei gleichzeitiger Risikobewältigung hinsichtlich sich wandelnder Anforderungen bzw. eines stetigen technischen Fortschritts gewährleistet werden kann. Hierbei sind die Prozesse so zu modellieren und aufzubereiten, dass sich die (Teil-)Prozesse auch abseits ihres originären Aufgabenfelds

(wieder-)verwenden lassen. Entsprechende Ansätze sind für die Anwendungsdomäne von besonderer Bedeutung, da die inhärente Komplexität der Vorgänge im Krankenhaus erst durch eine angemessene Strukturierung, Abstraktion und Hierarchisierung beherrschbar gemacht werden kann. Dies erhöht die Übersichtlichkeit und Transparenz der Abläufe auch bei einer großen Anzahl an Bestandteilen und reduziert zugleich den Aufwand bei der Modellierung und Wartung der Prozesse.

- **Übertragbarkeit**

Die Übertragbarkeit beschreibt die automatisierte Überführung des konzeptuellen (Geschäftsprozess-)Modells in eine Ausführungsumgebung. Im Anwendungskontext besitzt die aufwandsarme Überführung der klinischen Behandlungspfade eine besondere Bedeutung, da die Krankenhäuser zumeist nur relativ kleine IT-Abteilungen besitzen, die eine komplexe Implementierung und Wartung der klinischen Behandlungspfade nicht bewerkstelligen können. [BA11] Eine entsprechende Unterstützung kann dabei den entstehenden Aufwand deutlich reduzieren, sodass eine erhöhte Akzeptanz durch das Personal zu erwarten wäre.

Die aufgeführten Bewertungskriterien setzen sich wiederum aus mehreren Ausprägungen zusammen. Auf diese einzelnen Bewertungsanforderungen wird nun detailliert eingegangen.

4.2.1. Nebenläufige Ausführung von Prozessen

Die Arbeiten in einem Krankenhaus sind stark durch parallel ausgeführte (Teil-)Prozesse geprägt. Diese können jeweils unterschiedlichen Graden der örtlichen und zeitlichen Kopplung unterliegen, die an ausgewählten Stellen zu einer sinnvollen Synchronisation der Prozesse führen muss.

- Bei einer schwachen Kopplung können die Tätigkeiten typischerweise an verschiedenen Orten und zu unterschiedlichen Zeitpunkten ausgeführt werden. Die Bearbeitung der Aufgaben unterliegt dabei keiner weiter reglementierten Reihenfolge, und es existieren keine weiterführenden Wechselwirkungen zwischen den Prozessen. Eine Zusammenführung der Prozesse findet erst nach Abschluss der Tätigkeiten statt. Typische Beispiele der Anwendungsdomäne lassen sich im Kontext des Diagnoseprozesses (vgl. Kap. 2.3) identifizieren, wenn z. B. Laboruntersuchungen parallel zu den eigentlichen Untersuchungen am Patienten durchgeführt werden können (vgl. Abb. 17).
- Bei einer starken Kopplung hingegen müssen die Tätigkeiten an ein und demselben Ort und zum selben Zeitpunkt stattfinden. Die Bearbeitung der einzelnen Aufgaben hat choreographiert zu erfolgen, indem die potenziellen Wechselwirkungen zwischen den Tätigkeiten explizit berücksichtigt werden. Im Anwendungskontext existieren solche parallelen Prozesse z. B. während einer Operation, da der eigentliche Operationseingriff, die

Anästhesie und ein begleitendes Monitoring des Patienten (vgl. Abb. 18) zeitgleich und aufeinander abgestimmt stattfinden müssen. [And08] Dabei ist insbesondere sicherzustellen, dass die Teilprozesse zum selben Zeitpunkt beginnen bzw. terminieren und mögliche Komplikationen zudem von allen Teilprozessen korrekt erfasst und verarbeitet werden.

Wie die vorangegangenen Beispiele verdeutlichen, können die Verknüpfungen zwischen den Teilprozessen vielfältige Ausprägungsformen annehmen. Die Notationen sollten den Modellierer in die Lage versetzen, das Prozessverhalten intuitiv darstellbar zu gestalten, ohne die semantische Korrektheit des Prozessablaufes zu beschränken.

4.2.2. Unterstützung der hierarchischen Modellierung der Prozesse

Im Vergleich mit vielen anderen Anwendungsgebieten der Geschäftsprozessmodellierung zeichnet sich die Krankenhausdomäne durch eine hohe Anzahl unterschiedlicher Prozesse aus, die zudem auch jeweils eine relativ hohe Komplexität erreichen können. Um dieser Komplexität zu begegnen, sollte eine Strukturierung nach logischer und örtlicher Zusammengehörigkeit der einzelnen Teilprozesse erfolgen. Diese Herangehensweise steht in direktem Einklang mit dem medizinischen Vorgehen. So führen z. B. Wicke et al. [Wic⁺04] in ihrer Arbeit aus, dass sich klinische Behandlungspfade hierarchisch und modular konzeptionieren lassen, d. h. klinische Behandlungspfade lassen sich aus einer Menge von Leistungseinheiten und Komponenten nach dem „Baukastenprinzip“ erstellen (vgl. Abb. 19).

In Anlehnung an den Prozess-Kompass von Malone et al. [Mal⁺99] lässt sich hierbei eine Strukturierung entlang einer vertikalen sowie einer horizontalen Dimension vornehmen:

- Die vertikale Dimension ermöglicht eine Verfeinerung des Prozesses in mehrere Sub-Prozesse. Diese können genutzt werden, um verschiedene Prozessalternativen darzustellen. Eine solche Hierarchisierung dient nicht nur der reinen Strukturierung der Prozesse zum Zwecke der Übersichtlichkeit, sondern unterstützt auch den (inkrementellen) Diagnoseprozess (vgl. Kap. 2.3.1). Die verschiedenen (vorläufigen) Diagnosen können dabei in den unterschiedlichen Ausprägungen eines Teilpfades aufbereitet werden. Ausgehend von dem bereits dargestellten abstrakten Krankenhausprozess (vgl. Abb. 19) kann der eingeschlagene Behandlungspfad mittels Verfeinerung bzw. Konkretisierung auf jeder weiteren Stufe detaillierter ausgeprägt werden, bis eine endgültige Diagnose und eine damit einhergehende Behandlung auf der detailliertesten Ebene festgelegt werden können. Zudem erlaubt ein solches Vorgehen eine Variation des Detaillierungsgrads auf verschiedenen Abstraktionsebenen. So können z. B. auf den gröber detaillierten Ebenen irrelevante Details durch entsprechende Abstraktion und Idealisierung verschattet werden.

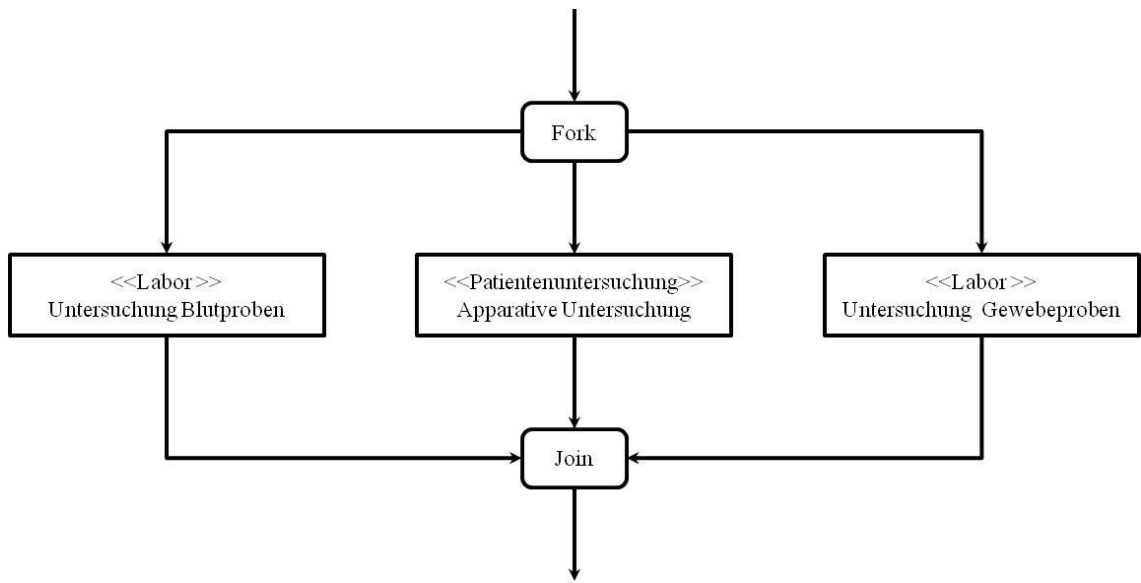


Abb. 17: Schwache Kopplung nebenläufiger Prozesse

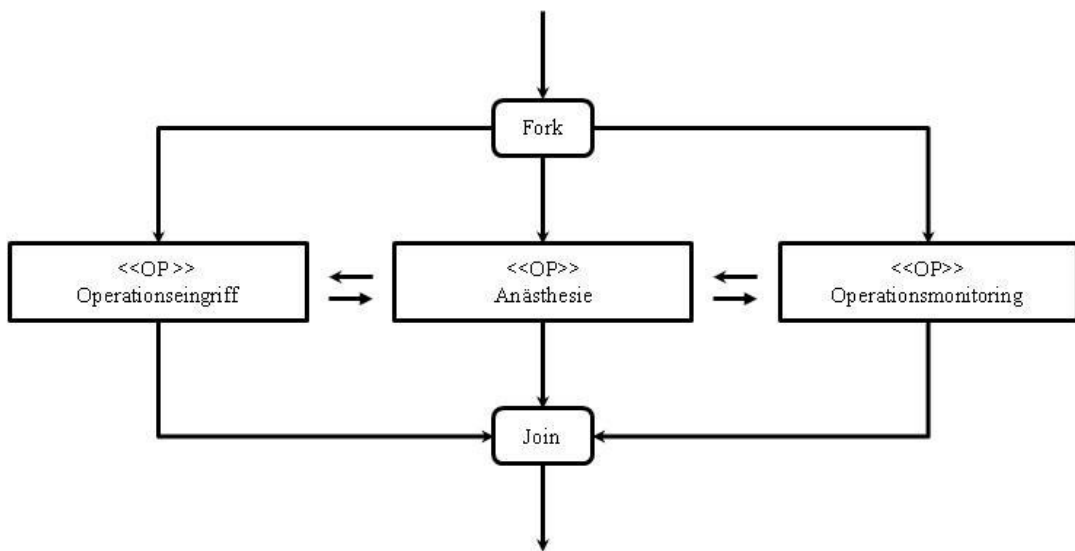


Abb. 18: Starke Kopplung nebenläufiger Prozesse

- Die horizontale Dimension beschreibt hingegen die Verwandtschaftsbeziehungen zwischen unterschiedlichen Abläufen. Während die eigentlichen klinischen Behandlungspfade im Wesentlichen einer disjunkten und streng hierarchischen Zerlegung folgen, lassen sich auf der Ebene der Komponenten und Leistungseinheiten durchaus höhere Wiederverwendungspotenziale realisieren, da diese (mehr oder minder) elementaren Abläufe in einer Vielzahl von Behandlungspfaden verwendet werden können. Die Komponenten und Leistungseinheiten müssen daher in besonderem Maße durch Generalisierungen und Spezialisierungen strukturiert werden, um eine sinnvolle Wiederverwendbarkeit zu ermöglichen.

Ein entsprechendes Beispiel im Anwendungskontext veranschaulicht der Diagnose-Prozess bei akuten Abdomina und abdominalen Schmerzen. So halten Steffen und Beckurts [SB08] fest, dass Bauchschmerzen zu den häufigsten Symptomen des klinischen Alltags gehören und ein sehr großes Spektrum an möglichen zugrunde liegenden Diagnosen mit unterschiedlichen therapeutischen Konsequenzen beinhalten (vgl. Abb. 20). Hierbei kommt der Erfassung von bestehenden Symptomen, der Krankengeschichte des Patienten (inklusive Vorerkrankungen und weiterer Patientenparameter) sowie schließlich auch der körperlichen Untersuchung eine besondere Bedeutung für die Formulierung einer Verdachtsdiagnose zu.

Erst danach findet eine weitergehende Separierung der unterschiedlichen Vorgehensweisen statt, wobei einzelne Tätigkeiten bzw. Untersuchungen durchaus gleichartig bzw. identisch verlaufen. So stellen z. B. die Erstellung eines Blutbildes oder die Erfassung der Blutsenkungsgeschwindigkeit (BSG) elementare Leistungseinheiten dar.

Die Notationen sollten den Modellierer bei der Strukturierung seiner Prozesslandschaften unterstützen, um so den Entwicklungs- und Wartungsaufwand merklich zu senken. Daher sind geeignete Elemente oder Muster in der Notation zu hinterlegen, mit denen sich wiederholende Abhängigkeiten abgebildet werden können.

4.2.3. Vorzeitiges Verlassen eines Prozesses

Vorherrschend in der Kritik der Mediziner am Einsatz klinischer Behandlungspfade sind die Bedenken, ihre professionelle Entscheidungsfreiheit könne eingeschränkt werden. [GH09] Klinische Behandlungspfade stellen aber in ihrer Grundkonzeption gerade keine „Kochbuchmedizin“ dar. Vielmehr sollen sie „unbegründbare Unterschiede“ bei der Behandlung der verschiedenen Patienten vermeiden. [KR07] Der Arzt besitzt auch weiterhin die Möglichkeit, einen klinischen Behandlungspfad zu verlassen, wenn ihm entsprechende Indikationen vorliegen. Dafür lassen sich im Wesentlichen zwei Ursachen voneinander abgrenzen:

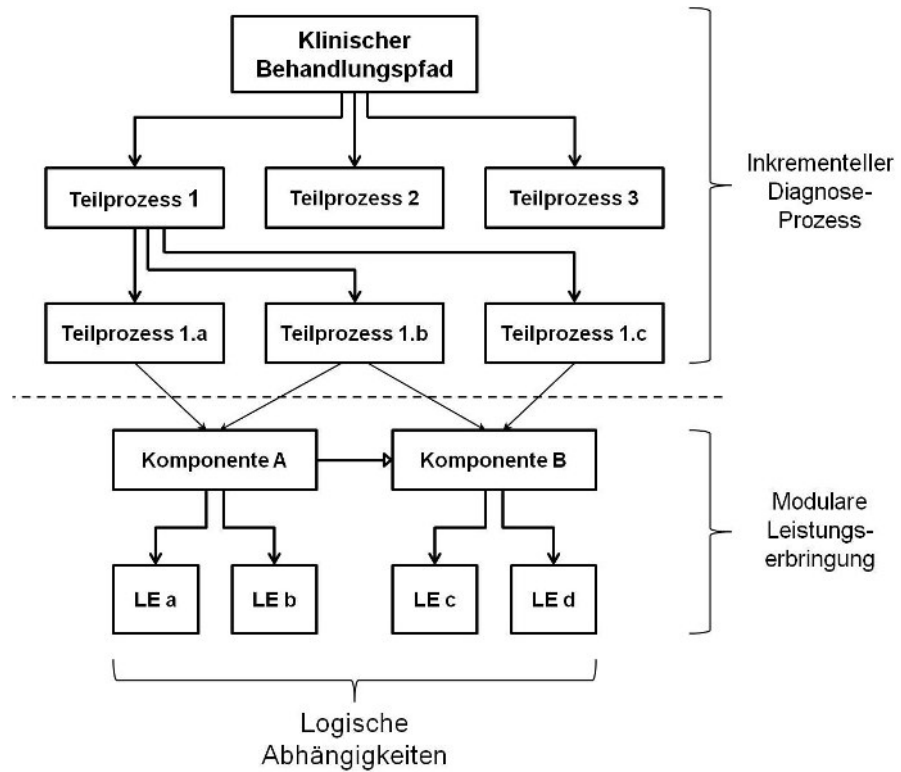


Abb. 19: Hierarchische Modellierung der klinischen Behandlungspfade

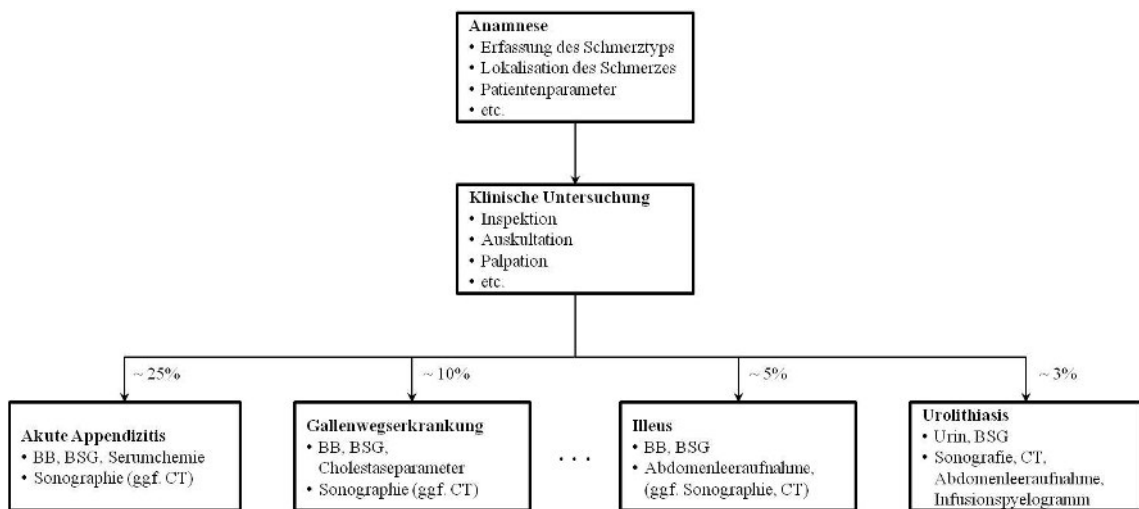


Abb. 20: Diagnose-Prozess bei akuten Abdomen und abdominalen Schmerzen nach [SB08]

- Bei Komplikationen, also bei Interaktionen, die vom Modell nicht vorhergesehen sind, wie z. B. Multimorbiditäten älterer oder Risikopatienten, bei denen die Behandlungspfade miteinander im Widerspruch stehen, ist eine Abweichung vom derzeit gewählten Pfad durchaus legitim und erforderlich. [Enc08]
- Nach der Durchführung von Bestätigungsuntersuchungen (vgl. Abb. 9) müssen die bisherige Verdachtsdiagnose verworfen und weitere Maßnahmen der Diagnostik bzw. Therapie eingeleitet werden. [VZH12]

In der medizinischen Literatur finden sich zwar zahlreiche Arbeiten, die die Bedeutung dieses Vorgehens belegen. Verlässliche und belastbare Zahlen für die Eintrittswahrscheinlichkeit einer Komplikation oder die Verurteilungswahrscheinlichkeit einer Verdachtsdiagnose sind allerdings nur schwer zu identifizieren, sodass die direkte Integration dieser Wechsel zwischen den klinischen Behandlungspfaden nicht besonders zielführend ist.³⁸

Bei Eintritt einer dieser beiden Ausnahmen existieren prinzipiell zwei Alternativen zur Fortführung der Behandlung: Entweder führt der Arzt eine individuelle Behandlung des Patienten durch, oder er setzt in einem anderen Behandlungspfad auf. Im ersten Fall liegen keine modellierbaren Behandlungspfade mehr vor, und entsprechend lassen sich auch keine Anforderungen für eine potenzielle Modellierungsnotation ableiten. Im zweiten Fall sollten bereits gewonnene Erkenntnisse aus dem abgebrochenen Behandlungspfad nach Möglichkeit übernommen werden. Hiermit lassen sich dann unnötige zeitintensive oder gar schädliche Wiederholungen von Aktivitäten vermeiden.

Das Aufsetzen im neu gewählten Behandlungspfad muss dabei an geeigneter Stelle erfolgen. Hier lassen sich zwei potenzielle Ansätze voneinander abgrenzen:

- Der Prozess wird solange virtuell ausgeführt, wie sich die Anforderungen bzw. Ergebnisse der beschreibenden Aktivitäten durch bereits vorliegende bzw. derzeit gültige Informationen darstellen lassen. Zeitintensive Elemente können dabei einfach übersprungen werden.
- Die geeignete Stelle wird individuell anhand einer Wissensbasis ermittelt. Hier ist allerdings kritisch anzumerken, dass aufgrund ihres notwendigen Umfangs die Erstellung einer solchen Wissensbasis schwer zu beherrschen und sie selbst zudem nicht leicht zu warten wäre.

³⁸ Empirische Daten zur Eintrittswahrscheinlichkeit einer Komplikation finden sich z. B. für Koronarsynndrome mit einer Wahrscheinlichkeit von ca. 3 % [Kir12] oder für Hüft-Endoprothetik mit ca. 9 % [SHW10]. Belegbare Zahlen über eine erforderliche Anpassung der (Verdachts-)Diagnose liegen z. B. für den Verdacht auf Appendizitis bei ca. 50% der eingelieferten Fälle [Sul05]. Neben der eigentlichen Krankheit stellen aber auch die vorliegende Patientenstruktur und die eingesetzten Diagnose- und Therapieverfahren wesentliche Einflussfaktoren dar. Eine unreflektierte Verallgemeinerung dieser Zahlen sollte daher nicht vorgenommen werden. Die Angaben über die Wahrscheinlichkeiten sind immer an die individuelle Situation im Krankenhaus anzupassen.

Die sozio-technische Umsetzung der klinischen Behandlungspfade darf somit auch nicht auf einer Fortsetzung des Pfads beharren, wenn dies nicht im Interesse des Patienten und/oder des behandelnden Arztes liegt. Die Modellierungsnotationen müssen daher eine vorzeitige Terminierung des derzeitigen Behandlungspfades explizit ermöglichen und entsprechende Techniken und Elemente für die Ausnahmebehandlung zur Verfügung stellen. [AK10] Im Idealfall können bereits die Ursachen der Ausnahme zu Dokumentationszwecken automatisiert erfasst und gespeichert werden.

4.2.4. Nutzung von Qualifikationen für (menschliche) Ressourcen

Die Aktivitäten im Bereich der Diagnostik und Therapie bringen die interdisziplinären und integrierten Beziehungen im Gesundheitswesen zum Ausdruck. [And07] Aufgrund der begrenzten personellen und technischen Ausstattung der Krankenhäuser müssen sich die klinischen Behandlungspfade dabei zumeist knappe Ressourcen teilen. Der Zuordnung geeigneter Personen zur Abarbeitung der verschiedenen Aktivitäten innerhalb eines klinischen Behandlungspfades kommt somit eine besondere Bedeutung zu.

Häufig werden diese heterogenen Aktivitäten über Leitungsbefugnisse gesteuert. Die kompetente Abarbeitung der Aufgaben kann von unterschiedlichen Personen durchgeführt werden, sofern diese die Qualifikationsanforderungen erfüllen (vgl. Kap. 2.3.2).

Ein veranschaulichendes Beispiel aus dem Anwendungskontext bietet die Entnahme einer Blutprobe. Nach der derzeitigen Rechtsgrundlage³⁹ kann die Entnahme der Blutprobe nicht nur vom ärztlichen Personal durchgeführt, sondern auch dem nichtärztlichen Personal übertragen werden, wenn entsprechende Qualifikationen nachgewiesen wurden. [AK10]

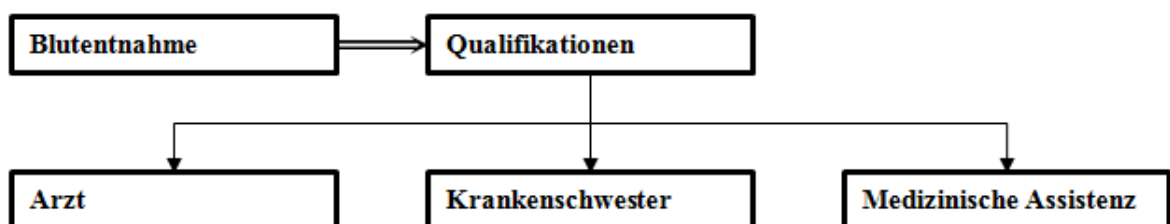


Abb. 21: Qualifikationskonzept für die Durchführung einer Blutentnahme

Bei der Modellierung der klinischen Behandlungspfade müssen somit die benötigten Qualifikationen direkt an verschiedenen Aktivitäten hinterlegt werden. Zugleich ist eine geeignete Zusammenfassung der (menschlichen) Ressourcen sicherzustellen, die eine dynamische Gruppierung der Ressourcen entsprechend der notwendigen Qualifikationen ermöglicht.

³⁹ Vgl. die Ausführungen der Bundesärztekammer und der Kassenärztlichen Bundesvereinigung (KBV) in [BKB08].

4.2.5. Grad der Operationalisierbarkeit

Eine statische Analyse der konzeptuellen Modelle besitzt nur eine beschränkte Vorhersagekraft zum Verhalten der Geschäftsprozesse beim realen Einsatz. Erst durch die tatsächliche Ausführung können komplexe Wechselwirkungen zwischen den Prozessinstanzen identifiziert und quantifiziert werden (vgl. Kap 2.1.3).

Die Operationalisierbarkeit einer Notation wird allgemein daran bemessen, ob die entstandenen Modelle überhaupt in eine ausführbare Form überführt werden können; die entstandenen Programme müssen demnach sowohl in Bezug auf ihre Syntax als auch auf ihre Semantik korrekt sein. Zudem sollte eine weiterreichende Integration mit bestehenden Komponenten oder Systemen in der Anwendungslandschaft gewährleistet werden.

Nach Möglichkeit sollten die Notationen daher bereits eine Integration in eine modellgetriebene Softwareentwicklung besitzen, denn hiermit wird eine automatisierte Überführung der (grafischen) Modelle in einen ausführbaren Quellcode gefördert. Dadurch können die eigentliche Entwicklungsdauer merklich reduziert und die angestrebte Software-Qualität gesteigert werden. [Sta⁺06] Es ist hier von besonderer Bedeutung, dass die Notation selbst über eine weitestgehend eindeutige Syntax und Semantik ihrer Ausdrücke verfügt. [HR04]

4.2.6. Simulations-Anbindung

Die Ausführung des Modells in einem simulierten Kontext geht über die rein praktische Ausführung im Tagesgeschäft hinaus. So können alternative Behandlungsstrategien und andere Ressourcen-Allokationen untersucht werden, ohne hierdurch das Tagesgeschäft negativ zu beeinflussen.

Idealerweise unterstützen die Notationen bereits passende Erweiterungen für eine simulierte Ausführung, wie z. B. die Berücksichtigung von Verteilungsfunktionen, Wahrscheinlichkeiten für die Auswahl einer Transition bei einer Verzweigung des Prozesses, die Dauer der Aktivitäten oder die Generierung von Ereignissen.

4.3. Auswertung

Nach der Vorstellung der Kriterien erfolgt nun eine Darstellung der Bewertung der ausgewählten Modellierungsnotationen, wobei das Vorgehen der ausgewählten Kandidaten dargestellt und die individuellen Vor- und Nachteile der verschiedenen Herangehensweisen charakterisiert werden.

4.3.1. Umsetzung der Synchronisierung

Die Steuerung des Kontrollflusses bei der Aufteilung und Zusammenführung in unterschiedlichen Teilprozessen erfolgt prinzipiell in den entsprechenden Verknüpfungsoperatoren der Notationen. Bei

einer abstrakten Betrachtung lässt sich zusammenfassend feststellen, dass sämtliche möglichen Aufteilungen und Zusammenführungen auf Grundlage eines Logikkalküls im Verständnis der Mathematik bzw. der formalen Logik im weiteren Sinne ausgedrückt werden können. Die möglichen Ausdrücke lassen sich prinzipiell durch eine Verkettung elementarer Aussagen mittels Negation, Konjunktion und (nicht-ausschließender) Disjunktion erzeugen.

Alle untersuchten Notationen sind dabei in der Lage, ein solches Logikkalkül zu realisieren, da sie zumindest die logischen Operatoren zur Darstellung der Konjunktion und Disjunktion bereitstellen (im weiteren Verlauf der Arbeit auch als „AND“ bzw. „OR“ bezeichnet). Darüber hinaus bieten die Notationen zumeist zusätzliche Operatoren, mit denen komplexere logische Ausdrücke gekapselt werden können. Durch die Nutzung dieser erweiterten Syntax lässt sich insbesondere die Übersichtlichkeit der Modelle weiter steigern.

Die Notationen variieren somit zumeist in der Anzahl der bereitgestellten Operatoren sowie der hinterlegten semantischen Ausprägung. So orientieren sich die ereignisgesteuerten Prozessketten und Adonis sehr dicht am eigentlichen Logikkalkül und bieten nur noch einen weiteren Operator für die Kontravalenz. Diese werden in den Notationen (und im weiteren Verlauf dieser Arbeit) als „XOR“ bezeichnet.

In der BPEL lassen sich unterschiedliche (Sub-)Prozesse mittels einer sog. Flow-Aktivität anstoßen, d. h. die inkludierten Prozesse werden parallel ausgeführt, sobald die Flow-Aktivität ausgelöst wurde. Die weiteren Wechselwirkungen können mit sog. Links beschrieben werden. Zur Synchronisierung des Verhaltens sind hingegen Join-Bedingungen zu hinterlegen, wobei die Evaluation auf Grundlage komplexer Ausdrücke geschieht.

Die jPDL verfolgt auf den ersten Blick einen ähnlichen Ansatz, denn in der Spezifikation werden mit „FORK“, „DECISION“ und „JOIN“ nur drei grundlegende Operatoren definiert. Allerdings bieten diese eine weitergehende Anpassbarkeit der inhärenten syntaktischen und semantischen Ausprägung und gewinnen daher insbesondere gegenüber der EPK und Adonis deutlich an Mächtigkeit. So können in den Operatoren mit den sog. Common Elements (vgl. Tabelle 3) weitergehende Attribute zur Beschreibung des Verhaltens hinterlegt werden. Diese bieten z. B. die Möglichkeit der Unterscheidung einer synchronen oder asynchronen Ausführung sowie auch die Einbeziehung von zeit- oder ereignisgetriebenen Bedingungen.

Name	Typ	Beschreibung
Async	Attribut	Bei einer synchronen Ausführung wird ein expliziter Wartezustand im Operator definiert, mit dem sich die Ausführung aller Eingangstransitionen sicherstellen lässt. Bei einer asynchronen Ausführung wird der Operator jeweils bei der Ausführung einer Eingangstransition erneut evaluiert.
Exception-handler	Element	Integration eines dedizierten Mechanismus zur Verarbeitung von Ausnahmen.
Timer	Element	Spezifikation einer (maximalen) Verweildauer in diesem Knoten vor der Ausführung einer vorgegebenen Aktivität.

Tabelle 3: Common Elements zur Variation des Ausführungsverhaltens der Operatoren in jPDL

Die BPMN setzt hingegen bereits in ihrer grafischen Aufmachung auf eine Vielzahl zusätzlicher Operatoren, mit denen komplexere Steuerungen des Kontrollflusses beschrieben werden können. Neben den Grundoperatoren stellt sie auch zusätzliche Operatoren zur Verfügung, mit denen z. B. eine ereignis-, informations- oder zeitgetriebene Steuerung des Kontrollflusses vorgenommen werden kann.⁴⁰ Zudem bieten die sog. komplexen Gateways eine (implizite) Möglichkeit zur individuellen Anpassung der Evaluierungslogik durch vom Anwender zu entwickelnde Skripte.

Der Ansatz von Bonapart basiert hingegen auf der Formulierung eines abstrakten Metamodells, das im Verlauf des Modellierungszyklus immer weiter verfeinert werden muss. Hierbei lassen sich auch weitere Operatoren entwickeln. Dies besitzt generell eine große Mächtigkeit für den Modellierer, kann aber auch zu Unübersichtlichkeit und Redundanz führen.

Neben der einstufigen Evaluation der Operatoren müssen allerdings auch Wechselwirkungen in der iterierten Ausführung berücksichtigt werden. Man veranschauliche sich dies einmal am Beispiel in Abb. 22. Das Modell basiert auf zwei parallelen Teilprozessen, die nebenläufig ausgeführt werden sollen. Die Fortführung des gesamten Prozesses hängt allerdings von der gemeinschaftlichen Ausprägung beider Teilprozesse ab.

⁴⁰ Einschränkung ist zu bemerken, dass in der Praxis die Mächtigkeit der Notation nicht vollständig ausgeschöpft wird, sodass nur eine recht eingeschränkte Menge an Operatoren Verwendung findet. [MR08]

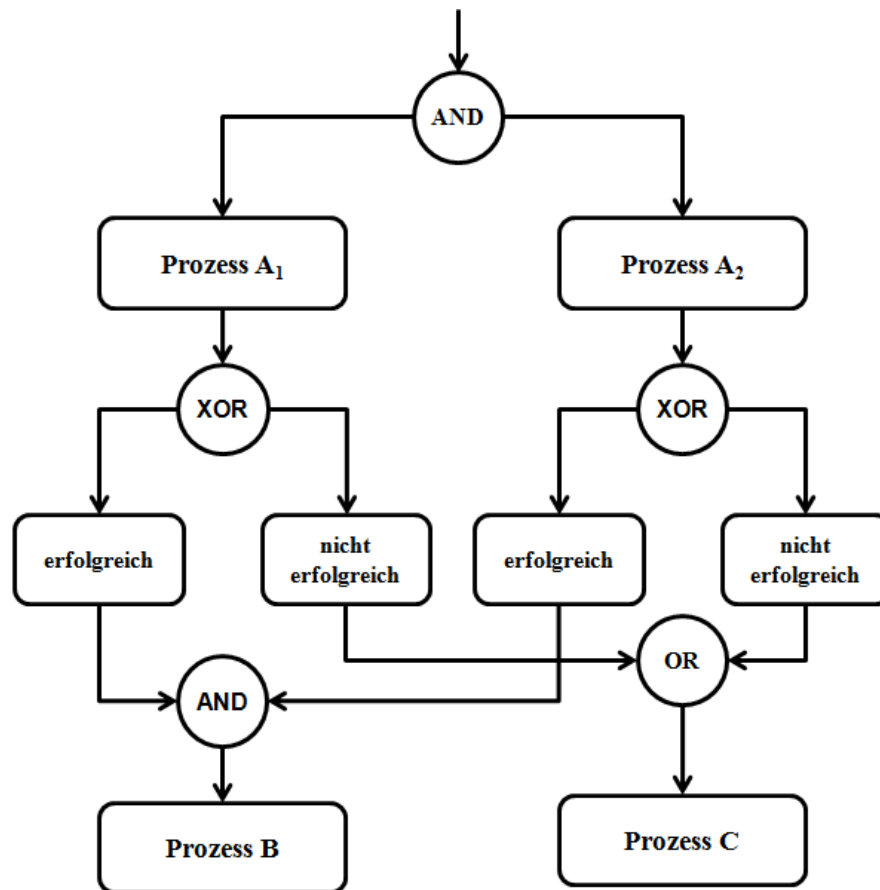


Abb. 22: Ausführungs pattern „All-or-Nothing“ nach Versteegen et al. [Ver⁺02]

Eine vollständige Synchronisation der Teilprozesse erfolgt nur beim erfolgreichen Abschluss beider Teilprozesse in der „AND“-Verknüpfung, d. h. der Kontrollfluss kann nicht fortgeführt werden, solange nicht sämtliche eingehenden Kanten ausgeführt wurden. Wenn allerdings mindestens einer der Prozesse erfolglos ausgeführt wurde, dann greift unverzüglich die „OR“-Verknüpfung.

Die „AND“-Verknüpfung lässt sich somit nicht mehr ordnungsgemäß verarbeiten. Somit nutzt die Modellierung bewusst eine Verklemmung in diesem Operator. In der einmaligen Ausführungssituation ist dies zumeist unkritisch. Bei einer Iteration kann es nun allerdings zu ungewolltem und fehlerhaftem Verhalten kommen, da der Operator seinen Wartezustand nicht verlässt. Die Notationen müssen also geeignete Mittel zur Verfügung stellen, mit denen solche Wartezustände sich terminieren lassen.

Im Gegensatz zu den ereignisgesteuerten Prozessketten, Adonis und Bonapart bieten sowohl BPEL als auch jPDL und BPMN hierfür einen dedizierten Mechanismus zur Ausnahmebehandlung. Dieser erlaubt eine ereignisgetriebene Manipulation des Kontrollflusses, mit dem solche Verklemmungen gelöst und terminiert werden können, sodass sich ein fehlerhaftes Verhalten bei einer iterierten Ausführung vermeiden lässt.

4.3.2. Umsetzung der Hierarchisierung

Die gängigen Notationen erkennen heutzutage die besonderen Herausforderungen von stetig wachsenden und immer komplexer werdenden Prozessen als zentrale Herausforderung für den Modellierer an. Gerade im Kontext der vertikalen Hierarchisierung bieten die verschiedenen Notationen daher eine entsprechende Unterstützung bei der Strukturierung der Prozesse, um die Übersichtlichkeit der gesamten Prozesslandschaft zu erhöhen und zugleich auch ihre Wartung zu erleichtern. Die Notationen setzen hier mit den Prozessverknüpfungen und der Kapselung in Subprozessen auf zwei unterschiedliche Ansätze, die sich gegenseitig ergänzen.

Prozessverknüpfungen beschreiben innerhalb der Notationen dedizierte Schnittstellen bzw. Operatoren, mit denen unterschiedliche (Teil-)Modelle miteinander in Verbindung gesetzt werden können. Dabei lassen sich die Übergabe von Informationen bzw. der Kontrollfluss an den Ein- und Ausgangsschnittstellen der Modelle explizit mit einbeziehen und modellieren. Eine besondere Herausforderung stellt dabei der Erhalt der semantischen Integrität über die Modellgrenzen hinaus dar. Die Notationen bieten hierfür oft eine Einbindung der Prozessmodelle in ein weiterführendes konzeptuelles Rahmenwerk, etwa durch die Hinterlegung einer allgemein gültigen Aufbauorganisation.

Mit ihren sog. Prozessschnittstellen offerieren die ereignisgesteuerten Prozessketten so einen dedizierten Operator zur Verknüpfung unterschiedlicher (Teil-)Prozesse, wobei die Interaktionen der Modelle in einem sog. Prozesswegweiser hinterlegt werden können. Durch eine entsprechende Berücksichtigung der zugeordneten Sichten im ARIS-Haus lässt sich auch ein Zugriff auf die Aufbauorganisation und die Informationssysteme der Organisation gewährleisten. [Sch98]

Einen vergleichbaren Ansatz bietet Adonis. Die Prozessschnittstellen werden hier als Querverweise bezeichnet. Diese sind nicht an einen bestimmten Diagrammtyp gebunden und erlauben damit auch eine Referenz auf andere assoziierte Entitäten, wie z. B. die Aufbauorganisation im Arbeitsumgebungsmodell.

In der BPEL werden sog. *Scopes* angeboten, mit denen sich vorrangig das erwartete Verhalten der Aktivitäten spezifizieren lässt. Die tatsächliche Ausführung der Aktivität findet hier außerhalb der eigenen Modellgrenzen statt. Im Gegensatz zu Adonis und den EPK kommt es aber zu einer detaillierten und strukturierten Spezifikation der ausgetauschten Informationen. Zudem kann eine Ausnahmebehandlung verankert werden, in der Event Handler die notwendige Kommunikation sicherstellen. Der vorrangige Fokus liegt aber auf der Beschreibung der funktionalen Bestandteile, zumal keine expliziten Ausdrucksmittel zur Beschreibung der hinterlegten Aufbauorganisationen existieren.

Einen ähnlichen Ansatz verfolgt die jPDL. In sog. *Process-States* kann eine Verbindung zwischen unterschiedlichen Prozessen erzeugt werden. Durch die Hinterlegung ausgewählter Variablen lässt sich eine Übergabe der notwendigen Informationen sicherstellen. Die bereits vorgestellten Common Elements erlauben wiederum die Integration einer Ausnahmebehandlung.

Bei der BPMN werden die unterschiedlichen (Teil-)Prozesse in erster Linie durch einen geordneten Nachrichtenaustausch miteinander gekoppelt. Die resultierenden Abhängigkeiten und die entstehenden Dialogsequenzen lassen sich separat in einem Kollaborations- oder Konversationsdiagramm erfassen. Zur Unterstützung des effizienten Nachrichtenaustauschs ist hier allerdings häufig auch eine geeignete ausgelagerte Wissensbasis bereitzustellen. Die BPMN strukturiert daher auch den Zugriff auf solche Informationen, die sich z. B. in den Organisations- und Schemadiagrammen hinterlegen lassen.

Als einzige Notation bietet Bonapart keine dedizierten Mittel zur Verknüpfung von (Teil-)Prozessen. Aufgrund der definierenden Erweiterbarkeit der Notation kann der Entwickler aber durchaus eigenständig zusätzliche Operatoren definieren, die eine weitergehende Separierung der Modelle unterstützen.

Zudem bieten die verschiedenen Notationen die Möglichkeit, logisch zusammengehörige Teile des Prozesses in Subprozessen zu kapseln. Diese werden für den Nutzer durch entsprechend expandierbare Aktivitäten ersetzt. Durch die Einblendung der verdeckten Funktionalität kann dieser eigenständig über die gewünschte Detaillierungstiefe seines Prozesses entscheiden (vgl. Abb. 23). Gegenüber den Prozessverknüpfungen ist die Wahrung der semantischen Integrität weitestgehend gewährleistet, da die Modellgrenzen nicht überschritten werden.

Bislang bieten alle untersuchten Notationen im Gegensatz zur vertikalen Hierarchisierung keine weiterreichende Unterstützung zur horizontalen Strukturierung der Prozesse. Im Wesentlichen werden die bereits beschriebenen Mittel der Kapselung und der Prozessverknüpfung hier zweckentfremdet.

So beschreiben z. B. Scheer und Thomas [ST05], dass sich die Prozessschnittstellen zur Anpassung vordefinierter Referenzmodelle nutzen lassen, selbst wenn dies so nicht originär von der Notation vorgesehen war. Einen weiteren Ansatz bietet die Nutzung von Blackbox-Komponenten, womit die eigentlichen Implementationsdetails optional verschattet bleiben. Hierbei kann eine hierarchische Hinterlegung der möglichen Alternativen für die Ausführung der verschiedenen Subprozesse erfolgen.

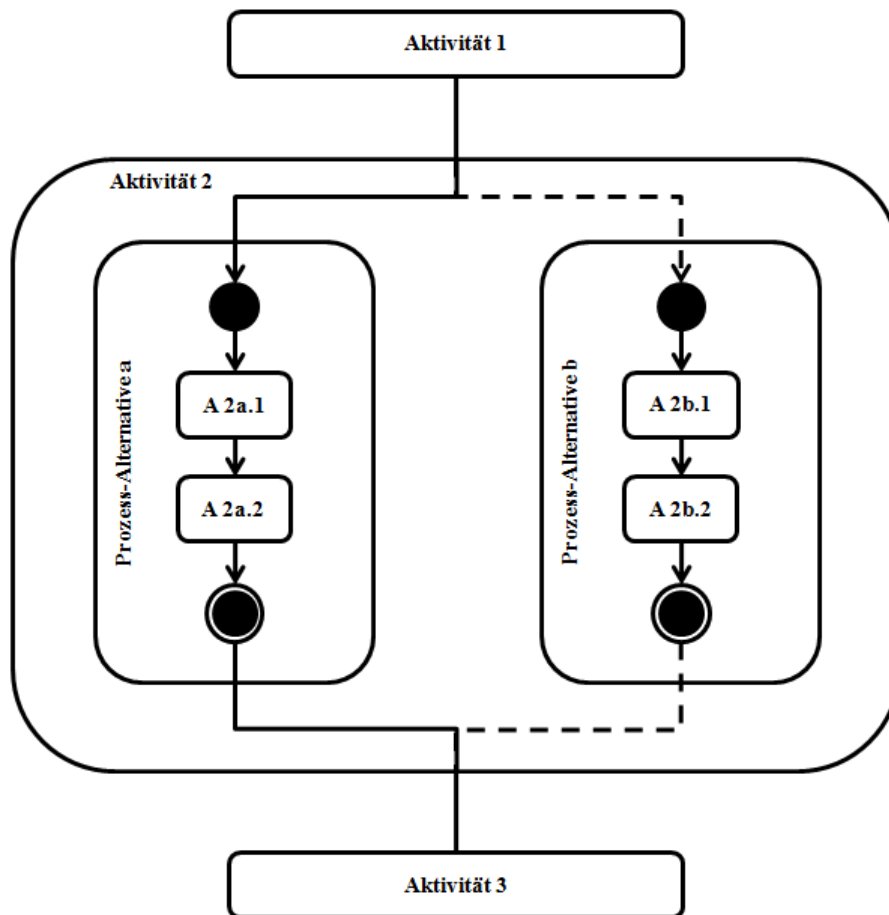


Abb. 23: Hierarchische Hinterlegung von Prozess-Alternativen innerhalb eines Modells

Dieser Ansatz wird durch die Darstellung in Abb. 23 veranschaulicht. Die letztliche Auswahl einer der beiden verfügbaren Ausprägungen des Subprozesses ließe sich dynamisch zur Laufzeit bestimmen. Bisher bieten die aktuell verfügbaren Notationen allerdings noch keine hinreichenden Ansätze und Methoden, um die Ausgestaltung der Prozesse gemäß des Verständnisses der Polymorphie zu gewährleisten.

4.3.3. Umsetzung des Qualifikationskonzepts

Bei der Verarbeitung im Geschäftsprozess müssen den Aktivitäten geeignete Ressourcen zur Verfügung gestellt werden. Außer in der BPEL erfolgt dies bei allen untersuchten Notationen standardmäßig auf Grundlage eines Rollenkonzeptes (vgl. Abb. 24). Hierbei ist eine hierarchische Aufbauorganisation zu unterstellen, bei der mehrere gleichartige Ressourcen in einer Rolle zusammengefasst werden können. An den eigentlichen Aufgaben lässt sich nun ein Verweis auf (genau) eine geeignete Rolle hinterlegen. Bei der letztlichen Zuordnung einer Ressource wird i. d. R. Gleichartigkeit und somit Substituierbarkeit zwischen den verfügbaren Ressourcen unterstellt. Die

Notationen führen daher häufig graphische Elemente in Form von sog. *Pools* und *Swimlanes* ein, mit denen eine logische Zusammenfassung der Aktivitäten zu einer Rolle dargestellt werden kann.

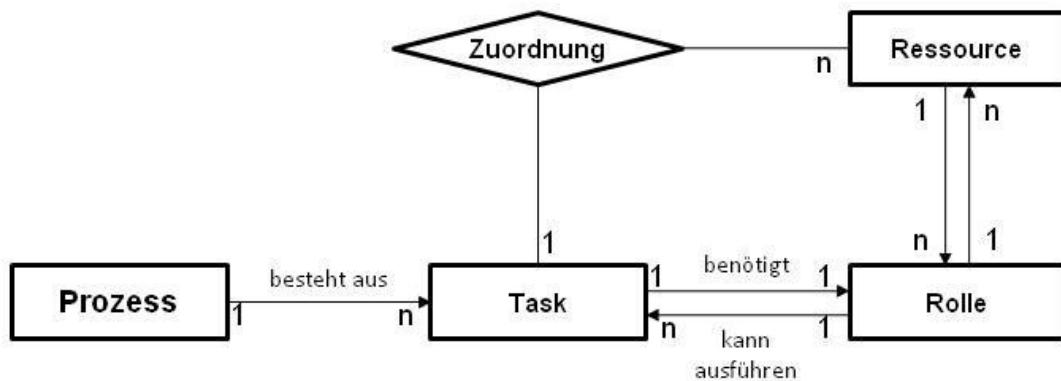


Abb. 24: Rollenbasierte Ressourcenallokation in Anlehnung an Xu, Liu und Zhao [XLZ08]

Einzig BPEL bietet im Standard keine Einbeziehung eines Ressourcenkonzepts, zumal sie im Wesentlichen auf die automatische Ausführung von Web-Services ausgelegt ist. [Kop⁺11] Allerdings bestehen verschiedene Ansätze, um eine explizite Berücksichtigung manueller Prozessschritte und damit auch eine Zuordnung (menschlicher) Ressourcen zu ermöglichen. Hier ist in erster Linie die Erweiterung WS-BPEL Extension for People (BPEL4People) zu nennen. Diese wurde bislang aber nicht als eigener Standard etabliert bzw. in den BPEL-Standard integriert.

Die Einbeziehung von Leitungsbefugnissen erfordert eine Zuordnung von Qualifikationsprofilen zu den Aktivitäten, die ja letztlich nur Mindestanforderungen an die Ressourcen beschreiben. Diese Qualifikationen stehen häufig orthogonal zu einer Aufbauorganisation, d. h. die Qualifikationen können von unterschiedlichen Rollen bereitgestellt werden. Eine Realisierung auf Grundlage des Rollenkonzepts ist hier nicht elegant und übersichtlich umsetzbar, da im Zweifelsfall für jedes Profil eine eigene (artifizielle) Rolle definiert werden muss.

Unter den betrachteten Notationen finden sich nun unterschiedliche Grade von Anpassungsmöglichkeiten zur Integration alternativer Allokationsstrategien.

Die ereignisgesteuerten Prozessketten bieten lediglich theoretische Ansätze zur Anpassung der Allokationsstrategie, weil die Modelle eine recht starre Verbindung der Aktivitäten zur hinterlegten Aufbauorganisation besitzen. Bislang existieren im umfassenden ARIS-Rahmenwerk keine geeigneten Ansätze zur Hinterlegung einer geeigneten Organisationsform zur Beschreibung einer leitungsgetriebenen Ressourcenallokation.

Die BPMN bietet die Option einer Definition sog. *ResourceAssignmentRules*, mit denen Ressourcen in einer „flüchtigen“ Rolle zusammengefasst werden können, d. h. die Menge der geeigneten Ressourcen lässt sich mittels eines logischen Ausdrucks zur Laufzeit beschreiben. Der Ansatz ist

allerdings nur bedingt geeignet, weil im Kern immer noch das zugrunde liegende Rollenkonzept mit all seinen Nachteilen genutzt wird. Vergleichbare Ansätze bieten auch Adonis und Bonapart, zumal sich die Beschreibung der notwendigen Rolle wiederum durch die Auswertung eines logischen Ausdrucks definieren lässt.

Einzig jPDL bietet eine weitergehende Freiheit bei der Zuordnung der Ressourcen, denn sie ist in ihrer Spezifikation nicht starr an die Nutzung eines Rollenkonzepts gebunden. So wird an den Aktivitäten nur eine Beschreibung der geeigneten Ressourcen gefordert.⁴¹ Diese lässt sich aus frei definierbaren Eigenschaften und Verknüpfungen zu gemeinschaftlichen Ressourcen-Räumen parametrisieren. Zwar führt die Anpassung an ein Qualifikationskonzept nun zu einer Ablösung von der Aufbereitung der Aktivitäten in Pools und Swimlanes, jedoch erlaubt sie die Nutzung von Qualifikationsprofilen zur Bestimmung der geeigneten Ressourcen zur Laufzeit.

4.3.4. Umsetzung der vorzeitigen Prozessterminierung

Das vorzeitige Verlassen eines Prozesses erlaubt die frühzeitige Terminierung eines (Teil-) Prozesses, wenn eine reguläre und vollständige Abarbeitung für die Erledigung der unterstellten Aufgabenstellung nicht mehr zielführend ist. Hierbei lassen sich zwei grundsätzliche Verfahren voneinander abgrenzen.

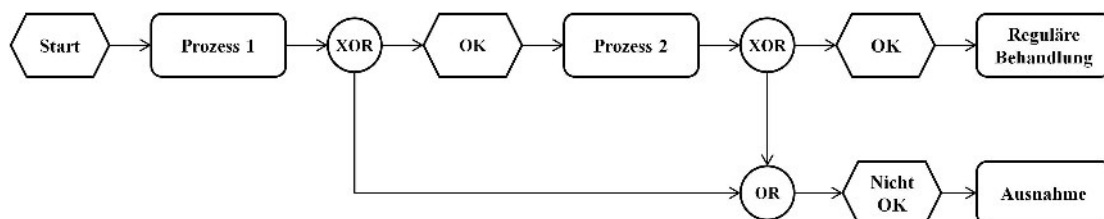


Abb. 25: Ausführungsmuster „Straight Road with Exits“ nach Gruhn und Laue [GL07]

In der einfachsten Form wird die Entscheidung über die Fortführung des Prozesses nach der Abarbeitung einer Aktivität getroffen. Keine der untersuchten Notationen bietet hierfür eine weiterführende Unterstützung in der Modellierung. Stattdessen müssen die Modelle gemäß des Ausführungsmusters „*Straight Road with Exits*“ von Gruhn und Laue [GL07] modelliert werden (vgl. Abb. 25). Innerhalb des Prozesses findet dabei eine sequenzielle Aneinanderreihung der Aktivitäten statt, wobei prinzipiell nach jeder Aktivität eine Terminierung erfolgen kann. Das Entwurfsmuster ist somit zwar syntaktisch korrekt, jedoch nicht vorteilhaft für die Lesbarkeit des Modells. Zudem wächst die Komplexität der notwendigen logischen Ausdrücke in den Verknüpfungsoperatoren schnell an und fördert damit die Fehleranfälligkeit. Eine gewisse

⁴¹ Vorrangig geschieht das in der Praxis wiederum durch die Bereitstellung eines Rollenkonzepts.

Relaxation lässt sich hierbei durch die Einführung mehrerer Endknoten erreichen, da zumindest eine logische Zusammenfassung unterschiedlicher Terminierungskriterien erfolgen kann. Sämtliche Notationen erlauben dies explizit.

In seiner komplexeren Form wird die Entscheidung über die Fortführung außerhalb des eigentlichen Prozesses vorgenommen. Dieser muss unverzüglich terminiert werden, d. h. die Ausführung der aktuell bearbeiteten Aktivitäten ist ggf. umgehend abubrechen, was sich über Ausnahmemechanismen realisieren lässt. Hierbei wird eine Menge von Aktivitäten explizit oder implizit mit einem sog. *Exception Handler* versehen. Der Handler erlaubt die Wahrnehmung (externer) Ereignisse, die den Eintritt unvorhergesehener Situationen im weitesten Sinne beschreiben, und die eine entsprechende Reaktion des Prozesses erfordert.

Die meisten Notationen bieten heutzutage Notationselemente an, mit denen eine Ausnahmebehandlung berücksichtigt und modelliert werden kann. Allerdings bieten die ereignisgesteuerten Prozessketten, Adonis und Bonapart hier keine ausreichende Unterstützung bei hierarchischen Modellen.

BPMN besitzt einen Ausnahmemechanismus, der den beiden gestellten Anforderungen genügt. Innerhalb eines hierarchischen Prozesses können ein Startknoten und mehrere Endknoten modelliert werden. Zusätzlich bietet die BPMN einen Kompensationsmechanismus, mit dem sich bereits vorgenommene Aktivitäten „rückgängig“ machen lassen, d. h. der Prozess durchläuft in rekursiver Reihenfolge alle bereits abgearbeiteten Aktivitäten und stößt einen optionalen Teilprozess an, der eine Rückabwicklung ermöglicht. Die modellierten hierarchischen Prozesse können wiederverwendet werden, sofern diese dasselbe Verhalten und dieselben Attribute miteinander teilen.

Auch in der jPDL ist ein entsprechender Mechanismus für das Verlassen eines Prozesses gegeben und kann durch den Modellierer modellspezifisch angepasst werden. [jBo08] Der *Exception Handler* lässt sich für Prozessdefinitionen, Knoten sowie Transitionen spezifizieren und enthält eine Liste möglicher Aktionen. Tritt nun eine Ausnahme ein, so wird innerhalb des zugehörigen Prozesselements durch den zuständigen Exception Handler eine korrespondierende Aktion ausgeführt. [Tar09] Externe und intern auftretende Ereignisse können zur vorzeitigen Terminierung des Prozesses führen.

BPEL verfügt hingegen nicht über einen inhärenten Mechanismus zur Fehlerbehandlung. Sie muss im Rahmen des Mechanismus für das Aufgreifen von fehlerhaftem Prozess-Verhalten oder von Störungen bei den Antwortzeiten der Partneranfrage spezifiziert werden. [OAS07] Christos, Costas und Panayiotis [CCP07] weisen in diesem Zusammenhang darauf hin, dass hier zwischen fehlerhaftem Systemverhalten und logischen Fehlern zu unterscheiden ist. Ersteres lässt sich auf die verteilte Ausführung der Webservices zurückführen und bezieht sich somit auf technische Aspekte,

während Letzteres auf die fachliche Ausnahmebehandlung im zuvor dargestellten Sinne abzielt. Jiajia et al. [Jia⁺06] kommen dabei zu dem Schluss, dass die Ausnahmebehandlungen häufig ad hoc geschehen, indem die Entwickler die genaue Abarbeitung der Ausnahmen innerhalb der eigentlichen Funktionen spezifizieren und implementieren müssen.

Die Verbindung der verschiedenen Hierarchieebenen ist aufgrund der hierarchischen Zustandsnamen gewährleistet. Hierbei findet eine Konkatenation der übergeordneten Zustände bis in die eigentliche Aktivität statt. Entlang der Sequenz bis zur tiefsten Aktivität können dabei jeweils Token initialisiert werden. Das vorrangige Ziel besteht nun darin, dass die bis zu einem Prozesswechsel gewonnenen Informationen im neuen Prozess nicht etwa erneut berechnet werden müssen, sondern stets erhalten bleiben. Bei BPMN wird der Token nach der Terminierung einer Hierarchiestufe zunächst mit der darauf folgenden Hierarchiestufe verbunden und überreicht. Eine Rückkopplung von einer tieferen Hierarchieebene in die darüber liegenden Hierarchieebenen findet dabei jedoch nicht statt.

4.3.5. Umsetzung der Operationalisierbarkeit

Zur vollständigen und automatisierten Überführung eines (grafischen) Modells in einen ausführbaren Workflow benötigen die Notationen eine vollständige und widerspruchsfreie Syntax und Semantik ihrer beschreibenden Elemente. Semiformale Modelle bzw. Modellierungsnotationen besitzen dabei zwar häufig eine intuitiv verständliche Systembeschreibung, allerdings ist eine automatisierbare Überführung nicht zwingend sicher gestellt.

Die derzeitigen Entwicklungen im Bereich der Geschäftsprozessmodellierung streben immer stärker nach einer vollständig ausspezifizierten (Ausführungs-)Semantik, wodurch die Ausführbarkeit der Modelle erreicht werden soll. Die nachträgliche Integration einer hinreichenden Formalisierung in einer nicht formal definierten Sprache ist allerdings mit enormem Aufwand verbunden, die nicht selten unvollständige oder fehlerbehaftete Lösungen hervorbringt. [ADK02]

Ereignisgesteuerte Prozessketten besitzen weder in ihrer Definition noch in ihrer Einbettung in das umfassende ARIS-Rahmenwerk einen expliziten Bezug auf eine Workflow-Engine. [SJ02] Aufgrund ihrer direkten Verwandtschaft können die Modelle aber mehr oder minder direkt in Petri-Netze überführt werden. Diese Übersetzung ist allerdings mit Verlust an Semantik verbunden, zumal sich insbesondere die Ausführungslogik mancher Elemente dieser Notationen nicht vollständig formalisieren lässt. [Bru13] Die leichte Nachvollziehbarkeit und Erlernbarkeit der erstellten Modelle geht somit zu Lasten ihrer automatisierten Analysierbarkeit. [Kob10] In der Praxis existieren dennoch verschiedene proprietäre Entwicklungen, auf die der Entwickler zurückgreifen kann. Diese sind untereinander wenig standardisiert und lassen daher einen Austausch der erstellten Workflow-Instanzen nur in seltenen Fällen zu.

Im Vergleich zu der EPK zeichnen sich die anderen Notationen über einen deutlich höheren Grad der Operationalisierbarkeit aus. So verfügen Bonapart und jPDL jeweils über eine proprietäre

Workflow-Engine (OCTOFlow für Bonapart [EPM06] bzw. jBPM für jPDL [DR08]), die eine Überführung und Ausführung der (grafischen) Modelle ermöglicht.

BPEL geht über diesen Ansatz sogar noch hinaus. Sie war von Beginn an auf eine Modellierung von Workflows ausgelegt und ist daher von allen hier untersuchten Notationen am dichtesten an der maschinellen Lesbarkeit bzw. Ausführbarkeit der modellierten Geschäftsprozesse orientiert, was aber letztlich zu Einbußen bei ihrer grafischen Repräsentation führt. [GB10]

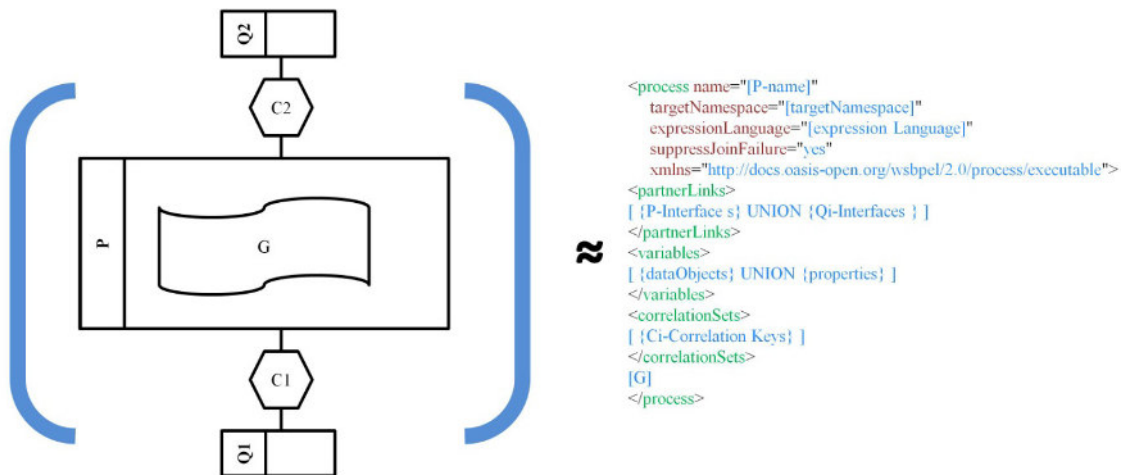


Abb. 26: Überführung von BPMN nach BPEL

BPMN und Adonis versuchen, die Vorteile der grafischen Modellierbarkeit ihrer Notation mit der Ausführbarkeit der BPEL zu kombinieren. Sie nutzen daher die Workflow-Engine der BPEL als eigentliche Ausführungsgrundlage. Dafür muss eine Konvertierung aus den grafischen Modellen in die XML-basierte Notation der BPEL erfolgen. Das Beispiel in Abb. 26 beschreibt die Überführung eines Prozessmodells (inklusive der Verbindung zu anderen beteiligten Prozessen) von BPMN zu WS-BPEL. Hierbei erkennt man die Überführung der Notationselemente in korrespondierende Tags im XML-Format.⁴²

Die BPMN⁴³ spezifiziert aber die komplette Ausführungssemantik in natürlicher Sprache. Obwohl sie für die meisten Notationselemente hinreichend formalisiert ist, kann sie bislang nicht vollständig in einem ausführbaren Simulations-, bzw. Verifikations-Tool implementiert werden. So existiert bislang keine vollständige und allgemein anerkannte Ausführungssemantik einiger Notationselemente, z. B. komplexer und eventbasierter Gateways. [DG11]

⁴² Die genaue Zuordnung der Elemente und ihre Überführung nach WS-BPEL kann in der Spezifikation der BPMN 2.0 nachgeschlagen werden. [OMG11]

⁴³ Eine Software genügt der BPMN 2.0-Konformität, wenn diese vollständig die in der Spezifikation hinterlegten Punkte erfüllt. Die Spezifikation definiert vier Konformitätstypen: Prozessmodellierungs-, Prozessausführungs-, BPEL-Prozessausführungs- und Choreographiemodellierungs-Konformität. [OMG11]

4.3.6. Umsetzung der Simulationsanbindung

Wie in Kap. 2.2 dargestellt wurde, hat sich die Nutzung computergestützter Simulationen bereits als wichtiger methodischer Ansatz für die Evaluierung von Geschäftsprozessen etablieren können. Die Umsetzung von Simulationsexperimenten ist dabei eine direkte Fortführung der bereits untersuchten Anforderungen der Operationalisierung, da hierbei die Modelle letztlich vollständig automatisiert werden müssen. Die manuellen Eingriffe durch den Anwender sind hier ggf. durch entsprechende stochastische Verteilungen zu substituieren, mit denen die Dauer und die Ausführungswahrscheinlichkeit für jeden (Teil-)Prozess hinreichend approximiert werden können. [JN06] Die Notationen besitzen dabei unterschiedliche Reifegrade in Bezug auf die Integration dieser besonderen Anforderungen.

Adonis bietet bereits dedizierte Bibliotheken für die Umsetzung von Simulationsexperimenten. Die Objektbibliotheken sehen dort die Hinterlegung entsprechender Daten vor, die direkt für die Konfiguration der Simulationsläufe genutzt werden können, wie z. B. die Hinterlegung von Kostensätzen und Prozessdauern. Die Bandbreite der unterstützten Untersuchungen reicht hier von Ablauf- über Auslastungs- bis hin zu Pfadanalysen. Die implementierten Ablaufanalysen beschäftigen sich mit dem Nachweis des korrekten Ablaufs der Prozessstruktur und befassen sich z. B. mit dem Nachweis von Verklemmungen oder nie ausgeführten Aktivitäten. Auslastungsanalysen ermöglichen die dynamische Bestimmung von Durchlaufs- und Bearbeitungszeit und ermöglichen die automatische Ermittlung wichtiger Kennzahlen. Sie liefert somit signifikante Erkenntnisse für die kurz- und mittelfristige Optimierung des Personal- und Ressourcenbedarfs. [Abe⁺02] Die Pfadanalyse beschäftigt sich hingegen mit der Ermittlung von Kennzahlen für den Gesamtprozess und den jeweiligen Ablaufpfad, wie z. B. die Beschreibung des kritischen Pfads. [BOC10]

Die anderen Notationen sehen in ihrem Vorgehensmodell keine explizite Berücksichtigung der Simulation. So weist auch die Object Management Group [OMG11] ausdrücklich darauf hin, dass die Operationalisierung der Modelle für Simulationszwecke nicht Gegenstand der Spezifikation für die BPMN ist. Stattdessen wird dies an die entsprechenden Werkzeuge ausgelagert, die eigenständig über die konkrete Umsetzung dieser Anforderungen entscheiden müssen. Infolgedessen werden heute vermehrt „integrierte“ Werkzeuge angeboten, die einerseits eine Anreicherung der Notationselemente vorsehen und andererseits eine entsprechende Ausführungsumgebung für die Simulationsexperimente bereitstellen. [NRS12] Dabei sind vier Ansätze voneinander abzugrenzen (vgl. Abb. 27):

1. Transformation der Modelle zur Nutzung bestehender Simulationsfunktionalität

Durch die Aufbereitung als graphenbasierte Modelle können sinnvolle Überführungen der Geschäftsprozesse in eine alternative Form häufig vorgenommen und bereits bestehende Simulationsfunktionalitäten genutzt werden.⁴⁴ Hierbei ist im Einzelfall zu untersuchen, welche Informationen benötigt werden bzw. zu übernehmen sind. Zudem müssen die Simulationsergebnisse insbesondere auf ihre Aussagekraft und Gültigkeit analysiert werden.

2. Entwicklung einer proprietären Simulationsumgebung

Sofern die Werkzeuge keine weitere Operationalisierung im engeren Sinne vorsehen, lassen sich die Prozesse stattdessen direkt in entsprechende Simulationsmodelle überführen. Dabei werden die entsprechenden Prozesse bzw. Ereignisse (vgl. Kap. 2.2.3) aus den Geschäftsprozessen generiert und direkt zur Ausführung gebracht. Solche Ansätze werden z. B. von Waller, Stone, Enstone [WSE06], ebenso von Davis und Brabander [DB07] sowie von Müller [Mül12] in ihren jeweiligen Arbeiten beschrieben und finden z. B. für die EPK Anwendung.

3. Erweiterung der Workflow-Engine um Simulationsfunktionalität

Die Workflow-Engine wird um Simulationsfunktionalität erweitert, damit die operationalisierten Geschäftsprozesse sich vollständig automatisiert ausführen lassen. Hierbei werden die bestehenden Ein- und Ausgabeschnittstellen des Workflows mit Prozessen versehen, um die Reaktionen der Nutzer oder der angebundenen Systeme zu simulieren. Zu diesem Zweck müssen der Workflow um entsprechende (stochastische) Verteilungen angereichert und die Workflow-Engine für die Erfassung der Simulationsergebnisse erweitert werden. Entsprechende Umsetzungen finden sich z. B. bei Rozinat et al. [Roz⁺09], Görlach et al. [Gör⁺11] oder auch bei Clauberg und Thomas [CT13].

4. Kopplung der Workflow-Engine mit bestehenden Simulationsumgebungen

Hier besteht eine Kopplung zwischen einer Workflow-Engine und einer Simulationsumgebung. Letztere übernimmt dabei die Bearbeitung der Ereignisse, die während der Ausführung vom Workflow (d. h. beim Auslösen eines Statusübergangs) generiert werden. Die Erfassung und Aufbereitung der Ergebnisse wird von der Simulationsumgebung vorgenommen. Entsprechende Umsetzungen finden sich z. B. bei Rücker [Rüc08] und bei Wynn et al. [Wyn⁺08].

Letztlich bieten alle Notationen bereits eine technische Unterstützung durch die verfügbaren Werkzeuge, wenngleich eine weitergehende Berücksichtigung des Vorgehensmodells der (diskreten ereignisorientierten) Simulation für die Zukunft sicherlich nutzbringend wäre.

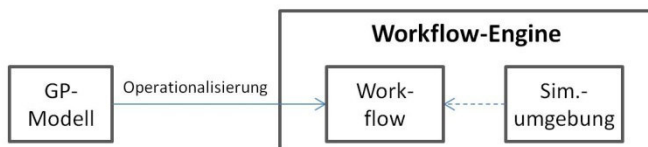
⁴⁴ So verfügen die EPK weder gemäß ihrer originären Definition noch im Sinne ihrer Einbindung in das ARIS-Rahmenwerk über eine hinreichende Operationalisierbarkeit. Der Anwender kann aber die zugrunde liegende Repräsentation als Bedingungs-Ereignis-Netz nutzen, für die bereits entsprechenden Simulationsumgebungen existieren. [Lan97]



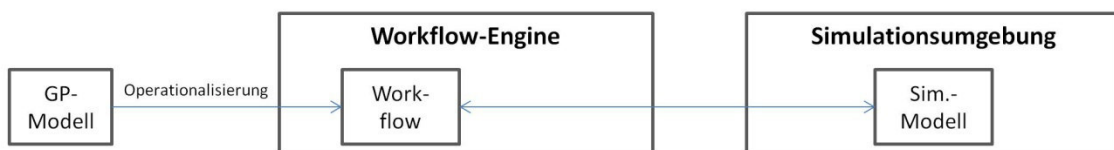
a.) Transformation der Modelle zur Nutzung bestehender Simulationsfunktionalität



b.) Entwicklung einer proprietären Simulationsumgebung



c.) Erweiterung der Workflow-Engine um Simulationsfunktionalität



d.) Kopplung der Workflow-Engine mit bestehenden Simulationsumgebungen

Abb. 27: Ansätze zur Realisierung von Simulationsexperimenten für Geschäftsprozesse

4.4. Zusammenfassung der Studie

In Tabelle 4 wird die Bewertung der Notationen abgebildet. Sie zeigt die Vollständigkeit der Realisierung einzelner Anforderungen anhand einer Bewertungsskala. Dabei ist zu konstatieren, dass keine der Notationen per se sämtliche Anforderungen vollständig umsetzen kann. Alle bieten ihre besonderen Vor- und Nachteile, die letztlich gegeneinander abgewogen werden müssen:

- Die **EPK** zeichnen sich aufgrund ihrer geringen Anzahl an Notationselementen durch eine gute Verständlichkeit und leichte Erlernbarkeit aus. In Bezug auf die Anforderungen der Anwendungsdomäne bleibt aber festzustellen, dass Korrektheit und Wiederverwendbarkeit der Modelle nicht den Erfordernissen entsprechend gewährleistet werden können. Dies lässt sich sicherlich auf die recht rigide Ausrichtung von ARIS auf hierarchische Strukturen und Organisationen zurückführen, mit denen sich die interdisziplinären Anforderungen der Krankenhäuser nicht adäquat umsetzen lassen.
- Die **BPMN** hat sich in den vergangenen Jahren als einer der führenden Standards im Bereich der Geschäftsprozessmodellierung etabliert. Ihre Notation verfügt über eine umfassende und leicht nachvollziehbare Spezifikation der Notationselemente und wird daher auch in den unterschiedlichsten Anwendungsbereichen genutzt. In der vorliegenden Studie wurde allerdings aufgezeigt, dass die Anforderungen für die Umsetzung des Qualifikationskonzepts und in geringerem Maße auch für die Hierarchisierung bzw. die vorzeitige Terminierung der Prozessinstanzen nicht vollständig abgebildet werden können. Da sich die OMG aber um die Ausgestaltung einer eindeutigen und somit verbindlichen Ausführungssemantik bemüht, bietet sie den Entwicklern im Rahmen der definierten Konformitätsstufen nur begrenzte Möglichkeiten für die individuelle Anpassung der Modelle. Der Entwickler muss somit letztlich die Einhaltung des Standards (und die entsprechende Unterstützung durch bestehende Werkzeuge) gegenüber der genauen Abbildung mit proprietären Erweiterungen abwägen.
- Die **BPEL** besitzt im Vergleich zu den allen anderen Notationen einen besonders hohen Grad der Operationalisierbarkeit. Dies ist sicherlich ihrer Ausrichtung auf die Beschreibung von (verteilten) Workflows geschuldet, wodurch die technischen Anforderungen frühzeitig berücksichtigt werden konnten. Generell muss aber eingeschränkt werden, dass der nativen Spezifikation die Berücksichtigung manueller Aufgaben fehlt. [Mai⁺08] Zudem wirkt sich die fehlende grafische Modellierung für den Einsatz in der Anwendungsdomäne negativ aus.

Kriterium Notation	Grad der Synchronisierung	Hierarchisierung	Vorzeitiges Verlassen eines Prozesses	Nutzung von Qualifikationen	Grad der Operationalisierbarkeit	Simulationsanbindung
EPK/eEPK	●●	●	●	●	●●	●●
BPMN	●●●	●●●	●●●	●●	●●●	●●●
BPEL	●●	●●	●●●	○	●●●●	●●●
jPDL	●●●	●●●	●●●	●●●	●●●	●●●
Adonis	●●●	●●●	●	●●	●●●	●●●●
Bonapart	●●	●	●	●●	●●●	●●●

- Anforderung vollständig durch die Notation realisiert
- Anforderung größtenteils realisiert
- Anforderung teilweise realisiert, aber insbesondere die Lesbarkeit der Modelle stark eingeschränkt
- Anforderung nur durch massiven Workaround lösbar
- Anforderung explizit in der Notation ausgeschlossen

Tabelle 4: Bewertung der Geschäftsprozessnotationen

- Die **jPDL** bietet mit ihrer grafischen Aufbereitung der Prozesse dem Anwender einen leichten und verständlichen Zugang zu seinen Modellen, wobei Details der Ausführung in die blockorientierte Darstellung im XML-Format ausgelagert werden können. Die entstehenden Modelle sind somit nicht überladen und spiegeln dennoch die relevanten Informationen wider. Zugleich bietet jPDL dem Entwickler vielfältige Möglichkeiten zur Anpassung der Modelle bzw. der Ausführungslogik durch die explizite Berücksichtigung objektorientierter Entwurfsmuster, die bei Bedarf erweitert werden können.
- **Adonis** setzt in seiner Modellierung auf die Visualisierung von (bestehenden) Zusammenhängen zwischen den Geschäftsprozessen, der Aufbauorganisation und der eingesetzten Informationstechnologie innerhalb des Unternehmens. Dabei koppelt es die Ausführbarkeit an die Workflow-Engine von BEPL und setzt auf eine entsprechende Überführbarkeit. Die Modellierung orientiert sich stark am kalkulatorischen Kalkül und bietet insgesamt eher wenig Unterstützung für die Strukturierung und die übersichtliche Aufbereitung der Geschäftsprozesse. Der Notation fehlen insbesondere hinreichende Ansätze für die Abbildung des Qualifikationskonzepts und der vorzeitigen Terminierung hierarchischer Ansätze.
- Eine zentrale Besonderheit von **Bonapart** stellt die Bereitstellung eines erweiterbaren Meta-Modells dar, das der Anwender beliebig an die Anforderungen der Anwendungsdomäne bzw. des konkreten Anwendungsfalls anpassen kann. Bei einer Umsetzung durch erfahrene Entwickler lässt sich so eine optimal passende Realisation erreichen. Allerdings werden beim praktischen Einsatz im Krankenhaus die meisten Anwender vermutlich überfordert sein, zumal sie i. d. R. nicht über den erforderlichen technischen Hintergrund verfügen.

Bei der Auswahl einer Modellierungsnotation müssen somit letztlich zwei (Extrem-)Positionen gegeneinander abgewogen werden: Auf der einen Seite steht hier die Nutzung eines Metamodells (wie in Bonapart), bei dem alle Anforderungen individuell abzuleiten sind. Dem gegenüber andererseits die Nutzung eines Standards (wie in der BPMN), der über eine weitreichende Unterstützung bei der (grafischen) Modellierung des Prozesses verfügt, zugleich aber nur eingeschränkte Möglichkeiten zur Anpassung hinsichtlich der speziellen Anforderungen aus dem Anwendungskontext bietet.

Aus der informatischen Perspektive würde vermutlich die Erweiterbarkeit präferiert werden. In der Anwendungsdomäne muss hingegen eine Standardisierung sicherlich als bedeutsamer bewertet werden, selbst wenn dies in Einzelfällen mit einer Zweckentfremdung bestimmter Konzepte bzw. Konstrukte des Modells verbunden wäre.

Es wird daher nach einem Kompromiss zwischen diesen beiden Extremen gesucht. Nach sorgfältiger Abwägung wurde letztlich eine Entscheidung zugunsten der jPDL gefällt, da sie sowohl über eine

intuitive und verständliche grafische Aufbereitung verfügt als auch entsprechende Mechanismen zur Anpassung bzw. Erweiterung der (Geschäftsprozess-)Modelle bietet, wodurch die Vorteile der beiden Ansätze miteinander verbunden werden können.

5. Schaffung eines konzeptuellen Ablaufmodells

Im vorangegangenen Kapitel wurden verschiedene Notationen für die Modellierung von Geschäftsprozessen dargestellt und schließlich nach genauem Abwägen auf Grundlage der besonderen Anforderungen des Anwendungskontextes eine Entscheidung zugunsten der jPDL getroffen. Eine rein fachlich-konzeptionelle Analyse der klinischen Behandlungspfade bietet aber nur einen groben und damit ungenügenden methodischen Ansatz für die Ermittlung belastbarer Kennzahlen und Indikatoren zur Beurteilung der medizinischen, wirtschaftlichen und technischen Vorgänge im Krankenhaus.

Wie bereits in Kap. 2.4 dargestellt, bestehen in der alltäglichen Praxis vielfältige Wechselwirkungen und Interaktionen zwischen den verschiedenen Instanzen der klinischen Behandlungspfade, sodass eine valide Untersuchung nur durch eine operationale Ausführung der Prozesse erfolgen kann.

Die Untersuchung an einem Simulationsmodell bietet dabei einen interessanten Ansatz, mit dem verlässliche Prognosen über das gemeinschaftliche Wirken der Pfade generiert werden können, ohne störend in die täglichen Routinen des Krankenhauses einzugreifen. In der Vergangenheit wurden Simulationsmodelle in der Krankenhausdomäne zumeist als separierte Analyseform eingesetzt, sodass ein wesentlicher Bruch sowohl in Form, Medium als auch Stil entstehen konnte. Durch die Nutzung bzw. die Einbindung in die bestehende Systemlandschaft lassen sich Simulationsexperimente effizienter gestalten und direkt für die Auswertung der klinischen Behandlungspfade nutzen.

Das Unterkapitel 5.1 beginnt daher zunächst mit einer Zusammenfassung der typischen (technischen) Infrastruktur in Krankenhäusern, wobei der Fokus auf dem Krankenhausinformationssystem mit seinen medizinischen und betriebswirtschaftlich-administrativen Bestandteilen liegt. Anschließend wird im Unterkapitel 5.2 dargestellt, wie die informationstechnologische Infrastruktur in einem Ablaufmodell wirkt und wie sie sich zur Durchführung von Simulationsexperimenten effizient einsetzen lässt. Abschließend erfolgt im Unterkapitel 5.3 die Ableitung verschiedener Auswertungsperspektiven, mit denen der Nutzer eine fundierte Beurteilung des erstellten Modells vornehmen kann.

5.1. Bestehende technische Systeme in Krankenhäusern

Die Behandlung im Krankenhaus stellt heutzutage einen komplexen soziotechnischen Prozess dar, bei dem die eigentliche Versorgung durch das medizinische und pflegerische Personal mit Hilfe technischer Systeme unterstützt wird. Letztere lassen sich grob in zwei Gruppen unterteilen. Zum einen bestehen sie aus einer Reihe hochspezialisierter Geräte zur Durchführung diagnostischer oder therapeutischer Maßnahmen. Zum anderen wird ein sog. Krankenhausinformationssystem (KIS) eingesetzt, mit dem relevante Daten erfasst, gespeichert und verteilt werden können.⁴⁵ Winter [Win98] definiert ein Krankenhausinformationssystem als „ein (informationstechnologisches) Teilsystem des Krankenhauses, welches alle informationsverarbeitenden [...] Prozesse und die an ihnen beteiligten menschlichen Handlungsträger in ihrer informationsverarbeitenden Rolle umfasst.“ Diese Definition betont somit die Rolle der menschlichen Handlungsträger und geht über die reine Bereitstellung einer Softwarelösung hinaus.



Abb. 28: Computergestütztes Krankenhausinformationssystem (in Anlehnung an [ZS09])

Innerhalb eines Krankenhausinformationssystems werden neben den medizinischen Daten im engeren Sinne auch betriebswirtschaftlich-administrative Daten genutzt. Diese werden zumeist in unterschiedlichen Komponenten des Krankenhausinformationssystems erfasst, verarbeitet und gespeichert:

⁴⁵ Die meisten modernen medizinischen Geräte sind dazu geeignet, elektronisch verarbeitbare Daten zu liefern. So bieten z. B. Vitaldatenmonitore oder Beatmungsgeräte auf einer Intensivstation die Möglichkeit zur automatischen Datenübernahme in ein Intensiv-Informations-Management-System (IMS) bzw. in die elektronische Patientenakte. Die Geräte bedürfen daher einer entsprechenden Repräsentation innerhalb des KIS.

- Die medizinisch orientierten Komponenten dienen der Verarbeitung und Bereitstellung von medizinisch relevanten Informationen, um das Personal bei ihrer Entscheidungsfindung und Leistungserbringung zu unterstützen. Durch die Realisierung angepasster klinischer Arbeitsplatzsysteme werden dem Nutzer behandlungs- und patientenbezogene Daten zur Verfügung gestellt, um ihn so bei der Bearbeitung seiner derzeitigen Aufgaben zu entlasten.
- Die betriebswirtschaftlich-administrativ orientierten Komponenten zielen auf eine enge Verzahnung mit den allgemeinen betriebswirtschaftlichen Prozessen des Krankenhauses ab. Sie stellen vorrangig unterstützende Funktionalitäten zur Verfügung, mit denen die übergeordneten (wirtschaftlichen) Unternehmensziele effizient umgesetzt werden können. Dabei lassen sich domänenunabhängige Komponenten (wie z. B. Finanzbuchhaltung, Materialwirtschaft und Controlling) verstärkt durch domänenabhängige Komponenten ergänzen, mit denen die spezifischen Anforderungen des Krankenhauses dezidiert dargestellt und bearbeitet werden können (so z. B. Stations- und Bettenplanung, Krankenhausverwaltung und Disposition der krankenhausinternen Apotheke).

In der Praxis werden diese soziotechnischen Prozesse durch entsprechende Softwarelösungen unterstützt (vgl. Abb. 28). Hierbei lassen sich zwei unterschiedliche architektonische Ansätze unterscheiden. Einerseits finden sich monolithische Komplettsysteme, bei denen ein einzelnes System sämtliche Funktionalitäten abdeckt. Auf der anderen Seite werden derzeit verstärkt modulare Lösungen entwickelt und vertrieben, bei denen dedizierte (häufig in sich abgeschlossene) Komponenten verschiedene Funktionalitäten realisieren. Diese Komponenten sind durch Schnittstellen miteinander verknüpft und erlauben den effizienten Austausch von Daten. Ein solcher Ansatz ermöglicht häufig auch die nachträgliche Einbindung weiterer bzw. den Austausch bestehender Komponenten, sodass sich die Systemlandschaft an die individuellen Bedürfnisse anpassen lässt. [Raf14]

Als positiver Nebeneffekt entstehen hieraus auch (branchenspezifische) Standards und Integrationstechniken, mit denen die verschiedenen Komponenten innerhalb des Krankenhauses bzw. mit externen Systemen (z. B. innerhalb des ambulanten Sektors oder mit den Krankenkassen) vernetzt werden können, um so den heterogenen Systemlandschaften im Gesundheitswesen zu begegnen. In den vergangenen Jahren entwickelten sich u. a. Health Level 7 (HL7), International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems (ICD), Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM) oder Logical Observation Identifiers Names and Codes (LOINC), mit denen sich der Austausch medizinischer Daten vereinheitlichen ließ.⁴⁶

⁴⁶ Detaillierte Definitionen dieser Standards sowie eine Beschreibung der Einsatzzwecke und -ziele finden sich z. B. bei Bärwolff, Victor und Hüsken [BVH06].

5.2. Identifikation eines Ablaufmodells mit drei Schichten

Die Realisierung der unternehmerischen Ziele eines Krankenhauses sowie das Erreichen einer preisleistungsorientierten Behandlung ist nur durch den effizienten Einsatz der (verfügbaren) informationstechnischen Infrastruktur in Form eines sog. Ablaufmodells zu gewährleisten. Dabei werden die Prozesse im Krankenhaus unter Berücksichtigung der Bedürfnisse und Zielsetzungen der beteiligten Akteure und Adressaten sowie der verfügbaren Daten zusammengeführt.⁴⁷ Dieses Modell stellt somit den kontextuellen Rahmen (vgl. Abb. 29) dar, innerhalb dessen die Untersuchung der Prozessabläufe im Krankenhaus bewältigt werden muss.

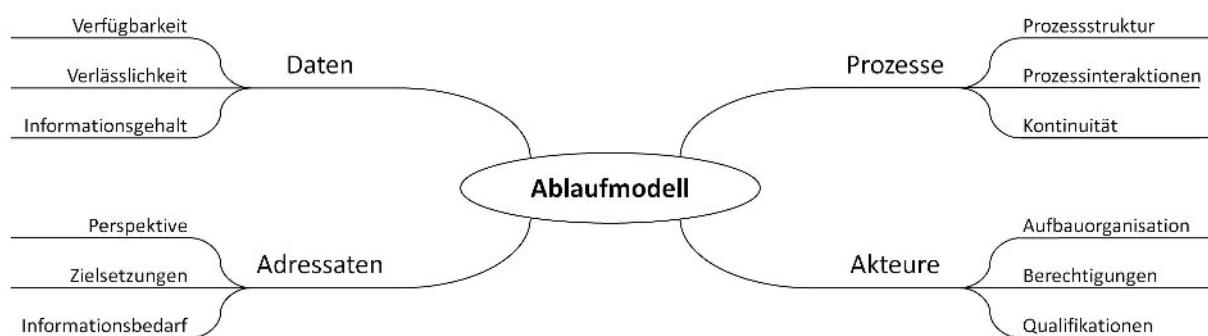


Abb. 29: Einflussfaktoren des Ablaufmodells

Aufbauend auf der vorangegangenen Darstellung zur Nutzung eines Krankenhausinformationssystems können sowohl innerhalb der monolithischen als auch der modularen Architektur drei unterschiedliche Schichten voneinander abgegrenzt werden. Diese nehmen eine logische Trennung der Inhalte vor, die ggf. auch in einer physikalischen Trennung innerhalb eigenständiger Komponenten resultiert.

5.2.1. Datenschicht

Die Planung und Durchführung einer Behandlung bedarf in den meisten Fällen der Berücksichtigung einer Vielzahl unterschiedlicher Daten. Damit lassen sich z. B. Wartezeiten oder die Durchführung unnötiger Behandlungsschritte vermeiden, indem bereits ermittelte Informationen in unterschiedlichen Prozessschritten (wieder-)verwendet werden.

⁴⁷ Man vergleiche hierzu auch die Darstellungen von Schlieter et al. [Sch⁺14].

Für die Ausführung eines klinischen Behandlungspfads sind die Erfassung und Bereitstellung der folgenden Daten von besonderer Bedeutung:

- **Patientendaten**

Die Patientendaten beschreiben alle im Verlauf seines Krankenhausaufenthalts erhobenen Informationen zu einem Patienten. Sie bereiten somit den Aufenthalt des Patienten vom Zeitpunkt seiner Aufnahme bis zu seiner Entlassung (vgl. Kap. 2.3) aus informationstechnologischer Sicht auf. Dabei werden neben einigen allgemeinen Angaben (z. B. Alter und Geschlecht) sowie administrativen Daten (z. B. Versicherungsstatus oder Rechnungsanschrift) vorrangig die medizinischen Informationen erfasst, mit denen die Behandlung im engeren Sinne beschrieben wird. Diese umfassen etwa Aufnahme- und Diagnosedaten, Diagnosen oder auch Therapieergebnisse. Die elektronisch erfassten Daten werden typischerweise in einer elektronischen Patientenakte (ePA) zusammengefasst. Darin verbinden sich auch zeitlich bzw. logisch voneinander getrennte Behandlungen und Krankenhausaufenthalte, sodass eine weitgehende Historie zu einem Patienten bereitgestellt werden kann. [ZS09]

- **Ressourcendaten**

Die konkrete Ausprägung der Leistungserbringung hängt in hohem Maße von der verfügbaren Ressourcenausstattung ab. Wie bereits in Kap. 2.3.2 dargestellt wurde, subsumieren die Ressourcen dabei das Krankenhauspersonal (unter Berücksichtigung der Organisationsstruktur im Krankenhaus) und die für die Leistungserbringung eingesetzte technische Ausstattung. Idealerweise verfügen alle Ressourcen über eine korrespondierende Abbildung in den IT-Systemen, mit denen sich der detaillierte Einsatz unter Berücksichtigung der direkten und indirekten Wechselwirkungen planen lässt. [Leh05] Neben der Verfügbarkeit können auch kalkulatorische Werte, wie z. B. (Soll-) Prozessdauern oder Kostensätze (z. B. Arzt- und Pflegeminuten) hinterlegt werden. Das medizinische Vorgehen lässt sich so mit Kostendaten bzw. Kostenplänen für ein effizientes Kostenmanagement verknüpfen. Die Einsatzplanung der technischen Infrastruktur und der medizinischen Gerätschaften kann durch allgemeine Werkzeuge, wie z. B. Material-Management-Systeme oder Dispositionssysteme verwaltet werden. [ZS09] Mittlerweile werden aber auch verstärkt spezialisierte Werkzeuge entwickelt und am Markt vertrieben, mit denen sich die medizinischen Anforderungen dediziert unterstützen lassen. Hierzu zählen u. a. OP-Planungssysteme oder Unit-Dose-Systeme.

Die Daten werden zumeist in unterschiedlichen Applikationen erfasst und bearbeitet. Idealerweise erfolgt die Verwaltung der Daten redundanzfrei und aktuell und ihre Bereitstellung bei anfragenden Applikationen zudem verzögerungs- und verlustfrei. Dies resultiert in einer eigenständigen Datenschicht, in der die Daten an einer oder an wenigen zentralen Stellen gespeichert und anderen angegliederten Anwendungen bzw. Systemkomponenten auf Anfrage zur Verfügung gestellt werden sollten.⁴⁸

5.2.2. Prozessschicht

Die Prozessschicht ist für die Verwaltung der klinischen Behandlungspfade verantwortlich, d. h. innerhalb dieser Schicht wird die eigentliche Modellierung und Operationalisierung der Prozesse durchgeführt. Dabei muss eine kontinuierliche Aktualisierung und Anpassung der Pfade ermöglicht werden. Ein wichtiges Ziel ist dabei stets die angemessene und hinreichend schnelle Integration von neuen empirischen Erkenntnissen, von Veränderungen der individuellen Situation des Krankenhauses, ferner des allgemeinen medizinischen Fortschritts sowie weiterer äußerer Rahmenbedingung (z. B. neuer gesetzlicher Vorgaben) in den Pfaden (vgl. Kap. 2.4).

Innerhalb der Prozessschicht müssen somit zwei wesentliche Aufgaben erfüllt werden:

- **Effiziente Umsetzung der klinischen Behandlungspfade**

Hierbei ist nicht nur eine sinnvolle Überführung der (medizinischen) Leitlinieninformationen zu gewährleisten. Die ausgewählte Modellierungsnotation muss zusätzlich auch Anforderungen an Syntax und Semantik berücksichtigen.⁴⁹ Notwendig ist die Bereitstellung geeigneter Werkzeuge in der Prozessschicht, mit denen der Anwender die Modellierung seiner Pfade vornehmen kann. Dabei bietet sich insbesondere die Bereitstellung von (grafischen) Editoren an, weil diese eine intuitive und effiziente Umsetzung der Prozesse ermöglichen. Gleichzeitig gewähren sie dem Anwender eine Möglichkeit zur Überprüfung der syntaktischen Korrektheit. Zudem leisten diese Werkzeuge häufig auch eine automatisierte Überführung des modellierten Prozesses in eine ausführbare Form (vgl. Kap. 4.2.5), wodurch sich der manuelle Aufwand bei der Operationalisierung durch den Anwender reduzieren lässt.

⁴⁸ Nach Gadatsch [Gad13b] findet in der Praxis noch immer vorrangig eine redundante und dezentralisierte Datenhaltung statt. Mechanismen zur Harmonisierung der Daten zwischen den unterschiedlichen Anwendungen kommen bisher nicht zum Einsatz.

⁴⁹ Eine besondere Herausforderung besteht dabei in der einheitlichen und wiederverwendbaren Strukturierung des Vorgehens zur Umsetzung der Hierarchisierung, wie sie in Kap. 4.2.2 beschrieben wurde. Der Anwender muss eine Entscheidung zugunsten eines Abstraktionsgrades treffen, bei der er zwischen der Allgemeinheit bzw. der Detailgenauigkeit der einzelnen Elemente abzuwägen hat. Hiermit ist die Menge der entstehenden Elemente derart zu begrenzen, dass eine effiziente Wartung der Prozesse möglich bleibt, ohne die Aussagekraft des individuellen Pfades einzuschränken.

- **Strukturierung der Interaktionen zwischen den klinischen Behandlungspfaden**

Im Gegensatz zur Umsetzung von Geschäftsprozessen in anderen Domänen bestehen zwischen den verschiedenen klinischen Behandlungspfaden vielfältige strukturelle Interdependenzen, die für eine effiziente Abarbeitung explizit berücksichtigt und abgebildet werden müssen. Diese lassen sich auf die besonderen Anforderungen aus der Krankenhausdomäne zurückführen, wie sie in Kapitel 2.3 dargestellt wurden. Dabei steht die strukturierte und effiziente Übergabe von bereits erhobenen Informationen im Vordergrund: Durch das vorzeitige Verlassen eines klinischen Behandlungspfads kann der Arzt den derzeitigen Behandlungsansatz verwerfen und eine individuelle Behandlung einleiten oder an einem alternativen Behandlungspfad aufsetzen (vgl. Kap. 4.2.3). Innerhalb der Prozessschicht müssen solche Übergaben ermöglicht werden. Dies resultiert zum einen in der entsprechenden Anpassung der modellierten Pfade: Es sind unterschiedliche (implizite oder explizite) Start- und Endzustände in den Modellen zu hinterlegen, mit denen sich ein vorzeitiges Verlassen bzw. Aufsetzen innerhalb des Prozesses realisieren lässt. Darüber hinaus muss ein geregelter Übergang zwischen den Pfaden ermöglicht werden, d. h. in einem Meta-Modell sind die zugelassenen Übergänge zu definieren und die Übergabe von wiederverwendbaren Informationen zu spezifizieren.

Bei der Umsetzung der klinischen Behandlungspfade mit den Mitteln und Methoden der Geschäftsprozessmodellierung werden somit letztlich die Anforderungen und Aufgaben der fachlich-konzeptionellen Ebene im Lebenszyklus der Geschäftsprozesse (vgl. Kap. 2.1.3) und des Umsetzungsprozesses der medizinischen Leitlinien (vgl. Kap. 2.4.3) zusammengeführt und konkretisiert.

5.2.3. Simulationsschicht

Die Simulationsschicht schafft bzw. erweitert die (bestehende) Ausführungsumgebung für die simulierte Ausführung der klinischen Behandlungspfade. Innerhalb dieser Ausführungsumgebung müssen somit weitere Komponenten bzw. Schnittstellen implementiert werden, mit denen eine vollständig automatisierte Ausführung der Pfade sicherzustellen ist. Innerhalb der Prozesse müssen also manuelle Eingriffe der Nutzer durch stochastische Prozesse ersetzt werden. Die Simulationsschicht erfüllt dabei im Wesentlichen die beiden folgenden Kernaufgaben:

- **Bereitstellung der Simulationsinfrastruktur**

Innerhalb der Simulationsschicht muss die notwendige Infrastruktur (vgl. Kap. 2.2.1) zur Steuerung der Simulationsexperimente bereitgestellt werden. Bei der Kopplung an die bzw. der Erweiterung einer Workflow-Engine (vgl. Kap. 4.3.6) müssen zudem die entsprechenden Schnittstellen spezifiziert und eingerichtet werden, mit denen relevante Informationen und Anweisungen ausgetauscht werden können.

- **Spezifikation der Simulationsexperimente**

Vor der eigentlichen Ausführung eines Simulationsexperiments müssen die modellierten Prozesse (aus der Prozessschicht) mit weiteren Angaben für die simulierte Ausführung angereichert werden. Neben einigen allgemeinen und unveränderlichen Parametern (etwa der Festlegung der Auswertungseinheiten und Bezeichnungen innerhalb des Simulationsmodells) wird in den Simulationsszenarien die detaillierte Konfiguration eines bestimmten Simulationslaufs beschrieben. Hierzu gehört u. a. die Festlegung der verfügbaren Ressourcen. Weiter sind für den Simulationslauf die Angaben von stochastischen Verteilungsfunktionen zur Bestimmung der Bearbeitungsdauern bzw. -ergebnisse der Aktivitäten vonnöten. Auch die Eintrittswahrscheinlichkeit (externer) Ereignisse, z. B. die Ankunft eines neuen Patienten, sowie die Festlegung von Startwerten der benötigten Zufallszahlengeneratoren und der Simulationsdauer bzw. der Terminierungskriterien sind Elemente des Simulationslaufs.

Die Steuerung des Simulationsexperiments entsteht dabei erst durch die gemeinschaftliche Wirkung der Workflow-Engine und der Simulationsschicht: Die Ausführung manueller Aktivitäten, die Fortschreibung der (Simulations-)Zeit sowie die Generierung interner und externer Ereignisse werden durch die Simulationsschicht vorgenommen, wohingegen die Workflow-Engine die eigentliche Sequenz der Aktivitäten überwacht.

5.2.4. Wechselwirkungen zwischen den Schichten

Wie aus den vorangegangenen Ausführungen ersichtlich, bestehen vielfältige Wechselwirkungen zwischen den drei Schichten. Daher ist es nicht verwunderlich, dass gerade in der Vergangenheit eher monolithische Architekturen genutzt wurden, bei denen die Verortung der definierenden Bestandteile in einem einzelnen System erfolgte.

Durch die verstärkte Nutzung modularer Systeme gewinnen eine strukturierte Zusammenführung der Schichten sowie die Etablierung entsprechender Schnittstellen zunehmend an Bedeutung. Gerade bei der simulierten Ausführung eines klinischen Behandlungspfads müssen alle Schichten miteinander in Verbindung gebracht werden.

Die Simulationsschicht stellt somit die Verbindung zwischen den (statischen) Prozessdefinitionen und den verfügbaren Daten her, damit sich eine automatische Ausführung der Prozesse untersuchen lässt (vgl. Abb. 30). Durch die Einbindung der Patienten- und Ressourcendaten können die Prozessdefinitionen überhaupt erst sinnvoll instanziiert werden. Zudem lassen sich die verfügbaren Daten auch zur Ableitung der stochastischen Verteilungsfunktionen heranziehen.

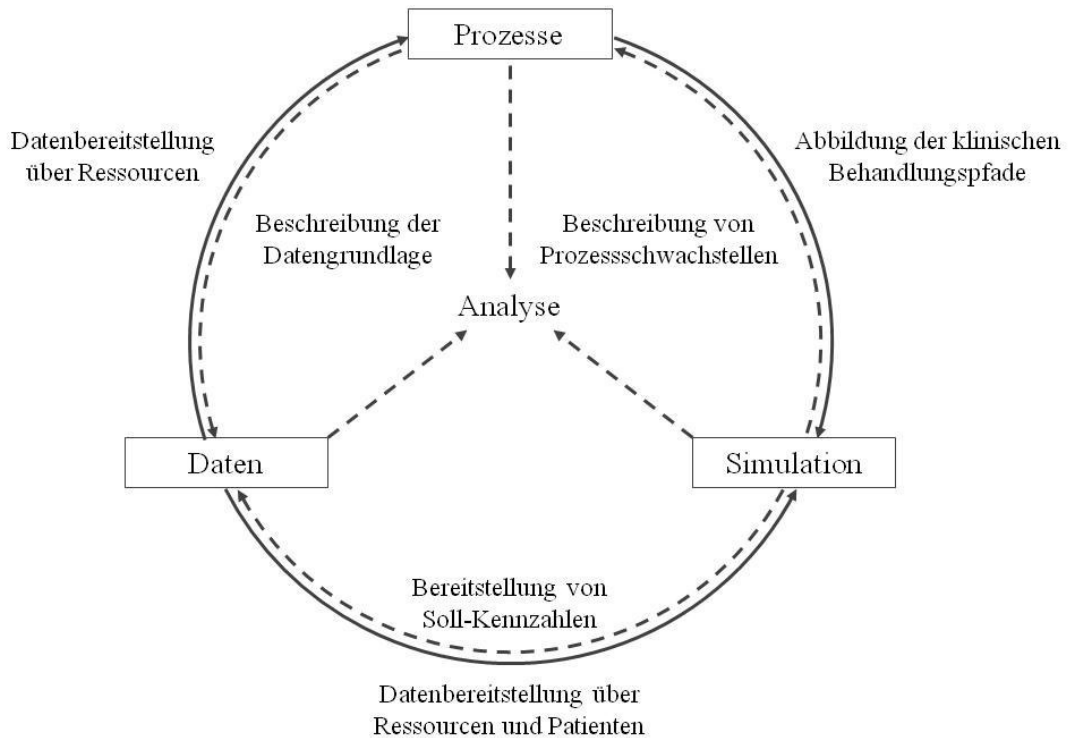


Abb. 30: Zusammenwirkung der verschiedenen Schichten des Ablaufmodells

Gleichzeitig kommt es aber auch zu entsprechenden Rückkopplungseffekten in die Daten- und Prozessschicht hinein. Bei der simulierten Ausführung der Pfade können belastbare Kennzahlen über die zu erwartenden Dauern und Kosten gewonnen werden, die sich innerhalb der Datenschicht als Soll-Kennzahlen hinterlegen lassen. Die Simulationsexperimente liefern zudem Erkenntnisse über die Interaktionen zwischen den ausgeführten klinischen Behandlungspfaden und liefern damit wichtige Hinweise auf bislang verborgene Schwachstellen im Prozessverhalten, die wiederum zu einer Anpassung der Prozesse genutzt werden können. Letztlich bietet erst eine gemeinschaftliche Analyse aller Schichten eine geeignete Grundlage, um eine fortlaufende Evaluation und eine (iterative) Anpassung der klinischen Behandlungspfade zu bedienen.

5.3. Ableitung der Auswertungsperspektiven

Während der Ausführung der Simulationsexperimente können unterschiedlichste Daten erfasst werden, wie z. B. die Ressourceneinsätze, die Prozessabläufe sowie die aufgetretenen Wechsel zwischen den Prozessen. Die Simulationsschicht ermöglicht im Rahmen ihrer Berichte eine Aufbereitung und Aggregation dieser Informationen, wodurch der Anwender Rückschlüsse auf zugrunde liegende (System-)Verhalten ableiten kann. Im Wesentlichen konnten dabei drei Sichten identifiziert werden, die eine verständliche und adressatengerechte (vgl. Abb. 29) Aufbereitung der Simulationsergebnisse ermöglichen.

5.3.1. Dokumentationssicht

Resultierend aus den vielschichtigen Interaktionen der klinischen Behandlungspfade (vgl. Kap. 2.4) kann nicht davon ausgegangen werden, dass die Prozesse stets von Beginn bis Ende durchlaufen werden. Während der Verfeinerung der Verdachtsdiagnose bzw. durch den Eintritt von unvorhergesehenen Komplikationen ist auch der Abbruch bzw. der Wechsel eines klinischen Behandlungspfad in Betracht zu ziehen. Die Analyse der Prozesse muss diesem Aspekt Rechnung tragen und die bisherige Auswertungsperspektive über die Grenzen des einzelnen Pfads hinaus erweitern. In der Dokumentationssicht⁵⁰ lässt sich dann der gesamte Aufenthalt eines Patienten (bzw. seiner informationellen Repräsentation) im Krankenhaus evaluieren.⁵¹ Innerhalb der Dokumentationssicht können im Wesentlichen zwei unterschiedliche Analysen durchgeführt werden:

- **Tracing**

Das Tracing dient der Untersuchung der konkreten Ausprägungen des individuellen Behandlungsverlaufs. Dabei werden die ausgeführten Aktivitäten bzw. Teilpfade sowie deren Dauer und die Zuordnung der konkreten Ressourcen protokolliert. Berücksichtigung finden nicht nur die individuellen Ausprägungen für den einzelnen Behandlungspfad, sondern auch der jeweils erfasste und dokumentierte Wechsel zwischen den Pfaden (vgl. Kap. 4.2.3). Die Analyse des individuellen Behandlungsverlaufs dient dabei in erster Linie der Nachvollziehbarkeit des vergangenen Handelns.

- **Choreographieanalyse**

Durch die gemeinschaftliche Untersuchung multipler Behandlungsverläufe können Rückschlüsse auf die die Choreographie der beteiligten Pfade gewonnen werden. In der simpelsten Ausprägung lassen sich dabei nur die Übergabepunkte und -häufigkeiten zwischen den verschiedenen Pfaden identifizieren, sodass ein ganzheitliches Bild der Prozesslandschaft entstehen kann. Dieser Ansatz ist allerdings erweiterbar, um das implizite Wissen über die Interaktionen zwischen den Pfaden aufzudecken. So lässt sich z. B. untersuchen, welche Informationen von den beteiligten Prozessen benötigt werden. Hierdurch wird eine Abstimmung der Aktivitäten über die Grenzen des einzelnen klinischen Behandlungspfad hinweg ermöglicht, sofern dies durch die entsprechende Übergabehäufigkeit gerechtfertigt erscheint.

In der Dokumentationssicht werden somit Informationen gesammelt, die sich in erster Linie zur Verifizierung und Validierung der klinischen Behandlungspfade nutzen lassen.

⁵⁰ Der Name leitet sich von den besonderen Dokumentationspflichten im Krankenhaus ab; das Vorgehen während der Behandlung muss für andere Ärzte sowie auch für den Patienten selbst durch hinreichende Dokumentation nachvollziehbar gemacht werden. [BW14]

⁵¹ Man vergleiche hierzu die Ausführungen zur elektronischen Patientenakte in Kap 5.2.1.

5.3.2. Aggregationssicht

Die Aggregationssicht erstellt eine zusammenfassende Sicht auf sämtliche erbrachten Leistungen. Hierbei werden die Ergebnisse aller Behandlungen bzw. aller klinischen Behandlungspfade zusammengefasst. So kann die gemeinschaftliche Auslastungssituation ermittelt werden, was wiederum die Normierung der individuellen Ergebnisse der einzelnen Instanz sowie die Identifikation statistischer Anomalien erlaubt. Innerhalb der Aggregationssicht können zwei unterschiedliche Analysen durchgeführt werden:

- **Profitabilitätsanalyse**

Im Rahmen der Profitabilitätsanalyse wird die Wirtschaftlichkeit der Prozesse untersucht, d. h. die Erlöse und Kosten der Behandlungen werden miteinander verglichen. Die Umsätze bestehen dabei aus den Einnahmen der abgerechneten Behandlungen, wohingegen bei den Kosten (im Verständnis einer betriebswirtschaftlichen Gesamtkostenrechnung) zwischen den variablen und den fixen Kosten unterschieden werden muss. Die variablen Kosten lassen sich verursachungsgerecht den individuellen Behandlungen zurechnen und enthalten vorrangig die tatsächlichen Kosten für den Einsatz des medizinischen Personals. Die Gegenüberstellung der Erlöse mit den variablen Kosten ermöglicht die Berechnung der individuellen Deckungsbeiträge der einzelnen Prozessinstanzen. Die Aggregation dieser Informationen erlaubt bereits erste Rückschlüsse über die Profitabilität eines klinischen Behandlungspfad. Durch die Einbeziehung der fixen Kosten (z. B. der Verteilung der Leerkosten und der angenommenen Abschreibungen) kann die Betrachtung ausgedehnt und auf die Profitabilität des gesamten Krankenhauses erweitert werden.

- **Effizienzanalyse**

Mit den Auslastungsanalysen lassen sich hohe Auslastungsgrade bestimmter Ressourcen nachweisen, die häufig mit überdurchschnittlich langen Wartezeiten von Prozessen korrelieren. Die Analyse solcher Prozesse kann verdeckte Effizienzpotentiale im Krankenhaus aufdecken, wodurch ggf. Betten und Pflegekapazitäten freigesetzt und somit die Kosten und die Verweildauer der Patienten im Krankenhaus (siehe Kap. 1) reduziert werden können. Hier ist aber bereits während der Modellierung sicherzustellen, dass sich die vermeidbaren Wartezeiten von den notwendigen Behandlungs- und Pflegezeiten differenzieren lassen. Eine verbindliche Beurteilung erfordert daher eine detaillierte Analyse durch den Anwender und ist nur in eingeschränktem Maße zu automatisieren.

Die Aggregationssicht bietet insbesondere der Krankenhausleitung ein wichtiges Qualitätssicherungs- und Steuerungsinstrument zur Ermittlung mittel- bis langfristiger unternehmerischer Prognosen. Durch die Aufbereitung der o. a. Informationen lässt sich die unternehmerische Zielsetzung des Krankenhauses konsequent unterstützen, indem frühzeitig

konkrete Maßnahmen vorbereitet und evaluiert werden können, um strategische Fehlentwicklungen zu vermeiden.

5.3.3. Ressourcensicht

In der Ressourcensicht löst sich die Auswertungsgrundlage von den Geschäftsprozessen und verschiebt sie zugunsten der Ressourcen. Dabei wird der Einsatz des Personals bzw. der technischen Geräte bei der Ausführung von Aktivitäten in den verschiedenen Prozessinstanzen untersucht. Dies geschieht aus einer prozessübergreifenden Perspektive heraus, wodurch sich die interdisziplinäre Zusammenarbeit der Ressourcen analysieren lässt. Diese Betrachtung stellt eine wichtige Grundlage zur Qualifizierung und Quantifizierung der inhärenten Wechselwirkungen dar:

- **Einsatzstatistik**

Im Rahmen der Einsatzstatistik werden die Arbeitseinsätze der Ressource in einer univariaten Kennzahl aufbereitet, d. h. die Einsätze sind innerhalb eines (vordefinierten) Zeitraums zu erfassen und auf einen einzelnen Wert zu normieren. Damit können bereits wichtige Aussagen über die Auslastung der verfügbaren Ressourcen generiert werden, mit denen die Krankenhausleitung effiziente Einsatzplanungen und Bedarfsanalysen vorbereiten kann.

- **Auslastungsanalyse**

Der o. a. Auslastungsgrad fasst die erbrachten Leistungen einer Ressource zu einer einzelnen Kennzahl zusammen. Dieses Vorgehen bietet damit eine leicht nachvollziehbare Darstellung der Auslastung. Es verdeckt aber zugleich potenziell wichtige Details. Durch die Aufbereitung der Auslastungsprofile kann eine genauere Analyse der Beschäftigung im Zeitverlauf vorgenommen werden. So lassen sich die bestehenden Kapazitätsreserven der Ressourcen nur zur weiteren Steigerung der Produktivität, also zur Behandlung weiterer Patienten heranziehen, wenn sich die freie Kapazität zum richtigen Zeitpunkt und in der notwendigen Kombination mit anderen Ressourcen nutzen lässt.

Schon die Durchführung dieser Analysen kann wichtige Hinweise für den Ressourcenbedarf ergeben oder Konflikte in der Prozesslandschaft aufdecken, welche zu einer ineffizienten Ressourcenauslastung führen.

6. Modellierung eines exemplarischen klinischen Behandlungspfads

Zur Veranschaulichung und Überprüfung des Vorgehens wurde nun ein exemplarischer klinischer Behandlungspfad für die Umsetzung mit der Modellierungsnotation jPDL (vgl. Kap. 4) ausgewählt. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit fiel die Wahl dabei auf einen klinischen Behandlungspfad für das Krankheitsbild „Diarrhö“, der aus den medizinischen Ausführungen von Kiehne et al. [Kie⁺00], Stüber, Herzig und Folsch [SHF00], Stiefelhagen [Sti07] und Töx [Töx08] abgeleitet wurde (vgl. Abb. 31).

Dieser Pfad stellt einen typischen Vertreter für die Anforderungen im Krankenhaus dar, da Durchfallserkrankungen zu den häufigsten Gründen für einen Arztbesuch⁵² gehören, sie zudem vielseitige Ursachen bzw. Therapiemöglichkeiten bieten⁵³ und ferner auch die meisten der vorgestellten Anforderungen aus der Anwendungsdomäne (vgl. Kapitel 4) beinhalten.

Ein klinischer Behandlungspfad für dieses scheinbar einfache Krankheitsbild muss die Ermittlung der tatsächlichen Ursache unterstützen, damit eine gezielte Behandlung der Erkrankung eingeleitet werden kann. Während die Therapie einigermaßen geradlinig und überschaubar ist, stellt die korrekte Identifikation der zugrunde liegenden Erkrankung mit den Mitteln der Diagnostik einen durchaus komplizierten Teilprozess dar.

Entsprechend wurden die Anforderungen mit der ausgewählten Modellierungsnotation (vgl. Kap. 4) realisiert (vgl. auch Abb. 31). In den folgenden Unterkapiteln werden einzelne Aspekte aufgegriffen und diskutiert sowie auch alternative Modellierungswege aufgezeigt und bewertet. Das Unterkapitel 6.1 beginnt zunächst mit der Vorstellung der parallelen Untersuchungen im Rahmen der Diagnose-sicherung. Anschließend wird in Unterkapitel 6.2 dargestellt, welche Gründe zum Verwerfen einer Verdachtsdiagnose führen können und wie sich diese Ausnahmebehandlung darstellen lässt. Abschließend erfolgt in Unterkapitel 6.3 die Zuordnung der Ressourcen, wobei der Unterschied zwischen dem Rollen- und Qualifikationskonzept zu verdeutlichen sein wird.

⁵² So führt Töx [Töx08] in seiner Arbeit aus, dass in den Industrieländern jeder Erwachsene im Durchschnitt 0,5 bis 2 Episoden pro Jahr erlebt und diese Erkrankung beispielsweise in den USA für ein Viertel aller Krankenhausbesuche verantwortlich ist.

⁵³ Eine entsprechende Darstellung der verschiedenen Formen und Ursachen werden in Anhang B kompakt zusammen gefasst.

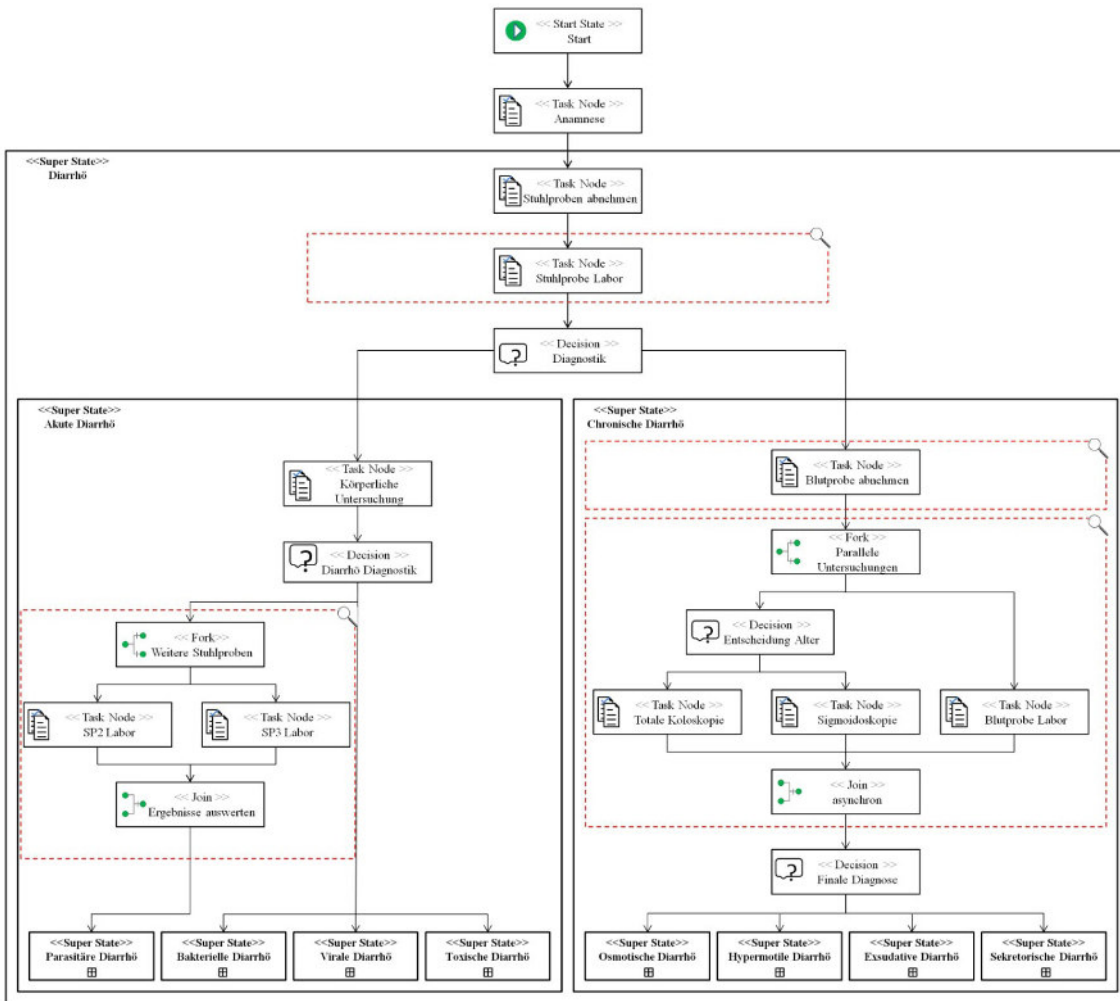


Abb. 31: Klinischer Behandlungspfad "Diarrhö"

6.1. Parallele Bestätigungsuntersuchungen

Wie bereits in Kapitel 4.2.1 ausgeführt wurde, bestehen die Untersuchungen zur Bestätigung der momentanen Verdachtsdiagnose häufig aus mehreren Schritten, die zum Teil entkoppelt voneinander stattfinden können. Ein entsprechendes Vorgehen findet sich auch im exemplarischen Anwendungsfall. So beschreibt Stiefelhagen [Sti07] in seiner Arbeit, dass die Abklärung einer chronischen Diarrhö durch eine Blutuntersuchung im Labor und eine endoskopische Untersuchung durch den Arzt erfolgt. Da diese Teilprozesse einer räumlichen und personellen Trennung unterliegen, lassen sie sich parallel ausführen. Nach Vorliegen beider Untersuchungsergebnisse kann die Verdachtsdiagnose entweder bestätigt oder verworfen werden. Eine Besonderheit stellt hierbei die Wahl der konkreten Untersuchungsform der endoskopischen Untersuchung dar, denn diese hängt maßgeblich vom Alter des Patienten ab. So wird typischerweise für Patienten unter 45 Jahren nur eine Sigmoidoskopie vorgenommen, wohingegen man bei älteren Patienten eine totale Koloskopie durchführt.⁵⁴

Aus Sicht des Modellierers besteht nun die Herausforderung darin, die Verzweigungen und die Zusammenführungen sowohl syntaktisch als auch semantisch korrekt umzusetzen. Zudem ist den Endanwendern ein intuitiv nachvollziehbares Modell zu liefern.

Die erste Verzweigung lässt sich dabei mit einem Knoten des Typs *fork* modellieren. In der hinterlegten Ausführungslogik wird bereits von der Notation festgelegt, dass alle ausgehenden Transitionen auszuführen sind und somit eine Parallelisierung der folgenden (Teil-)Prozesse stattfindet. Sowohl in der grafischen wie auch der blockorientierten Repräsentation (vgl. Abb. 32) werden daher lediglich die beiden ausgehenden Kanten angegeben, die die Verbindung zu den nachfolgenden Aktivitäten darstellen.

Die zweite Verzweigung benötigt hingegen einen Knoten des Typs *decision*, weil hier eine Entscheidung zwischen verschiedenen (Teil-)Prozessen stattfinden muss. Die ausgehenden Transitionen erhalten dabei jeweils eine (disjunkte) Bedingung in Form eines booleschen Ausdrucks. Durch die (sequenzielle) Auswertung der Bedingungen wird letztlich über die Fortführung des Pfads entschieden. In der grafischen Modellierung lassen sich wiederum nur die beiden ausgehenden Kanten angeben. Die Hinterlegung der Bedingungen erfolgt hingegen nur in der blockorientierten Darstellung. Hierbei sind die Bedingungen in der Spezifikation der ausgehenden Transitionen einzubinden (vgl. Abb. 32).

⁵⁴ Dies ist im Wesentlichen auf die empirische Verteilung der möglichen Erkrankungsursachen in Korrelation zu den Altersgruppen zurückzuführen.

```

① <fork name = "Chronische Diarrhoe">
    <transition name = "to Entscheidung Alter" to = "Entscheidung Alter"/>
    <transition name = "to Laboruntersuchung Blutprobe" to = "Laboruntersuchung Blutprobe"/>
</fork>
② <decision name = "Entscheidung Alter">
    <transition name = "to Sigmoidoskopie" to = "Sigmoidoskopie">
        <condition expression = "#{contextInstance.variables['alter'] eq 'jung'}"/>
    </transition>
    <transition name = "to Totale Koloskopie" to = "Totale Koloskopie">
        <condition expression = "#{contextInstance.variables['alter'] eq 'alt'}"/>
    </transition>
</decision>

```

Abb. 32: Verzweigungen in jPDL mit den Knoten *fork* und *decision*

Für die Modellierung der Zusammenführungen bietet die jPDL dem Modellierer zwei verschiedene Ansätze zur Umsetzung der dargestellten Anforderungen:

1. Die meisten Modellierungsnotationen erwarten eine explizite Zusammenführung gleichartiger Teilprozesse, um hierdurch sicherzustellen, dass wiederum eine entsprechende Synchronisation erfolgen kann.⁵⁵ Dies verhindert eine Verschachtelung unterschiedlicher Verzweigungsarten, sodass die Teilprozesse immer wieder durch entsprechende Joins zusammengeführt werden müssen. Sofern man diesem Ansatz folgen möchte, kann man die o. a. Anforderungen durch den Einsatz eines zusätzlichen (asynchronen) Joins nach den endoskopischen Untersuchungen realisieren (vgl. Abb. 33). Der abschließende (synchrone) Join für die Zusammenführung der Ergebnisse aus dem Labor und der ärztlichen Untersuchung korrespondiert also wiederum mit der ursprünglichen Verzweigung bei der Parallelisierung der unterschiedlichen Untersuchungsformen. Während dieses Prozedere für die automatische Interpretation des Prozesses durchaus von Vorteil sein kann, führt es in der Praxis zu unübersichtlichen Modellen, da diese durch die zusätzlichen Joins in ihrer Größe deutlich anwachsen können.

⁵⁵ In der praktischen Evaluation eines (synchrone) Joins wird von den meisten Workflow-Engines die Bereitstellung eines (abstrakten) Tokens durch sämtliche Eingangstransitionen erwartet. Solange entsprechende Tokens nicht geliefert wurden, verbleibt der Join in einem Wartezustand.

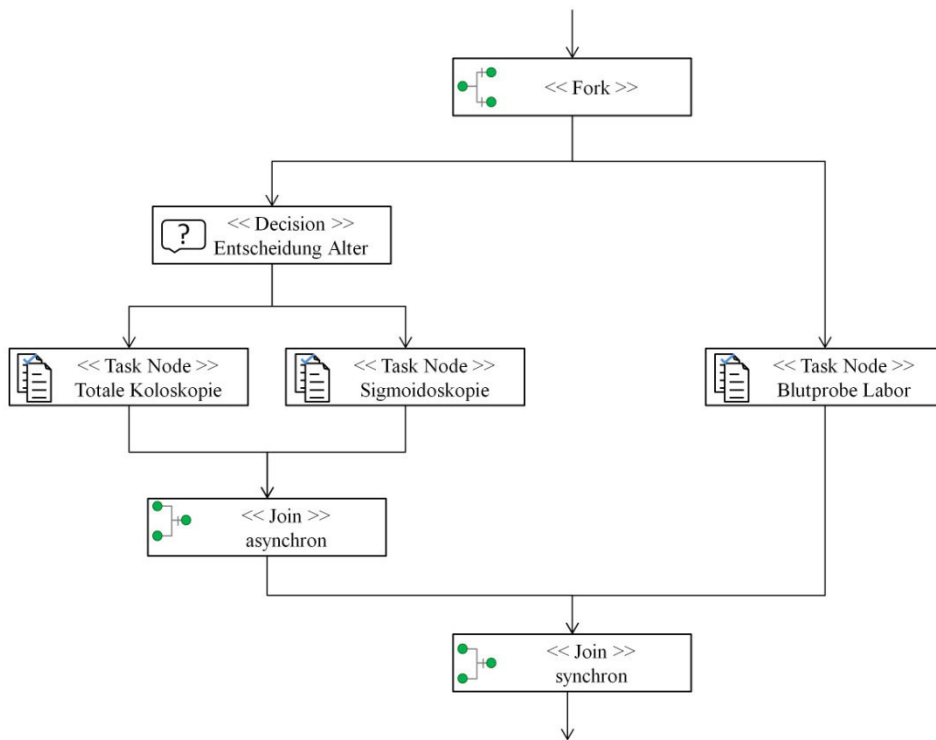


Abb. 33: Umsetzung der nebenläufigen Ausführung mit synchronen und asynchronen Joins

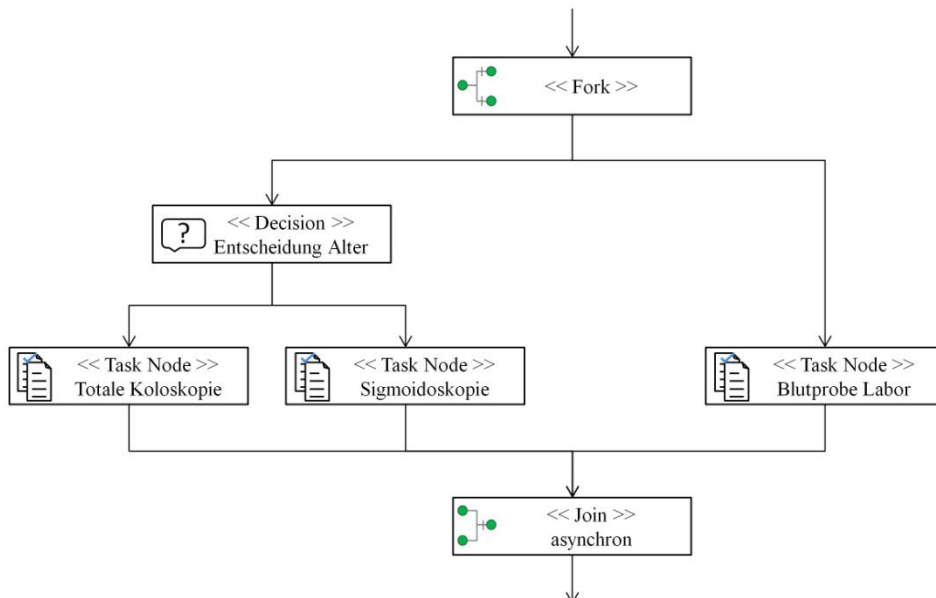


Abb. 34: Umsetzung der nebenläufigen Ausführung mit asynchronen Joins

```

<join name = "Ergebnisse" async = "true">
  <transition name = "to Entscheidung Chronische Diarrhoe " to = "Entscheidung Chronische Diarrhoe" >
    <condition expression = "#{(contextInstance.variables['Blutuntersuchung'] eq 'true') and
      ((contextInstance.variables['Sigmoidoskopie'] eq 'true') or
      (contextInstance.variables['Totale_Koloskopie'] eq 'true'))}"/>
  </transition>
</join>

```

Abb. 35: Spezifikation des asynchronen Joins in jPDL

2. Durch den Einsatz der *Common Elements* (vgl. Kap. 4.3.1) kann in den (asynchronen) Joins ein komplexes Verhalten vorgegeben werden, sodass bei Schalten einer beliebigen Eingangstransition die Bedingungen an der vorliegenden Ausgangstransition evaluiert werden. Im Gegensatz zu der synchronen Ausführung wird somit kein expliziter Wartezustand eingenommen. Im Vergleich zur zuvor aufgeführten Alternative mit zusätzlichen Joins kann das gesamte Modell deutlich verschlankt und somit die Übersichtlichkeit für den Anwender erhöht werden. (siehe Abb. 34). In der grafischen Modellierung wird wiederum nur die ausgehende Kante angegeben, wohingegen in der blockorientierten Darstellung die Bedingung in der Spezifikation der ausgehenden Transition eingebunden werden muss (vgl. Abb. 35).

Aus semantischer Sicht sind die beiden Alternativen durchaus gleichwertig. Um einen kompakten und übersichtlichen Prozess zu generieren, wurde letztlich die Alternative mit asynchronen Joins im gesamten Modell genutzt.

6.2. Verwerfen der Verdachtsdiagnose

Durch die Aufnahme der Krankengeschichte (wie z. B. Angaben des Patienten zum Verzehr suspekter Speisen, Medikamentengebrauch, Erkrankungen im sozialen Umfeld und Auslandsaufenthalte in der jüngeren Vergangenheit) und die Erfassung der Symptomatik (z. B. Untersuchung der Stuhlbeschaffenheit, -menge und -frequenz) im Rahmen der Anamnese entwickelt der Arzt bereits frühzeitig eine Verdachtsdiagnose, die das weitere Vorgehen während der Diagnostik maßgeblich bestimmt. Diese ist aber letztlich zu verwerfen, wenn sie durch die Bestätigungsuntersuchungen nicht nachgewiesen werden kann.

Wenn z. B. aufgrund der Anamnese anfänglich von einer parasitären Diarrhö ausgegangen wird, dann sieht der Behandlungspfad vor, dass drei Stuhlproben zu nehmen und im Labor zu untersuchen sind. [Sti07] Dabei verbleibt ein gewisser Prozentsatz an Untersuchungen ohne Befund, d. h. die Erreger konnten durch die Untersuchungen nicht nachgewiesen werden. Der begonnene Behandlungspfad muss daher abgebrochen und eine neue Verdachtsdiagnose erstellt werden. Diese sollte allerdings auf bereits bestehende Erkenntnisse zurückgreifen, damit auf die Wiederholung unnötiger Untersuchungen verzichtet werden kann.

Der Modellierer muss daher in seinem Modell entsprechende Mechanismen integrieren, mit denen er die planmäßige Ausführung der klinischen Behandlungspfade unter- bzw. abbrechen kann, um so einen Wechsel zwischen den verschiedenen Verdachtsdiagnosen zu unterstützen. Eine besondere Herausforderung besteht dabei in der korrekten Auflösung der geschachtelten Subprozesse, bei denen keine informationellen Relikte verbleiben dürfen, die bei einer Operationalisierung zu fehlerhaftem Verhalten führen könnten. Die jPDL bietet dem Modellierer hier zwei verschiedene Ansätze zur Umsetzung der dargestellten Anforderungen:

1. Expliziter Wechsel mit Transitionen

Der Modellierer kann seine klinischen Behandlungspfade um artifizielle (End-)Zustände und Transitionen erweitern, mit denen sich das vorzeitige Verlassen des klinischen Behandlungspfades realisieren lässt. Das Vorgehen orientiert sich dabei maßgeblich an dem Ausführungsmuster „*Straight Road with Exits*“, das bereits im Kapitel 4.3.4 vorgestellt wurde. Bei diesem Ansatz wird der (Teil-)Prozess zunächst in einen (artifizialen) Endzustand überführt, um die Ausführung korrekt zu terminieren. Anschließend lassen sich weitere Transitionen zwischen den Subprozessen erstellen, um den tatsächlichen Wechsel zu gewährleisten.

2. Impliziter Wechsel durch Ausnahmen

Durch die Anlehnung der jPDL an objektorientierte Programmiersprachen kann eine Prozessinstanz auch durch die Evaluation einer Ausnahme terminiert werden. Die Notation bietet daher in ihrer blockorientierten Darstellungsform einen vordefinierten Befehlssatz, mit dem sich (durch die Erzeugung weiterer Ereignisse) eine Manipulation des Kontrollflusses vornehmen lässt. Bei der Modellierung wird die Ausnahmebehandlung an den relevanten Aktivitäten hinterlegt (vgl. Abb. 36). Im vorliegenden Fall kann durch die Auslösung einer entsprechenden Ausnahme vor dem Beginn der eigentlichen Behandlung der Behandlungspfad der akuten Diarrhö terminiert werden. Dies terminiert den Subprozess, wohingegen die Prozessinstanz aber erhalten bleibt; stattdessen wird ihr Zustand direkt manipuliert.

```

<super-state name = " Akute_Diarrhoe">
    <exception-handler exception-class = "java.lang.Throwable">
        <condition expression = "#{token.setNode['chronische_Diarrhoe/blutprobe_abnehmen']}" />
    </exception-handler>
    ...
</super-state>

```

Abb. 36: Ausnahmebehandlung beim vorzeitigen Verlassen eines klinischen Behandlungspfades

Bei der Abwägung zwischen diesen beiden Ansätzen ist letztlich zu entscheiden, wie häufig mit einem entsprechenden Wechsel zu rechnen ist. Bei der Modellierung mit entsprechenden Transitionen werden sämtliche Eventualitäten explizit in das Modell eingebunden. Allerdings wächst die Komplexität mit der Anzahl der (verschachtelten) Hierarchieebenen an, sodass die Übersichtlichkeit schnell sinkt und der Aufwand für die Wartung der Prozesse immer weiter ansteigt. Da der Wechsel zwischen den (Teil-)Prozessen eher selten erfolgt, erscheint der Einsatz der Ausnahmebehandlungen wesentlich effizienter.

6.3. Qualifikationsprofile des medizinischen Personals

Während der Modellierung der klinischen Behandlungspfade mit den Mitteln der Geschäftsprozessmodellierung wird nicht nur die reine Sequenz der Prozessschritte beschrieben. Vielmehr führt dies auch zur Zuordnung von notwendigem Personal und (technischen) Ressourcen an die einzelnen Aktivitäten. Die Modellierung eines klinischen Behandlungspfades ist dabei typischerweise auf die Nutzung durch ein interprofessionelles Behandlungsteam ausgerichtet, d. h. die Erstellung und Sicherung der Diagnose erfolgt durch verschiedene Spezialisten, die für die Durchführung bestimmter Prozessschritte ausgebildet und qualifiziert wurden (vgl. Kap. 2.3.2).

Eine Ressource ist dabei in der Lage, eine Aktivität durchzuführen, sofern sie über das erforderliche Qualifikationsprofil verfügt. Aus der Literatur ließen sich für das Anwendungsbeispiel vier unterschiedliche Qualifikationen identifizieren, die von verschiedenen (menschlichen) Ressourcen bereitgestellt werden können (vgl. Abb. 37).


```

< resource-pool name = "personal" >

    <resource name = "Chefarzt"           qualification="Q1, Q2"   costs="0.0127" />
    < resource name = "Facharzt"         qualification="Q1, Q2"   costs="0.0062" />
    < resource name = "Arzt A"           qualification="Q1, Q2"   costs="0.0047" />
    < resource name = "Arzt B"           qualification="Q1, Q2"   costs="0.0047" />
    ...
    < resource name = "Krankenschwester A" qualification="Q2, Q3"   costs="0.0021" />
    < resource name = "Krankenschwester B" qualification="Q2, Q3"   costs="0.0021" />
    ...
    < resource name = "Laborant A"       qualification="Q4"       costs="0.0036" />
    < resource name = "Laborant B"       qualification="Q4"       costs="0.0036" />
    ...

</resource-pool>

```

Abb. 37: Qualifikationsprofile der Ressourcen aus der Datenschicht

Die Modellierungsansätze zur Abbildung der Ressourcenzuordnung an den Aktivitäten, welche die Beziehungen der klinischen Behandlungspfade zur Aufbauorganisation herstellen, lassen sich dabei grundsätzlich in zwei Gruppen untergliedern:

1. Realisierung auf Grundlage des Rollenkonzepts

Einige medizinische Untersuchungen können nur von einer speziell dafür ausgebildeten und qualifizierten Ressource vorgenommen werden. Entsprechende Anforderungen im Anwendungsfall erkennt man z. B. bei der Durchführung einer Laboruntersuchung. Diese Aktivität ist nur durch einen Laboranten auszuführen, d. h. es existiert eine eindeutige Abbildung zwischen dem Qualifikationsprofil der Aktivität und einer Gruppe gleichartiger Ressourcen.

```

<task name = "Blutprobe Labor" swimlane = "Laborant" />

```

Abb. 38: Anwendung des Rollenkonzepts für die Labor der Blutprobe

Hierbei kann der Modellierer auf das etablierte Rollenkonzept (vgl. Kap. 4.3.3) zurückgreifen. Dieses Konzept stellt eine (semantische) die Ressourcen zu Rollen bündelnde Klammer dar. Die blockorientierte Darstellung der Aktivität enthält dabei einen Verweis auf einen dedizierten Ressourcenpool (vgl. Abb. 38). In der grafischen Darstellung können hingegen entsprechende swimlanes eingeführt werden, die eine visuelle Zuordnung der Aktivitäten zu einer Rolle ermöglichen.⁵⁶

2. Realisierung auf Grundlage der Qualifikationsprofile

Durch die Nutzung von Leitungsbefugnissen können bestimmte Aktivitäten von unterschiedlichen Personen durchgeführt werden, sofern sie über die notwendigen Qualifikationen verfügen. So darf eine Blutabnahme prinzipiell durch unterschiedliche Berufsgruppen vorgenommen werden: Neben den Ärzten können auch nichtärztliche Vertreter (wie z. B. eine qualifizierte Krankenschwester mit entsprechender Zertifizierung) zur Ausführung dieser Tätigkeit befugt sein (vgl. Kap. 4.3.3).

```
<task name="blutprobe_abnehmen" qualification = "Q2" swimlane = "Personal"/>
```

Abb. 39: Modellierung von Qualifikationsprofilen für die Abnahme der Blutprobe

In der Konsequenz muss somit auch die Nutzung von Ressourcenpools mit einheitlichen Rollenprofilen aufgegeben werden, da die Überprüfung der Qualifikationen sich über unterschiedliche Ressourcen erstreckt. Das Modell nähert sich hierdurch immer stärker einem Ansatz mit individuellen Mitarbeitern an, die alle ihr eigenes Qualifikationsprofil bieten.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde der Ansatz mit der Zuordnung von Qualifikationen zu den (menschlichen) Ressourcen realisiert, zumal der Modellierer im Rahmen des klassischen Rollenkonzepts zu stark eingeschränkt wird, weil er die Aktivität entweder einer der bestehenden Rollen zuweisen oder aber artifizielle Rollen erzeugen muss. Ein solches Vorgehen führt letztlich nur zu unübersichtlichen und wenig intuitiven Modellen, die für den Anwender zu wenig nachvollziehbar sind.

⁵⁶ Anhand dieses Vorgehens erkennt man allerdings auch die Grenzen des Ansatzes: Werden z. B. mehrere (unterschiedliche) Ressourcen zur Bearbeitung einer Aktivität benötigt, so kann dies nicht mehr mit dem bisherigen Rollenkonzept (vgl. Kap. 4.3.3) abgedeckt werden, weil sich eine eindeutige Zuordnung zwischen den Aktivitäten und den Rollen nicht mehr darstellen lässt.

7. Erweiterung der Ausführungsumgebung

Die vorangegangenen Kapiteln widmeten sich der Realisierbarkeit einer Abbildung klinischer Behandlungspfade mit den Mitteln der Geschäftsprozessmodellierung. Dabei wurde ersichtlich, dass sich die grundlegenden Anforderungen des Anwendungskontextes mit den Mitteln der Modellierungsnotation prinzipiell darstellen lassen. Bei der Überführung in ein Simulationsexperiment müssen nun alle Vorgänge so weit operationalisiert werden, dass sie ohne manuellen Eingriff eines Nutzers ausgeführt werden können.

Das Hauptaugenmerk der Geschäftsprozessmodellierung liegt allerdings auf der Identifikation der Kontrollfluss- und Datenperspektive der Prozesse. Bei der Operationalisierung der klinischen Behandlungspfade sind daher weitere (Sub-)Prozesse in der Ausführungsumgebung (z. B. für die Ressourcenallokation und die Erzeugung von Prozessinstanzen) einzubeziehen, um einen validen und korrekten Ablauf des Geschehens zu erzeugen. Bislang werden aber zu stark vereinfachende Ansätze genutzt, die nur bedingt dazu geeignet sind, die komplexen Interaktionen im Krankenhaus hinreichend genau zu erfassen.

In dieser Arbeit wird maßgeblich auf der Arbeit Rückers [Rüc08] aufgesetzt, in der dieser das grundlegende Vorgehen zur Simulation von Geschäftsprozessen unter Nutzung der jPDL beschrieben hat. Für die Nutzung in der Anwendungsdomäne müssen allerdings punktuelle Erweiterungen an der Ausführungsumgebung vorgenommen werden, um eine effiziente und valide Abbildung des Vorgehens zur ermöglichen. Somit werden die bestehenden Ansätze genauer untersucht und die vorgenommenen Erweiterungen beschrieben.

In Unterkapitel 7.1 wird ein Überblick über die Funktionalität und die Struktur der bestehenden Implementation gegeben. Das Unterkapitel 7.2 beschäftigt sich dann mit der Beschreibung der realisierten Erweiterungen und greift dabei die zuvor dargelegten Anforderungen aus dem konzeptuellen Ablaufmodell auf: Hierbei werden die Konzeption und Umsetzung eines erweiterten Token- und Ressourcenkonzepts beschrieben sowie auch die Anpassungen an die Simulationsumgebung und die Workflow-Engine zur Umsetzung der Auswertungsperspektiven dargestellt.

7.1. Darstellung der bestehenden Implementation

Die Arbeit Rückers [Rüc07] beschreibt einen grundlegenden Ansatz, bei dem die Funktionalität der Workflow-Engine jBPM⁵⁷ mit dem Simulationsframework DESMO-J⁵⁸ gekoppelt wurde. Die Workflow-Engine bietet dabei die grundlegende Funktionalität zur Interpretation vorliegender Geschäftsprozessdefinitionen für die Generierung ausführbarer Objekte und deren anschließende Verwaltung. Darüber hinaus bietet sie verschiedene Schnittstellen an, entlang derer sie mit anderen Programmen in Verbindung gesetzt werden kann.

- Durch die bereitgestellten Eingabeschnittstellen können neue Geschäftsprozessinstanzen erzeugt, deren aktueller Zustand abgefragt, Rückmeldungen über ausgeführte Aktivitäten bzw. Ereignisse geliefert sowie bestehende Prozessinstanzen durch die Workflow-Engine terminiert werden.
- Mittels der Ausgangsschnittstelle kann die Workflow-Engine wiederum die Ausführung der in den Aktivitäten hinterlegten Aufgaben anfordern.

Beim Einsatz in realen Systemen führt der Anwender Änderungen an den Prozessinstanzen durch, indem er Daten verwaltet und auch steuernd auf die Prozesse einwirkt. Diese Tätigkeiten müssen bei einer simulierten Ausführung nun von der Simulationsumgebung übernommen werden, sodass sich manuelle Eingriffe vollständig vermeiden lassen. Die eigentliche Ausführung der Aktivitäten wird daher durch die Implementierung entsprechender Simulationsentitäten vorgenommen.

Die bei Rückers vorgefundene Implementation orientiert sich am generellen Ablauf eines Simulationsexperiments. Daher wird hier das Vorgehen kompakt rekapituliert, um die Struktur und den Bezug zu den relevanten Klassen zu verdeutlichen.

Die Realisierung in der Simulationsschicht des Ablaufmodells beginnt mit dem Laden und Einlesen eines Simulationsexperiments:

- **Einlesen der Experimentkonfiguration**
Vor der eigentlichen Ausführung müssen zunächst die Prozessbeschreibungen eingelesen werden. Sie dienen im weiteren Verlauf des Simulationsexperiments als Vorlagen zur Generierung der konkreten Prozessinstanzen. In der vorliegenden Implementation wird

⁵⁷ jBPM ist eine erweiterbare Workflow-Engine, die seit 2006 von JBOSS entwickelt wird. Sie ermöglicht die Interpretation und Ausführung verschiedener Geschäftsprozessnotationen und unterstützt neben der hier genutzten jPDL auch Modelle in BPMN 2.0, BPEL und Pageflow. Unter der GNU-Lizenz steht sie frei zur Verfügung und kann unter <http://sourceforge.net/projects/jbpm/> heruntergeladen werden.

⁵⁸ DESMO-J ist ein Framework für die diskrete ereignisorientierte Modellierung und Simulation, das seit 1999 an der Universität Hamburg entwickelt wird. Wie jBPM steht es unter der GNU-Lizenz frei zur Verfügung und kann unter <http://sourceforge.net/projects/desmoj/> heruntergeladen werden.

daher ein Parser eingesetzt, der die blockorientierte Darstellung im jPDL-Format einliest und entsprechende Objekte zur Kapselung der Prozessdefinitionen anlegt. Zudem wird die Konfiguration der Simulationsexperimente eingelesen. Diese muss in einer separierten Datei bereitgestellt werden, da die simulationsspezifischen Informationen nur in einem proprietären Datenformat vorliegen. Hierzu gehören u. a. die Beschreibung der verfügbaren Ressourcen (mit ihren Qualifikationsprofilen und Kostensätzen), die Angaben über die Verteilungsfunktionen und auch die Definition der Ausführungsparameter (wie z. B. Ausführungsdauer und Terminierungskriterium). Innerhalb des Simulationsszenarios⁵⁹ werden die Prozessbeschreibungen und die Konfiguration des Experiments zu dem letztlichem Simulationsmodell verbunden, welches anschließend zur Ausführung gebracht werden kann (vgl. Abb. 40).

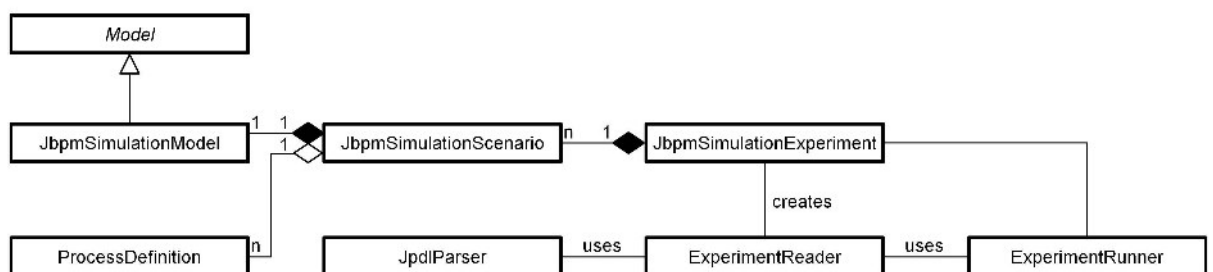


Abb. 40: Einlesen der Simulationskonfiguration und Erzeugung des Simulationsexperiments

- **Initialisierung**

Die Initialisierung des Simulationsexperiments beginnt mit der Generierung der Ressourcen und ihrer Hinterlegung in den Ressourcenpools. Anschließend werden die Prozess- sowie die Zufallszahlengeneratoren und die statistischen Zähler initialisiert. Dabei sind auch die ersten (externen) Ereignisse zur Erzeugung von Prozessinstanzen in der Ereignisliste vorzumerken, wodurch die Ankünfte der Patienten eingeleitet werden.

Nach der erfolgreichen Initialisierungsphase erzeugen die Prozessgeneratoren (in zumeist unregelmäßigen Zeitabständen) neue Prozessinstanzen. Die Instanzen durchlaufen entsprechend der ihnen zugrunde liegenden Prozessdefinition einen Lebenszyklus, der die geordnete Bearbeitung der inhärenten Prozessschritte ermöglicht:

⁵⁹ In der vorgefundenen Implementation fasst ein Simulationsexperiment ein oder mehrere sog. Simulationsszenarios zusammen, die nacheinander ausgeführt werden können. Der genutzte Begriff des Simulationsszenarios ist allerdings untypisch und wird in dieser Arbeit daher nur beibehalten, um den Bezug zur bestehenden Implementation zu wahren. Im Regelfall kann davon ausgegangen werden, dass der Begriff synonym mit einem Simulationsexperiment im gängigen Verständnis zu nutzen ist.

- **Generierung einer Prozessinstanz**

Die Erzeugung einer Prozessinstanz wird durch die Bearbeitung eines (externen) Ankunftsereignisses ausgelöst, welches von einem Prozessgenerator erzeugt und in der Ereignisliste vorgemerkt wurde. Hierbei erfolgt die Generierung der Instanz und eines sog. *Root-Tokens*⁶⁰, welcher in einem der Startknoten des Prozesses positioniert wird. Der Prozessgenerator merkt anschließend ein neues Ereignis zur Generierung einer weiteren Prozessinstanz vor. Die Ausführung des eigentlichen Lebenszyklus wird durch das erstmalige Versenden eines Signals an die Workflow-Engine getriggert. Für die Zustandsänderung wird dieses Signal bei der Ankunft vermerkt und die Überführung des Tokens entlang der ersten ausgehenden (Default-)Transition zu einem aktiven Knoten auslöst. Somit findet eine erstmalige Übergabe des Kontrollflusses von der Simulationsumgebung an die Workflow-Engine statt.

- **Verarbeitung einer Prozessinstanz**

Beim Eintritt einer Zustandsänderung werden die hinterlegten Regeln zur Steuerung des Kontrollflusses von der Workflow-Engine abgearbeitet. Ein Teil dieser Anforderungen kann allerdings nicht von dieser entschieden werden, da sie in der realweltlichen Ausführung durch fremde Systeme, die manuellen Eingaben eines Nutzers oder durch zeitkonsumierende Tätigkeiten bestimmt werden. Somit werden diese Aufgaben an die Simulationsumgebung delegiert, in der die Ergebnisse eine Approximation durch die substituierenden stochastischen Prozesse erfahren. Die Steuerung des Kontrollflusses wird dabei vollständig von der Simulationsumgebung übernommen. Bei der Bearbeitung von zeit- und ressourcenkonsumierenden Aktivitäten wird zuerst eine sog. Taskinstanz erzeugt, mit der sich die Zuordnung der Ressourcen ermitteln lässt. Hierbei wird überprüft, ob alle notwendigen Ressourcen zur Verfügung stehen. Ansonsten reiht sich die Taskinstanz in eine Warteschlange ein. Sobald mit der Bearbeitung begonnen werden kann, kommt es zur Entnahme der benötigten Ressourcen aus dem Ressourcenpool und für eine (stochastische) Zeitdauer zur Bindung an die Taskinstanz. Anschließend wird ein entsprechendes Ereignis für das Ende der Bearbeitung in der Ereignisliste eingetragen. Der Kontrollfluss wird wieder an die Simulationsumgebung übergeben, bis die Verarbeitung des vorgemerkten Ereignisses erneut die Prozessinstanz aktiviert. Dabei werden noch vor der Fortführung der Bearbeitung der Prozessinstanz durch die Workflow-Engine zunächst die Ressourcen freigegeben. Dieses Vorgehen wiederholt sich, bis der Lebenszyklus mit der Erreichung eines Endzustands terminiert. Dieser Zustand markiert eine Senke, aus der heraus eine Fortführung des Prozesses nicht mehr möglich ist, sodass nur noch eine finale Aktualisierung der statistischen Zähler vorzunehmen bleibt.

⁶⁰ Jede Prozessinstanz hat genau einen Root-Token, der in mehrere abhängige Token aufgeteilt werden kann. Dies geschieht z. B., wenn sich der Prozessablauf verzweigt, d. h. eine Fork-Verbindung genutzt wird, oder sobald entsprechende Subprozesse ausgeführt werden.

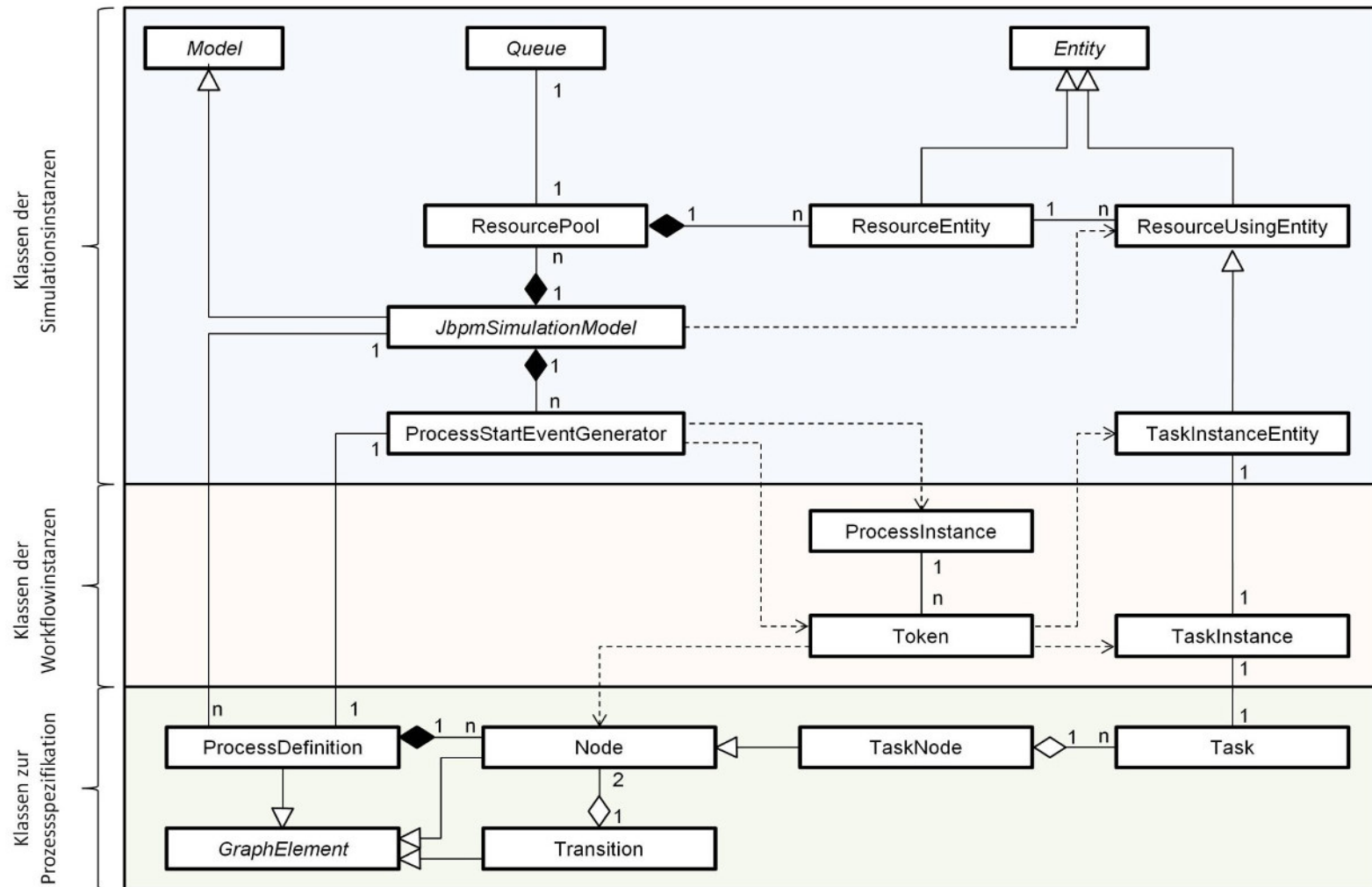


Abb. 41: Statische und dynamische Objekte des Ablaufmodells

Die vorgefundene Implementation beruht somit auf der zuvor beschriebenen Kooperation zwischen der Workflow-Engine und der Simulationsumgebung, um eine geordnete Übergabe des Kontrollflusses zu ermöglichen. Dabei lassen sich drei Ebenen unterscheiden, die in Abhängigkeit von der in Kapitel 5.2 beschriebenen Prozess- und Simulationsschicht stehen (vgl. Abb. 41):

- Auf der untersten Ebene finden sich die allgemeinen Klassen zur Spezifikation der *ProcessDefinition*. Diese basiert auf der graphenorientierten Struktur der Prozesse (vgl. Kap. 2.2.3) und besteht daher aus einer Menge von Graphenelementen, die die Knoten und Kanten des Graphen subsumieren. Die Knoten beschreiben verschiedene Aktivitäten und Steuerungselemente des Kontrollflusses.⁶¹ Hingegen stellen die Kanten die (unidirektionalen) Verbindungen zwischen den Knoten dar, d. h. ein Kantenobjekt erfordert immer die Referenzierung von genau zwei Knotenobjekten.
- Für die Ausführung eines Geschäftsvorfalles muss eine *ProcessInstance* entsprechend der Prozessdefinition abgeleitet werden. Der derzeitige Status der Prozessinstanz wird dabei durch einen oder mehrere *Token* gekennzeichnet. Während der Bearbeitung einer Aktivität innerhalb des Prozesses wird zudem eine *TaskInstance* erzeugt, die sich zur genaueren Bestimmung des Laufzeitverhaltens an die angebenen Systeme übergeben lässt, bevor die Workflow-Engine mit der weiteren Bearbeitung der Prozessinstanz fortfahren kann.
- Bei der Ausführung der Simulationsexperimente wird die Verwaltung der Prozessinstanzen durch das Simulationsmodell übernommen. Die Steuerung des Kontrollflusses wird dabei weiterhin so umfassend wie möglich an die Workflow-Engine delegiert. Erst bei Eintritt einer zeitkonsumierenden Aktivität findet ein Wechsel zugunsten des ereignisorientierten Modellierungsansatzes statt, da die Bearbeitung der Aktivität durch entsprechende Ereignisse erfolgt, mit denen der Beginn und das Ende der Bearbeitung gekennzeichnet wird. Zudem übernimmt das Simulationsmodell die Verwaltung und Zuordnung der Ressourcen, d. h. die erzeugten *TaskInstances* fordern vom Simulationsmodell die Zuordnung der benötigten Ressourcen an und werden ggf. in einer Warteschlange eingereiht, sofern die Bearbeitung nicht unmittelbar beginnen kann.

7.2. Erweiterungen

Zur Umsetzung der vorgestellten Konzepte mussten nun allerdings einige Anpassungen an der Ausführungsumgebung vorgenommen werden, um insbesondere in der simulierten Ausführung eine entsprechende Automatisierung der Prozesse zu erreichen und die zugehörigen Daten zu erfassen und aufzubereiten. Im Folgenden werden vor deren Anpassung die Konzepte sowie die eigentlichen Erweiterungen bzw. die Neuentwicklungen jeweils erläutert.

⁶¹ Eine kompakte Darstellung der wichtigsten Knotentypen der jPDL findet sich im Anhang A.

7.2.1. Einführung eines informationstragenden Tokens

Die Ausführung des Geschäftsprozesses wurde bislang durch die Zuordnung eines oder mehrerer (abstrakter) Token verfolgt.⁶² Diese stellen ein wichtiges Konzept zur Identifikation der Ausführungstiefe innerhalb eines geschachtelten Prozesses sowie zur Steuerung des Kontrollflusses dar.

In der bisherigen Implementation wurden diese Token nur als abstrakte Marken verwendet, mit denen sich lediglich die (aktiven) Knoten kennzeichnen ließen. Ausgehend von einem der Start-Zustände werden die Token entlang der Prozessdefinition propagiert. Bei der Aufspaltung in mehrere Teilprozesse bzw. bei der Nutzung von Subprozessen lassen sich weitere Token erzeugen, wodurch letztlich auch mehrere aktive Knoten gleichzeitig existieren können. Bei der Beendigung eines (Sub-)Prozesses bzw. bei der Zusammenführung von Teilprozessen müssen die entsprechenden Token hingegen wieder terminiert werden.

Die Eltern-Kind-Beziehungen der Token werden bereits zur Steuerung der asynchronen Ausführung durch die hinterlegte Ausführungslogik der Common Elements (vgl. Kap. 4.3.1) genutzt. Dies ermöglicht die Spezifikation von komplexerem Prozessverhalten, da sich die Token bei der Evaluation von Bedingungen (z. B. für die Auswahl einer Ausgangstransition) nutzen lassen.

Der Einsatz eines abstrakten Tokens erwies sich aber letztlich bei der Steuerung des Kontrollflusses in komplexeren Entscheidungssituationen als unzureichend: Dieses Vorgehen erlaubt keine Berücksichtigung von vergangenen Entscheidungen oder dezidierten Eigenschaften der Prozessinstanz. Gerade in der Anwendungsdomäne besitzen solche Konzepte aber eine besondere Bedeutung, da die Steuerung der Behandlung von einer Reihe an Patienteneigenschaften sowie auch von der Behandlungshistorie abhängen:

- Die konkrete Ausprägung der Behandlung hängt häufig vom Alter oder von der präsentierten Symptomatik der Erkrankung (siehe Kap.6.1) ab. Diese Informationen werden innerhalb der Anamnese erfasst und müssen während der Laufzeit der Prozessinstanz konsistent zur Verfügung gestellt werden.⁶³
- Im Falle eines vorzeitigen Verlassens des klinischen Behandlungspfads können bereits erfasste Befunde und Untersuchungsergebnisse weiter verwendet werden. Bei der Ausführung des klinischen Behandlungspfads lassen sich somit Aktivitäten überspringen, sofern die relevanten Ergebnisse bereits innerhalb des Token vorliegen.

⁶² Das Vorgehen wurde aus den Konzepten der Petri-Netze abgeleitet, die über einen identischen Ansatz verfügen.

⁶³ In der praktischen Implementation werden diese Informationen schon bei der Erzeugung der Prozessinstanz am Token hinterlegt. Allerdings stehen sie erst nach der Durchführung der Anamnese für die weiteren Prozesse zur Verfügung.

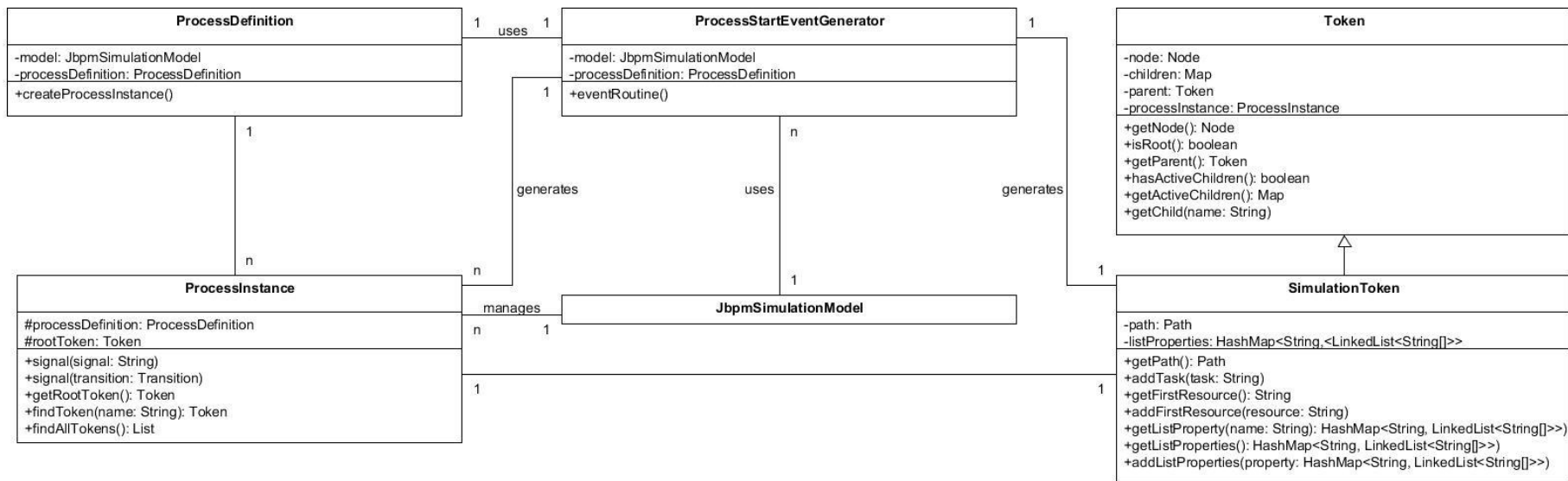


Abb. 42: Erweiterung des Tokenkonzepts

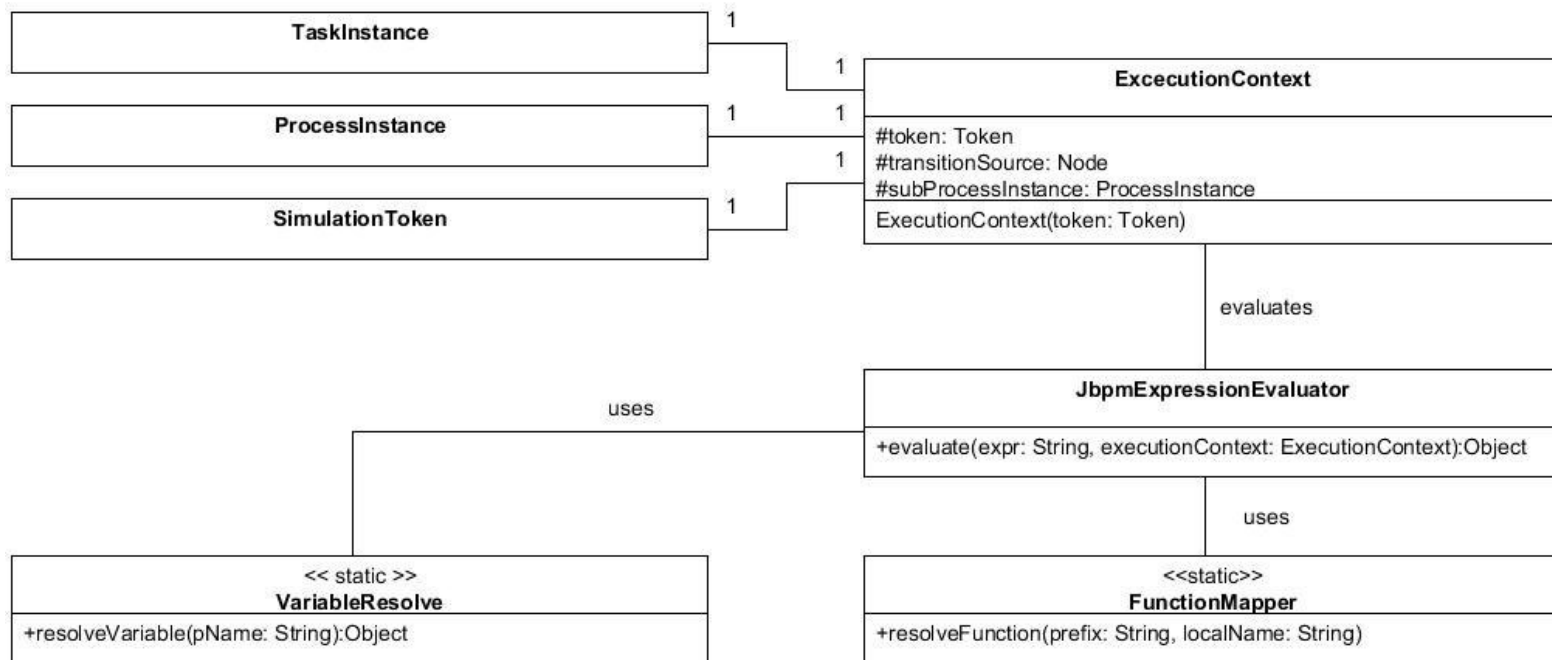


Abb. 43: Nutzung der Token im ExecutionContext zur Auswertung regulärer Ausdrücke

Daher wurde eine Erweiterung am Token-Konzept (vgl. Abb. 42) vorgenommen, um die relevanten, bei der Erzeugung bzw. der Bearbeitung der Prozessinstanz entstehenden Informationen persistent zu speichern. Mit dem *SimulationToken* wurde eine neue Klasse abgeleitet, die den bereits bestehenden (abstrakten) Tokenansatz um zwei wesentliche Eigenschaften erweitert. So wird nun innerhalb des Token die vollständige Ausführungshistorie der Prozessinstanz hinterlegt, wodurch eine genaue Nachverfolgung der tatsächlichen Behandlung erfolgen kann. Zudem verwaltet der Token eine Menge von Eigenschaften, in denen sich z. B. spezifische Patientendaten, Diagnosen und Untersuchungsergebnisse verwalten lassen.

Während der Prozessausführung kann nun auf diese Eigenschaften zurückgegriffen werden (vgl. Abb. 43). Durch die Erzeugung eines sog. *ExecutionContexts* lassen sich komplexere (reguläre) Ausdrücke erzeugen, mit denen eine kontextabhängige Verarbeitungslogik zu generieren ist. Diese können bei Verzweigungen (z. B. bei einer *Decision* oder *Fork*) und Zusammenführungen (z. B. bei einem *Join* oder der Auflösung eines Subprozesses) als entsprechende Bedingungen an den ausgehenden Transitionen genutzt werden, um die Fortführung des Kontrollflusses korrekt zu bestimmen.

Durch die Berücksichtigung der Eigenschaften lässt sich somit auch das Wissen über vergangene Entscheidungen und Ergebnisse explizit berücksichtigen. Dies führt insbesondere zu einer erhöhten Konsistenz in der Entscheidungsfindung bei einer simulierten Ausführung, da widersprüchliche Ergebnisse vermieden und bedingte Wahrscheinlichkeiten an den Tasks hinterlegt werden können.

7.2.2. Erweiterung des Ressourcenkonzepts

Eine wesentliche Herausforderung bei der validen Abbildung und Simulation klinischer Behandlungspfade besteht in der hinreichend genauen Erfassung und Untersuchung der Abhängigkeiten und Interaktionen zwischen den verschiedenen Prozessen bzw. Prozessinstanzen. Der Fokus liegt dabei insbesondere auf der gemeinsamen Nutzung der verfügbaren Ressourcen. Huang, Lu und Duan [HLD12a] betonen in diesem Zusammenhang aber, dass dieser Aspekt bislang nur unzureichend berücksichtigt wird, da das Hauptaugenmerk der Geschäftsprozessmodellierung auf der Identifikation der Kontrollfluss- und Datenperspektive der Prozesse liegt. Sie stellen weiterhin fest, dass nur wenige Forschungsarbeiten den Ressourcenaspekt explizit berücksichtigen.

In der Praxis wird der Allokationsprozess daher bei der Ausführung von Geschäftsprozessen in Real-systemen häufig noch immer explizit ausgeklammert und manuell vorgenommen, zumal das vorhandene Expertenwissen sich nicht immer in ausreichender Weise formalisieren lässt. [Liu⁺08] Aus der Perspektive des Geschäftsprozesses erscheint die Ressourcenallokation dann wie von „unsichtbarer Hand“ gesteuert. Ein solcher Ansatz ist aus Sicht der Simulation natürlich nicht ausreichend und muss daher durch einen eigenständigen Prozess substituiert werden, der eine

automatische Zuordnung der Ressourcen mit den Mitteln der Workflow-Engine bzw. der Simulationsumgebung erlaubt.

In der bestehenden Umsetzung von jBPM und DESMO-J wurde bislang eine rollenbasierte Ressourcenallokation (vgl. Abb. 44) unterstellt, bei der eine Verbindung zur hinterlegten Aufbauorganisation hergestellt wird. Wie bereits in Kapitel 2.1 dargestellt, entspricht dieses Vorgehen durchaus den typischen Ansätzen im Bereich der Geschäftsprozessmodellierung.

Die Rolle bündelt dabei die Rechte, Fähigkeiten und Kompetenzen der Ressourcen. Zwischen Letzteren und den Rollen lassen sich prinzipiell vielfältige Abhängigkeiten abbilden, d. h. eine Rolle kann genauso von mehreren Ressourcen wahrgenommen werden, wie eine Ressource auch mehreren Rollen zuordbar ist. In der bestehenden Implementation wurde allerdings nur eine Zusammenfassung gleichartiger Ressourcen zu einer Rolle ermöglicht, wodurch diese vollständig untereinander substituierbar sind.

Um die Durchlaufzeit und die Kosten einer Prozessinstanz zu bestimmen, müssen entsprechende Informationen für die Bearbeitung einer Aktivität hinterlegt werden. Obwohl diese Informationen individuell für die Kombination der verschiedenen Ressourcen und Aktivitäten variieren können, wurde bislang eine durchaus gängige Abstraktion genutzt, um die Komplexität des Modells zu reduzieren: So wird die Bearbeitungsdauer statisch an der Aktivität selbst hinterlegt.⁶⁴ Die Berechnung der Kosten entsteht wiederum aus dem Produkt zwischen der Dauer und einem mit der Rolle verbundenen Kostensatz.

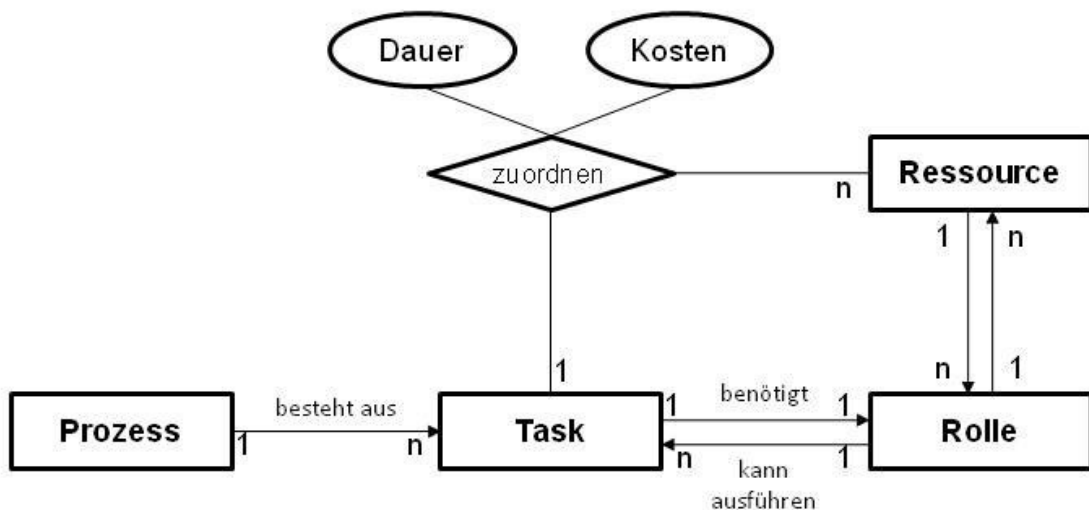


Abb. 44: Rollenbasierte Ressourcenallokation (in Anlehnung an [XLZ08])

⁶⁴ Man betrachte hierzu auch die Ausführungen von Wagner, Nicolae und Werner [WNW09] sowie zur Mühlens und Shapiros [MS10].

Diese Daten werden in der Konfigurationsdatei für die Simulationsexperimente hinterlegt und nach der Initialisierung (vgl. Kap. 7.1) vom Simulationsmodell verwaltet. Bei der Ausführung der Aktivitäten können die Kosten und die (stochastische) Dauer abgefragt werden.

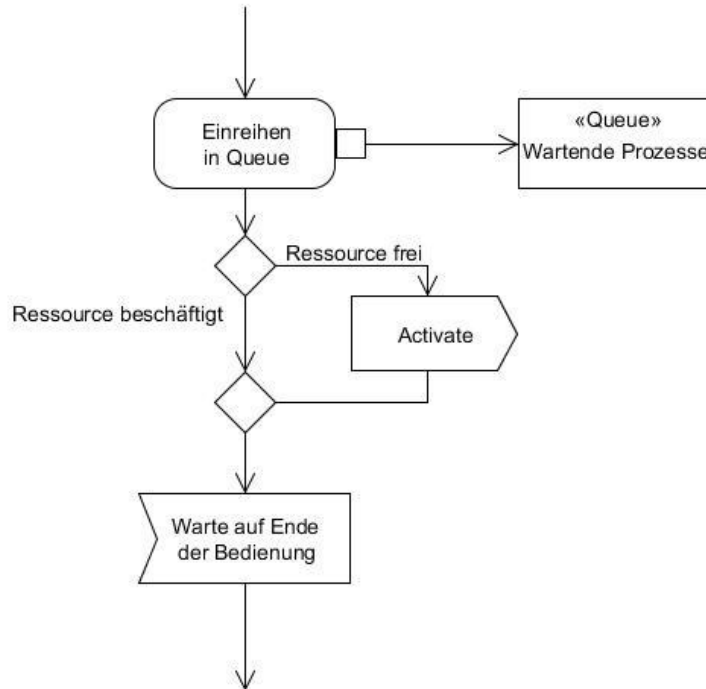


Abb. 45: „Unsichtbare Hand“ der Ressourcenzuordnung

Da die Ressourcen aber nicht explizit innerhalb der Geschäftsprozesse modelliert werden, wird innerhalb der Simulationsschicht auf bewährte Modellierungskonstrukte aus dem Kontext der Bedienungssysteme zurückgegriffen. Sofern situativ einmal keine freien Ressourcen verfügbar sind, reihen sich die noch nicht ausgeführten Prozesse in eine Warteschlange ein (vgl. Abb. 45). Da an dieser Stelle auch keine weitere Spezifikation existiert, nach welchen Kriterien die Ressourcen entnommen und zur Bearbeitung der Prozesse zugeordnet werden sollen, werden die Ressourcen (einer Rolle) als gleichartig aufgefasst und in beliebiger Reihenfolge aus der Warteschlange der wartenden Ressourcen entnommen und durch die Prozesse konsumiert.

Dieses Verfahren muss aber weiter aufgebohrt werden, um die konkreten Anforderungen der qualifikationsbasierten Ressourcenzuordnung umzusetzen (siehe Kap. 4.2.4). Die daraus resultierenden Aufgaben lassen sich grob in zwei Gruppen unterteilen: Zunächst ist jene (Teil-) Menge an Ressourcen zu ermitteln, die überhaupt für die Bearbeitung einer Aktivität in Betracht gezogen werden kann. Hierauf folgt die Auswahl der konkreten Ressourcen, sofern deren Menge geeigneter Exemplare aus mehreren Kandidaten besteht.

Die Umsetzung bedarf dabei elementarer Informationen, die bereits vor der Ausführung der eigentlichen Simulationsexperimente festgelegt werden müssen. Der Entwickler kann auf eine Reihe

allgemeiner Entwurfsmuster zur Strukturierung dieser Anforderung zurückgreifen. So beschreiben Russell et al. [Rus⁺05] in ihrer Arbeit sog. *Workflow Resource Patterns*, mit denen sich die unterschiedlichen Aspekte des Allokationsprozesses beschreiben lassen. Hierbei werden drei Teilaufgaben betrachtet:

- **Bestimmung einer Menge geeigneter Ressourcen**

Bei der Ressourcenallokation muss aus der Gesamtheit vorhandener Ressourcen eine Teilmenge ausgewählt werden, die für die Bearbeitung der Aufgabe geeignet ist (vgl. Tabelle 5).

- **Bestimmung des Allokationszeitpunkts**

Die Zuordnung der Ressource kann (in Bezug zur erstmaligen Anforderung durch die Prozessinstanz bzw. der Aktivität) zu unterschiedlichen Zeitpunkten erfolgen (vgl. Tabelle 6).

- **Art der Übergabe**

Sofern die vorangegangene Bestimmung der Menge geeigneter Ressourcen keine nur einelementige Teilmenge liefert, müssen die potenziellen Kandidaten sich über die letztliche Zuordnung der Aktivität einigen (vgl. Tabelle 7).

In Bezug auf diese Notation bietet die Ausführungsumgebung mit ihrem Rollenkonzept bislang nur eine Kombination der Muster *Role-based-Allocation* (R-RBA), *Distribution on enablement* (R-DE) und *Distribution by Allocation* (R-DBAS). Wie bereits in der Beschreibung der bestehenden Implementation (vgl. Kap. 7.1) ausgeführt, erzeugt die Workflow-Engine für die Ausführung einer ressourcenkonsumierenden Aktivität eine *TaskInstance* und übergibt sie an die Simulationsumgebung, da diese die Ressourcenverwaltung enthält. An den *TaskInstances* wurden dabei lediglich die benötigte Rolle sowie die Anzahl der Ressourcen hinterlegt. Die Simulationsumgebung brauchte somit wiederum nur die jeweilige Belegung verfügbarer Ressourcen in den entsprechenden Pools zu überprüfen.

Für die Umsetzung des Qualifikationenkonzpts ist dieses Vorgehen allerdings nicht geeignet, da verschiedene Rollen zur Umsetzung einer Aktivität genutzt werden können. Aus diesem Grund wurden mit den Mustern *Capability-based Allocation* (R-CBA) und *Retain Familiar* (R-RF) weitere Ansätze zur Bestimmung der Menge geeigneter Ressourcen in die Ausführungsumgebung integriert und eine weiterführende Konkretisierung der Allokationsstrategien zur Bestimmung der letztlichen Ressourcen vorgenommen. Für die Ressourcenallokation waren daher die abgeleiteten *ResourceUsingEntities* zu erweitern. Diese werden für die Ausführung einer Aktivität von der Simulationsumgebung erzeugt und konkretisieren eine Anfrage nach einer Ressource. Sie enthalten die Funktionalität zur Bestimmung der Menge der geeigneten Ressourcen und zur letztlichen

Bestimmung der individuellen Ressourcenzuordnung. In der Implementation von Rucker [Rüc08] wurde diese Funktionalität allerdings nur dem Rollenkonzept entsprechend statisch realisiert.

Kodierung	Name	Erläuterung
R-DA	Direct Allocation	Die Identität der benötigten Ressourcen kann bereits während der Modellierung spezifiziert werden. Zur Laufzeit wird die Aktivität dieser Ressource gezielt zugeordnet.
R-RBA	Role-based Allocation	Während der Modellierung wird eine Verbindung zur Aufbauorganisation geschaffen. Die einzelnen Aktivitäten werden jeweils einer dedizierten Rolle zugeordnet. Zur Laufzeit werden alle Ressourcen betrachtet, die dieser Rolle zugewiesen sind.
R-FBA	Deferred Allocation	Die Ressourcenzuordnung bleibt während der Modellierung unberücksichtigt. Stattdessen wird eine Ressource von der Prozessinstanz zur Laufzeit (i. d. R. bei der Instanziierung) spezifiziert. Zum Ausführungszeitpunkt der Aktivität wird diese Ressource gezielt angefordert.
R-RA	Authorisation	Gemäß der Aufbauorganisation wird für die Ausführung einer Aktivität eine Autorisierung spezifiziert, die eine unbefugte Ausführung verhindern soll. Zur Laufzeit werden alle Ressourcen betrachtet, die diese Autorisierung besitzen.
R-SOD	Separation of Duties	Zur Vermeidung von (Kompetenz-)Überschneidungen muss die Ausführung zweier (abhängiger) Aktivitäten durch unterschiedliche Ressourcen gewährleistet werden.
R-CH	Case Handling	Zur einheitlichen Abarbeitung eines bestimmten Aktivitätstyps wird dieser innerhalb einer Prozessinstanz immer derselben Ressource zugewiesen.
R-RF	Retain Familiar	Zur einheitlichen Abarbeitung innerhalb einer Prozessinstanz werden aufeinander folgende Aktivitäten (nach Möglichkeit) immer derselben Ressource zugewiesen.
R-CBA	Capability-based Allocation	Für die Ausführung einer Aktivität wird eine Menge an Fähigkeiten spezifiziert, die von der Ressource erfüllt werden müssen. Zur Laufzeit werden alle Ressourcen betrachtet, die diese Fähigkeiten besitzen.
R-HBA	History-based Allocation	Die Ressourcenallokation erfolgt dynamisch zur Laufzeit auf Grundlage der Ausführungshistorie der Ressource.
R-OA	Organisational Allocation	Bezogen auf eine vorangegangene Aktivität basiert die Zuordnung der Ressourcen auf ihrer relativen Beziehung innerhalb der Aufbauorganisation.
R-AE	Automatic Execution	Die Ausführung der Aktivität kann ohne explizite Zuordnung einer Ressource erfolgen.

Tabelle 5: Entwurfsmuster zur Bestimmung einer geeigneten Menge an Ressourcen [Rus⁺05]

Kodierung	Name	Erläuterung
R-ED	Early Distribution	Die Ressourcenallokation der einzelnen Aktivitäten erfolgt bereits zu einem Zeitpunkt vor dem eigentlichen Beginn der Ausführung (z. B. bei der Erzeugung der Prozessinstanz).
R-DE	Distribution on Enablement	Die Ressourcenallokation der Aktivität erfolgt erst zu Beginn der Ausführung.
R-LD	Late Distribution	Die Ressourcenallokation der Aktivität erfolgt erst nach dem Beginn der Aktivität.

Tabelle 6: Entwurfsmuster zur Bestimmung des Zeitpunkts der Ressourcenallokation [Rus⁺05]

Kodierung	Name	Erläuterung
R-DBOS	Distribution by Offer – Single Resource	Die Ausführung der Aktivität wird einer individuellen Ressource angeboten. Die Ressource kann selbstständig über die Annahme oder Ablehnung der Aufgabenübertragung entscheiden. Bei Ablehnung muss eine Reallokation der Aktivität durchgeführt werden.
R-DBOM	Distribution by Offer – Multiple Resources	Die Ausführung der Aktivität wird einer Menge an ausgewählten Ressourcen angeboten. Diese müssen sich untereinander einigen (z.B. mittels Verhandlung), welche Ressource letztlich die Aktivität in seine Arbeitsliste übernimmt bzw. ausführt.
R-DBAS	Distribution by Allocation – Single Resource	Die Ausführung der Aktivität von einer zentralen Stelle einer individuellen Ressourcen zugeordnet. Diese Ressource kann die Ausführung der Aktivität nicht ablehnen, sondern ist zwingend verpflichtet sie letztlich zu bearbeiten (auch wenn sie zwischenzeitlich in einer Warteschlange verbleiben muss).

Tabelle 7: Entwurfsmuster zur Bestimmung der Art der Übergabe [Rus⁺05]

Für die Umsetzung des Qualifikationskonzepts wurden bereits während der Modellierung die Qualifikationsprofile an den Aktivitäten (vgl. Kap. 6.3) und den Ressourcen (vgl. Kap. 7.1) hinterlegt. An den Tasks werden nun sog. *TaskConditions* erzeugt (vgl. Abb. 47), womit sich die notwendigen Qualifikationen der Ressourcen für die Bearbeitung dieser Tasks beschreiben lassen. Sobald eine *TaskInstance* die Bearbeitung der zugrunde liegenden Aktivitäten von der Simulationsumgebung anfragt, werden diese *TaskConditions* von der *ResourceUsingEntity* sequentiell evaluiert, d. h. für jede Kondition wird überprüft, ob die geforderte Qualifikation von den derzeit frei verfügbaren Ressourcen überhaupt bereitstellbar ist.⁶⁵ Sämtliche (freien) Ressourcen, die diesen Anforderungen genügen, werden als potenzielle Kandidaten vorläufig reserviert.

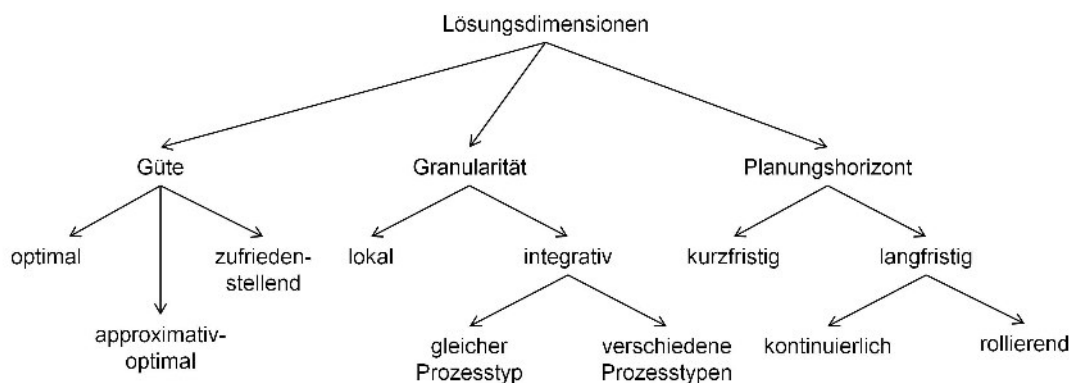


Abb. 46: Lösungsdimensionen bei der finalen Ressourcenallokation

Nachdem die Menge der verfügbaren und jeweils qualifizierten Ressourcen bestimmt worden ist, folgt nun eine finale Auswahl jener Ressourcen, die von der Aktivität letztlich (für eine stochastische Zeitdauer) belegt werden. In der Literatur lässt sich eine Vielzahl potenzieller Lösungsansätze auch und gerade im Kontext der Geschäftsprozesse identifizieren:

- Prioritätsregeln (z. B. bei Russel et al. [Rus⁺05])
- Meta-Heuristiken (z. B. bei Huang, Lu und Duan [HLD12b])
- genetische Algorithmen (z. B. wie bei Hegazy [Heg99], Xu, Lui und Zhao [XLZ08] oder Goel, Stander und Lin [GSL10])
- Verhandlung (z. B. bei Glykas [Gly11])
- Reinforcement-Learning (z. B. bei Vengerov [Ven07] oder Huang et al. [Hua⁺11])
- Supervised Learning (z. B. wie bei Liu et al. [Liu⁺08])

⁶⁵ Dies hat in der praktischen Implementation zur Folge, dass auch sämtliche (menschlichen) Ressourcen in nur einem einzigen Ressourcenpool verwaltet werden.

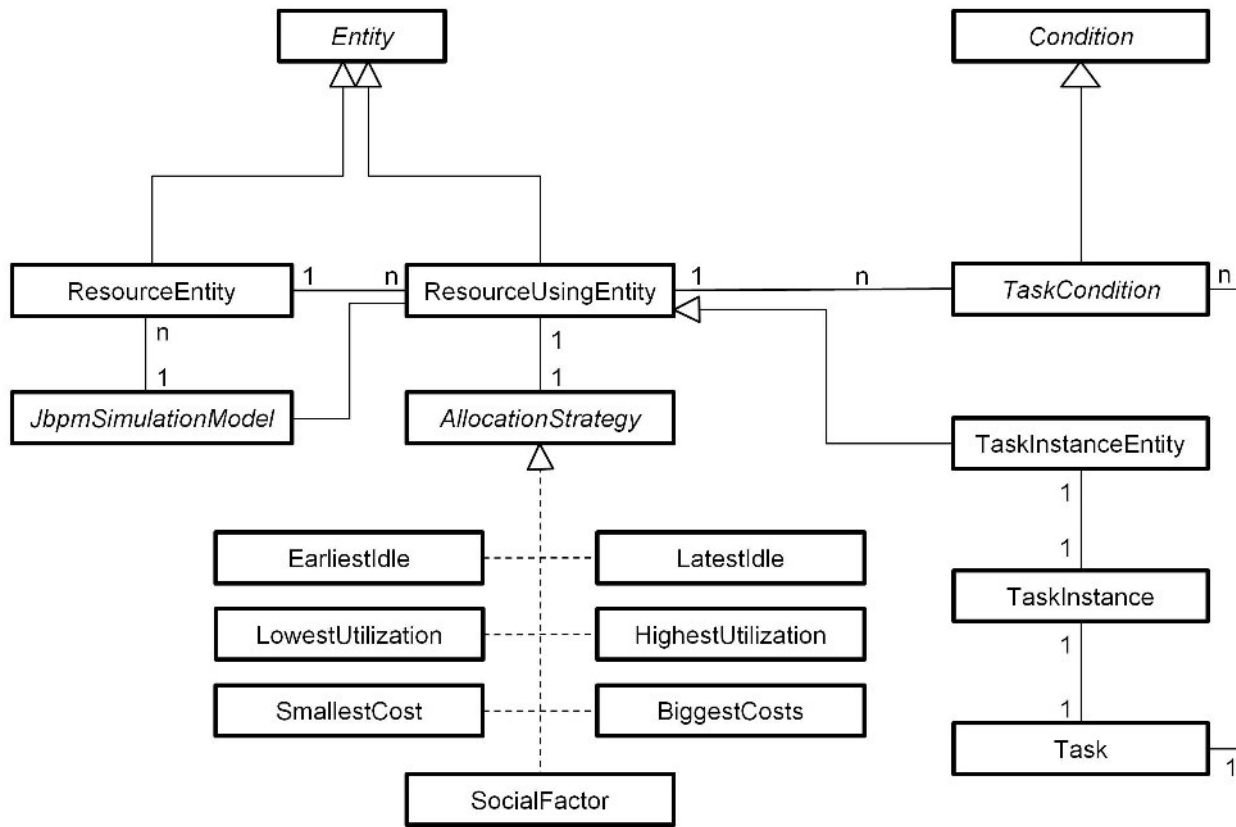


Abb. 47: Erweitertes Klassendiagramm zum Ressourcenkonzept

Diese Verfahren unterscheiden sich in ihren Ausprägungen entlang der folgenden Dimensionen (vgl. Abb. 46):

- **Güte der Lösung**

Die Güte der Lösung kann verschiedenen Klassen zugeordnet werden. [PM10] Im Idealfall liefert der Algorithmus eine optimale oder approximativ-optimale Ressourcenallokation, die nachweislich alle anderen Lösungen dominiert bzw. nur um einen vorgegebenen Maximalbetrag von der optimalen Lösung abweicht. Aufgrund der Rechenintensivität solcher Verfahren werden alternativ Algorithmen genutzt, die eine zufriedenstellende Lösung liefern. Deren Ergebnis ist ausreichend, um das zugrunde liegende Problem zu lösen, ohne dass eine weitergehende Beurteilung ihrer Güte (insbesondere im Hinblick auf die Optimalität) erfolgt.

- **Granularität**

Die Algorithmen unterscheiden sich nach Typ und Anzahl der berücksichtigten Prozessinstanzen. Lokale Ressourcenallokation beschränkt sich hier auf die Betrachtung einer einzelnen Prozessinstanz und vernachlässigt potenzielle Wechselwirkungen mit anderen Instanzen oder Entitäten. Um diese Wechselwirkungen explizit miteinzubeziehen, benötigt man eine integrative Ressourcenallokation für mehrere Prozessinstanzen. Der Grad der Integration hängt wiederum davon ab, ob Instanzen unterschiedlicher Prozessstypen berücksichtigt werden dürfen.

- **Planungshorizont**

Die Ressourcenallokation kann für verschiedene Zeiträume geplant werden. Im einfachsten Fall erzeugt der Algorithmus nur eine kurzfristige Planung, bei der sich eine Ressource genau einer Aktivität zuordnen lässt. Solche Verfahren müssen ständig bei der Anforderung der Ressourcen wiederholt werden. Sofern die Verfahren einen längerfristigen Plan erzeugen sollen, unterscheiden sie sich bei der Berücksichtigung von neu gewonnenen Informationen (z. B. durch die Ankunft neuer Prozessinstanzen). Bei der rollierenden Planung wird der vorliegende Plan nur zu vorbestimmten Zeitpunkten angepasst. Zwischenzeitlich gewonnene Informationen bleiben bis zur Neuplanung unberücksichtigt. Bei der kontinuierlichen Planung hingegen erfolgt eine enge Verzahnung von Planung und Ausführung, bei der die Identifikation neuer Informationen sofort zu einer Anpassung des Plans führen kann.

Um die Variation verschiedener Lösungsansätze realisieren zu können, wurde die statische Realisierung innerhalb der *ResourceUsingEntity* aufgehoben und durch eine dynamische Bindung ersetzt. Mit der Implementation des Interfaces *AllocationStrategy* besitzt der Entwickler eine abstrakte Schnittstelle, die sich für eine Vielzahl konkreter Algorithmen nutzen lässt (vgl. Abb. 46).

Zudem wurden im Rahmen dieser Arbeit einige Prioritätsregeln und Meta-Heuristiken umgesetzt, um bereits erste Erkenntnisse über die Auswirkungen der Ressourcenallokation auf die Simulationsergebnisse zu sammeln:

- Bei der **Priorisierung nach sozialen Faktoren** wird bei der Zuordnung der Ressourcen anhand der Historie in den Token (vgl. Kap. 7.2.1) überprüft, ob eine der derzeit verfügbaren Ressourcen bereits für die Bearbeitung einer vorangegangenen Aktivität genutzt wurde. Diese erhalten dann eine höhere Priorität für die Bearbeitung der derzeitigen Aufgabe. Die Allokationsstrategie kann zur Steigerung der Patientenzufriedenheit beitragen, und gleichzeitig erhöht sie die Qualität der Behandlung, da der Patient während dieser – soweit möglich – von einer Vertrauensperson begleitet wird. Der sozialorientierte Ansatz ermöglicht es, die Versorgung der Patienten vorzugsweise bei ein und demselben behandelnden Arzt durchzuführen. Diese Person ist mit der Krankheitsgeschichte des Patienten vertraut und ermöglicht eine Behandlung „aus einer Hand“. Selbst außerhalb des Anwendungsfalls bietet diese Prioritätsregel in nur leicht abgewandelter Form einen effizienten Ansatz, da sich hiermit Rüst- und Transportzeiten minimieren lassen.
- Die Heuristiken **EarliestIdle** bzw. **LatestIdle** ordnen die Ressourcen nach ihrer letztmaligen Belegung, d. h. sie werden entsprechend ihres zugeordneten Zeitpunkts bei der Einreihung in die zugrunde liegende Warteschlange des Ressourcenpools sortiert. Dabei lassen sich die Ressourcen wiederum nach dem frühesten bzw. spätesten Zeitpunkt priorisieren.
- Die auslastungsbasierten Heuristiken **LowestUtilization** bzw. **HighestUtilization** ordnen die verfügbaren Ressourcen hinsichtlich des derzeitigen Auslastungsgrads der Ressource. Bei der **LowestUtilization** werden vorrangig solche Ressourcen genutzt, die bislang eine geringere Auslastung besitzen. Dieses Verfahren strebt nach einer gleichmäßigen Ressourcenauslastung. Im Gegensatz dazu wird die Priorisierung beim Einsatz der **HighestUtilization** gespiegelt. Hierdurch bemüht man sich um die vollständige Auslastung einzelner Ressourcen.
- In den kostenbasierten Heuristiken **SmallestCosts** bzw. **BiggestCosts** werden die Ressourcen mit den niedrigsten bzw. höchsten Kostensätzen für die Bearbeitung bevorzugt. Aus intuitiver Sicht mag es kontraproduktiv erscheinen, besonders teure Ressourcen zu bevorzugen. Allerdings können dabei aber auch Synergieeffekte realisiert oder eine Kostenregulierung durch die Vollausslastung aufwendiger Ressourcen geplant werden.

Der Einsatz dieser zufriedenstellenden, iterativen und langfristigen Optimierungsverfahren ermöglicht zumindest eine erste Analyse der Wechselwirkungen innerhalb der klinischen Behandlungspfade sowie der hinterlegten Aufbauorganisation.

7.2.3. Beibehaltung der Token bei Terminierung der Prozessinstanz

Gemäß den Definitionen von Holland [Hol96] existieren genau zwei Sorten von Interaktionen: Die direkten Interaktionen beschreiben die unmittelbaren Wechselwirkungen zwischen den Prozessen, sofern diese sich gegenseitig aktiv beeinflussen (z. B. durch den Austausch von Nachrichten). Die indirekten Interaktionen⁶⁶ bestehen hingegen aus i. d. R. verzögerten Wechselwirkungen zwischen den Prozessen, indem sich die Instanzen nur durch die Veränderung der gemeinsamen Umwelt gegenseitig beeinflussen (z. B. durch die Belegung einer gemeinsam nutzbaren Ressource).

Die direkten Interaktionen lassen sich vom Anwender z. T. schon während der eigentlichen Modellierung erfassen, indem die gemeinsam genutzten Schnittstellen bei der Nachrichtenübermittlung bzw. für die Übergabe des Kontrollflusses dargestellt werden.

Choi, Lee und Kang [CLK10] beschreiben in ihrer Arbeit die drei wesentlichen Muster, die in der Geschäftsprozessmodellierung für die Abbildung dieser direkten Interaktionen genutzt werden können (vgl. Abb. 48):

- **Chained model**

Bei der Bearbeitung eines Prozessschritts wird eine neue, eigenständige Instanz eines anderen Prozesstyps erzeugt. Abgesehen von dieser Interaktion bei der Erzeugung bestehen keine weiteren Abhängigkeiten oder Interaktionen zwischen den Prozessen. Dieses Muster kann z. B. für die Generierung interner Aufträge innerhalb eines Unternehmens genutzt werden.

- **Nested sub-process model**

Hierbei wird wiederum eine neue Instanz eines anderen Prozesstyps erzeugt. Solange diese aber noch nicht komplett ausgeführt und korrekt terminiert wurde, verbleibt die erzeugende Prozessinstanz in einem Wartezustand. Neben der Interaktion bei der Erzeugung erfolgt auch eine Übergabe des Kontrollflusses nach der Terminierung der neuen Prozessinstanz. Dieses Muster beschreibt die typischen Subprozesse, wie sie bereits von vielen Notationen zur Strukturierung komplexer Prozesslandschaften angeboten werden.

- **Synchronized models**

Zwischen den Prozessen bestehen vielfältige Abhängigkeiten, die eine direkte Synchronisation der verschiedenen Prozessinstanzen erfordern. Die beteiligten Instanzen müssen dabei an vordefinierten Stellen innerhalb des Prozesses auf die Übergabe von Daten bzw. des Kontrollflusses aus anderen Prozessen warten.

⁶⁶ Dies wird von Holland auch als Stigmergie bezeichnet.

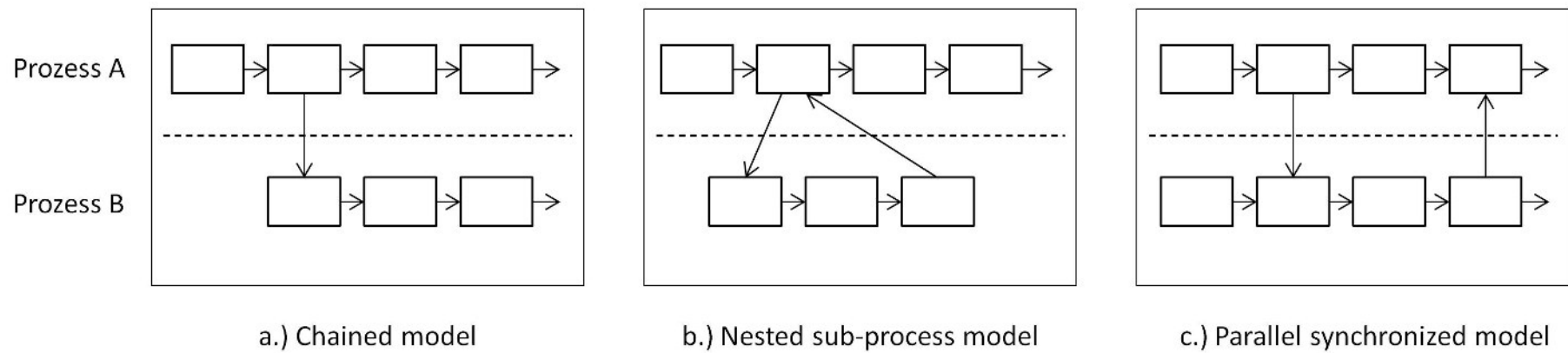


Abb. 48: Direkte Interaktionen zwischen Prozessinstanzen nach Choi, Lee und Kang [CLK10]

Die verschiedenen Notationen bieten bei der Realisierung dieser Anforderungen entweder dedizierte Diagrammtypen (wie z. B. die Kollaborations- und Konversationsdiagramme der BPMN oder die E-Business-Szenariodiagramme der EPK) oder Notationselemente (wie z. B. die Message Links in der BPEL). Auch die Umsetzung der jPDL mit jBPM und DESMO-J bietet insbesondere mit der Erzeugung und Verwaltung von Subprozessen einen entsprechenden Mechanismus zur Strukturierung der direkten Interaktionen.

Beim vorzeitigen Verlassen eines klinischen Behandlungspfads musste aber bislang der zugehörige Token terminiert und ggf. eine separate Prozessinstanz erzeugt werden, um die Fortführung in einem anderen Prozess zu beginnen. In der realen Ausführung ist ein solches Vorgehen theoretisch unproblematisch, da die relevanten Daten im zentralen Anwendungssystem hinterlegt werden und sich somit auch eine doppelte Ausführung von Prozessschritten identifizieren lässt. Allerdings ist auch die Workflow-Engine entsprechend anzupassen, um zu vermeiden, dass auf der vollständigen Ausführung der (alten und neuen) Prozessinstanzen beharrt wird.

In der simulierten Ausführung verschärft sich dieses Problem, da der Anwender zur Vermeidung dieser redundanten Prozessschritte offenkundig nicht intervenieren kann. Stattdessen müssen die Entscheidungen an das Simulationsmodell delegiert werden. Mit dem Ziel der Sicherstellung bereits gewonnener Erkenntnisse werden daher die (informationstragenden) Token bei der Terminierung der Prozessinstanzen gespeichert. Sie lassen sich anschließend an eine neu erzeugte Prozessinstanz (ggf. eines anderen Prozesstyps) binden.

Der Token bzw. die abgeleiteten Klassen selber bieten schon die notwendigen Attribute, da ein entsprechender Verweis auf die zugrunde liegende Prozessinstanz existiert (vgl. Abb. 42). Allerdings besaß das Simulationsmodell bislang keinen direkten Zugriff auf die (Root-)Token, wodurch die Persistierung erschwert wurde. Dies ändert sich nun, indem entsprechende Methoden innerhalb des Simulationsmodells verankert werden, mit denen eine Übergabe ermöglicht wird. Hierzu gehört u. a. die Einrichtung einer eigenständigen Datenstruktur, mit der sich die Simulationstoken direkt ansprechen lassen. Dies erhöht zwar den allgemeinen Verwaltungsaufwand, erlaubt aber die entkoppelte Betrachtung von Prozessinstanz und Token.

Bei der Terminierung einer Prozessinstanz wird somit zuerst eine Entkoppelung von Simulationstoken und Prozessinstanz vorgenommen, d. h. die Referenz auf die zugrunde liegende Instanz wird verworfen. Anschließend lässt diese sich terminieren, und es kommt gleichzeitig zur Generierung einer neuen Prozessinstanz. Während man den Token dabei an der gewünschten Stelle im Prozess wieder einsetzt, können ggf. auch die notwendigen Subprozesse entsprechend initialisiert werden (vgl. Abb. 49).

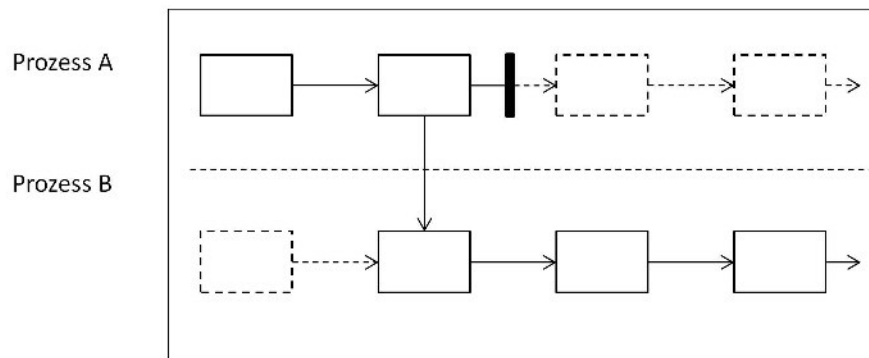


Abb. 49: Direkte Interaktionen zwischen Prozessinstanzen bei der vorzeitigen Terminierung

Das Verfahren erlaubt somit aus Sicht des Simulationstokens eine prozessübergreifende Ausführung, mit der sich das Verlassen und Wiederaufsetzen in unterschiedlichen klinischen Behandlungspfaden hinreichend genau modellieren lässt. Bei der (simulierten) Ausführung wird zudem die wiederholte Ausführung unnötiger Prozessschritte vermieden.

7.2.4. Realisierung der Auswertungssichten

In der bisherigen Implementation wurde die Verwaltung der statistischen Zähler zentral durch das Simulationsmodell vorgenommen. Man erfasste dabei allerdings nur die Auslastung der Ressourcen, die Durchlaufzeit und die entstandenen Kosten der Prozessinstanzen. [Rüc08]

Durch die Einführung der verschiedenen Auswertungsperspektiven (vgl. Kap. 5.3) und die Erweiterung des Ressourcen- und des Tokenkonzepts verändern sich die Anforderungen an die Auswertung des Simulationsexperiments. Neben der Erfassung der bereits bestehenden Kennzahlen kann nun auch der Verlauf der Zuweisungen detailliert erfasst und aggregiert werden. Daher wurden weitere statistische Zähler und Tracer in den Ressourcen und den Token eingebunden, um eine Nachverfolgung des Geschehens zu ermöglichen.

Die Signale, mit denen die Bearbeitung der Aktivitäten innerhalb der Prozessinstanz beschrieben wird, lösen hier die Aktualisierung der statistischen Zähler aus. Der Prozessablauf kann dabei generell durch sechs Ereignisse beschrieben werden:

- Das Ereignis **InitProcess** kennzeichnet die Erzeugung einer Prozessinstanz bzw. eines zugehörigen Simulations-Tokens.
- Das Ereignis **StartTask** kennzeichnet den Anfang der Bearbeitung einer Aktivität. Dabei werden die benötigten Ressourcen zugeordnet und für eine (stochastische) Zeitspanne durch die Prozessinstanz belegt.
- Beim Abschluss der Bearbeitung kommt es zur Auslösung des Ereignisses **EndTask**. Hierbei werden die Ressourcen wieder freigegeben. Die Prozessinstanz verlässt zudem ihren derzeitigen Zustand über eine der ausgehenden Transitionen und schaltet in den nachfolgenden Zustand. Dort wird die Prozessinstanz in eine Warteschlange eingereiht und zudem die Bearbeitung durch die notwendigen Ressourcen angefordert. Sofern diese alle zur Verfügung stehen, kann unmittelbar mit der Bearbeitung begonnen werden, d. h. es wird unmittelbar ein Ereignis vom Typ **StartTask** eingeplant.
- Sofern nicht alle Ressourcen zur Verfügung stehen, verbleibt die Prozessinstanz in der Warteschlange. Um eine korrekte Aktualisierung der statistischen Zähler zu gewährleisten, wird das Ereignis **StartWaiting** erzeugt und der zugehörige Zeitpunkt im Token hinterlegt. Die Instanz geht dann für eine nicht spezifizierte Zeitdauer in den Wartezustand über.
- Die Beendigung eines Wartevorgangs kann nur durch die Freisetzung belegter bzw. durch die Bereitstellung weiterer Ressourcen (z. B. durch die Beendigung von Pausenzeiten bzw. durch den Beginn von Arbeitszeiten) erfolgen. Daher führt die Auslösung eines **EndTasks** immer zu einer Überprüfung, ob mit der Bearbeitung wartender Prozessinstanzen begonnen werden kann. Wenn dieser Fall eintritt, wird der Wartezustand der zugehörigen Instanz beendet und durch das Ereignis **EndWaiting** gekennzeichnet.
- Beim Erreichen eines finalen Zustands wird das Ereignis **EndInstance** gesendet, damit sich der Simulationstoken persistieren lässt. Hierbei werden im konkreten Anwendungsfall auch die Erlöse des klinischen Behandlungspfads zugewiesen, da diese erst nach der vollständigen Abarbeitung des Pfads berücksichtigt werden können.

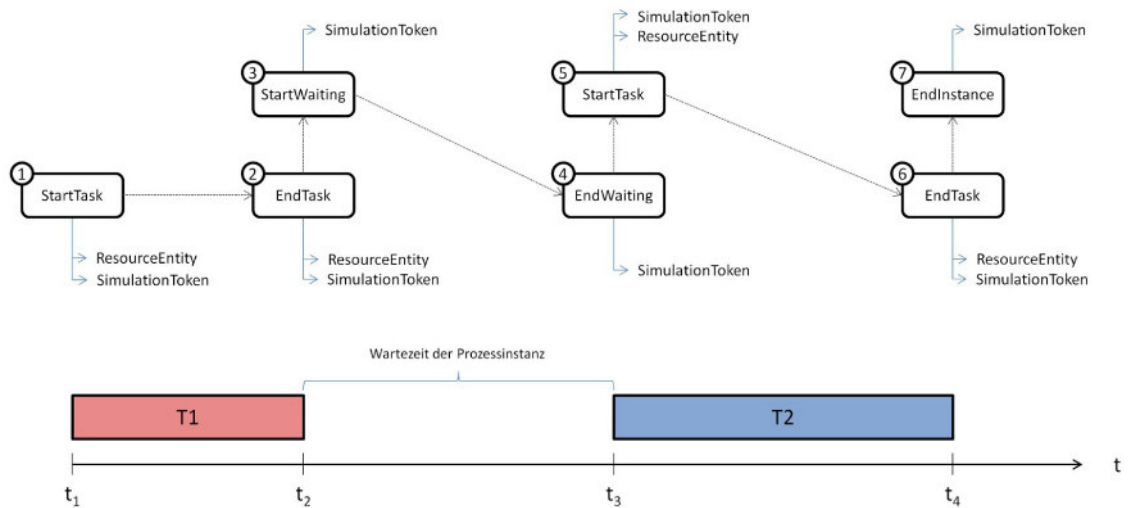


Abb. 50: Ereignisablauf zur Aktualisierung der statistischen Zähler

Die Auswertungssichten des Ablaufmodells bedienen dabei unterschiedliche Bedarfe der verschiedenen beteiligten Akteure und Adressaten eines solchen Ablaufmodells (vgl. Kap. 5.3). Diese beschränken sich nicht nur auf die Aktualisierungen innerhalb des Simulationsmodells, sondern sie erfordern eine entsprechende Aktualisierung der statistischen Zähler an den Prozessinstanzen, den Ressourcen und den Simulationstoken.

- **Dokumentationssicht**

Innerhalb des Tokens wird der individuelle Behandlungsverlauf als Pfad dokumentiert, d. h. der Ablauf der Aktivitäten inklusive Ressourcenzuordnung und Wartezeiten wird gespeichert. Daher müssen alle Ereignisse an den Token gesendet werden, um das Tracing des Prozessablaufs erfassen zu können. Die Berücksichtigung der Interaktionen zwischen den klinischen Behandlungspfaden wird durch das Auslösen einer Ausnahme bei der Unterbrechung eines Tasks und den damit verbundenen Wechseln zu einem anderen klinischen Behandlungspfad oder der Terminierung des Prozesses vorgenommen. Bei der Beendigung des Simulationsexperiments können dann die Übergabepunkte und -häufigkeiten anhand der hinterlegten Informationen aus den Token bestimmt werden.

- **Ressourcensicht**

Innerhalb der Ressourcen wird die Bearbeitung der verschiedenen Aktivitäten dokumentiert. So führen die Belegung und die Freigabe der Ressource zu einer Anpassung des internen Zustands der Ressourcen. Entsprechend müssen die Signale bei Beginn und Beendigung des Tasks an die beteiligten Ressourcen gesendet werden. Dabei wird zum einen ein (interner) Tracer bedient, mit dem die Zuordnung zu einem Task bzw. der zugehörigen Prozessinstanz mit den Bearbeitungsdauern persistiert wird. Zugleich ist aber auch die Auslastung der Ressource zu berechnen und in einer Kennzahl aufzubereiten, die während der Laufzeit (z. B. von den Allokationsstrategien) abgefragt werden kann.

- **Aggregationssicht**

In der Aggregationssicht werden die Ergebnisse über alle Prozessinstanzen zusammen gefasst. Während der Simulation führt das Simulationsmodell daher bereits entsprechende statistische Zähler, mit denen die derzeitige Anzahl der aktiven und beendeten Prozessinstanzen, der aggregierte Auslastungsgrad der Ressourcen, die durchschnittliche Wartezeit der Prozesse usw. erfasst werden. Darüber hinaus sind nach der Terminierung des Simulationsexperiments die finalen Simulationsergebnisse aufzubereiten. Dabei wird im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsanalyse für die durchgeführten klinischen Behandlungspfade z. B. die Relation der Kosten gegenüber den Erlösen ermittelt. Die (tatsächlich) angefallenen Kosten sind dabei zu Beginn eines Tasks zu erheben und im Token zu hinterlegen, wohingegen die Erlöse erst bei Beendigung der Prozessinstanz angerechnet werden. Die ermittelten Deckungsbeiträge lassen sich nach der Terminierung des Simulationsexperiments den verbliebenden Fixkosten gegenüberstellen.

Mit den vorgenommenen Erweiterungen an der Simulationsumgebung wird somit im Rahmen des vorgestellten Tokenkonzepts ein gewisser Mehrwert generiert, da diese nun mit der gesamten Historie und mit speziellen Attributen ausgestattet eine Aufbereitung der Simulationsergebnisse erlauben.

8. Durchführung einer prototypischen Simulationsstudie

Durch die Realisierung unterschiedlicher Allokationsmuster und -strategien erhält der Modellierer nun einen weiteren methodischen Ansatzpunkt, von dem aus er den Ablauf und die Ergebnisse der Simulation beeinflussen kann. Gemäß der theoretischen Analyse ist eigentlich zu erwarten, dass die verschiedenen Algorithmen einen signifikanten Einfluss auf die Simulationsergebnisse besitzen, da sie teilweise auf gegensätzlichen Annahmen aufsetzen. Allerdings entwickeln die verschiedenen Strategien nur unter bestimmten Voraussetzungen ihr volles Potenzial, wobei unklar ist, in welchem Maße diese während der (simulierten) Ausführung überhaupt auftreten. Daher wurde eine (prototypische) Simulationsstudie durchgeführt, um weiterführende Erkenntnisse hinsichtlich der Wirkung verschiedener Ansätze zu gewinnen.

Sämtliche Bestandteile des Ablaufmodells müssen daher nun verortet, implementiert und zueinander in Bezug gesetzt werden. Im Rahmen dieser Arbeit wurde eine Anbindung der vorgestellten Ausführungsumgebung an ein sog. *Electronic Health Record System* vorgenommen, mit denen die Funktionalität eines zentralen Anwendungssystems im Krankenhaus abgebildet werden kann und das als Lieferant für die patienten- und mitarbeiterbezogenen Daten dient.

Nach der Ausführung der verschiedenen Simulationsexperimente können die gewonnenen Ergebnisse durch verschiedene Reports aufbereitet werden, um die unterschiedlichen Zielsetzungen und Perspektiven der beteiligten Akteure und Adressaten zu beleuchten. Die – z. T. verdeckten – Wechselwirkungen lassen sich hierdurch erfassen und herausarbeiten, woraus sich wiederum wichtige Erkenntnisse über inhärente Schwachstellen bzw. Inkonsistenzen in den Prozessdefinitionen und der Prozesschoreografie ableiten lassen.

Das Unterkapitel 8.1 beschreibt dabei die Anbindung des *Electronic Health Record System* zur Realisierung der Datenschicht. In Unterkapitel 8.2 wird hieran anschließend ein Überblick zur Parametrisierung der Simulationsexperimente gegeben, bevor Kapitel 8.3 die Simulationsergebnisse der prototypischen Studie präsentiert. Eine Aufbereitung der Ergebnisse entlang der vorgestellten Auswertungsperspektiven bietet Kapitel 8.3.1. Anschließend folgt ein Vergleich der verschiedenen Allokationsstrategien in Kap. 8.3.2, bevor eine Belastungsstudie durch die Variation der Zwischenankunftsrate in Kap. 8.3.3 durchgeführt wird.

8.1. Vervollständigung des Ablaufmodells

Wie bereits in Kap. 7 dargestellt worden ist, werden die Funktionalitäten der Prozess- sowie der Simulationsschicht durch die eigentliche Ausführungsumgebung mit den Mitteln von JBoss in Verbindung mit DesmoJ bereitgestellt. Die Realisierung der Datenschicht erfolgt nun durch die Anbindung eines *Electronic Health Record Systems* (EHRS), mit dem die Funktionalitäten eines zentralen Anwendungssystems (vgl. Kap. 5.1) zur Bereitstellung der benötigten Daten abgedeckt werden können.

Die konkrete Wahl fiel dabei auf das als Open-Source-Programm unter der GNU-Lizenz verfügbare PatientOS in der Version 1.20, das insbesondere zum Einsatz in kleineren Krankenhäusern entwickelt wurde. Für die Nutzung im Rahmen dieser Arbeit sprachen insbesondere die Erfassung und Verwaltung der anfallenden Daten entsprechend den Vorgaben aus Kap. 5 sowie die Bereitstellung verschiedener Schnittstellen (z. B. HL7, LOINC, ICD 9 bzw. ICD 10), mit denen der Zugriff auf die Daten erfolgen kann.

Für die Simulationsstudie wurde das Programm mit einigen grundlegenden, anschließend für die Konfiguration der Simulationsexperimente herangezogenen Daten gefüllt:

- **Patientendaten**

Im System wurden exemplarische Datensätze eingegeben (vgl. Abb. 51), die sich später für die Generierung der Patienten nutzen lassen. Dabei waren insbesondere für die Steuerung des Kontrollflusses in den Simulationsexperimenten benötigte Informationen zu hinterlegen (vgl. Kap. 5.2.1). Hierzu zählen im konkreten Anwendungsfall das Alter sowie die Beschreibung der Symptomatik, die eine Zuordnung zur akuten bzw. chronischen Diarrhö ermöglicht. Für die Übergabe der Patientendaten bietet sich insbesondere die Nutzung der HL7-Nachrichten an, mit denen der Austausch patientenbezogener Daten zwischen den verschiedenen IT-Systemen im Gesundheitswesen in der Praxis vorgenommen wird.⁶⁷ Diese Nachrichten bestehen dabei aus Segmenten, die jeweils durch mehrere spezifische Nachrichtenfelder die Übergabe der Daten strukturieren.

⁶⁷ Für eine genauere Darstellung der HL7-Nachrichten und deren Bedeutung für die Praxis sei an dieser Stelle auf die Arbeit von Bärwolff, Victor und Hüskens [BVH06] verwiesen.

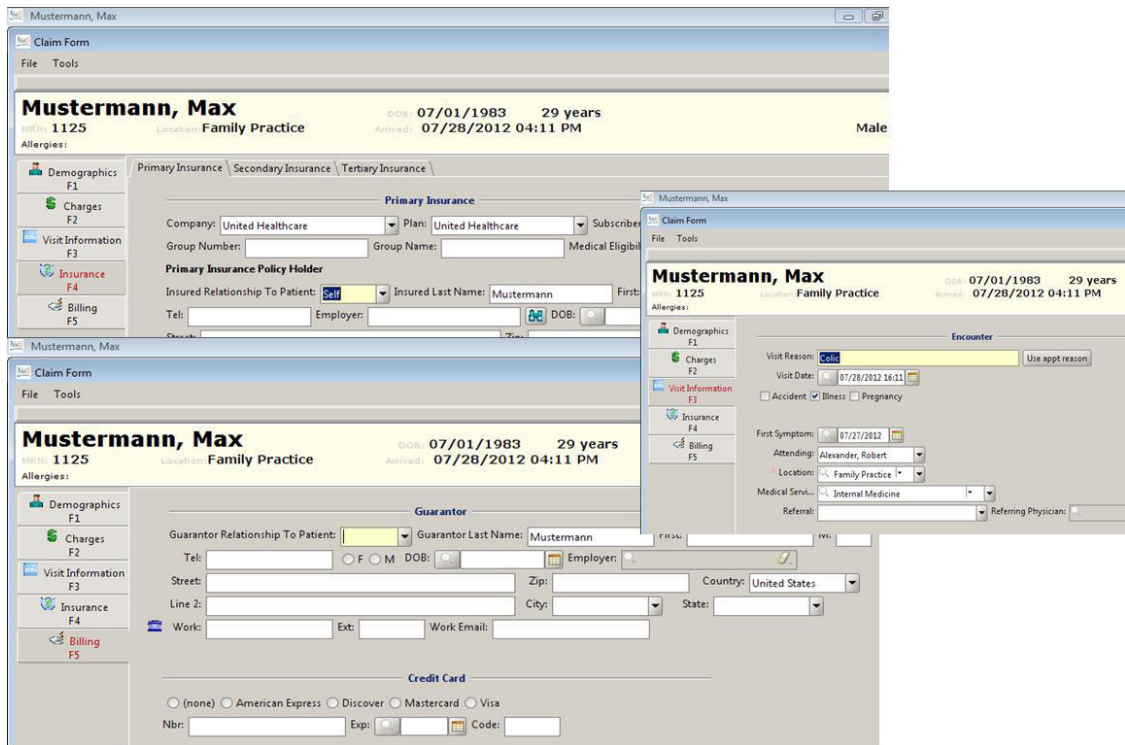


Abb. 51: Pflege der Patientendaten in PatientOS

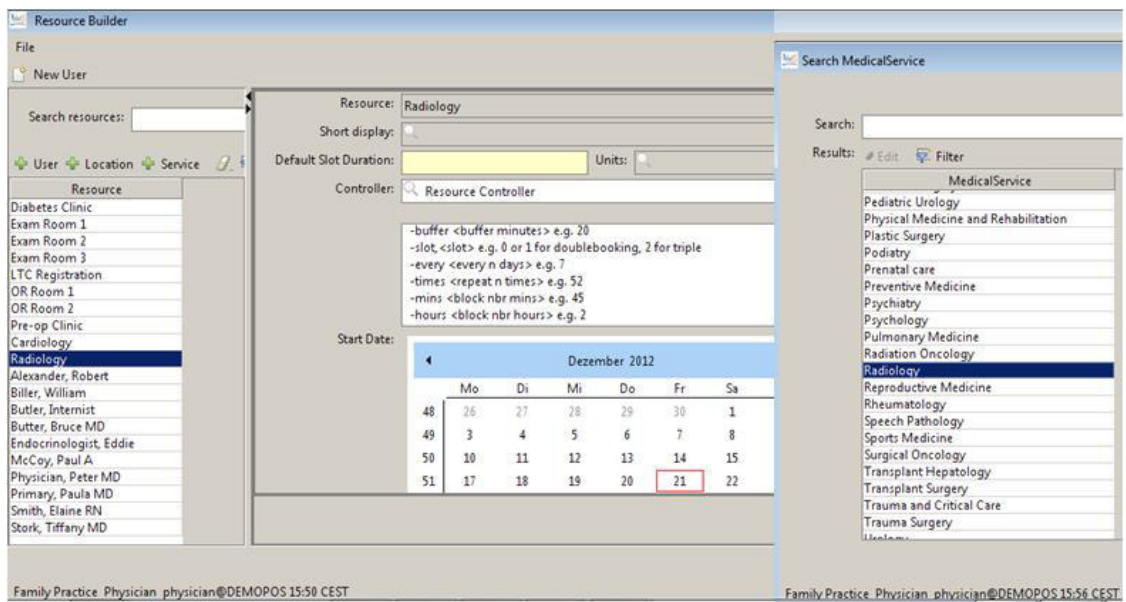


Abb. 52: Pflege der Ressourcendaten in PatientOS

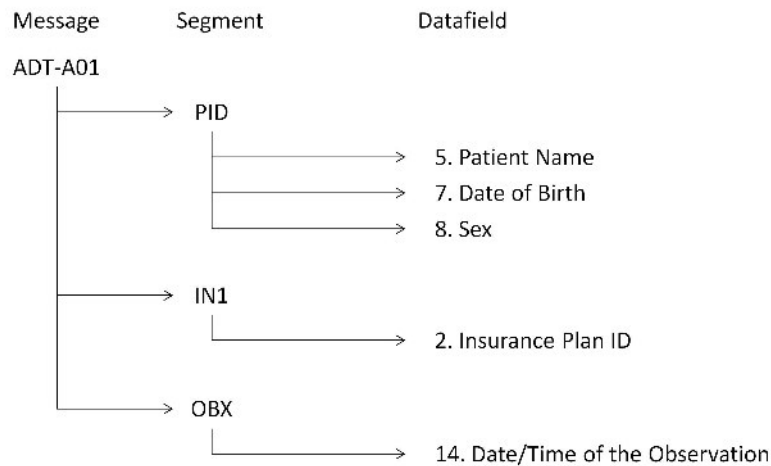


Abb. 53: Export der relevanten Patientendaten mit HL7-Nachrichten

Im konkreten Anwendungsfall wurden entsprechende Nachrichten vom Typ „Admission Discharge Transfer“ (ADT) genutzt, mit denen sich die Patienten-Stammdaten und die Aufenthaltsdaten austauschen lassen. Die relevanten Informationen wurden dabei in den Segmenten *Patient Identification* (PID), *Insurance* (IN1) und *Observations* (OBX) identifiziert und aufbereitet (vgl. Abb. 53).

- **Ressourcendaten**

Im System wurden entsprechende Datensätze zur Abbildung des verfügbaren Personals eingegeben. Neben einem eindeutigen Bezeichner (in Form des Namens) wurden für jede (menschliche) Ressource auch eine Liste ihrer Qualifikationen sowie ein Kostensatz je Zeiteinheit hinterlegt. Darüber hinaus kann mit dem Programm eine Steuerung der Anwesenheit vorgenommen werden, da sich die Arbeits- und Pausenzeiten der Ressourcen in einem Arbeitskalender erfassen lassen. Dieser Ansatz wurde in der Arbeit aber nur rudimentär genutzt, zumal in den Simulationsexperimenten aus Gründen der Vereinfachung von einer uneingeschränkten Verfügbarkeit der Ressourcen ausgegangen wird. Die Ressourcen-Daten unterliegen hingegen keiner standardisierten Aufbereitung und konnten daher nur über eine proprietäre Schnittstelle im XML-Format exportiert werden.

Die Ausführungsumgebung bietet mit ihrem *ExperimentReader* eine Eingangsschnittstelle zum Import entsprechender Daten für die Konfiguration der Simulationsexperimente an (vgl. Abb. 40). Die bestehende Implementation kann aber derzeit nur Daten im XML-Format verarbeiten, sodass eine Konvertierung der HL7-Nachrichten vorgenommen und die o. a. Informationen aus den ADT-Nachrichten extrahiert und als eigenständige Dateien bereitgestellt werden mussten (vgl. Abb. 54).

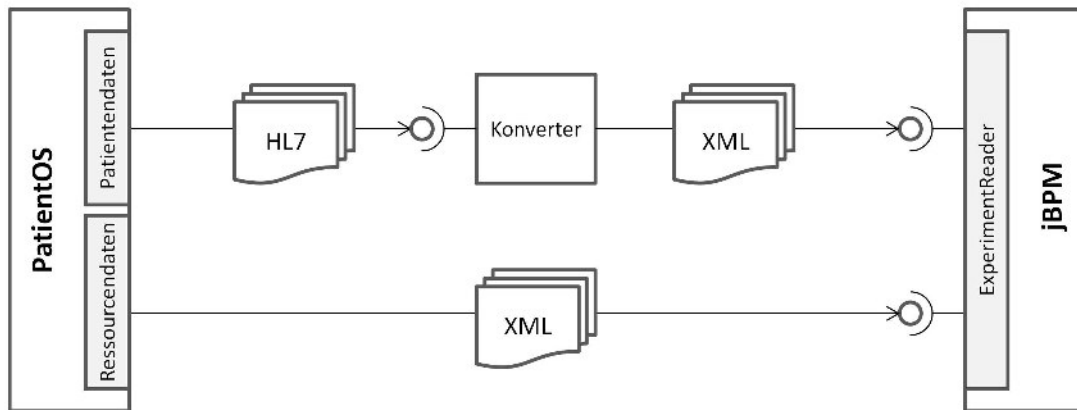


Abb. 54: (Unidirektionale) Übergabe der Daten aus PatientOS an JBoss

Abschließend wurde die Klasse des *ExperimentReader* dahin gehend erweitert, die Patientendaten für die Erzeugung der Prozessinstanzen zu nutzen, wohingegen die Ressourcendaten zur Erzeugung von *ResourceEntities* und somit zur Befüllung des *ResourcePools* verwendet werden.

8.2. Konfiguration der Simulationsexperimente

Die übergebenen Daten dienen somit als elementare Grundlage zur Initialisierung der Simulationsexperimente:

- Die übergebenen Patientendaten werden als Patientenschablonen⁶⁸ genutzt, d. h. der *ProcessStartGenerator* wählt zufällig einen der verfügbaren Datensätze aus und generiert eine entsprechende Prozessinstanz. Innerhalb des zugehörigen Tokens werden die entsprechenden Parameter als Attribute hinterlegt.
- Die übergebenen Ressourcendaten⁶⁹ lassen sich hingegen direkt bei der Initialisierung des Simulationsexperiments zur Erzeugung der entsprechenden *ResourceEntities* nutzen. An den Ressourcen werden dabei die Qualifikationsprofile und die Kosten der Ressourcen hinterlegt.

Die hinterlegten Prozessdefinitionen werden durch die Angabe von Wahrscheinlichkeitsverteilungen erweitert, wodurch die realen Angaben zu den Ankünften der Patienten, der Dauer der Aktivitäten in den erfassten Prozessen und die Wahrscheinlichkeit einer Ausnahmewahrscheinlichkeit durch stochastische Funktionen substituiert wird, um manuelle Eingriffe durch den Anwender zu vermeiden. Die konkrete Parametrisierung der Verteilungen sollte idealerweise durch die Analyse der verfügbaren Daten (aus der Datenschicht) abgeleitet werden.

⁶⁸ Siehe Tabelle 8.

⁶⁹ Siehe Tabelle 9.

Aktivität	Verteilung	Mittelwert (Angabe in Sekunden)	Standard-abweichung	Benötigte Qualifikationen	Ausnahmen (Angaben in Prozent)
Durchführung der Anamnese	Normal	600	150	Q1	0,2
Durchführung der körperlichen Untersuchung	Normal	1800	300	Q1	
Durchführung der Sigmoidoskopie	Normal	900	200	Q1, Q3	
Durchführung der totalen Koloskopie	Normal	1800	300	Q1, Q3	
Abnahme der Blutprobe	Normal	600	150	Q2	
Abnahme der Stuhlprobe	Normal	600	150	Q3	
Untersuchung der Stuhlprobe im Labor	Normal	3600	600	Q4, Q5	0,2
Untersuchung der Blutprobe im Labor	Normal	720	200	Q4, Q6	

Tabelle 8: Stochastische Bearbeitungsdauern und erforderliche Qualifikationen der Aktivitäten

Name	Geburtsjahr	Alter	Aufgetreten seit
Mustermann Max	1983	29	27.07.2012
Muster Patient 2	1976	36	13.07.2012
Muster Patient 3	1972	40	15.06.2012
Muster Patient 4	1984	28	20.07.2012
Muster Patient 5	1987	25	21.07.2012
Muster Patient 6	1976	36	17.07.2012
Muster Patient 7	1974	38	15.07.2012
Muster Patient 8	1989	23	17.07.2012
Muster Patient 9	1990	22	20.07.2012
Muster Patient 10	1989	23	14.07.2012
Muster Patient 11	1947	65	31.07.2012
Muster Patient 12	1953	59	17.07.2012
Muster Patient 13	1961	51	16.07.2012
Muster Patient 14	1966	46	19.07.2012
Muster Patient 15	1962	50	23.07.2012
Muster Patient 16	1953	59	29.07.2012
Muster Patient 17	1954	58	28.07.2012
Muster Patient 18	1967	45	26.07.2012
Muster Patient 19	1948	64	29.06.2012
Muster Patient 20	1950	62	27.07.2012

Tabelle 9: Patientenschablonen aus dem Electronic Health Record System

Name der Ressourcen	Qualifikationen	Kosten der Ressourcen pro Zeiteinheit
Chefarzt A	Q1, Q2	0,0127
Facharzt A	Q1, Q2	0,0062
Arzt A	Q1, Q2	0,0047
Arzt B	Q1, Q2	0,0047
Arzt C	Q1, Q2	0,0047
Krankenschwester A	Q2, Q3	0,0021
Krankenschwester B	Q2, Q3	0,0021
Krankenschwester C	Q2, Q3	0,0021
Laborant A	Q4	0,0036
Laborant B	Q4	0,0036
Laborant C	Q4	0,0036
Laborant D	Q4	0,0036
Laborant E	Q4	0,0036
Laborant F	Q4	0,0036
Laborant G	Q4	0,0036
Laborant H	Q4	0,0036
Laborant I	Q4	0,0036
Laborant J	Q4	0,0036
Laborant K	Q4	0,0036
Laborant L	Q4	0,0036

Tabelle 10: Ressourcenschablonen aus dem Electronic Health Record System

Sofern diese Daten aber noch nicht vorliegen oder als unvollständig bzw. unzuverlässig eingeordnet werden, sind sie durch empirische Werte aus der Literatur zu ersetzen. Die genutzten Daten (vgl. Tabelle 8) wurden dabei aus der Arbeit Sarshars et al. [Sar⁺05] abgeleitet. Da sich aus dieser Arbeit aber leider keine belastbaren Angaben über die Abweichungen der Dauern ermitteln ließen, wurde hier vereinfachend unterstellt, sie könnten durch Normalverteilungen hinreichend genau beschrieben werden.⁷⁰ Entsprechende Annahmen lassen sich auch den Arbeiten von z. B. Everett [Eve02], Romeyke und Stummer [RS10] sowie Niemann [Nie11] entnehmen, sodass die Angemessenheit dieser Unterstellung angenommen wird, ohne dass dies letztlich durch entsprechende statistische Tests validiert werden konnte.

In den Simulationsexperimenten wurde nun die Dauer von zwei Wochen⁷¹ simuliert. Durch die visuelle Analyse der Traces und die Anwendung der „Crossing-of-the-means“-Heuristik ließ sich die Anlaufphase auf die ersten beiden Tage eingrenzen, d. h. nach 172.800 Sekunden erfolgte eine Re-Initialisierung der statistischen Zähler. Die Simulationsexperimente wurden dabei jeweils zehnfach wiederholt, um eine hinreichende statistische Genauigkeit zu erreichen – ohne dass diese mit geeigneten statistischen Tests letztlich nachgewiesen wurde.

8.3. Vorstellung der Simulationsergebnisse

Im Rahmen dieser Arbeit werden nun drei unterschiedliche Simulationsexperimente vorgestellt. Zuerst wird die allgemeine Wirkung des Prozesses anhand eines exemplarischen Szenarios untersucht, wobei der Schwerpunkt auf den unterschiedlichen Auswertungsperspektiven liegt. Anschließend sind die verschiedenen Heuristiken einzubeziehen, um einen qualifizierten Vergleich der Algorithmen zu ermöglichen und eine Abschätzung zu deren Wirkung im Anwendungsfall vorzunehmen. Abschließend werden zur Untersuchung des Verhaltens der Strategien bei unterschiedlichen Auslastungsgraden des Modells die Ankunftsraten variiert.

⁷⁰ Die Normalverteilung besitzt in der Praxis eine besondere Verbreitung. So hebt Zwerenz [Zwe09] hervor, dass für die verschiedensten Merkmale Normalverteilung als gegeben erachtet werden kann. Dies lässt sich auf die Eigenschaften des zentralen Grenzwertsatzes zurückführen, der besagt, dass die Verteilung des Stichprobenmittelwerts von beliebigen Verteilungen gegen die Normalverteilung konvergiert.

⁷¹ Dabei wurde allerdings ein durchgehender und gleichmäßiger Betrieb unterstellt, d. h. Schichten oder Ruhepausen fanden keine Berücksichtigung. Offenkundig ist dieses Vorgehen nicht besonders realistisch. Somit dienen die Ergebnisse auch nur zur Veranschaulichung der allgemeinen Funktionsweise.

8.3.1. Darstellung in den verschiedenen Auswertungsperspektiven

Im Rahmen dieses Simulationsexperiments wurde nur die *EarliestIdle*-Strategie eingesetzt, wie sie auch in der ursprünglichen Implementation vorzufinden war und zudem in den meisten Werkzeugen für die Simulation von Geschäftsprozessen standardmäßig eingesetzt wird. Hiermit wird eine verlässliche Datengrundlage geschaffen, um den Vergleich mit den anderen Strategien oder Arbeiten vorzubereiten.

Dabei wurde eine mittlere Ankunftsrate von 600 Sekunden⁷² gewählt, wodurch noch keine Überlast im System erzeugt wird und somit alle eintreffenden Prozessinstanzen (prinzipiell) abgearbeitet werden können. 1965 der insgesamt 1970 erzeugten Prozessinstanzen wurden vollständig durchlaufen.

Auswertungen in der Dokumentationssicht

Während der Ausführung der Simulationsexperimente werden die durchgeführten Aktivitäten innerhalb der Prozessinstanzen bzw. der Simulationstoken persistiert. Dadurch ist nach der Beendigung der Simulationsläufe eine detaillierte Betrachtung der tatsächlichen Prozessabläufe vorzunehmen.

In der Choreographieanalyse (vgl. Abb. 55) lassen sich anschließend die Übergangshäufigkeiten ermitteln. Dabei erkennt man zum einen die Häufigkeiten der (regulären) Übergänge und zum anderen die vorzeitig terminierten bzw. innerhalb des Prozesses übergebenen Instanzen. So wurden im Simulationslauf insgesamt sechs Prozessinstanzen nach der Anamnese bzw. der Laboruntersuchung vorzeitig beendet, während in zwei Fällen die Diagnose der akuten Diarrhö abgebrochen und zugunsten einer chronischen Diarrhö verschoben wurde. Sämtliche Werte lagen dabei im Rahmen der Erwartung und variierten entsprechend der unterstellten Verteilungen.

Auswertungen in der Aggregationssicht

In der Aggregationssicht wird das Geschehen im Krankenhaus vorrangig in einzelnen Kennzahlen aufbereitet, die isoliert betrachtet allerdings wenig Aussagekraft besitzen. Daher beschränkt sich die Betrachtung an dieser Stelle auf die Effizienzanalyse, die einen Einblick in die tatsächliche Zuordnung der Ressourcen zu den Aktivitäten gewährt und entsprechende Kennzahlen zu den Wartezeiten der Prozessinstanzen liefert.⁷³

⁷² Die Ankunftsrate wird dabei durch eine Erlang-Verteilung mit $n = 1$ und $\mu = 600$ ermittelt.

⁷³ Diese Betrachtung steht somit orthogonal zur vorangegangenen Betrachtung der Choreographieanalyse, da diese die Sicht der Ressourcen einnimmt.

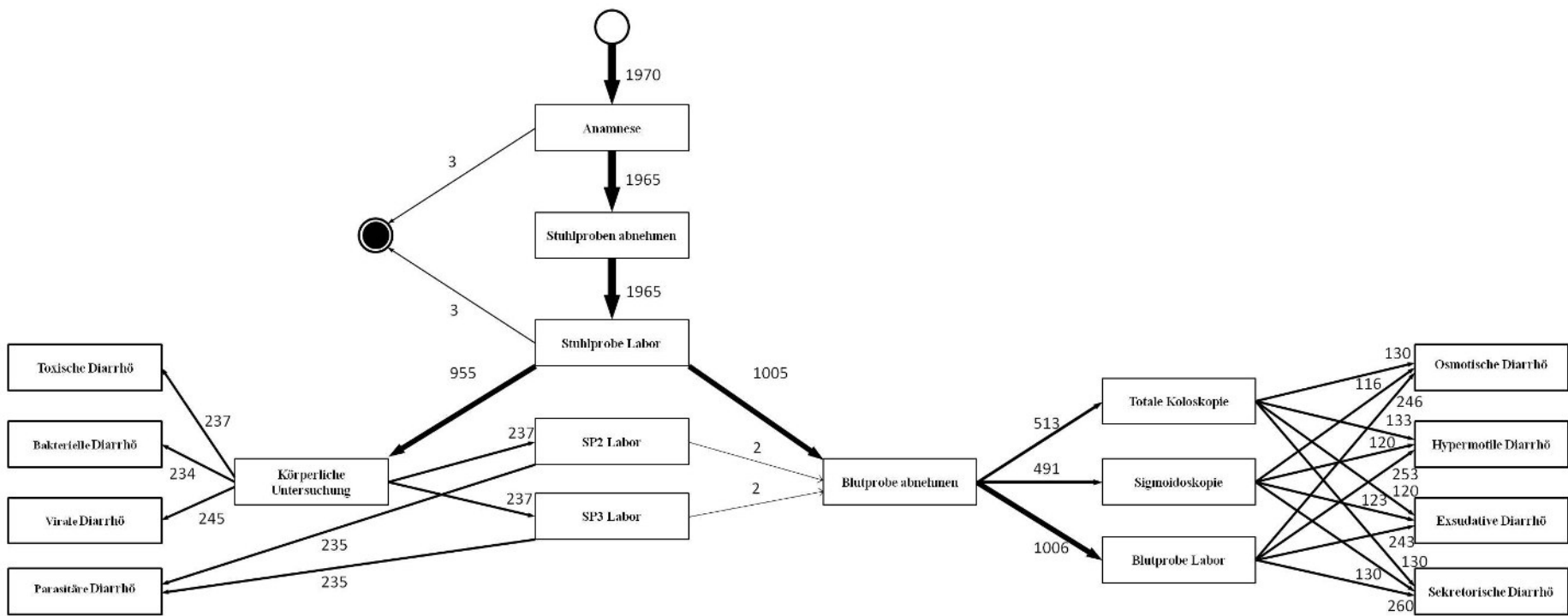


Abb. 55: Choreographieanalyse im Ausgangsszenario

Bei der Abnahme der Stuhlprobe und der zugehörigen Laboruntersuchung erkennt man sehr deutlich die entsprechende Zuordnung zu einer einzelnen Berufsgruppe, die als einzige die notwendige Qualifikation besitzt. Die Modellierung hätte somit im Prinzip auch mithilfe des Rollenkonzepts vorgenommen werden können (vgl. Kap. 6.3). Bei den anderen beiden Aktivitäten lässt sich hingegen sehr deutlich erkennen, dass eine Zuordnung auch über die Grenzen einzelner Rollen und sogar der Berufsgruppen hinweg stattfand, wodurch die interdisziplinäre Zusammenarbeit zum Ausdruck kommt.

So wird die Abnahme der Blutprobe überwiegend durch die Krankenschwestern vorgenommen, d. h. in Bezug zur Anzahl der verfügbaren Ressourcen mit der entsprechenden Qualifikation (vgl. Tabelle 8 und Tabelle 10) findet die Zuweisung zu einer der Krankenschwestern den Ärzten gegenüber überproportional häufig statt. Dies kann prinzipiell zu einer effizienten Allokation der Ressourcen führen, obwohl eine solche Funktionalität bei der Modellierung nicht explizit vorgesehen wurde. Bei der Zuweisung der Anamnese wird die Last hingegen einigermaßen gleichmäßig zwischen den verschiedenen Ärzten verteilt.

Hinsichtlich der Wartezeiten fällt als erstes auf, dass die Durchführung der Laboruntersuchung (in Tabelle 11 stellvertretend durch die Untersuchung der Stuhlproben im Labor veranschaulicht) zumeist ohne Wartezeiten möglich ist, zumal mehr als 90 Prozent der Fälle sofort bedient werden können. Bei den anderen Aktivitäten schwankt dieser Wert zwischen 20 und 60 Prozent. Sofern es aber doch zu Wartezeiten kommt, fallen diese den vergleichbaren (mittleren) Wartezeiten der anderen Aktivitäten gegenüber deutlich überproportional aus.

Auswertungen in der Ressourcensicht

In der Einsatzstatistik werden die tatsächlichen Einsätze der Ressourcen nun zu einer univariaten Kennzahl aggregiert.⁷⁴ Die genutzte Parametrisierung lässt eine durchschnittliche Auslastung der (menschlichen) Ressourcen von ca. 70 Prozent erkennen. Ärztliche Ressourcen besitzen dabei einen überdurchschnittlichen Auslastungsgrad von 80–82 Prozent, wohingegen die Krankenschwestern und Laboranten mit einem Auslastungsgrad von nur 64–66 Prozent wesentlich schwächer ausgelastet sind.

⁷⁴ Dabei wurden die Ärzte, Krankenschwestern und Laboranten jeweils zusammengefasst, da keine signifikanten Unterschiede in der Auslastung bestanden.

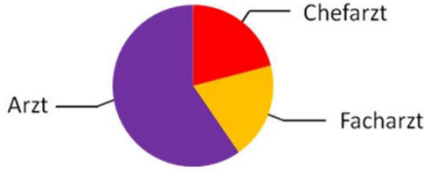
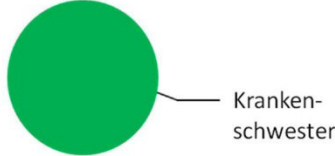
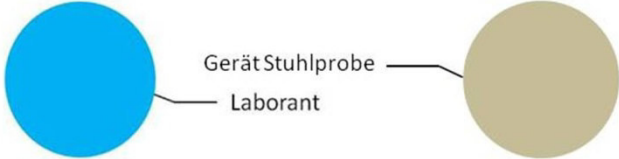
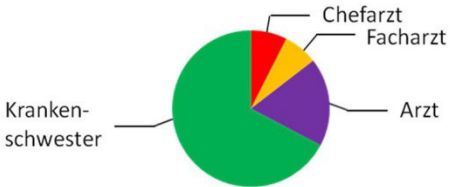
Aktivität	Aufgetreten	Anzahl gewartet	Durchschnittliche Wartezeit	Ressourceneinsatz
Durchführung der Anamnese	1970	1968	1080	
Abnahme der Stuhlprobe	1965	453	2160	
Untersuchung der Stuhlprobe im Labor	2334	176	4754	
Abnahme der Blutprobe	1006	271	4004	

Tabelle 11: Ausschnitt aus der Effizienzanalyse

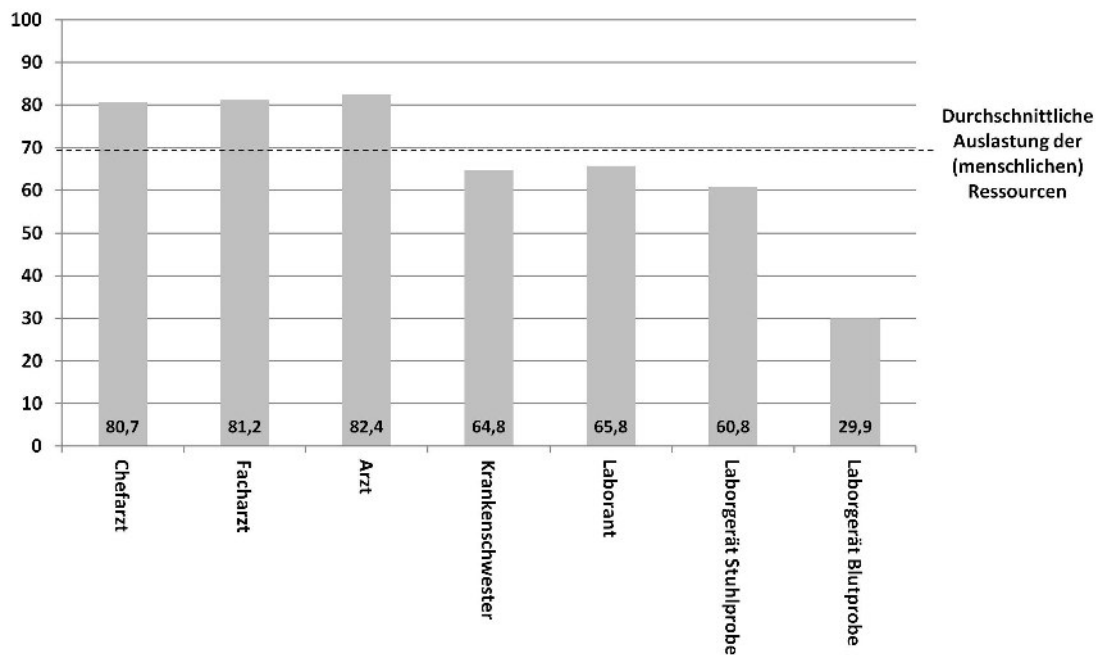


Abb. 56: Einsatzstatistik der Ressourcen

Bei der Betrachtung der technischen Ressourcen bestätigte sich die Vermutung aus der vorangegangenen Effizienzanalyse, dass die gewählte Ausstattung offenkundig überdimensioniert ist, da die Geräte deutlich unterlastet sind. Insbesondere die Bereitstellung von zwei Laborgeräten zur Analyse von Blutuntersuchungen ist hier zu hinterfragen.⁷⁵

Mit der Durchführung der Auslastungsanalyse lassen sich diese Betrachtungen noch weiter verfeinern. Dabei erfolgt die grafische Aufbereitung der tatsächlichen Aktivitäten der einzelnen Ressourcen. Dies ermöglicht eine visuelle Inspektion der Ressourcenallokation, wodurch fehlerhaftes Verhalten⁷⁶ und alternative Strategien zur Allokation entwickelt werden können.

⁷⁵ So wurde auch mit einer Kontrolluntersuchung nachgewiesen, dass die Reduktion auf ein einzelnes Laborgerät in Bezug auf die Durchlaufzeiten der Prozesse zu keiner signifikanten Veränderung führt. Die Auslastung der Ressource stieg nur auf knapp 60 Prozent an. In der Praxis mag die Bereitstellung zweier Geräte dennoch sinnvoll sein, da der Ausfall bzw. die Wartung eines Gerätes ansonsten zu wesentlichen Verzögerungen bei der Sicherung der Diagnose führen kann. Diese Effekte wurden aber bislang nicht untersucht.

⁷⁶ So konnte z. B. eine inkorrekte Zuordnung der Qualifikationen nachgewiesen werden, da bei der Durchführung einer Endoskopie in seltenen Fällen auch zwei Ärzte eingesetzt wurden.

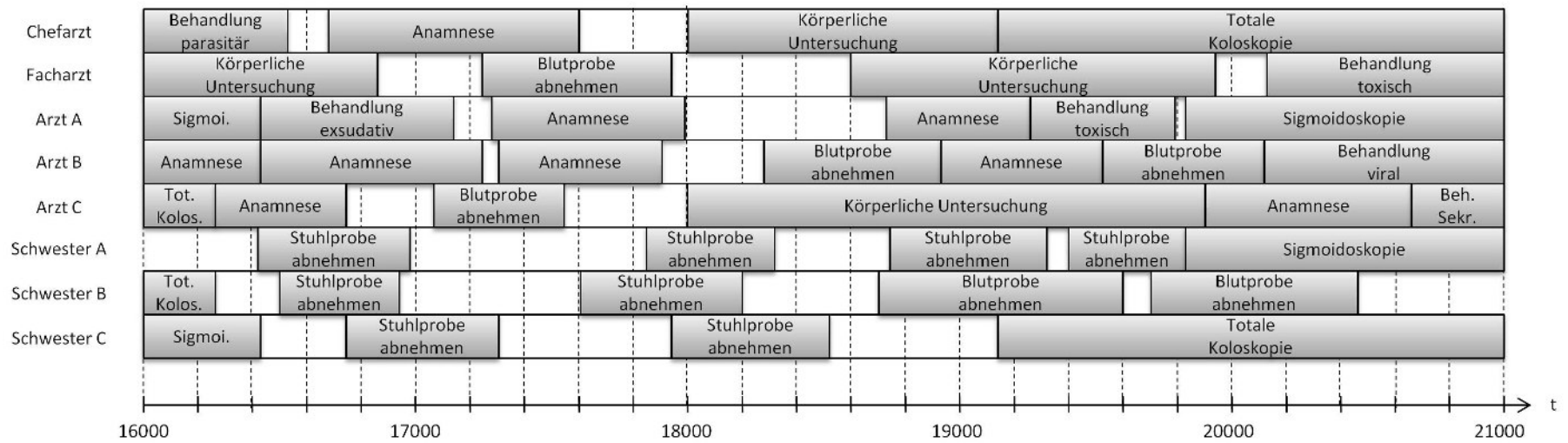


Abb. 57: Auslastungsanalyse der Ressourcen (bezogen auf die Periode von 16.000 bis 21.000 Sekunden)

Betrachtet man z. B. das Auslastungsprofil in Abb. 57, so können leicht alternative Strategien entwickelt werden:

- **Weitergehende Spezialisierung der Krankenschwestern**

Bei der Durchführung der endoskopischen Untersuchungen werden letztlich alle drei Krankenschwestern eingesetzt. Durch eine weitergehende Spezialisierung könnten aber eventuell Effizienzpotenziale realisiert werden. In der derzeitigen Implementation des Modells führte eine entsprechende Veränderung der Qualifikationen allerdings zu einer Überlastung jener Krankenschwester, die ausschließlich für die totale Koloskopie eingesetzt wurde. Dies hatte wiederum signifikante Auswirkungen auf die Durchlaufzeiten der Prozesse, sodass ein Rückgang an vollständig bearbeiteten Prozessinstanzen in Höhe von ca. 4 Prozent gemessen wurde.

- **Exklusive Zuordnung der Blutabnahme zu den Ärzten**

Bei der Analyse der Ressourcenallokationen konnten immer wieder Wartezeiten bei den Ärzten identifiziert werden, die auf die mangelnde Verfügbarkeit von Krankenschwestern für die Durchführung von endoskopischen Untersuchungen zurückzuführen waren. Da die Ärzte mit der bisherigen Parametrisierung aber nicht vollkommen ausgelastet sind, wurde eine alternative Aufgabenverteilung evaluiert, womit sämtliche Blutuntersuchungen nur noch den Ärzten oblagen. Diese Strategie führte allerdings nur zu einer weiteren Diskrepanz der Auslastungsgrade, nicht aber zu einer signifikanten Änderung der Durchlaufzeiten.

Da beide Strategien den bereits bestehenden gegenüber keinerlei Vorteile boten, wurden sie wieder verworfen.

8.3.2. Vergleich der verschiedenen Allokationsstrategien

Das vorgestellte Szenario wurde nun erweitert, um die verschiedenen Allokationsstrategien miteinander zu vergleichen. Die grundlegende Parametrisierung des Experiments blieb hier unverändert; nur die Allokationsstrategien waren auszutauschen. Entgegen der eigenen Erwartung konnten alle Algorithmen auch weiterhin sämtliche Prozessinstanzen bedienen, d. h. selbst die kostensensitiven Strategien wie die *SmallestCosts*- bzw. *BiggestCosts*-Strategie oder die Einbeziehung sozialer Faktoren ermöglichten die vollständige Bearbeitung sämtlicher Instanzen. Allerdings ergeben sich in der detaillierten Betrachtung der unterschiedlichen Auswertungsdimensionen interessante Unterschiede.

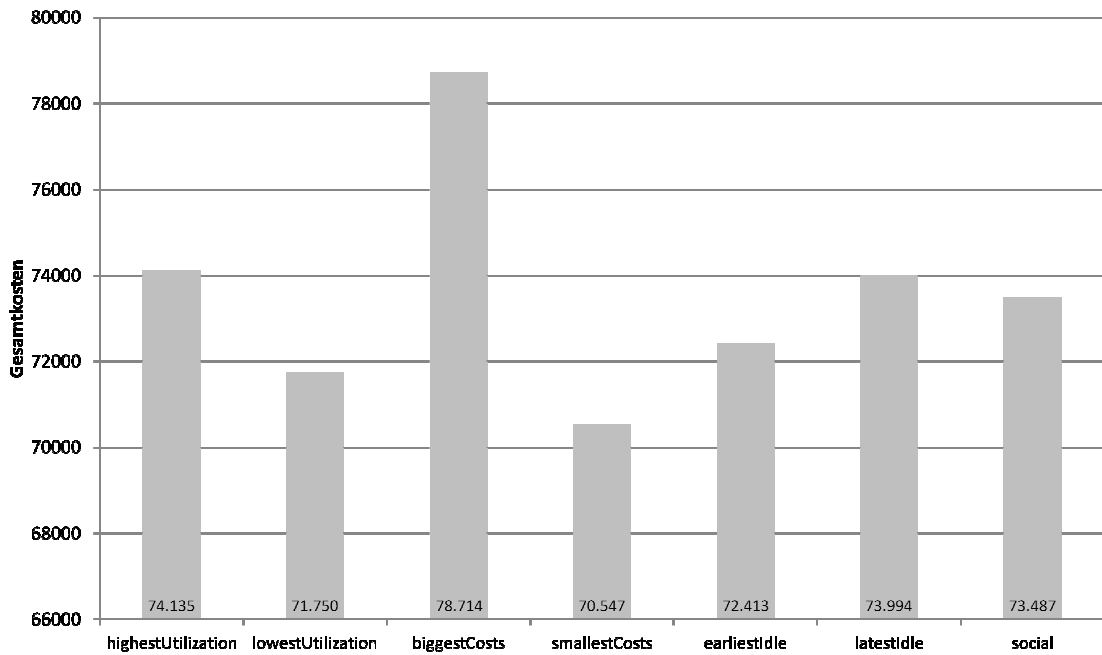


Abb. 58: Gesamtkosten der Prozesse bei unterschiedlichen Allokationsstrategien

So fällt bei der Analyse der Gesamtkosten⁷⁷ eine deutliche Abweichung zwischen den verschiedenen Allokationsstrategien auf (vgl. Abb. 58). Diese beträgt zwischen den minimalen und den maximalen Kostenbeträgen mehr als 10 Prozent. Die größten Abweichungen bestehen zwischen den beiden kostenbasierten Strategien. Beim Einsatz der *SmallestCosts*-Strategie fallen die geringsten Gesamtkosten an, d. h. die Strategie nutzt offenkundig die günstigsten Ressourcen bei der Bearbeitung solcher Aktivitäten, die von unterschiedlichen Ressourcen bedient werden können. Die *BiggestCosts*-Strategie verursacht hingegen die höchsten Kosten.

Bei den auslastungsbasierten Strategien schwanken die Kosten hingegen um den Mittelwert, wobei der Einsatz der *LowestUtilization*- bzw. der *EarliestIdle*-Strategie bessere Ergebnisse erzielt als jener der (komplementären) *HighestUtilization*- bzw. der *LatestIdle*-Strategie.

Zudem erkennt man, dass der Einsatz der *Social*-Strategie gegenüber dem *EarliestIdle*-Ansatz zu höheren Kosten führt. Offenkundig bringt die Begleitung des Patienten den Einsatz teurerer Ressourcen mit sich, die ansonsten nicht eingesetzt werden müssten.

⁷⁷ Hierbei werden die Personalkosten als variable Kosten betrachtet, die jeweils den einzelnen Prozessinstanzen zugerechnet werden können. Kosten werden dabei als Produkt aus eingesetzter Arbeitszeit und hinterlegtem Kostensatz der Ressource berechnet.

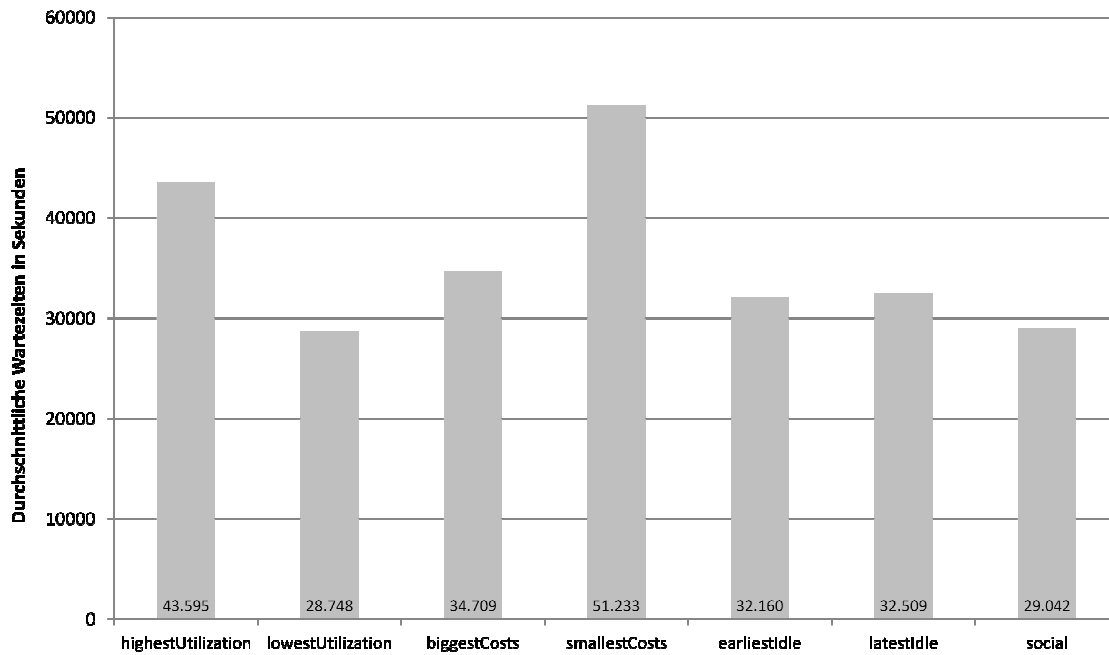


Abb. 59: Durchschnittliche Wartezeiten der Prozesse bei unterschiedlichen Allokationsstrategien

Verbindet man die vorangegangene Kostenanalyse mit einer Betrachtung der Prozesslaufzeiten, so ist zu erkennen, dass die niedrigen Gesamtkosten der *SmallestCost*-Strategie nur zu Ungunsten der Durchlaufzeiten realisiert werden konnten (vgl. Abb. 59).

Bei der genaueren Betrachtung der Ressourcenallokationen konnte dies z. T. durch die überproportionale Zuordnung der Krankenschwestern zu den Blutabnahmen erklärt werden, da diese Ressourcen anschließend nur eingeschränkt für die Durchführung der endoskopischen Untersuchungen zur Verfügung standen. Die durchschnittliche Wartezeit vor den endoskopischen Untersuchungen lag somit auch um bis zu 30 Prozent höher als bei den anderen Strategien.

Im Gegensatz dazu führte der Einsatz der teureren Ressourcen im Rahmen der *BiggestCosts*-Strategie nicht automatisch zu den kürzesten Prozesslaufzeiten. Die meisten anderen Strategien (mit Ausnahme der *HighestUtilization*-Strategie) boten insgesamt kürzere Wartezeiten. Die besten Durchlaufzeiten konnten jedoch durch den Einsatz der *LowestUtilization*-Strategie realisiert werden. Allerdings fiel der Unterschied zwischen den meisten Strategien so gering aus, sodass man letztlich keine verlässliche Reihung dieser Strategien vornehmen kann.

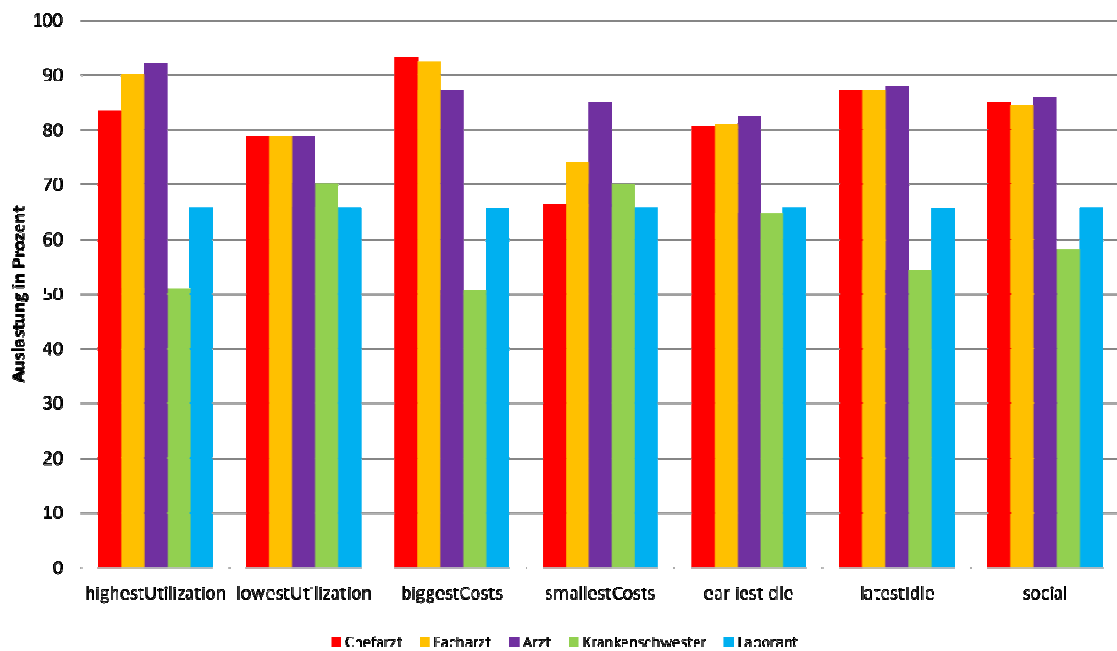


Abb. 60: Auslastungsprofile der Ressourcen bei unterschiedlichen Allokationsstrategien

Basierend auf den vorangegangenen Ergebnissen wurde nun auch eine genauere Analyse der Auslastungsprofile der eingesetzten Ressourcen vorgenommen. Sämtliche Strategien boten einen vergleichbaren mittleren Auslastungsgrad von ca. 64 Prozent, wobei deutliche Abweichungen bei den einzelnen Ressourcen vorlagen. Man erkennt auch recht schnell die substituierbaren Ressourcen, deren Auslastungen zumeist einen ähnlichen Verlauf aufweisen: So besitzen die verschiedenen Ärzte durchaus einen vergleichbaren Auslastungsgrad.

Eventuell bietet auch eine gleichmäßige Auslastung der Ressourcen im untersuchten Szenario einen Vorteil für die effiziente Bearbeitung der Aufgaben. So beträgt die Standardabweichung für die *LowestUtilization*-Strategie nur ca. 5,5 Prozent, während sie bei der *HighestUtilization*- und der *BiggestCosts*-Strategie oberhalb von 13 Prozent lag. Durch diese unterschiedlichen Belastungen stehen offenbar immer wieder wichtige Ressourcen nicht zur Verfügung, wodurch entsprechende Wartezeiten entstehen können.

Die Bewertung der klinischen Behandlungspfade lässt somit nach unterschiedlichen Gesichtspunkten vornehmen. Der Modellierer ist dabei letztlich mit einem multikriteriellen Entscheidungsproblem konfrontiert. Da offenbar keine der bereitgestellten Allokationsstrategien die anderen dominiert, muss er eine – subjektive – Auswahl zugunsten einer der genannten Strategien treffen. Diese Wahl wird typischerweise zu Lasten einer oder mehrerer Zielsetzungen ausfallen.

8.3.3. Variation der Zwischenankunftsrate

Durch die Analyse des vorangegangenen Szenarios konnten zwischen den verschiedenen Allokationsstrategien bereits Unterschiede bei den Simulationsergebnissen belegt werden. Allerdings hatte die Wahl letztlich keinen signifikanten Einfluss auf die Menge der (vollständig) bearbeiteten Prozessinstanzen. Offenkundig verfügte die Parametrisierung noch immer über genügend Reserven, um die effektive Bearbeitung der Instanzen zu gewährleisten, selbst wenn die Bearbeitungsdauern und die Gesamtkosten bereits deutlich variierten.

Um dies weiter zu untersuchen, war nun eine Variation der Ankunftsrate vorzunehmen: Die Raten wurden dabei in Inkrementen variiert, sodass letztlich 13 verschiedene Szenarien entstanden, bei denen sich die Zwischenankunftszeit sukzessive von 900 Sekunden bis auf 300 Sekunden reduzierte. Die Auswahl der Allokationsstrategie wurde auf die *SmallestCosts*-, *BiggestCosts*-, *EarliestIdle*- und *LowestUtilization*-Strategie beschränkt, da diese die unterschiedlichsten Ergebnisse bei dem zuvor erstellten Vergleich lieferten.

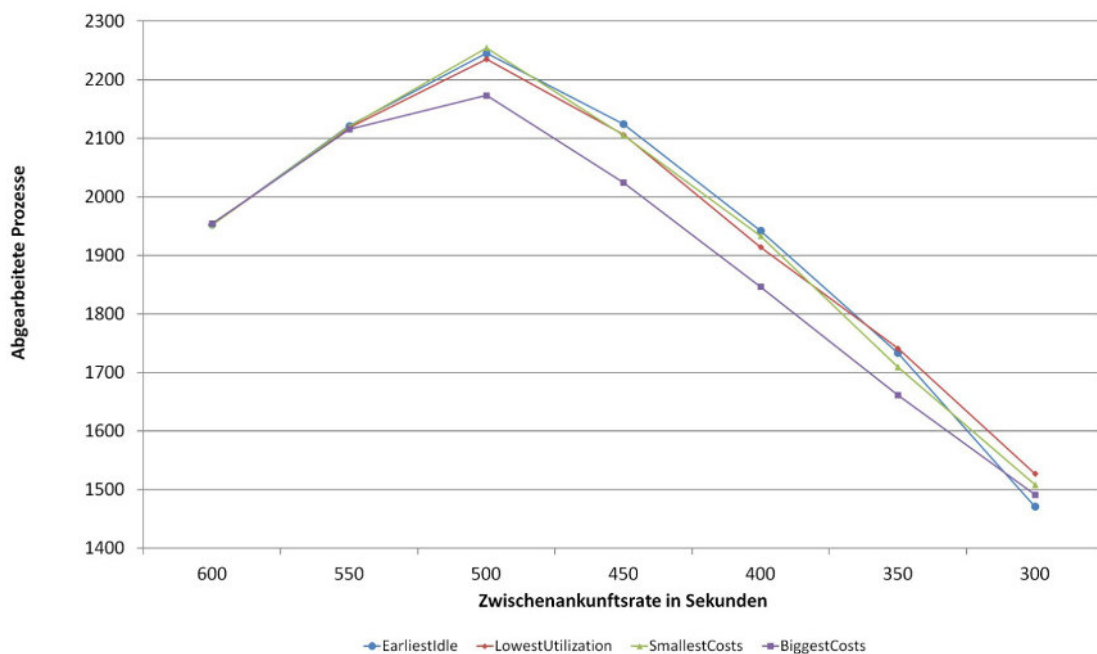


Abb. 61: Abgearbeitete Prozessinstanzen bei der Variation der Zwischenankunftsrate

Überraschenderweise führen die verschiedenen Strategien in Bezug auf die Menge der vollständig bearbeiteten Instanzen auch weiterhin zu durchaus ähnlichen Ergebnissen (vgl. Abb. 61).

Die Unterschiede zwischen den Strategien bestehen eher in den Auslastungsprofilen der Ressourcen (vgl. Abb. 62 bis Abb. 65). Dabei lassen sich zwei wesentliche Erkenntnisse ableiten:

1. Eine Reduktion der Zwischenankunftsrate unter 500 Sekunden führt bei allen Allokationsstrategien letztlich zu einer Überlastung der Ressourcen. Der Engpass liegt offenkundig bei den medizinischen Ressourcen. Entsprechend sind Allokationsstrategien, die eine (besonders) starke Auslastung der Mediziner anstreben, in diesen Szenarien von Nachteil. Entsprechend kann man bei der *BiggestCosts*-Strategie erkennen, dass der Durchsatz für die Prozesse in solchen Hochlast-Szenarien schneller bzw. stärker absinkt als bei den anderen Strategien.
2. Ein deutlicher Unterschied zwischen den Auslastungsprofilen der auslastungs- und der kostenbasierten Allokationsstrategien ist zu erkennen. Bei den auslastungsbasierten Strategien (d. h. bei *LowestUtilization* und *EarliestIdle*) nähern sich die Profile der untereinander substituierbaren Ressourcen einander erkennbar an. So verlaufen die Auslastungskurven der ärztlichen Ressourcen quasi deckungsgleich. Bei den kostenbasierten Verfahren (d. h. *SmallestCosts* bzw. *BiggestCosts*) zeigen die Auslastungsprofile der ärztlichen Ressourcen hingegen eine deutliche Streuung um den Mittelwert. So werden die günstigen bzw. teuersten Ressourcen präferiert, wodurch diese auch bei niedrigeren Fallzahlen bereits über eine wesentlich höhere Auslastung verfügen. Die schwächer priorisierten Ressourcen weisen hingegen einen leicht s-förmigen Verlauf ihrer Auslastungskurve aus. Sie besitzen also anfänglich eine schwache Auslastung, die aber zwischenzeitlich überproportional ansteigt, bis sie sich schließlich wieder der gemeinsamen Auslastung annähert.

Man erkennt allerdings auch, dass die kurzfristigen und lokalen Strategien hier letztlich an ihre Grenzen stoßen, da die Ressourcen immer für die am längsten wartenden Aktivitäten vergeben werden. Dies führt für das Gesamtmodell zu suboptimalen Ressourcenallokationen und vermeidet den tatsächlichen Prozessdurchsatz, sodass immer weniger Prozessinstanzen vollständig bearbeitet werden.

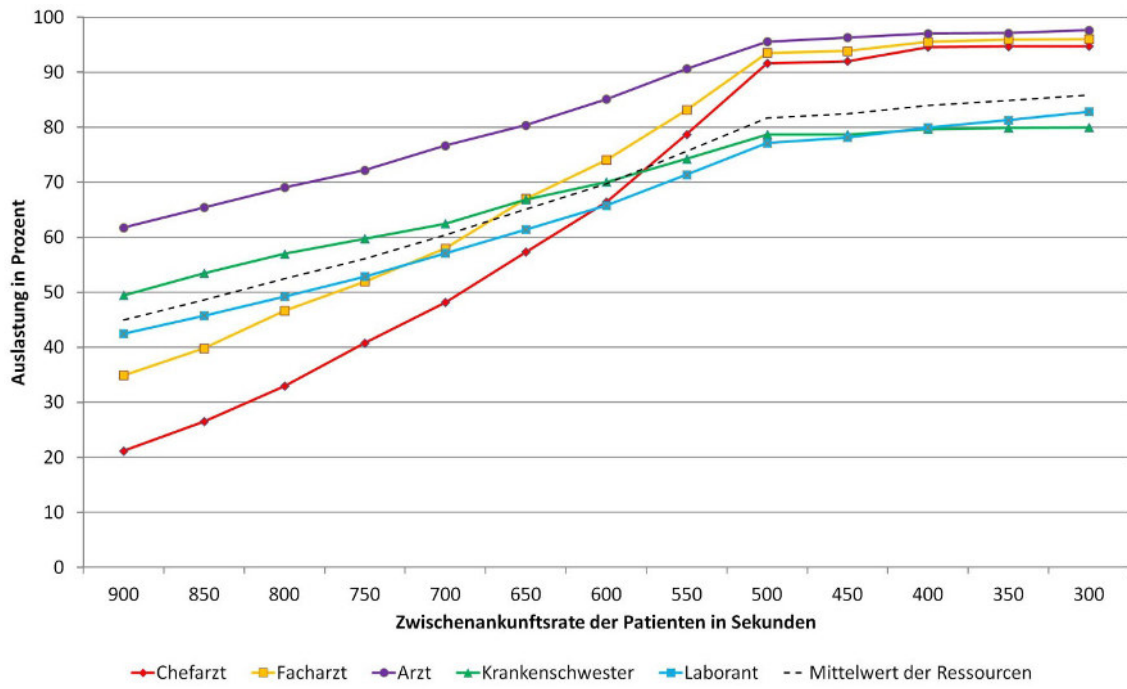


Abb. 62: Auslastung der Ressourcen bei SmallestCosts mit veränderten Zwischenankunftsraten

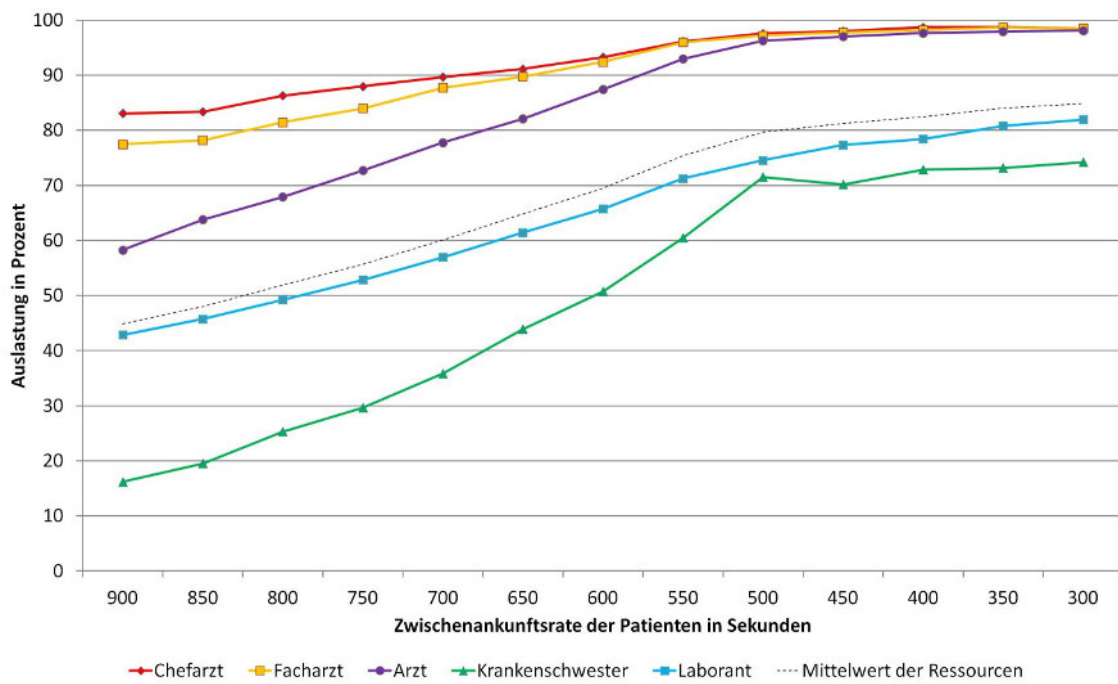


Abb. 63: Auslastung der Ressourcen bei BiggestCosts mit veränderten Zwischenankunftsraten

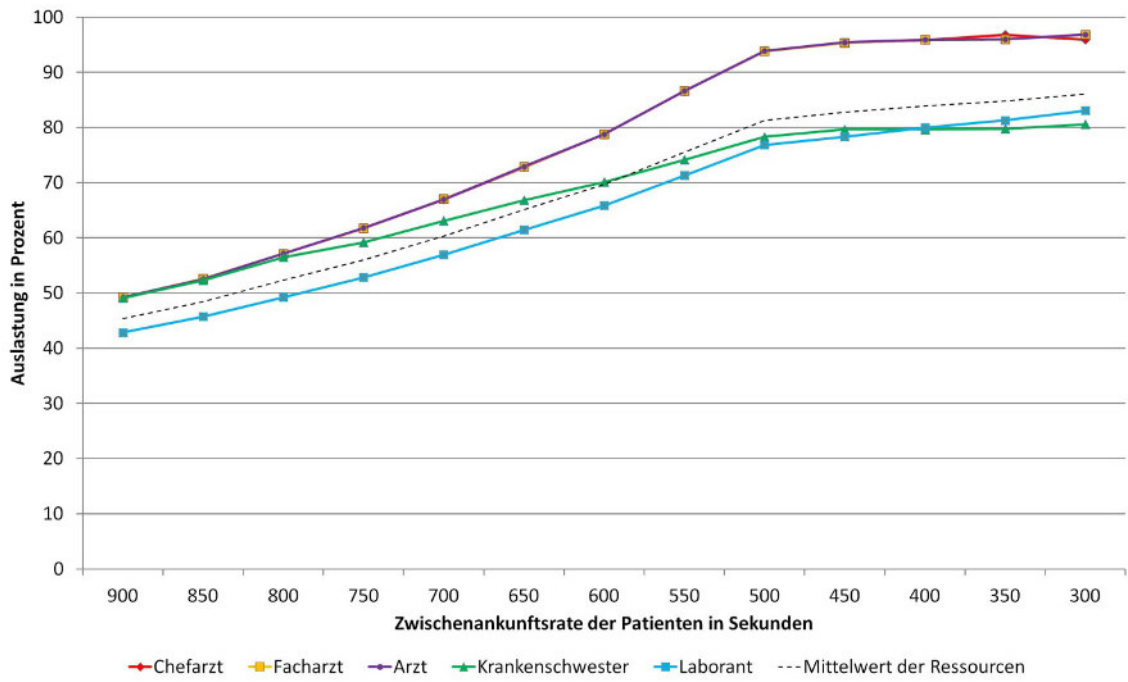


Abb. 64: Auslastung der Ressourcen bei LowestUtilization mit veränderten Zwischenankunftsrate

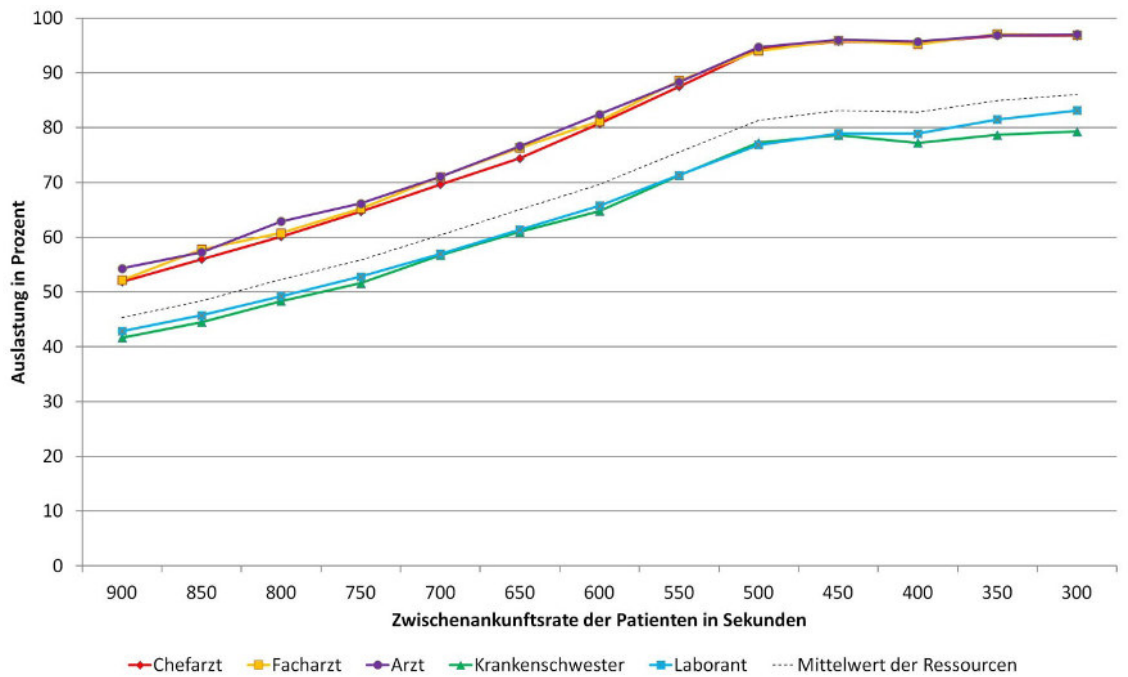


Abb. 65: Auslastung der Ressourcen bei EarliestIdle mit veränderten Zwischenankunftsrate

Man kann sich das zugrunde liegende Problem auch an einem vereinfachten Beispiel verdeutlichen (vgl. Abb. 66): Die beiden Prozesse teilen sich einen gemeinsamen Ressourcenpool, wobei die Anforderungen an die Qualifikationsprofile variieren, sodass sich die Ausführungen der Prozesse gegenseitig beeinflussen.

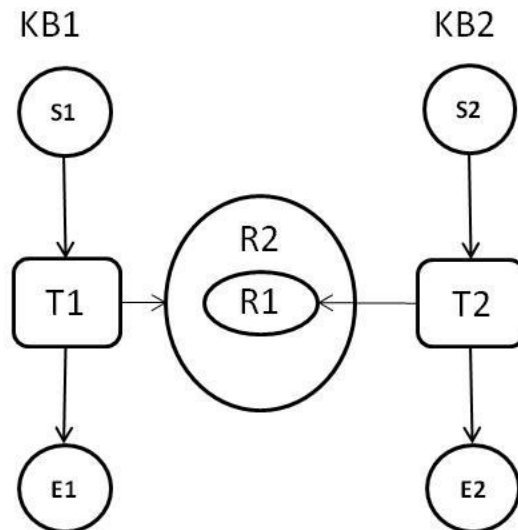


Abb. 66: Gemeinsame Nutzung der Ressourcen durch zwei triviale Prozesse (KB1 und KB2)

Zur Veranschaulichung der Problematik beim Einsatz heuristischer Verfahren betrachte man einmal folgendes Szenario: Die Ressource R1 bearbeitet zum Betrachtungszeitpunkt t_0 eine Instanz von KB2, wohingegen die Ressource R2 eine Instanz von KB1 bearbeitet. Zum Zeitpunkt t_1 terminiert R1 die Bearbeitung ihrer Aufgabe und reiht sich in die Warteschlange der freien Ressourcen ein. Zum Zeitpunkt t_2 terminiert hingegen die Ressource R2. Bei Nutzung der *EarliestIdle*-Strategie muss R1 in der Warteschlange vor R2 einsortiert werden. Ein solcher Ansatz kann aber in der Folge zu unnötigen Wartezeiten führen.

Man veranschauliche sich die Situation, wenn zum Zeitpunkt t_3 eine neue Instanz von KB1 eintrifft und eine Bearbeitung durch die Ressourcen anfordert. KB1 kann prinzipiell von beiden Ressourcen bearbeitet werden; durch den Einsatz der Heuristik wird ihr ohne Berücksichtigung weiterer Wechselwirkungen die Ressource R1 zugeordnet. Tritt nun zum Zeitpunkt t_4 eine neue Instanz von KB2 auf, so muss sie bis zur vollständigen Abarbeitung von KB1 zum Zeitpunkt t_5 auf den Beginn ihrer Bearbeitung warten. Eine solche Wartezeit wäre vermeidbar gewesen, wenn der Engpass bei der Zuordnung explizit berücksichtigt worden wäre.

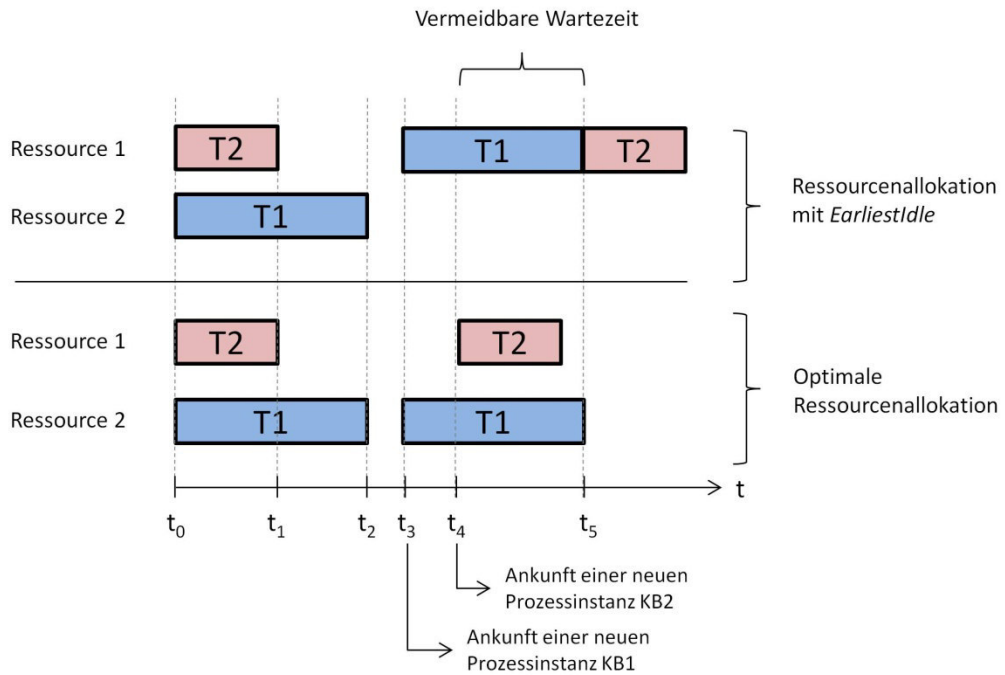


Abb. 67: Vermeidung unnötiger Wartezeiten vor einer Ressource

Durch die Variation der Heuristiken kann im Einzelfall eine bessere Lösung gefunden werden. Im dargestellten Beispiel hätte z. B. auch die *LatestIdle*-Strategie eine kürzere Durchlaufzeit generiert. In realistischeren Szenarien kann dies allerdings nur durch komplexere Strategien gewährleistet werden, die (möglichst) alle verfügbaren Informationen berücksichtigen.

9. Diskussion

In diesem Kapitel erfolgt nun eine abschließende Diskussion der vorgelegten Arbeit. Hierbei wird zuerst in Unterkapitel 9.1 eine zusammenfassende Darstellung der wesentlichen Erkenntnisse dieser Studie aufbereitet. Danach sind in Unterkapitel 9.2 die Grenzen der Arbeit noch einmal kritisch zu betrachten und abschließend als Ausblick in Unterkapitel 9.3 mögliche Anknüpfungspunkte weiterer Forschungstätigkeiten aufzuzeigen.

9.1. Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Studie wurde ein interdisziplinärer Ansatz genutzt, um die Methoden der Geschäftsprozessmodellierung und der Simulation zur Untersuchung soziotechnischer Prozesse in der Krankenhausdomäne einzusetzen. Hierbei sind vier wesentliche Erkenntnisse hervorzuheben:

- Aus medizinischer Sicht weisen soziotechnische Prozesse im Krankenhaus eine baumartige Struktur auf. Durch den inkrementellen Diagnoseprozess vereint ein klinischer Behandlungspfad (ausgehend von einer gemeinsamen Symptomatik) häufig mehrere alternative Teilprozesse, mit denen die unterschiedlichen Verdachtsdiagnosen bzw. die tatsächlichen Therapien dargestellt werden können.⁷⁸ Der graphenorientierte Ansatz der Geschäftsprozessmodellierung ermöglicht dabei eine adäquate Abbildung der klinischen Behandlungspfade, wobei ein konsequenter Einsatz von Hierarchisierung die Übersichtlichkeit und Leserlichkeit des Modells maßgeblich erhöht. Zusätzlich können aber auch die Kosten und die Dauer der Prozesse effizient erfasst werden, wodurch ein wesentlicher Mehrwert gegenüber den bestehenden Ansätzen entsteht.
- Im Gegensatz zu anderen Anwendungsdomänen müssen die gestarteten Prozessinstanzen nicht ihren vollständigen Lebenszyklus durchlaufen. Durch die Realisation eines Konzepts zum vorzeitigen Verlassen lässt sich vielmehr eine Abweichung vom derzeitigen Vorgehen des klinischen Behandlungspfads explizit herbeiführen. Das Terminieren eines Prozesses kann z. B. durch den Auftritt von Komplikationen oder durch die Widerlegung der Verdachtsdiagnose ausgelöst werden. Die gewonnenen Erkenntnisse sind allerdings nicht zu verwerfen, sondern in der nachfolgenden Behandlung (z. B. durch die Generierung einer neuen Prozessinstanz eines anderen Behandlungspfads) zu nutzen.

⁷⁸ Dies erklärt auch, warum in der Vergangenheit häufig Entscheidungsbäume eingesetzt wurden, um die Mediziner bei ihrer Entscheidungsfindung zu unterstützen.

- Die Berücksichtigung von Leitungsbefugnissen erfordert eine Abkehr von den bestehenden Rollenkonzepten, da diese keine adäquate Modellierung der Aufgabenzuordnung ermöglichen. Die rollenbasierte Zuordnung einer Ressource unterstellt immer eine gewisse Gleichartigkeit und Substituierbarkeit der verfügbaren Ressourcen, was im Kontext der Anwendungsdomäne nur eingeschränkt praktikabel ist. Stattdessen wurde eine Konzeption von Ressourcenprofilen vorgestellt, wodurch die Abarbeitung der Aufgaben von unterschiedlichen Ressourcen vorgenommen werden kann, sofern diese über die notwendige Qualifikation in ihrem (individuellen) Qualifikationsprofil verfügen.
- Die komplexen Wechselwirkungen zwischen den Prozessen und der umfassenden Aufbauorganisation spiegeln sich in der Nutzung gemeinsamer Ressourcen wider. Durch die Erweiterung der bestehenden Ansätze zur Ressourcenallokation kann nun eine realistischere und flexiblere Modellierung der Aufgabenzuordnung vorgenommen werden. Offenbar besitzen die verschiedenen Allokationsstrategien bzw. -algorithmen dabei einen signifikanten Einfluss auf die (Simulations-)Ergebnisse, sodass eine Analyse des logischen Ablaufs der Experimente auch immer eine genauere Betrachtung der Ressourcenallokation umfassen sollte.

Im Gegensatz zu anderen Ansätzen in der Anwendungsdomäne lassen sich mit dem gewählten Ansatz die verfügbaren Informationen über die Aufbau- und Ablauforganisation effektiv mit einbeziehen, um (unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Zielsetzungen beteiligter Akteure und Adressaten) verdeckte Effizienzpotenziale und Inkonsistenzen im Prozessablauf zu identifizieren.

9.2. Grenzen dieser Arbeit

Die Konzeption und Implementation des Ablaufmodells sowie die Durchführung der Simulationsexperimente orientieren sich derzeit nur an einem durchaus eng umrissenen Teilgebiet der Anwendungsdomäne. Das Modell konnte im Rahmen dieser Arbeit leider nicht im Anwendungskontext eines realen Krankenhauses eingeführt und erprobt werden.

Vor dem Einsatz in einem realen Krankenhaus bzw. bei einem weiteren Ausbau des Modells müssen die aufgezeigten Grenzen der Arbeit aber erneut überprüft und ggf. sukzessive erweitert werden:

1. Exemplarische Kopplung zwischen jBPM und DESMO-J

In der vorliegenden Arbeit wurde auf die bestehende Kopplung zwischen der Workflow-Engine jBPM und dem Simulationsframework DESMO-J aufgebaut (vgl. Kap. 7.1). Die zugrunde liegenden methodischen Ansätze lassen aber auch losgelöst von diesen konkreten Frameworks und in anderen Anwendungskontexten betrachten. Dabei ist jedoch im Einzelfall zu überprüfen, inwieweit sich die Funktionalität auf andere Ausführungsumgebungen übertragen lässt.

2. Anpassung des Bewertungskatalogs und Re-Evaluierung der Notationsauswahl

Die Modellierung der Prozesse erfolgte im Rahmen dieser Studie durch den Einsatz der jPDL (vgl. Kap. 4.3). Dies wurde insbesondere durch die besonderen Anforderungen aus der Anwendungsdomäne motiviert. Bei einer Überführung in andere Kontexte bzw. auf andere Anwendungsfälle muss die Angemessenheit des entwickelten Kriterienkatalogs überprüft und eine erneute Bewertung der Modellierungsnotationen vorgenommen werden.

3. Fehlende Überprüfung der Validität

Im Rahmen dieser Arbeit wurden nur idealisierte Daten aus einem exemplarischen *Electronic Health Record Systems* (vgl. Kap. 8) genutzt. Hierbei liegen allerdings bislang keine belastbaren Informationen über die Konsistenz und Validität der Daten vor. Dies konnte nur durch den Abgleich mit ähnlichen Arbeiten im Anwendungskontext überprüft werden. Die eingesetzten Parameter bzw. Verteilungsfunktionen decken sich aber mit den vorgefundenen Werten, sodass davon auszugehen ist, dass sie einen gewissen Grad an Validität besitzen. Dies wäre im praktischen Einsatz genauer zu untersuchen und durch den Einsatz entsprechender statistischer Tests sicherzustellen.

Die Arbeit besitzt offenkundig an vielen Stellen nur einen prototypischen Charakter, wobei der Fokus auf die Darstellung des technischen und konzeptionellen Rahmens gelegt wurde. Allerdings lassen sich die Erkenntnisse so auch auf ein breites Anwendungsspektrum übertragen.

9.3. Ausblick

Die vorliegende Arbeit konzentriert sich auf die effektive Nutzung der Aufbau- und Ablauforganisation in den entwickelten klinischen Behandlungspfaden. Außerhalb dieser Betrachtung existieren zumindest zwei bedeutsame Aufgabenstellungen, die in anschließenden Arbeiten untersucht werden können.

Verbesserte Anbindung der Datenschicht

In der derzeitigen Implementation der Datenschicht besteht ein unidirektionaler Austausch ausgewählter Daten zwischen dem zugrunde gelegten *Electronic Health Record System* und der Ausführungsumgebung (vgl. Kap. 8.1). Dieser Ansatz könnte in zukünftigen Arbeiten weiter ausgebaut werden:

- **Explizite Validierung und Verifikation der Simulationsexperimente**

Da in dieser Arbeit bislang nur mit stark idealisierten Daten gearbeitet wurde, konnte auch keine verlässliche Validierung der Parameter und Simulationsergebnisse vorgenommen werden. In einem realistischen Einsatzszenario gewinnt dieses Vorgehen aber an immanenter Bedeutung, bevor die Simulationsergebnisse auf das zu untersuchende System übertragen werden können. Neben den üblichen Techniken zur statistischen Aufbereitung der Ergebnisse können auch und gerade im Bereich der Geschäftsprozessmodellierung entsprechende Techniken zur Verifikation und Validierung von Prozessen (wie z. B. Process Mining) eine besondere Stellung einnehmen. Insofern sollten die rekonstruktiven Ansätze (vgl. Kap. 3.2.1) berücksichtigt und in das Repertoire des Modellierers aufgenommen werden.

- **Erweiterung der Datenübernahme**

In der Datenschicht lassen sich vielfältige allgemeine und medizinische Daten erheben und verwalten. Bislang wurden bei der Übergabe der Daten nur solche Attribute berücksichtigt und letztlich an die Ausführungsumgebung übergeben, die für die Steuerung des konkreten klinischen Behandlungspfads benötigt wurden (vgl. Kap. 8.1). Dies führte letztlich zu einer Limitierung der Nutzung auf einen nur geringen Teil der verfügbaren Informationen, sodass die Schnittstellen und die interne Verarbeitung der Daten bei der Umsetzung weiterer klinischer Behandlungspfade entsprechend erweitert werden müssen.

- **Implementation einer HL7-Schnittstelle in der Ausführungsumgebung**

Der Austausch medizinischer Informationen erfolgt heutzutage vielfach durch die Nutzung des HL7-Formats. Dieses Datenformat basiert in seiner derzeit gültigen Version auf einer formalen Methodologie des sog. HL7 Development Frameworks (HDF) und baut auf einer XML-artigen Struktur auf. In der vorliegenden Arbeit wurde bislang ein Konverter eingesetzt, der die relevanten Attribute aus den HL7-Nachrichten extrahiert und aufbereitet. Bei einer Vertiefung dieses Ansatzes könnte hingegen die komplette Anpassung der Import-Schnittstellen erwogen werden, um die vollständige Struktur und den Informationsgehalt der HL7-Nachrichten nutzbar zu machen.

- **Realisierung einer bidirektionalen Schnittstelle**

In der derzeitigen Implementation werden die erhobenen Daten im *Electronic Health Record Systems* nur zur Generierung der Patienten und Ressourcen für die Simulationsexperimente genutzt. Diese Aktivitäten laufen letztlich noch vor der eigentlichen Ausführung der Simulationsexperimente ab. Daher wurde bislang auch nur eine unidirektionale Anbindung der Datenschicht an die Ausführungsumgebung realisiert. Sofern man aber die zugrunde liegende Workflow-Engine als zentrales Werkzeug zur tatsächlichen Steuerung (realer) klinischer Behandlungspfade nutzen bzw. die gewonnenen Simulationsergebnisse als Kennzahlen innerhalb des Krankenhausinformationssystems weiter verwenden möchte, ist eine bidirektionale Datenverbindung zu realisieren. Eine besondere Herausforderung stellt dabei sicherlich die Identifikation geeigneter Formate dar, mit denen die relevanten Daten zwischen den Systemen ausgetauscht werden können.⁷⁹

Erweiterung des Ressourcenkonzepts

Bislang wurde nur ein Teil der vorgestellten Muster von Russell et al. [Rus⁺05] und einfache Heuristiken zur Bestimmung der Ressourcenallokation realisiert (vgl. Kap. 7.2.2) und bei Simulationsexperimenten untersucht (vgl. Kap. 8.3.2). Gerade für die Übertragung auf andere Anwendungskontexte wäre die Umsetzung weiterer Muster sicherlich erforderlich. Im Rahmen möglicher Anschlussarbeiten wären dabei folgende Fragestellungen dedizierter zu untersuchen:

- **Realistische Modellierung der Ressourcen**

Im Rahmen dieser Arbeit wurde auch weiterhin eine stark idealisierte Modellierung der Ressourcen genutzt, da diese Ressourcen uneingeschränkt und ohne Berücksichtigung von Wege- oder Rüstzeiten zur Durchführung der Untersuchungen und Therapien zur Verfügung stehen. Eine realistischere Modellierung müsste aber auch die Definition von Arbeitsschichten und Pausenzeiten sowie die Betrachtung (krankheitsbedingter) Ausfälle der Ressourcen ermöglichen. Die Hinterlegung solcher Daten ist derzeit allerdings von den bestehenden Geschäftsprozessmodellen noch nicht vorgesehen. Stattdessen muss das Verhalten in eigenständigen Modellen erhoben und anschließend eine entsprechende Koppelung der Modelle vorgenommen werden. Dabei ließen sich dann auch alternative Modellierungsparadigmen oder -konstrukte nutzen, so z. B. eine agentenbasierte Modellierung des medizinischen Personals, wodurch die Erfassung der ressourcenbezogenen Auswertungsperspektiven aufgebohrt werden könnte.

⁷⁹ Die medizinischen Daten besitzen dabei mit HL7 vermutlich bereits ein geeignetes Format zur strukturierten Datenübergabe. Zudem bieten viele Anwendungen im medizinischen Bereich schon entsprechende (Import- und Export-)Schnittstellen. In anderen Bereichen, so z. B. der Übergabe von Ressourcendaten, müssen hingegen proprietäre Datenschnittstellen erwogen werden.

- **Berücksichtigung komplexer Kostengruppen**

Die Berechnung der Kosten einer Aktivität wird in dieser Arbeit als Produkt eines (an der Ressource hinterlegten) Kostensatzes und der ermittelten Zeitdauer vorgenommen. Dieses Vorgehen orientiert sich an den gängigen Ansätzen der meisten Werkzeuge zur Modellierung von Geschäftsprozessen. [SF13] Es kann allerdings auch ausgeweitet werden. So lassen sich die Kosten auch individuell für die konkrete Zuordnung von Ressourcen und Aktivitäten⁸⁰ oder durch die Berücksichtigung komplexer Kostengruppen⁸¹ bestimmen.

- **Anbindung an dedizierte Planungstools**

In der derzeitigen Implementation wurde die gesamte Funktionalität direkt in der Workflow-Engine oder der Simulationsumgebung realisiert. In Anbetracht hoch spezialisierter Werkzeuge, etwa für die Bereitstellung genetischer Algorithmen, für maschinelles Lernen oder künstliche neuronale Netze zur Umsetzung komplexer Planungsaufgaben, erscheint dieser Ansatz aber letztlich ineffizient und redundant. Stattdessen muss die Anbindung an bestehen-de Werkzeuge vorangetrieben werden. Durch die Bereitstellung einer abstrakten Schnittstelle wurde bereits ein bedeutsamer Schritt in diese Richtung unternommen. Allerdings ist die Übergabe der relevanten Informationen im konkreten Fall dezidiert zu untersuchen.

⁸⁰ So beschreiben z. B. Sampath und Wirsing [SW09] in ihrer Arbeit unterschiedliche Ansätze, mit denen die Kosten für die Durchführung einer Aktivität ermittelt werden können.

⁸¹ Saeedi, Zhao, Sampaio [SZS10] bzw. auch Heidari, Loucopoulos und Kedad [HLK11] verstehen die angegebenen Kosten als eine Kombination aus (fixen und variablen) Akquise- und Ausführungskosten, wodurch unterschiedliche Aspekte der Aktivität entsprechend bewertet werden können.

Anhang A: Darstellung der wichtigsten Notationselemente der jPDL

Zur besseren Nachvollziehbarkeit der erarbeiteten Modelle werden die wichtigsten Notationselemente der jPDL kompakt aufbereitet. Eine ausführlichere Darstellung kann der Notationsspezifikation [JBo08] bzw. aus der Arbeit von Rucker [Ruc08] entnommen werden.

Gemäß des grundlegenden Ansatzes der graphenbasierten Modellierung (vgl. Kap. 2.2.3) bestehen die Prozesse aus Knoten und Kanten. Die Knoten repräsentieren dabei die verschiedenen Tätigkeiten zur Abbildung des Prozessgeschehens. Dabei stehen dem Modellierer unterschiedliche Knotentypen zur Verfügung, welche ihm eine Strukturierung gleichartiger Tätigkeiten innerhalb des Prozesses erlaubt. Zudem wird ein Verhaltensmuster spezifiziert, welches von der Workflow-Engine automatisiert werden kann. In der jPDL stehen folgende Knotentypen zur Verfügung:

- **task-node**

Ein *task-node* repräsentiert eine oder mehrere Aufgaben, welche von Menschen oder Maschinen ausgeführt werden können. Wenn ein Token in einem *task-node* ankommt, wird eine *task instance* in den Aufgabenlisten der beteiligten Akteure vorgemerkt. Bis zur Abarbeitung dieser Aufgaben verharret der Knoten in einem impliziten Wartezustand. Sobald alle zugeordneten Akteure für die Bearbeitung zur Verfügung stehen, wird die Wiederaufnahme der Ausführung angetriggert und der Wartezustand beendet. Dies führt wiederum zu einem neuen Signal, das an den Token und die beteiligten Akteure gesendet wird und zur Anpassung ihres internen Zustands bzw. zur Aktualisierung ihrer internen Statistiken dient.

- **state**

Ein *state* ist ein einfacher Wartezustand, bei dem (im Gegensatz zum *task-node*) keine *task instances* erzeugt werden. Dies kann z. B. genutzt werden, wenn der Prozess auf ein externes Ereignis warten soll.

- **decision**

Eine *decision* ist ein Entscheidungsknoten, bei dem der Ausgangsprozess in mehrere Teilprozesse aufgeteilt wird, von denen aber nur (genau) einer ausgeführt werden kann. An den Ausgangstransitionen werden Bedingungen (in Form von booleschen Ausdrücken) hinterlegt, die bei der Aktivierung des Entscheidungsknoten evaluiert werden. Die erste Transition, deren Bedingung zu „wahr“ ausgewertet wird, wird ausgeführt. Die Reihenfolge wird dabei durch die Auflistung in der zugrundliegenden Konfigurationsdatei hinterlegt. Sofern keine der Bedingungen erfüllt werden kann, wird eine vordefinierte Default-Transition genutzt.

- **fork**

Ein *fork* ist ein Verzweigungsknoten, bei dem der Ausgangsprozess in mehrere Teilprozesse aufgeteilt wird, die anschließend parallel ausgeführt werden. Innerhalb des *fork* wird für jede ausgehende Transition ein neuer Token abgeleitet, der mit dem erzeugenden Token durch eine entsprechende Assoziation verbunden ist. Durch diesen Ansatz kann jederzeit festgestellt werden, welche Teilprozesse noch aktiv sind.

- **join**

Ein *join* bildet das Pendant zu *fork* und *decision*, mit dem unterschiedliche Teilprozesse wieder zu einem einzigen Prozess zusammengeführt werden können. Im einfachsten Fall wird dabei davon ausgegangen, dass alle Token, die über die eingehenden Transitionen in den *join* gelangen, demselben Ausgangstoken zugerechnet werden können und auf einer gleichartigen Assoziationsstufe vorliegen. In dieser synchronen Ausführung brauchen keine weiteren Prüfungen durchgeführt werden, sondern nur das Eintreffen aller verbleibenden Token abgewartet werden. Solange nicht alle Token eingetroffen sind, verweilt der *join* in einem Wartezustand. In einer abgewandelten Form, kann der *join* aber auch mit einem asynchronen Verhalten ausgestattet werden, wobei eine Reihe von Konditionen an der Ausgangstransition hinterlegt werden, die beim Eintreffen eines Token evaluiert werden. Der Modellierer erhält somit ein Mittel, um komplexe Verknüpfungen zu realisieren, muss dabei aber gleichzeitig sicherstellen, dass es innerhalb des Prozesses nicht zu einer (ungewünschten) wiederholten Ausführung der ausgehenden Transition kommt.

- **node**

Der *node* bietet dem Entwickler die Möglichkeit seinen eigenen Programmcode in den Knoten zu hinterlegen. Der *node* besitzt daher nur einen Verweis auf eine Aktion, die ausgeführt wird, sobald ein Token in dem Knoten ankommt. Diese Aktion unterliegt per se keinen Restriktionen und kann unterschiedlichste Formen annehmen, wobei sie aber auch keine weitergehende Unterstützung durch die Modellierungsnotation bzw. die Workflow-Engine erfährt.

- **super-state**

Ein *super-state* ist spezielle Form eines *task-nodes*, da er nicht nur eine einzelne Aktivität enthält, sondern einen oder mehrere vollständige Subprozesse kapselt. In der daraus erwachsenden Konsequenz kann ein Token sich in mehreren verschachtelten Subprozessen gleichzeitig befinden. Durch diese Schachtelung können rekursive Beziehungen zwischen den Prozessen realisiert werden. Solange ein Subprozess ausgeführt wird (d. h. der eingeschlossene Prozess noch keinen Endzustand erreicht hat), verbleibt der definierende *super-state* in einem Wartezustand.

Anhang B: Formen der Diarrhö und Erkrankungsursachen

Nach allgemeiner Definition handelt es sich bei einer Erkrankung um eine Diarrhö, wenn der Patient pro Tag mindestens drei flüssige Stühle mit mehr als 200g pro Tag erfährt. Dabei wird vorrangig zwischen einer akuten und einer chronischen Diarrhö unterschieden.

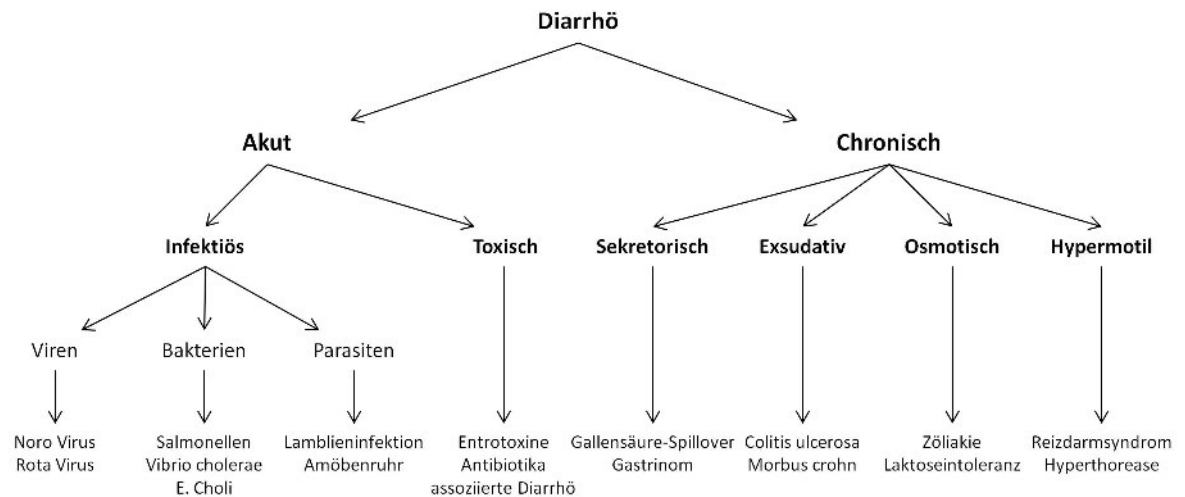


Abb. 68 Unterschiedliche Diarrhöarten und Verursacher

Eine akute Diarrhö zeichnet sich zumeist durch eine relative kurze Inkubationszeit und heftigen Krankheitsverlauf aus. Dies wird zumeist durch übertragbare Erreger ausgelöst [SHF00]:

- Infektiöse Diarrhö

Bei der Infektion durch Bakterien, Parasiten oder Viren kommt es zu einer Magen-Darm-Entzündung, da die Schleimhäute in Magen und Darm von den Erregern angegriffen und beschädigt wurden. Der Verdauungstrakt kann in diesen Fällen die aufgenommene Nahrung nicht ordnungsgemäß verarbeiten, wodurch die unverdaute Nahrung Wasser bindet. Der gefährlichste Erreger ist dabei *Vibrio cholerae*, der weltweit die meisten Erkrankungen verursacht. In Deutschland hingegen werden die Infektionen am häufigsten durch den Kontakt mit Noroviren, Rotaviren oder Salmonellen verursacht.

- Toxische Diarrhö

Bei der toxischen Diarrhö handelt es sich um eine Vergiftungsreaktion im Magen-Darm-Trakt durch die Aufnahme von toxischen Inhaltsstoffen. In den meisten Fällen erfolgt dies durch den Verzehr kontaminierter Lebensmittel, in denen bakterielle Toxine vorhanden sind. Eine entsprechende Reaktion kann aber auch durch die Einnahme von Medikamenten (z. B. bestimmte Antibiotika) oder die Aufnahme von Schwermetallen erfolgen.

Bei Überschreitung einer (relativ willkürlich gewählten) Frist von zwei Wochen spricht man hingegen von einer chronischen Diarrhö. In seltenen Fällen kann zwar auch eine akute Diarrhö chronifizieren [Kie⁺00], in den meisten Fällen kommt aber ein breites Spektrum an unterschiedlichen Erkrankungen als Ursache des Leidens in Frage:

- Sekretorische Diarrhö

Bei der sekretorischen Diarrhö besteht eine vermehrte Wasser- oder Elektrolytsekretion in das Darmlumen, die von angeborenen Defekten oder unterschiedlichen Dünn- bzw. Dickdarmerkrankungen mit Epitelschädigungen wie z. B. Gallensäure-Spillovers oder Gastrinomen verursacht werden kann.

- Exsudative Diarrhö

Bei der exsudativen Diarrhö werden Schleim- oder Blutabgänge aus der entzündeten Darmschleimhaut in das Darmlumen abgesondert. Dies ist vorrangig auf chronisch-entzündliche Darmerkrankungen wie z. B. *Colitis ulcerosa* oder *Morbus Crohn* zurückzuführen.

- Osmotische Diarrhö

Bei der osmotischen Diarrhö kann der Dünndarm einströmendes Wasser nicht in ausreichendem Maße rückresorbieren. Typische Ursachen sind hierbei Nahrungsmittelunverträglichkeiten wie Zöliakie oder Laktoseintoleranz.

- Hypermotile Diarrhö

Bei der hypermotilen Diarrhö sind die propulsiven Bewegungen des Verdauungstrakts verstärkt, sodass durch die kürzere Verweildauer des Stuhls im Darm nicht genügend Flüssigkeit aufgenommen werden kann. Die Erkrankung kann z. B. durch eine Hypothrease oder aufgrund eines Reizdarmsyndroms ausgelöst werden.

Anhang C: Prozessdefinition in der blockartigen Struktur

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>

<process-definition xmlns="" name="diarrhoe">

  <start-state name="start">
    <transition to="anamnese" name="start" />
  </start-state>

  <task-node name="anamnese">
    <task name="anamnese" swimlane="personal" />
    <transition to="diarrhoe/stuhlprobe_abnehmen" name="to stuhlprobe" />
  </task-node>

  <super-state name="diarrhoe">

    <task-node name="stuhlprobe_abnehmen">
      <task name="stuhlprobe_abnehmen" swimlane="personal" />
      <transition to="stuhlprobe_labor" name="to labor" />
    </task-node>

    <task-node name="stuhlprobe_labor">
      <task name="stuhlprobe_labor" swimlane="personal" />
      <transition to="diagnostik" name="to diagnostik" />
    </task-node>

    <decision name="diagnostik">
      <transition to="akut/koerperliche_untersuchung" name="to koerperliche_untersuchung_diagnostik" />
      <transition to="chronisch/blutprobe_abnehmen" name="to blutprobe_abnehmen diagnostik" />
    </decision>

    <super-state name="akut">
```

```
<exception-handler exception-class="java.lang.Throwable">
<condition expression="#{token.setNode['chronisch/blutprobe_abnehmen']}" />
</exception-handler>

<decision name="diarrhoe_diagnostik">
  <transition to="bakteriell/behandlung_bakteriell" name="to bakt" />
  <transition to="toxisch/behandlung_toxisch" name="to tox" />
  <transition to="viral/behandlung_viral" name="to vir" />
  <transition to="weitere_stuhlproben" name="to weitere_stuhlproben" />
</decision>

<task-node name="koerperliche_untersuchung">
  <task name="koerperliche_untersuchung" swimlane="personal" />
  <transition to="diarrhoe_diagnostik" name="to diarrhoe_diagnostik" />
</task-node>

<fork name="weitere_stuhlproben">
  <transition to="sp2_labor" name="to sp2_labor" />
  <transition to="sp3_labor" name="to sp3_labor" />
</fork>

<task-node name="sp2_labor">
  <task name="sp2_labor" swimlane="personal" />
  <transition to="ergebnisse_auswerten" name="to ergebnisse_auswerten_sp2" />
</task-node>

<task-node name="sp3_labor">
  <task name="sp3_labor" swimlane="personal" />
  <transition to="ergebnisse_auswerten" name="to ergebnisse_auswerten_sp3" />
</task-node>

<join name="ergebnisse_auswerten">
  <transition to="parasitaer/behandlung_parasitaer" name="to para" />
</join>

<super-state name="bakteriell">
  <task-node name="behandlung_bakteriell">
```

```

                <task name="behandlung_bakteriell" swimlane="personal" />
                <transition to="bakteriell_ende" name="to bakteriell_ende" />
            </task-node>
            <end-state name="bakteriell_ende" />
        </super-state>
        <super-state name="toxisch">
            <task-node name="behandlung_toxisch">
                <task name="behandlung_toxisch" swimlane="personal" />
                <transition to="toxisch_ende" name="to toxisch_ende" />
            </task-node>
            <end-state name="toxisch_ende" />
        </super-state>
        <super-state name="viral">
            <task-node name="behandlung_viral">
                <task name="behandlung_viral" swimlane="personal" />
                <transition to="viral_ende" name="to viral_ende" />
            </task-node>
            <end-state name="viral_ende" />
        </super-state>
        <super-state name="parasitaer">
            <task-node name="behandlung_parasitaer">
                <task name="behandlung_parasitaer" swimlane="personal" />
                <transition to="parasitaer_ende" name="to parasitaer_ende" />
            </task-node>
            <end-state name="parasitaer_ende" />
        </super-state>
    </super-state>

    <super-state name="chronisch">
        <fork name="parallele_untersuchungen">
            <transition to="entscheidung_alter" name="to ent_alter" />
            <transition to="blutprobe_labor" name="to blutprobe_labor" />
        </fork>

        <task-node name="blutprobe_abnehmen">
            <task name="blutprobe_abnehmen" swimlane="personal" />

```

```

        <transition to="parallele_untersuchungen" name="to parallele_untersuchungen"/>
</task-node>

<task-node name="blutprobe_labor">
    <task name="blutprobe_labor" swimlane="personal" />
    <transition to="asynchron" name="to asynchron" />
</task-node>

<decision name="entscheidung_alter">
    <transition to="sigmoidoskopie" name="to sigmoidoskopie">
        <condition expression="#{contextInstance.variables['alter'] eq 'jung'}"/>
    </transition>
    <transition to="totale_koloskopie" name="to totale_koloskopie">
        <condition expression="#{contextInstance.variables['alter'] eq 'alt'}"/>
    </transition>
</decision>

<task-node name="sigmoidoskopie">
    <task name="sigmoidoskopie" swimlane="personal" />
    <transition to="asynchron" name="to asynchron" />
</task-node>

<task-node name="totale_koloskopie">
    <task name="totale_koloskopie" swimlane="personal" />
    <transition to="asynchron" name="to asynchron" />
</task-node>

<join name="asynchron">
    <transition to="finale_diagnose" name="to finale_diagnose" />
</join>

<decision name="finale_diagnose">
    <transition to="hypermotil/behandlung_hypermotil" name="to hypermotil" />
    <transition to="exudativ/behandlung_exudativ" name="to exudativ" />
    <transition to="osmotisch/behandlung_osmotisch" name="to osmotisch" />
    <transition to="sekretorisch/behandlung_sekretorisch" name="to sekretorisch" />
</decision>

```

```
<super-state name="sekretorisch">
  <task-node name="behandlung_sekretorisch">
    <task name="behandlung_sekretorisch" swimlane="personal" />
    <transition to="sekretorisch_ende" name="to sekretorisch_ende" />
  </task-node>
  <end-state name="sekretorisch_ende" />
</super-state>

<super-state name="osmotisch">
  <task-node name="behandlung_osmotisch">
    <task name="behandlung_osmotisch" swimlane="personal" />
    <transition to="osmotisch_ende" name="to osmotisch_ende" />
  </task-node>
  <end-state name="osmotisch_ende" />
</super-state>

<super-state name="exudativ">
  <task-node name="behandlung_exudativ">
    <task name="behandlung_exudativ" swimlane="personal" />
    <transition to="exudativ_ende" name="to exudativ_ende" />
  </task-node>
  <end-state name="exudativ_ende" />
</super-state>

<super-state name="hypermotil">
  <task-node name="behandlung_hypermotil">
    <task name="behandlung_hypermotil" swimlane="personal" />
    <transition to="hypermotil_ende" name="to hypermotil_ende" />
  </task-node>
  <end-state name="hypermotil_ende" />
</super-state>
</super-state>
</super-state>
</process-definition>
```


Literaturverzeichnis

- [Aal13] W. M. P. van der Aalst, 2013, Business Process Management: A Comprehensive Survey. Internet: <http://www.hindawi.com/isrn/software.engineering/2013/507984/>, Stand: 2. Dezember 2013, Letzter Abruf: 7. September 2013.
- [ADK02] W. M. P. van der Aalst, J. Desel, E. Kindler, 2002, On the semantics of EPCs: A vicious circle. In: M. Nütgens, F. J. Rump (Hrsg.), EPK 2002 – Geschäftsprozessmanagement mit Ereignisgesteuerten Prozessketten, S. 71 – 80, Bonn: Gesellschaft für Informatik.
- [Aal⁺10] W. M. P. van der Aalst et al., 2010, Business Process Simulation: How to get it right? In: J. vom Brocke, M. Rosemann (Hrsg.), Handbook on Business Process Management 1 – Introduction, Methods, and Information Systems, S. 313 – 338, Berlin: Springer-Verlag.
- [AED07] D. Ammon, K. Eisentraut, V. Detschew, 2007, Grade der Formalisierung von integrierten Behandlungspfaden. In: H.-E. Wichmann, D. Nowak, A. Zapf (Hrsg.), Wissenschaftlicher Kongress Medizin und Gesellschaft, S. 12, Mönchengladbach: Rheinware Verlag.
- [And07] M. Andonova, 2007, Organisations und Software Analyse anhand der Standard Software Lorenzo ClinicCentre vor dem Hintergrund einer aufbauorganisatorischen Veränderung. Diplomarbeit, Universität Hamburg, Hamburg.
- [And08] M. Andonova, 2008, Geschäftsprozessmodellierung klinischer Behandlungspfade und ihre Simulation. In: T. Schulze (Hrsg.), Simulation and Visualization, S. 19 - 27, Magdeburg: SCS Publishing House.
- [AK10] M. Andonova, S. Kruse, 2010, Business Process Modelling of Clinical Pathways and their Simulation in Hospital Settings. In: A. G. Bruzzone et al. (Hrsg.), International Workshop on Applied Modelling & Simulation, S. 213 – 217, Rio de Janeiro: Laboratório de Métodos Computacionais em Engenharia.
- [AK13] M. Andonova, S. Kruse, 2013, Resource allocation in simulated clinical pathways. In: W. Backfrieder et al. (Hrsg.), I3M: The 10th International Multidisciplinary Modelling & Simulation Multiconference, IWISH: M&S of Healthcare systems, S. 17 – 21, Savona: Liophant Simulation.

- [AS02] M. Arnold, S. Sollmann, 2002, Krankenhaus-Report 2001 - Schwerpunkt Personal. Stuttgart: Verlag für Medizin und Naturwissenschaften.
- [Aud⁺06] F. X. Audebert et al., 2006, Behandlungspfade – praktikable Hilfe für den behandelnden Arzt? In: Der Internist, Vol. 47, Nr. 7 / Juli 2006, S. 713 – 719, Berlin: Springer-Verlag.
- [AML13] C. Augenstein, S. Mutke, A. Ludwig, 2013, Integration von Planungssystemen in der Logistik – Ansatz und Anwendung. In: Tagungsband der 11. Internationalen Tagung Wirtschaftsinformatik (WI2013), Leipzig: Institut für Angewandte Informatik e.V.
- [Aug⁺10] B. Augurzky et al., 2010, Krankenhaus Rating Report 2010 – Licht und Schatten. Essen: Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung.
- [Awa⁺09] A. Awad et al., 2009, Enabling Resource Assignment Constraints in BPMN. Technischer Report, Universität Potsdam, Potsdam.
- [Bac⁺12] F. De Backere et al., 2012, Towards automated generation and execution of clinical guidelines: Engine design and implementation through the ICU Modified Schofield use case. In: Computers in Biology and Medicine, Vol. 42, Nr. 8 / S. 793 – 805, Essex: Elsevier Science Ltd.
- [Ban⁺10] J. Banks et al., 2010, Discrete-Event System Simulation. 5. Auflage, Essex: Pearson Education Limited.
- [BVH06] H. Bärwolf, F. Victor, V. Hülsken, 2006, IT-Systeme in der Medizin – IT-Entscheidungshilfe für den Medizinbereich. Berlin: Springer-Verlag.
- [Bar11] Barmer GAK 2011, Endoprothetik: Patienten schätzen die Integrierte Versorgung, Internet: <https://presse.barmer-gek.de/barmer/web/Portale/Presseportal/Subportal/Laender/Einstieg-Hessen/Pressemitteilungen-Archiv/Archiv-2011/110406-IV-Endo-MTK/Content-IV-Endo-MTK.html>, Stand: 6. April 2011, Letzter Abruf: 17. März 2014.
- [Bar09] M. Bartonitz, 2009, BPM Round-Trip Engineering – Vision and Reality. Zürich: Saperion AG.
- [BK03] J. Becker, D. Kahn, 2003, The Process in Focus. In: J. Becker, J. Kugeler, M. Rosemann (Hrsg.), Process Management – A Guide for the Design of Business Processes, S. 1 – 12, Berlin: Springer-Verlag.

- [Ber09] K. O. Bergmann, 2013, Delegation und Substitution ärztlicher Leistungen auf/durch nichtärztliches Personal. In: Medizinrecht, Vol. 27, Nr. 1 / Januar 2009, S. 1 – 10, Berlin: Springer-Verlag.
- [BW14] K. O. Bergmann, C. Wever, 2014, Die Arzthaftung. 4. Auflage, Berlin: Springer-Verlag.
- [BT13] A. Billing, M. Thalhammer, 2013, Fallpauschalensysteme und Behandlungspfade. In: K.-W. Jauch (Hrsg.), Chirurgie Basisweiterbildung – In 100 Schritten durch den Common Trunk, 2. Auflage, S. 742 – 747, Berlin: Springer-Verlag.
- [BFS09] C. B. Blankart, E. Fasten, H. P. Schwintowski, 2009, Das deutsche Gesundheitssystem zukunftsfähig gestalten. Berlin: Springer-Verlag.
- [Ble⁺06] L. de Bleser et al., 2006, Defining pathways. In: Journal of Nursing Management. Vol. 14, Nr. 7 / Oktober 2006, S. 553 – 563, Piscataway: John Wiley & Sons.
- [BOC10] BOC Group, 2010, Business Capability Management mit dem BOC Management Office. Internet: www.boc-group.com, Stand: 5. August 2011, letzter Abruf: 5. August 2011.
- [BA11] B. Böckmann, A. Akce, 2011, Effectiv-IT - Wertschöpfung von IT - Hemmnisse und ökonomische Bewertung von health-IT in Krankenhäusern. Technischer Report, Fachhochschule Dortmund, Dortmund.
- [BH14] B. Böckmann, K. Heiden, 2014, Digitales, sektorübergreifendes Prozessmanagement im Gesundheitswesen. In: o. A., Schriftenreihe des Fachbereichs Informatik der Fachhochschule Dortmund, S. 25 - 40, Münster: Verlagshaus Monsenstein und Vannerdat OHG.
- [Bot13] H. Bothe, 2013, Aufbauorganisation. In: A. Goepfert, C. Conrad (Hrsg.), Unternehmen Krankenhaus, S. 123 – 136, Stuttgart: Thieme Verlag
- [BGW11] U. Bracht, D. Geckler, S. Wenzel, 2011, Digitale Fabrik – Methoden und Praxisbeispiele. Berlin: Springer-Verlag.
- [BW13] T. Bratan, S. Wydra, 2013, Technischer Fortschritt im Gesundheitswesen: Quelle für Kostensteigerungen oder Chance für Kostensenkungen? Arbeitsbericht 157 / Mai 2013, Berlin: Büro für Technikfolgen-Abschätzungen beim deutschen Bundestag.

- [BPL04] L. Braubach, A. Pokahr, W. Lamersdorf, 2004, MedPAge: Rationale Agenten zur Patientensteuerung. In: H. Engesser (Hrsg.), Künstliche Intelligenz, Vol. 2, S. 33 – 36, Bremen: arendtap-Verlag.
- [Bro03] J. vom Brocke, 2003, Referenzmodellierung: Gestaltung und Verteilung von Konstruktionsprozessen. Berlin: Logos-Verlag.
- [Bro10] R. Broschinski, 2010, Kerngeschäftsprozesse eines Versicherungsunternehmens. In: M. Aschenbrenner et al. (Hrsg.), Informationsverarbeitung in Versicherungsunternehmen, S. 71 – 96, Berlin: Springer-Verlag.
- [BKS06] E. Bruckenberger, S. Klaue, H. P. Schwintowski, 2006, Krankenhausmärkte zwischen Regulierung und Wettbewerb. Berlin: Springer-Verlag.
- [Bul⁺09] H. J. Bullinger et al., 2009, Handbuch Unternehmensorganisation: Strategien, Planung, Umsetzung. 3. Auflage, Berlin: Springer-Verlag.
- [BSE11] M. Burwitz, H. Schlieter, W. Esswein, 2011, Modellgestütztes Management in Krankenhausinformationssystemen am Beispiel der Klinischen Prozesssteuerung. In: o. A.: Tagungsband. zum Workshop „Zukunftsfähiges IT-Management im medizinischen Bereich“, s. p., Bonn: Gesellschaft für Informatik.
- [Bun13] Deutscher Bundestag, 2013, Gesetzesbeschluss des Deutschen Bundestages. Gesetz zur Verbesserung der Rechte von Patientinnen und Patienten, Köln: Bundesanzeiger Verlag GmbH.
- [BKB08] Bundesärztekammer und Kassenärztliche Bundesvereinigung, 2008, Persönliche Leistungserbringung. Möglichkeiten und Grenzen der Delegation ärztlicher Leistungen. Internet: http://www.bundesaerztekammer.de/fileadmin/user_upload/downloads/Empfehlungen_Persoeliche_Leistungserbringung.pdf, Stand: 28. August 2008, Letzter Abruf 16. Mai 2015.
- [BMAS09] Bundesministerium für Arbeit und Soziales, 2009, Sozialbericht 2009. Bonn: Bundesministerium für Arbeit und Soziales - Referat Information, Publikation, Redaktion.
- [Bun12] Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen, 2012, Darstellung der Geschäftsprozesse zur Anbahnung und Abwicklung der Netznutzung bei der Belieferung von Kunden mit Elektrizität, Bonn: Bundesanzeiger Verlagsgesellschaft m.b.H.

- [Bru13] J. Brüning, 2013, Metamodellbasierte und hierarchieorientierte Workflowmodellierung. Diss., Universität Rostock, Rostock.
- [Bry10] M. Bryan, 2010, Entwicklung von klinischen Geschäftsprozessen anhand BPM und deren Simulation. Bac., Universität Hamburg, Hamburg.
- [BW03] R. Busse, M. Wörz, 2003, Marktorientierung von Krankenhäusern: Ein Überblick über Reformen im europäischen Vergleich. In: M. Arnold, J. Klauber, H. Schellschmidt (Hrsg.), Krankenhaus-Report 2002, S. 21 – 30, Stuttgart: Schattauer GmbH.
- [CLK10] B. K. Choi, D. Lee, D. H. Kang, 2010, HLA/RTI-Based BPM Middleware for Collaborative Business Process Management, In: S. Rinderle-Ma et al. (Hrsg.), Business Process Management Workshop, S. 295 – 304, Berlin: Springer-Verlag.
- [CCP07] K. Christos, V. Costas, G. Panayiotis, 2007, Enhancing BPEL scenarios with Dynamic Relevance-Based Exception Handling. In: o. A., 2007, IEEE International Conference on Web Services, S. 751 – 758, Washington D. C.: IEEE Computer Society.
- [CC98] S. Chu, B. Cesnik, 1998, Improving clinical pathway design: lessons learned from a computerized prototype. In: International Journal of Medical Informatics, Vol.51, Nr. 1 / Juli 1998, S. 1 – 11, Essex: Elsevier Science Ltd.
- [CT13] K. Clauberg, W. Thomas, 2013, BPM and Simulation – A White Paper. Technical Report, Sunnyvale: Signavio Inc.
- [Con13] C. B. Conrad, 2013 Organisation Krankenhaus – Balanceakt zwischen Spezialisierung und Koordination. In: A. Goepfert, C. B. Conrad (Hrsg.), Unternehmen Krankenhaus, S. 107 – 123, Stuttgart: kma Medien in Georg Thieme Verlag KG.
- [Cum07] M. Cumberlidge, 2007, Business Process Management with JBoss jBPM, Birmingham: Packt Publishing.
- [Cur⁺05] D. Curran et al., 2005, A Toolkit for Developing a Clinical Pathway. Brisbane: Clinical Practice Improvement Centre.
- [Dan⁺12] V. A. Danciu et al., 2012, Der Cloud – Broker: dynamische Orchestrierung von Cloud – Diensten zu Smart Mobile Apps. In: S. Verclas, C. Linnhoff-Popien (Hrsg.), Smart Mobile Apps. Mit Business-Apps ins Zeitalter mobiler Geschäftsprozesse, S. 351 – 367, Berlin: Springer-Verlag.

- [DB07] R. Davis, E. Brabander, 2007, ARIS Design Platform – Getting Started with BPM. Berlin: Springer-Verlag.
- [DR08] M. Demolsky, B. Rücker, 2008, jBPM meets ESB. In: Javamagazin, Vol. 10, Nr. 9 / September 2008., S. 39 – 44, Frankfurt: Software & Support Media GmbH.
- [Der06] G. Dern, 2006, Management von IT – Architekturen – Leitlinien für die Ausrichtung, Planung und Gestaltung von Informationssystemen. 2. Auflage, Wiesbaden: Friedr. Fieveg & Sohn Verlag.
- [Dic⁺06] B. Dick et al., 2006, Behandlungspfade in Psychiatrie und Psychotherapie. In: Der Nervenarzt, Vol. 77, Nr. 1 / Januar 2006, S. 12 – 22, Heidelberg: Springer Medizin-Verlag.
- [DG11] R. Dijkman, P. van Gorp, 2011, BPMN 2.0 Execution Semantics Formalized as Graph Rewrite Rules. Eindhoven: University of Technology.
- [DD11] W. Domschke, A. Drexl, 2011, Einführung in Operations Research. 8. Auflage, Berlin: Springer-Verlag.
- [Dre11] P. Drews, 2011, Branchenspezifische IT-Innovationssysteme: Von der Analyse zur Intervention - Am Beispiel des IT-Innovationssystems für Krankenhäuser in Deutschland. Diss., Universität Hamburg, Hamburg.
- [EK94] M. Earl, B. Khan, 1994, How New is Business Process Redesign? In: European Management Journal, Vol. 12, Nr. 1, S. 20 – 30, Essex: Elsevier Science Ltd.
- [EG03] P. Eichhorn, D. Greiling, 2003, Das Krankenhaus als Unternehmen. In: M. Arnold, J. Klauber, H. Schellschmidt (Hrsg.) Krankenhaus-Report 2002 - Schwerpunkt: Krankenhaus im Wettbewerb, S. 31 – 42, Stuttgart: Schattauer GmbH.
- [Eic13] S. Eichhorst, 2013, Internationale Trends im Krankenhausmanagement. In: B. Dilcher, L. Hammerschlag (Hrsg.), Klinik Alltag und Arbeitszufriedenheit – Die Verbindung von Prozessoptimierung und strategischem Personalmanagement im Krankenhaus, 2. Auflage, S. 201 – 222, Berlin: Springer-Verlag.
- [Eis10] K. Eisentraut, 2010, Entwicklung einer Klassenbibliothek zur Modellierung von medizinischen Prozessen. Diss., Technische Universität Ilmenau, Ilmenau.
- [EPM06] Emprise Process Management GmbH, 2006, Bonapart 3 Referenz – Handbuch. Technischer Report, Berlin: Emprise Process Management GmbH.

- [Enc08] A. Encke, 2008, Die ärztliche Therapiefreiheit in rechtlichen, wirtschaftlichen und strukturellen Grenzen aus der Sicht des Krankenhausarztes. In: C. Dierks, A. Wienke (Hrsg.), Zwischen Hippokrates und Staatsmedizin, S. 17 – 27, Berlin: Springer-Verlag.
- [ERH10] A. Erbsen, M. Rüdiger-Stürchler, M. Heberer, 2010, Interdisziplinäre Zentren in Krankenhäusern - Ein Literaturüberblick. In: Zeitschrift für Evidenz, Fortbildung und Qualität im Gesundheitswesen. Vol. 104. Nr. 1 / Januar 2010, S. 39 – 44. Essex: Elsevier Science Ltd.
- [Eve02] J. E. Everett, 2002, A Decision Support Simulation Model for the Management of an Elective Surgery Waiting System. In: Health Care Management Science, Vol 5, Nr. 2 / April 2002, S. 85 – 89, Boston: Kluwer Academic Publishers.
- [Fel08] S. Felder, 2008, Im Alter krank und teuer? In: G+G Wissenschaft, Vol. 8, Nr. 4 / Oktober 2008, S. 23 – 30, Berlin: Wissenschaftliches Institut der AOK.
- [Fer⁺11] C. Fernández-Llatas et al., 2011, Continuous Clinical Pathways Evaluation by using Automatic Learning Algorithms. In: V. Traver et al. (Hrsg.), HEALTHINF 2011 - Proceedings of the International Conference on Health Informatics, S. 228 – 234, Setúbal: SciTePress.
- [FFO06] H. Fischer, A. Fleischmann, S. Obermeier, 2006, Geschäftsprozesse realisieren – Ein praxisorientierter Leitfaden von der Strategie bis zur Implementierung. Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn Verlag.
- [Gab15] Gabler Wirtschaftslexikon, Springer Gabler, 2015, Internet: <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Definition/web-services.html>, Stand: 01. Januar 2015, Letzter Abruf 23. Juni 2015.
- [Gad12] A. Gadatsch, 2012, Grundkurs Geschäftsprozess-Management Methoden und Werkzeuge für die IT-Praxis: Eine Einführung für Studenten und Praktiker, 7 Auflage, Wiesbaden: Vieweg + Teubner | Springer Fachmedien.
- [GED11] E. Gattnar, O. Ekinici, V. Detschew, 2011, Clinical Process Modelling and Performance Measurement in Hospitals. In: o. A., 2011 IEEE 15th International Enterprise Distributed Computing Conference Workshops, s. p., Washington D. C.: IEEE Computer Society.

- [GP14] J. Gausemeier, C. Plass, 2014, Zukunftsorientierte Unternehmensgestaltung: Strategien, Geschäftsprozesse und IT-Systeme für die Produktion von morgen. München: Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG.
- [GM14] R. Geißler, T. Meyer, 2014, Struktur und Entwicklung der Bevölkerung. In: R. Geißler (Hrsg.), Die Sozialstruktur Deutschlands, S. 27 – 58, Berlin: Springer-Verlag.
- [GG99] H. Gering, A. Gadatsch, 1999, Ein Rahmenkonzept für die Modellierung von Geschäftsprozessen und Workflows. Technischer Report Nr. 274, Hagen: FernUniversität Hagen.
- [Ger14] T. Gerlinger, 2014, Gesundheitsreform in Deutschland. In: A. Manzei, R. Schmiede (Hrsg.), 20 Jahre Wettbewerb im Gesundheitswesen, Gesundheit und Gesellschaft, S. 35 – 69, Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- [GBE12] Gesundheitsberichterstattung des Bundes, 2012, Gesundheitsausgaben in Deutschland. Internet: <http://www.gbe-bund.de>, Stand: 05. April 2012, Letzter Abruf 13. März 2013.
- [GBE13] Gesundheitsberichterstattung des Bundes, 2013, Beschäftigte im deutschen Gesundheitswesen. Internet: <http://www.gbe-bund.de>, Stand: 30. Januar 2013, Letzter Abruf 13. März 2013.
- [Gly11] M. Glykas, 2011, Performance Measurement in Business Process, Workflow and Human Resource Management. In: Knowledge and Process Management, Vol. 18, Nr. 4 / Oktober – Dezember 2011, S. 241 – 265, Piscataway: Wiley.
- [GH09] F. Godemann, I. Hauth, 2009, Routinedaten – Klinische Pfade und Krankenhausinformationssystem. In: W. Gaebel, H. Spießl, T. Becker (Hrsg.), Routinedaten in der Psychiatrie, S. 52 – 57, Darmstadt: Steinkopff Verlag.
- [GSL10] T. Goel, N. Stander, Y. Lin, 2010, Efficient resource allocation for genetic algorithm based multi-objective optimization with 1,000 simulations. In: Structural and Multidisciplinary Optimization, Vol. 41, Nr. 3 / April 2010, S. 421 – 432, Berlin: Springer-Verlag.
- [Gon⁺13] A. González-Ferrer et al., 2013, Automated generation of patient-tailored electronic care pathways by translating computer-interpretable guidelines into hierarchical task networks. In: Artificial Intelligence in Medicine. Vol.57, Nr. 2 / Februar 2013, S. 91 – 109, Essex: Elsevier Science Ltd.

- [GKE05] A. Goldschmidt, M. Kalbitzer, J. Eckardt, 2005, Praxishandbuch Medizincontrolling. Heidelberg: Economica.
- [Gör⁺11] K. Görlach et al., 2011, Conventional Workflow Technology for Scientific Simulation. In: X. Yang, L. Wang, W. Jie (Hrsg.), Guide to e-Science, S. 323 – 352, Berlin: Springer-Verlag.
- [GSV12] M. Görlinger, J. Stöver, H. Vöpel, 2012, Gesundheit. Strategie 2030 - Vermögen und Leben in der nächsten Generation. Hamburg: Berenberg Bank – Unternehmenskommunikation.
- [Gra⁺02] S. Gräber et al., 2002, Rahmenkonzepte für das Informationsmanagement in Krankenhäusern - Ein Leitfaden. Technischer Report, Homburg: Deutsche Gesellschaft für Medizinische. Informatik, Biometrie und Epidemiologie.
- [GB10] T. Grechening, M. Bernhart, 2010, Softwaretechnik: Mit Fallbeispielen aus realen Entwicklungsprojekten. München: Pearson Studium.
- [GR99] P. Green, M. Rosemann, 1999, An Ontological Analysis of Integrated Process Modelling. In: M. Jarke, A. Oberweis (Hrsg.), Proc. of the 11th Int. Conference on Advanced Informatics Systems Engineering (CAiSE), S. 225 – 240, Berlin: Springer-Verlag.
- [GMW03] M. Greiling, J. Mormann, R. Westerfeld, 2003, Klinische Pfade steuern. Kulmbach: Baumann Fachverlage.
- [GA13] A. M. Gressner, T. Arndt, 2013, Lexikon der Medizinischen Laboratoriumsdiagnostik. 2. Auflage, Heidelberg: Springer Medizin-Verlag.
- [Gre⁺05] A. Greulich et al., 2005, Balanced Scorecard im Krankenhaus. 2. Auflage, Heidelberg: Verlagsgruppe Hüthig Jehle Rehm GmbH.
- [GL07] V. Gruhn, R. Laue, 2007, Good and Bad Excuses for Unstructured Business Process Models. Technischer Report, Universität Leipzig, Leipzig.
- [HC93] M. Hammer, J. Champy, 1993, Reengineering the Corporation: A Manifesto for Business Evolution. New York: HarperCollins Publishers.
- [HR04] D. Harel, B. Rumpe, 2004, Meaningful Modeling: What's the Semantics of "Semantics"? In: Computer, Vol. 37, Nr. 10 / Oktober 2004, S. 64 – 72, Washington D.C.: IEEE Computer Society.

- [Har10] P. Harmon, 2010, The BPTrends 2010 BPM Software Tools Report on BOC's Adonis Version 4.0. Technischer Report, Wien.
- [Hau⁺98a] R. L. A. Haux et al., 1998, IT-Projektmanagement in Krankenhaus und Gesundheitswesen - Einführendes Lehrbuch und Projektleitfaden für das taktische Management von Informationssystemen. Stuttgart: Schattauer GbmH.
- [Hau⁺98b] R. L. A. Haux et al., 1998, Management von Informationssystemen: Analyse, Bewertung, Auswahl, Bereitstellung und Einführung von Informationssystemkomponenten am Beispiel von Krankenhausinformationssystemen. Stuttgart: Teubner, B.G.
- [Heg99] T. Hegazy, 1999, Optimization of Resource Allocation and Leveling Using Genetic Algorithms. In: Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 125, Nr. 3 / Juni 1999, S. 167 – 175, Reston: American Society of Civil Engineers.
- [HLK11] F. Heidari, P. Loucopoulos, Z. Kedad, 2011, A Quality-Oriented Business Process Meta-Model. In: J. Barjis, T. Eldabi, A. Gupta (Hrsg.), Enterprise and Organizational Modeling and Simulation, S. 85 – 99, Berlin: Springer-Verlag.
- [Hei12] K. Heiden, 2012, Modellbasierte Integration evidenzbasierter Leitlinien in klinische Pfade. In: U. Goltz et al. (Hrsg.), Informatik 2012, S. 1864 – 1870, Bonn: Gesellschaft für Informatik.
- [Hei15] K. Heiden, 2015, Digitales, sektorübergreifendes Prozessmanagement im Gesundheitswesen. Diss., Technische Universität Dortmund, Dortmund.
- [Hei⁺10] D. Heise et al., 2010, Rekonstruktion eines klinischen Behandlungspfads mithilfe domänenspezifischer Erweiterungen einer Geschäftsprozessmodellierungssprache: Anwendungsfall und Sprachkonzepte. In: O. Thomas, M. Nüttgens (Hrsg.), Dienstleistungsmodellierung, S. 189 – 209, Berlin: Springer-Verlag.
- [HH94] R. Herrtwich, G. Hommel, 1994, Nebenläufige Programme. 2 Auflage, Berlin: Springer-Verlag.
- [Heß12] M. Heß, 2012, Multiperspektivische Krankenhausmodellierung: Motivation und Potenziale. In: M. Sedlmayr, T. Rose, C. Spreckelsen (Hrsg.), Workshop zu Wissensbasierten Systemen und Leitlinienmanagement in der Medizin im Rahmen der GMDS-Jahrestagung 2012, s. p., Köln; Deutsche Gesellschaft für Medizinische Informatik, Biometrie und Epidemiologie e.V.

- [His⁺14] T. Histing et al., 2014, Funktionsoberarzt – Pseudotitel oder sinnvolle Position? In: Der Unfallchirurg, Vol. 117, Nr. 6/ Juni 2014 , S. 557 – 559, Berlin: Springer-Verlag,
- [Hlu04] V. Hlupic, 2004, Simulation Software: An Operational Research Society Survey of Academic and Industrial Users. In: J. A. Joines et al. (Hrsg.), Proc. of the 2000 Winter Simulation Conference, S. 1676 – 1683, San Diego: Society for Computer Simulation International.
- [HBD13] W. Hoffmann, N. van den Berg, A. Dreier, 2013, Qualifikationskonzept für eine abgestufte Delegation medizinischer Tätigkeiten an nichtärztliche Berufsgruppen - Das „Greifswalder 3-Stufen-Modell“. In: Bundesgesundheitsblatt, Vol. 56, Nr. 4 / April 2013, S. 555 – 561, Berlin: Springer-Verlag.
- [Hol96] O. E. Holland, 1996, Multiagent systems: Lessons from social insects and collective robotics. In: S. Sen (Hrsg.), Adaptation, Coevolution and Learning in Multiagent Systems: Papers from the 1996 AAAI Spring Symposium, S. 57 – 62, Menlo Park: AAAI Press.
- [HDH12] L. Homagk, O. Deml, G. O. Hofmann, 2012, Der IT-gestützte Behandlungspfad als Routinearbeitsinstrument in der Unfallchirurgie. In: Der Unfallchirurg, Vol. 115, Nr. 12 / Dezember 2012, S. 1076 – 1084, Heidelberg: Springer Medizin-Verlag.
- [Hot⁺05] J. R. Hotchkiss et al., 2005, An agent-based and spatially explicit model of pathogen dissemination in the intensive care unit. In: Critical Care Medicine, Vol. 33, Nr. 1 / Januar 2005, S. 168 – 176, Mount Prospect: Society of Critical Care Medicine.
- [HLD12a] Z. Huang, X. Lu, H. Duan, 2012, Resource behavior measure and application in business process management. In: Expert Systems with Applications, Vol. 39, Nr. 7 / Juni 2012, S. 6458 – 6468, Essex: Elsevier Science Ltd.
- [HLD12b] Z. Huang, X. Lu, H. Duan, 2012, A Task Operation Model for Resource Allocation Optimization in Business Process Management, In: IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics – Part A: Systems and Humans, Vol. 42, Nr. 5 / September 2012, S. 1256 – 1270, Washington D. C.: IEEE Computer Society.
- [Hua⁺11] Z. Huang et. al., 2011, Reinforcement learning based resource allocation in business process management. In: Data & Knowledge Engineering Vol. 70, Nr. 1 / Januar 2011, S. 127–145, Essex: Elsevier Science Ltd.

- [Ipe14] G. Ipekbayrak, 2014, Eine vergleichende Betrachtung verschiedener Ansätze zur Modellierung von Prozessvarianten. Bachelorarbeit, Universität Ulm, Ulm.
- [JMW07] H.-F. Jaeck, M. Merzenich, K. D. Wilde, 2007, Konsequente Kundenorientierung: Optimierung kundenbezogener Geschäftsprozesse. In: M. Hubschneider, K. Sibold (Hrsg.), CRM – Erfolgsfaktor Kundenorientierung, 2. Auflage, S. 55 – 69, Freiburg: Haufe-Lexware.
- [JN06] M. H. Jansen-Vullers, M. Netjes, 2006, Business Process Simulation – A Tool Survey. Internet: <http://daimi.au.dk/CPnets/proxy.php?url=/CPnets/workshop06/cpn/papers/index>, Stand: 14. September 2006, Letzter Abruf: 28. Juni 2015.
- [JBo08] JBoss, 2008, jBPM jPDL User Guide. Internet: <http://docs.jboss.org/jbpm/v3/userguide/>, Stand: 17. Juni 2008, Letzter Abruf : 20. März 2014.
- [Jia⁺06] W. Jiajia et al., 2006, A Multi-Policy Exception Handling System for BPEL Process. In: o. A., First International Conference on Communications and Networking in China, s. p., Washington D. C.: IEEE Computer Society.
- [JJS99] J. B. Jun, S. H. Jacobson, J. R. Swisher, 1999, Application of Discrete-Event Simulation in Health Care Clinics: A Survey. In: The Journal of the Operational Research Society, Vol. 50, Nr. 2 / Februar 1999, S. 109 – 123, Houndmills: Palgrave Macmillan Journals.
- [Kah01] B. Kahlbrand, 2001, Software-Engineering mit der Unified Modeling Language. Berlin: Springer-Verlag.
- [KJS96] D. Karagiannis, S. Junginger, R. Strobl, 1996, Introduction to Business Process Management Systems Concepts. In: B. Scholz-Reiter, E. Stickel (Hrsg.), Business Process Modelling, S. 81 – 106, Berlin: Springer-Verlag.
- [KK11a] T. Kern, T. Kohen, 2011, Gesundheitssystem und gesundheitsökonomische Aspekte. In: Der Ophthalmologe, Vol. 108, Nr. 2 / Februar 2011, S. 183 – 190, Berlin: Springer-Verlag.
- [Kie⁺00] K. Kiehne et al., 2000, Chronische Diarrhö. In: B. König, D. Reinhardt, H.-P. Schuster (Hrsg.), Kompendium der praktischen Medizin, S. 35 – 45, Berlin: Springer-Verlag.
- [Kir12] T. Kirchner, 2012, Interne Qualitätsanalyse der interventionellen Koronartherapie in den Jahren 2000 bis 2004 am Martin-Luther-Krankenhaus Schleswig. Diss., Christian-Albrechts-Universität, Kiel.

- [Klu00] F. Klügl, 2000, Aktivitätsbasierte Verhaltensmodellierung und ihre Unterstützung bei Multiagentensimulationen. Diss., Universität Würzburg, Würzburg.
- [Kni12] U. Knipsel, 2012, Beck'scher Online Kommentar SGB V § 39. Internet: http://beck-online.beck.de/default.aspx?vpath=bibdata/komm/BeckOK_SozR_28/SGB_V/cont/beckok.SGB_V.p39.htm, Stand: 01. Dezember 2012, Letzter Abruf, 16. März 2013, 19:30.
- [KK11b] K. E. Knorr, R. Klassmann, 2011, Die Besteuerung der Krankenhäuser. 4. Auflage, Düsseldorf: IDW-Verlag GmbH.
- [Kob10] M. Kobler, 2010, Qualität von Prozessmodellen, Kennzahlen zur analytischen Qualitätssicherung bei der Prozessmodellierung. Berlin: Logos Verlag.
- [Koc11] C. Kocian, 2011, Geschäftsprozessmodellierung mit BPMN 2.0 – Business Process Model and Notation im Methodenvergleich. Technischer Report, Universität Neu-Ulm, Neu-Ulm.
- [Koe04] J. Koenig, 2004, JBoss JBPM White Paper. Technical Report, Atlanta: JBoss.
- [KO10] I. Kohl, R. Orth, 2010, Prozessmanagement und Wissensmanagement. In: J. Roland, K. Mertins, T. Knothe (Hrsg.), Prozessmanagement: Strategien, Methoden, Umsetzung, Düsseldorf: Symposium Publishing GmbH.
- [Kop⁺09] O. Kopp et al., 2009, The Difference Between Graph-Based and Block-Structured Business Process Modelling Languages. In: Enterprise Modelling and Information Systems, Vol. 4, Nr. 1 / Juni 2009, S. 3 – 13, Bonn: Gesellschaft für Informatik.
- [Kop⁺11] O. Kopp et al., 2011, A Classification of BPEL Extensions. In: Journal of Systems Intergration, Vol. 2, Nr. 4 / October 2011, S. 3 – 28, Praha: Czech Society for Systems Integration (CSSI).
- [KOS12] A. Koschmider, A. Oberweis, A. Schoknecht, 2012, SemReuse – Semantikbasierte Wiederverwendung von Geschäftsprozessmodellen. Karlsruhe: Institut AIFB Karlsruher Institut für Technologie.
- [KIP10] S. R. Koster, M. E. Iacob, L. F. Pires, 2010, An Evaluation Framework for Business Process Management Products. In: S. Rinderle-Ma, S. Sadiq, F. Leymann (Hrsg.), Business Process Management Workshop (BPM'09), S. 369 – 380, Berlin: Springer-Verlag.

- [KW98] H. Krallmann, G. Wodd-Albrecht, 1998, Werkzeuggestützt modellieren mit Bonapart[®]. In: M. Maicher, H.-J. Scheruhn (Hrsg.), Informationsmodellierung – Referenzmodelle und Werkzeuge, S. 425 – 437, Wiesbaden; Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH.
- [KFG02] H. Krallmann, H. Frank, N. Gronau, 2002, Systemanalyse im Unternehmen. 4. Auflage, München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH.
- [KK12] U. Kruse, S. Kruse, 2012, Die Bedeutung der Eigenverantwortung für die Weiterentwicklung der Sozialversicherung In: Wege zur Sozialversicherung, Vol. 66, Nr. 3, S. 67 – 74, Berlin: Erich Schmidt Verlag.
- [KB13] H. Kühn, F. Bayer, 2013, Quantitative Analyse und Planung von Prozessen. In: F. Bayer, H. Kühn (Hrsg.), Prozessmanagement für Experten, S. 137 - 157, Berlin: Springer-Verlag.
- [Kur08] K. Kurczynski, 2008, Prozessmodellierung im Wettbewerb: EPK vs. BPMN. In: is report, Vol. 12, Nr. 6 / Juni 2008, S. 30 – 35, München: isi Medien GmbH.
- [KR07] T. Küttner, N. Roeder, 2007. Definition klinischer Behandlungspfade. In: N. Roeder, T. Küttner (Hrsg.), Klinische Behandlungspfade: Mit Standards erfolgreicher Arbeiten, S. 19 – 27, Köln: Deutscher Ärzte-Verlag.
- [Lak⁺07] H.-J. Lakomek et al., 2007, Klinische Behandlungspfade in der akut-stationären Rheumatologie – ein strukturiertes Prozessmanagement. In: Zeitschrift für Rheumatologie, Vol. 66, Nr. 3 / Mai 2007, S. 247 – 254, Berlin: Springer Medizin-Verlag.
- [LA07] H. Lampert, J. Althammer, 2007, Lehrbuch der Sozialpolitik. 8. Auflage, Berlin: Springer-Verlag.
- [Lan⁺08] M. Lang et al., 2008, Process mining for clinical workflows: challenges and current limitations. In: E. Coiera et al. (Hrsg), Studies in Health Technology and Informatics, S. 229 – 234, Amsterdam: IOS Press.
- [Lan⁺09] G. Langman et al., 2009, EFQM Modell Univ.-Augenlinik Graz: Optimierung der ambulanten Prozesse im Arbeitsschwerpunkt „Augentumoren“. In: Spektrum der Augenheilkunde, Vol. 23, Nr. 6 / Dezember 2009, S. 447 – 453, Berlin: Springer-Verlag.
- [Lar⁺13] M. La Rosa et al., 2013, Business Process Model Merging: An Approach to Business Process Consolidation. In: ACM Transactions on Software Engineering

and Methodology, Vol. 22, Nr.2 / März 2013, s. p., New York: Association for Computing Machinery.

- [LM09] M. Laskowski, S. Mukhi, 2009, Agent-Based Simulation of Emergency Departments with Patient Diversion. In: D. Weerasinghe (Hrsg.), Electronic Healthcare – 1st Int. Conference on eHealth, S. 25 – 37, Berlin: Springer-Verlag.
- [Leb04] J. Lebich, 2004, Die Haftung angestellter Ärzte. Diss., Universität Regensburg, Regensburg.
- [Leh05] T. M. Lehmann, 2005, Handbuch der medizinischen Informatik. 2. Auflage, München: Hanser.
- [LR07] R. Lenz, M. Reichert, 2007, IT Support for Healthcare Processes - Premises, Challenges, Perspectives. In: Data Knowledge Engineering, Vol. 61 Nr. 1 / April 2007, S. 39–58, 2007, Essex: Elsevier Science Ltd.
- [Liu⁺08] Y. Liu et al., 2008, A semi-automatic approach for workflow staff assignment. In: Computers in Industry, Vol. 59, Nr. 5 / Mai 2008, S. 463 – 476, Essex: Elsevier Science Ltd.
- [LBI08] Ludwig Boltzmann Institut für Health Technology Assessment, 2008, Klinische Pfade - Systematischer Preview zur Ergebnismessung der Wirksamkeit. Wien: Ludwig Boltzmann Gesellschaft GmbH.
- [Mai⁺08] B. Maier et al., 2008, SOA Blueprint – Werkzeugkasten für Architekten. In: Java Magazin, Vol. 10, Nr. 12 / Dezember 2008, S. 69 – 76, Frankfurt: Software & Support Media GmbH.
- [Mal⁺99] T. W. Malone et al., 1999, Tools for Inventing Organizations: Toward a Handbook of Organizational Processes. In: Management Science, Vol. 45, Nr. 3 / March 1999, S. 425 – 443, Cantonville: Institute for Operations Research and the Management Sciences.
- [Man⁺08] M. R. Mans et al., 2008, Process Mining Techniques: an Application to Stroke Care. In: S. K. Andersen et al. (Hrsg.), Studies in Health Technology and Informatics, S. 573 – 578, Amsterdam: IOS Press.
- [Man⁺12] R. S. Mans et al., 2013, Process mining in healthcare: data challenges when answering frequently posed questions. In R. Lenz et al. (Hrsg.), Process Support and Knowledge Representation in Health Care - BPM 2012 Joint Workshop, ProHealth 2012/KR4HC 2012, S. 140 – 153, Berlin: Springer-Verlag.

- [MJ00] K. McCormack, W. Johnson, 2000, Business Process Orientation: Gaining the E-Business Competitive Advantage. Boca Raton: CRC Press Taylor & Francis Group.
- [Mon10] V. Moness, 2010, Gestaltung von Qualitätskennzahlensystemen für Geschäftsprozesse - Eine theoretische und empirische Untersuchung. Diss., Technische Universität München, München.
- [MB11] K. Mühlbauer, D. Bartmann, 2011, Simulationsstudie hochflexibler Geschäftsprozesse am Beispiel e-Car AG. Technischer Report, Bamberg: Bayerischer Forschungsverbund for FLEX.
- [MR08] M. zur Mühlen, J. Recker, 2008, How Much Language is Enough? Theoretical and Practical Use of the Business Process Modeling Notation. In: Z. Bellahsène, M. Léonard (Hrsg.), Proc. of the 20th International Conference on Advanced InformationSystems Engineering, S. 465 - 479, Berlin: Springer-Verlag.
- [MS10] M. zur Mühlen, R. Shapiro, 2010, Business Process Analytics. In: J. vom Brocke, M. Rosemann (Hrsg.), Handbook on Business Process Management 2, S. 137 - 157, Berlin: Springer-Verlag.
- [Mue12] C. Müller, 2012, Generierung von Simulationsmodellen aus ereignisgesteuerten Prozessketten. In: T. Barton et al., Herausforderungen an die Wirtschaftsinformatik: Management und IT, S. 55 – 64. Berlin: Verlag News & Media.
- [Mue11] T. Müller, 2011, Zukunftsthema Geschäftsprozessmanagement. Frankfurt am Main: PricewaterhouseCoopers.
- [Nan93] R. E. Nance, 1993, A History of Discrete Event Simulation Programming Languages. Technical Report TR 93-21, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg.
- [Neu08] U. Neuhaus, 2008, Reaktive Planung in der chemischen Industrie. Wiesbaden: GWV Fachverlage GmbH.
- [NPW12] S. Neumann, C. Probst, C. Wernsmann, 2012, Kontinuierliches Prozessmanagement. In: J. Becker, M. Kugeler, M. Rosemann (Hrsg.), Prozessmanagement – Ein Leitfaden zur prozessorientierten Organisationsgestaltung, 7. Auflage, S. 303 - 325, Berlin: Springer-Verlag.
- [NRS12] S. Neumann, M. Rosemann, A. Schwegmann, 2012, Simulation von Geschäftsprozessen. In: J. Becker, M. Kugeler, M. Rosemann (Hrsg.),

Prozessmanagement – Ein Leitfaden zur prozessorientierten Organisationsgestaltung, 7. Auflage, S. 401 – 419, Berlin: Springer-Verlag.

- [Nic01] A. Nickl, 2001, Objektorientierte Geschäftsprozessmodellierung als Grundlage für Componentware. Diplomarbeit, Humboldt Universität, Berlin.
- [Nie11] C. Niemann, Behandlungsplanung in der Notaufnahme von Krankenhäusern: Hybride Entscheidungsunterstützung in partiell automatisierbaren Entscheidungssituationen. Diss., Universität Bayreuth, Bayreuth.
- [Nof11] W. Noftz, 2011, Randnotiz 13 zu §39 SGB V. In: K. Hauck, W. Noftz (Hrsg.), Sozialgesetzbuch (SGB) V: Gesetzliche Krankenversicherung – Kommentar, S. 6 f., Berlin: Erich Schmidt Verlag.
- [Nut11] J. J. Nutaro, 2011, Building Software for Simulation – Theory and Algorithms, with Applications in C++. Piscataway: John Wiley & Sons.
- [ND78] K. Nygaard, O. Dahl, 1978, The development of the SIMULA languages In: R. Wexselblat (Hrsg.), History of Programming Languages, S.245 - 272, New York: ACM Press.
- [OAS07] OASIS, 2007, Web Services Business Process Execution Language Version 2.0, OASIS Standard, URL: <http://docs.oasis-open.org/wsbpel/2.0/OS/wsbpel-v2.0-OS.html>
- [Obe96] A. Oberweis, 1996, Modellierung und Ausführung von Workflows mit Petri-Netzen. Berlin: Springer-Verlag.
- [Ohn⁺98] L. Ohno-Machado et al., 1998, The GuideLine Interchange Format – A Model for Representing Guidelines. In: Journal of the American Medical Informatics Association, Vol. 5, Nr. 4 / July – August 1998, S. 357 – 372, Oxford: Oxford University Press.
- [OMG08] Object Management Group, 2008, Business Process Modeling Notation (BPMN), Version 1.2. Internet: <http://www.omg.org/spec/BPMN/1.2/>, Stand: 3. Januar 2009, Letzter Abruf: 18. Mai 2015.
- [OMG11] Object Management Group, 2011, Business Process Model and Notation (BPMN) Version 2.0, Internet: <http://www.omg.org/spec/BPMN/2.0>, Stand: 03. Januar 2011, Letzter Abruf: 18. Mai 2015.

- [Orb14] Institut für workflow-Management im Gesundheitswesen, Internet: http://iwig-institut.de/dt/index.php?option=com_content&task=view&id=61&Itemid=183, Stand: 2014, Letzer Abruf: 21. März 2014.
- [Ott12] H. Otten, 2012, Professionelle Beziehungen – Theorie und Praxis der Balintgruppenarbeit. Berlin: Springer-Verlag.
- [Ove07] C. Overbeck, 2007, Gesundheit und Alter – Wie kann der demographischen Herausforderung an das Gesundheitssystem begegnet werden? In: M. Friedrich, J.-M. Graf von der Schulenburg (Hrsg.), Das Gesundheitssystem zwischen Wettbewerb und Staatsdirigismus, S. 78 – 103, Göttingen: Cuvillier Verlag.
- [PK05] B. Page, W. Kreutzer, 2005, Simulating Discrete Event Systems with UML and Java. Aachen: Shaker Verlag.
- [PFL95] S. D. Pearson, D. Goulart-Fisher, T. H. Lee, 1995, Critical pathways as a strategy for improving care: problems and potential. In: Annals of Internal Medicine, Vol. 123, Nr. 12 / Dezember 1995, S. 941 – 948, Philadelphia: American College of Physicians.
- [PH04] S. Pedersen, W. Hasselbring, 2004, Interoperabilität für Informationssysteme im Gesundheitswesen auf Basis medizinischer Standards. In: Informatik. Forschung, Entwicklung, Vol. 18, Nr. 3 – 4 / April 2004, S. 174 – 188, Berlin: Springer-Verlag.
- [PB11] C. Peiper, M. Binnebösel, 2011, Appendizitis. In: J. R. Siewert et al. (Hrsg.), Praxis der Viszeralchirurgie. Gastroenterologische Chirurgie, 3. Auflage, S. 573 – 584, Berlin: Springer-Verlag.
- [Pfö10] M. Pföhler, 2010, Klinische Behandlungspfade – Theoretisch und empirisch gestützte Erfolgsfaktoren für eine ressourcenorientierte Implementierung in Krankenhäusern. Berlin: Berliner Wissenschafts-Verlag.
- [Pom⁺14] K. Pommering et al., 2014, Der Impact der Medizinischen Informatik. In: Informatik-Spektrum, Vol 77., Sonderheft März, S: 1 – 22, Berlin: Springer-Verlag.
- [PM10] D. L. Poole, A. K. Mackworth, 2010, Artificial Intelligence: Foundations of Computational Agents. New York: Cambridge University Press.
- [Pos15] M. Poschenrieder, 2015, Behandlungsergebnisse unter der Verwendung von klinischen Pfaden in der stationären Schizophreniebehandlung. Diss., Freie Universität Berlin, Berlin.

- [Pos10] P. Posluschny, 2010, Basiswissen Mittelstandscontrolling. 2. Auflage, München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH.
- [Pra05] F. Praetorius, 2005, Leitlinien und ärztliche Entscheidungsspielräume – Eine kritische Bestandsaufnahme unter ethischem Aspekt. In: Zeitschrift für Evidenz, Fortbildung und Qualität im Gesundheitswesen, Vol. 99, Nr. 1 / Februar 2005, S. 15 – 23, Essex: Elsevier Science Ltd.
- [Puc⁺12] J. Puchan et al., 2012, Business Process Benchmarking – Band I Grundlagen: Projektstruktur und Begriffe. In: e-Journal of Practical Business Research, Vol. 6, Sonderausgabe 07.2012, s. p., Berlin: HWR Berlin.
- [Raf14] H. Raphael, 2014, Business Intelligence im Krankenhausmanagement, Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- [RLM09] H. Raphael, T. Lux, V. Martin, 2009, State-of-the-art prozessorientierte Krankenhausinformationssysteme. In: H. R. Hansen, D. Karagiannis, H.-G. Fill (Hrsg.), Business Services: Konzepte, Technologien, Anwendungen – Tagungsband der 9. Internationalen Tagung für Wirtschaftsinformatik, S. 689 – 698, Wien: Österreichische Computer Gesellschaft.
- [RH04] C. von Reibnitz, P. M. Hermanns, 2004, Clinical pathways. Internet: http://www.medical-text.de/inhalte/pdfs/clinical_pathways.pdf, Stand: Januar 2004, Letzter Abruf: 20. Mai 2015.
- [Rei00] M. Reichert, 2000, Prozessmanagement im Krankenhaus – Nutzen, Anforderungen und Visionen. In: Das Krankenhaus, Vol. 92, Nr. 11 / November 2000, S. 903 – 909, Berlin: Deutsche Krankenhaus Gesellschaft.
- [RD00] M. Reichert, P. Dadam, 2000, Geschäftsprozessmodellierung und Workflow-Management - Konzepte, Systeme und deren Anwendung. In: Industrie Management, Vol. 16, Nr. 3 / Juni 2000, S. 23 – 27, Berlin: GITO Verlag.
- [Rei⁺00] M. Reichert et al., 2000, Computerbasierte Unterstützung von Arbeitsabläufen im Krankenhaus – Konzepte, Technologien und deren Anwendung, Internet: <http://dbis.eprints.uni-ulm.de/238/>, Stand: 16. November 2011, Letzter Abruf: 3. März 2014.
- [Reu01] P. Reuter (Hrsg.), 2001, Springer Wörterbuch Medizin, Berlin: Springer-Verlag.

- [Roe07] N. Roeder, 2007, Pfade aus multiprofessioneller Perspektive. In: N. Roeder, T. Küttner (Hrsg.), *Klinische Behandlungspfade: Mit Standards erfolgreicher Arbeiten*, S. 28 – 31, Köln: Deutscher Ärzte-Verlag.
- [RH07] N. Roeder, P. Hensen, 2007, Konsequenzen aus der Einführung eines fallpauschalierten Vergütungssystem. In: N. Roeder, T. Küttner (Hrsg.), *Klinische Behandlungspfade: Mit Standards erfolgreicher Arbeiten*, S. 1 – 16, Köln: Deutscher Ärzte-Verlag.
- [RK06] N. Roeder, T. Küttner, 2006, Behandlungspfade im Licht von Kosteneffekten im Rahmen des DRG-Systems. In: *Der Internist*, Vol. 47, Nr. 7 / Juli 2006, S. 684 – 689. Berlin: Springer-Verlag.
- [RK07] N. Roeder, T. Küttner, 2007, Definition klinischer Behandlungspfade. In: N. Roeder, T. Küttner (Hrsg.), *Klinische Behandlungspfade: Mit Standards erfolgreicher Arbeiten*, S. 19 – 27, Köln: Deutscher Ärzte-Verlag.
- [Rom05] D. Rombey, 2005, Optimierung von Geschäftsprozessen bei einem IT-Dienstleister dargestellt am Beispiel der Firma GHL-Computer GmbH. Diplomarbeit, Fachhochschule Neuss für Ökonomie & Management, Neuss.
- [RS10] T. Romeyke, H. Stummer, 2010, Kosteneffizienz und Qualitätssicherung durch „Klinische Behandlungspfade“? In: *HeilberufeScience*, Vol. 1, Nr. 1 / Februar 2010, S. 2 – 7, Berlin: Springer-Verlag.
- [RG06] R. Rosenbrock, T. Gerlinger, 2006, *Gesundheitspolitik – Eine systematische Einführung*. 2. Auflage, Bern: Verlag Hans Huber.
- [Rot⁺10] T. Rotter et al. 2010, Clinical pathways: effects on professional practice, patient outcomes, length of stay and hospital costs (Review). Piscataway: John Wiley & Sons.
- [Rüc08] B. Rucker, 2008, *Building an Open Source Business Process Simulation Tool with JBoss jBPM*, Master Arbeit, Hochschule für Technik Stuttgart, Stuttgart.
- [RB13] G. A. Rummier, A. P. Brache, 2013, *Improving Performance: How to Manage the white space on the organization chart*. 3. Auflage, San Francisco: Jossey-Bass Publishers.
- [RR10] G. Rummier, A. J. Ramias, 2010, A Framework for Defining and Designing the Structure of Work, In: J. vom Brocke, M. Rosemann (Hrsg.), *Handbook on*

Business Process Management 1 – Introduction, Methods, and Information Systems, S. 83 – 107, Berlin: Springer-Verlag.

- [Rus⁺05] N. Russell et al., 2005, Workflow Resource Patterns. Eindhoven, Eindhoven University of Technology. Internet: <http://www.workflowpatterns.com/patterns/resource/>, Stand: 01.Januar 2011, Letzer Abruf: 20. Mai 2015.
- [SZS10] K. Saeedi, L. Zhao, P. R. Sampaio, 2010, Extending BPMN for Supporting Customer-Facing Service Quality Requirements. In: o. A., Proceedings of the 2010 IEEE Int. Conference on Web Services, S. 616 – 623, Washington D.C.: IEEE Computer Society.
- [SHW10] R. Salfeld, S. Hehner, R. Ch. Wichels, 2010, Modernes Krankenhausmanagement. 2. Auflage, Berlin: Springer-Verlag.
- [SW09] P. Sampath, M. Wirsing, 2009, Computing the Cost of Business Processes. In: J. Yang (Hrsg.), Information Systems: Modeling, Development, and Integration, S. 178 – 183, Berlin: Springer-Verlag.
- [Sar11] R. G. Sargent, 2011, Verification and Validation of Simulation Models. In: S. Jain et al. (Hrsg.), Proc. of the 2011 Winter Simulation Conference, S. 183 – 198, Washington D. C.: IEEE Computer Society.
- [SL05] K. Sarshar, P. Loos, A Normative Language Approach to the Application of Petri Nets for Clinical Workflows. In: A. B. Cremers et al. (Hrsg.), Informatik 2005 – Informatik LIVE!, S. 17 – 21, September 2005, Bonn: Deutsche Gesellschaft für Informatik.
- [Sar⁺05] K. Sarshar et al., 2005, Krankenhausprozesse – Dokumentation erhobener Daten einer Feldstudie in einem Universitäts-Klinikum. Technischer Report, Johannes Gutenberg-Universität, Mainz.
- [SWZ09] A.-C. Saß, S. Wurm, T. Ziese, 2009, Alter = Krankheit? Gesundheitszustand und Gesundheitsentwicklung. In: K. Böhm, C. Tesch-Römer, T. Ziese (Hrsg.), Beiträge zur Gesundheitsberichterstattung des Bundes - Gesundheit und Krankheit im Alter, S. 31 – 61, Berlin: Robert-Koch-Institut.
- [Sch05] M. Schafferer, 2005, Evaluation von Notationen zur Geschäftsprozessmodellierung, Bachelorarbeit, Private Universität für Gesundheitswissenschaften, Medizinische Informatik und Technik Tirol, Innsbruck.

- [Sch98] A.-W. Scheer, 1998, ARIS: Vom Geschäftsprozess zum Anwendungssystem. 3. Auflage, Berlin: Springer-Verlag.
- [Sch01] A.-W. Scheer, 2001, ARIS-Modellierungsmethoden, Metamodelle, Anwendungen. 4. Auflage, Berlin: Springer-Verlag.
- [SJ02] A.-W. Scheer, W. Jost, 2002, ARIS in der Praxis, Gestaltung, Implementierung und Optimierung von Geschäftsprozessen. Berlin: Springer-Verlag.
- [ST05] A.-W. Scheer, O. Thomas, 2005, Geschäftsprozessmodellierung mit der Ereignisgesteuerten Prozesskette. Saarbrücken: WISU.
- [Sch06] W. Schmeinck, 2006, Medizinischer-technischer Fortschritt – Fluch oder Segen? In: H. Rebscher (Hrsg.), Gesundheitsökonomie und Gesundheitspolitik im Spannungsfeld zwischen Wissenschaft und Politikberatung, S. 223 – 240, Heidelberg: Economica Verlag.
- [SS13] H. Schmelzer, W. Sesselmann, 2013, Geschäftsprozessmanagement in der Praxis. 8. Auflage, München: Carl Hanser Verlag.
- [SF13] W. Schmidt, A. Fleischmann, 2013, Business Process Monitoring with S-BPM. In: H. Fischer, J. Schneeberger (Hrsg.), S-BPM ONE, S. 274 – 291, Berlin: Springer-Verlag.
- [SGS08] G. Schneider, I. K. Geiger, J. Scheuring, 2008, Prozess- und Qualitätsmanagement – Grundlagen der Prozessgestaltung und Qualitätsverbesserung mit zahlreichen Beispielen, Repetitionsfragen und Antworten. Zürich: Compendio Bildungsmedien.
- [Sch07] M. Schrappe, 2007, Medizinische Zentren – Systematik und Nutzen. In: Zeitschrift für ärztliche Fortbildung und Qualität im Gesundheitswesen, Vol. 101, Nr. 3 / Mai 2007, S. 141 – 145, Essex: Elsevier Science Ltd.
- [SWB12] J. Schreyögg, S. Weinbrenner, R. Busse, 2012, Leistungsmanagement in der integrierten Versorgung. In: R. Busse, J. Schreyögg, T. Stargardt (Hrsg.), Management im Gesundheitswesen, 3. Auflage, S. 106 – 127, Berlin: Springer-Verlag.
- [Sch⁺08] J. Schuld et al., 2008, Einfluss IT-gestützter klinischer Behandlungspfade auf die Patientenzufriedenheit an einer chirurgischen Universitätsklinik. In: Deutsche Medizinische Wochenzeitschrift, Vol. 133, Nr. 23 / KW 23 2008, S. 1235 – 1239, Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG.

- [Sch09] J. Schütze, 2009, Modellierung von Kommunikationsprozessen in KMU-Netzwerken. Berlin: Springer.
- [SK10] B. Schwarzer, H. Krcmar, 2010, Wirtschaftsinformatik: Grundlagen betrieblicher Informationssysteme. 4. Auflage, Stuttgart: Schäffer-Poeschel.
- [SLS00] C. Seel, S. Leinenbach, A.-W. Scheer, 2000, Improve – Interaktive Modellierung von Geschäftsprozessen in virtuellen Umgebungen. Technischer Bericht 165, Saarbrücken: Institut für Wirtschaftsinformatik an der Universität des Saarlands.
- [Sei06] H. Seidlmeier, 2006, Prozessmodellierung mit ARIS® - Eine beispielorientierte Einführung für Studium und Praxis. 2. Auflage, Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn Verlag.
- [Sed+07] M. Sedlmayr et al., 2007, Formalisierung und Automatisierung von SOPs in der Intensivmedizin. In: A. Oberweis et al. (Hrsg), Tagungsband der 8. Internationalen Tagung Wirtschaftsinformatik – eOrganisation: Service- Prozess-, Market-Engineering, S. 953 – 971, Karlsruhe: Universitätsverlag Karlsruhe.
- [Sho97] M. S. Short, 1997, Charting by Exception on a Clinical Pathway. In: Nursing Management, Vol. 28, Nr. 8 / August 1997, S. 45 – 46, Harrow: RCN Publishing Company Ltd.
- [STK05] A. Sidnev, J. Tuominen, B. Krassi, 2005, Business Process Modeling and Simulation. Helsinki: Industrial Information Technology Laboratory Publications.
- [Sul05] E. B. Suleiman, 2005, Verdachtsdiagnose Appendizitis – Wertigkeit anamnestischer, klinischer, laborchemischer und sonographischer Daten bei Abdominalschmerz im Kindesalter. Diss., Ludwig-Maximilians-Universität, München.
- [SKB13] J. Smith, M. Kokar, K. Baclawski, 2013, Formal Verification of UML Diagrams: A First Step Towards Code Generation. Internet: <http://www1.coe.neu.edu/~kokar/publications/rigorous.pdf>, Stand: 10. November 2001, Letzer Abruf: 20. Mai 2015.
- [SH95] O. Spaniol, S. Hoff, 1995, Ereignisorientierte Simulation – Konzepte und Systemrealisierungen. Bonn: Thomson Publishing.
- [Spa09] C. Spath, 2009, Simulationen - Begriffsgeschichte, Abgrenzung und Darstellung in der wissenschafts- und technikhistorischen Forschungsliteratur. Magisterarbeit, Universität Stuttgart, Stuttgart.

- [Sta09] M. Staab, 2009, Erweiterung der jBPM Workow-Engine um ad-hoc Funktionalitäten. Diplomarbeit, Technische Universität Dresden, Dresden.
- [Sta+06] T. Stahl et al., 2006, Model-Driven Software Development – Technology, Engineering, Management. Piscataway: John Wiley & Sons.
- [SG11] M. Stajniak, B. Guszczak, 2011, Analysis of Logistics Processes According to BPMN Methodology. In: P. Golinska, M. Fertsch, J. Marx-Gómez (Hrsg.), S. 537 – 549, Berlin: Springer-Verlag.
- [StBA12] Statistisches Bundesamt, 2012, Gesundheit, Grunddaten der Krankenhäuser, Fachserie 12 Reihe 6.1.1, Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.
- [StBA13a] Statistisches Bundesamt, 2013, Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen – Bruttoinlandsprodukt ab 1970. Online: <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesamtwirtschaftUmwelt/VGR/Inlandsprodukt/Inlandsprodukt.html>, Stand: 14.02.2013, Letzter Abruf 16.03.2013.
- [StBA13b] Statistisches Bundesamt, 2013, Preise - Verbraucherpreisindizes für Deutschland. Online: <https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Preise/Verbraucherpreise/VerbraucherpreisindexLangeReihen.html>, Stand: 12.03.2013, Letzter Abruf 16.03.2013.
- [Sta06] J. Staud, 2006, Geschäftsprozessanalyse - Ereignisgesteuerte Prozessketten und objektorientierte Geschäftsprozessmodellierung für Betriebswirtschaftliche Standortsoftware. 3. Auflage, Berlin: Springer-Verlag.
- [SB08] H.-M. Steffen, K. T. E. Beckurts, 2008, Akutes Abdomen und abdominale Schmerzen, In: H.-M. Steffen et al. (Hrsg.), Internistische Differenzialdiagnostik – ausgewählte evidenzbasierte Entscheidungsprozesse und diagnostische Pfade, 5 Auflage, S. 253 – 282, Stuttgart: Schattauer GbmH.
- [Ste07] A. Steger, 2007, Diskrete Strukturen: Kombinatorik, Graphentheorie, Algebra - Band 1. 2. Auflage, Berlin: Springer-Verlag.
- [Ste11] J. Stehmann, 2011, Compliance-Management in mittelständischen Unternehmen: Eine Analyse aus der ressourcenorientierten Sichtweise. Hamburg: Diplomica Verlag GmbH.
- [SD06] G. Stevens, S. Draxler, 2006, Partizipation im Nutzungskontext. In: A. M. Heinecke, H. Paul (Hrsg.), Mensch & Computer 2006: Mensch und Computer im Strukturwandel, S. 83-92, München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH.

- [Sti07] P. Stiefelhagen, 2007, Behandlungspfade in der Viszeralmedizin. In: Der Internist, Vol. 48, Nr. 1 / Januar 2007, S. 93 – 98, Berlin: Springer-Verlag.
- [Str10] P. Stratmeyer, 2010, Kooperatives Prozessmanagement im Krankenhaus – das KoPM-Modell (KoPM). In: J. Debatin et al. (Hrsg.), 2010, Krankenhausmanagement: Strategien, Konzepte, Methoden. S. 359 – 367, Berlin: Medizinisch Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft.
- [Str11] J. Streek, 2011, Prozessengine als Plattform: Anforderungen und Architektur. Bachelorarbeit, Universität Potsdam, Potsdam.
- [SHF00] E. Stüber, K.-H. Herzig, U. R. Fölsch, 2000, Akute Diarrhö. In: B. König, D. Reinhardt, H.-P. Schuster (Hrsg.), Kompendium der praktischen Medizin, S. 23 – 44, Berlin: Springer-Verlag.
- [SZB11] D. Sunderbrink, C. Zapf, A. Bermann, 2011. PACS/RIS, In: R. Kramme (Hrsg.), Medizintechnik, 4. Auflage, S. 871 – 880, Berlin: Springer-Verlag.
- [Tar09] E. Taralov, 2009, Erweiterung der HL7 Clinical Document Architecture um Prozessstatusinformation. Diplomarbeit, Friedrich-Alexander-Universität, Erlangen-Nürnberg.
- [Tho98] M. Thomas, 1998, Nebenläufigkeit im Informatikunterricht. Technischer Report, Universität Potsdam, Potsdam.
- [Tho⁺07] O. Thomas et al., 2007, Serviceorientierte Architekturen: Gestaltung, Konfiguration und Ausführung von Geschäftsprozessen. Technischer Report IWi-189, Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI), Saarbrücken.
- [TN10] O. Thomas, M. Nüttgens, 2010, Dienstleistungsmodellierung 2010 - Interdisziplinäre Konzepte und Anwendungsszenarien. Berlin: Springer-Verlag.
- [Tod13] T. Todorov, 2013, Konzeption und Entwicklung einer Erweiterung des Systems BPM@SharePoint-QUAM 2.0 um Funktionalitäten zur Unterstützung der Modellierung und den Export in BPMN 2.0. Diplomarbeit, Otto-von-Guericke-Universität, Magdeburg.
- [TA06a] A. Töpfer, D. M. Albrecht, 2006, Konsequenzen für das Management von Kliniken durch neue Rahmenbedingungen. In: A. Töpfer, D. M. Albrecht (Hrsg.), Erfolgreiches Changemanagement im Krankenhaus. Das 15-Punkte-Sofortprogramm für Kliniken, S. 3 - 23, Heidelberg: Springer Medizin-Verlag

- [TA06b] A. Töpfer, D. M. Albrecht, 2006, Anforderungen, Schlüsselbereiche und Mitwirkende des Veränderungsmanagements. In: A. Töpfer, D. M. Albrecht (Hrsg.), Erfolgreiches Changemanagement im Krankenhaus. Das 15-Punkte-Sofortprogramm für Kliniken, S. 581 – 602, Heidelberg: Springer Medizin-Verlag.
- [TG06] A. Töpfer, J. Großekathöfer, 2006, Analyse der Prozesslandschaft und Prozesssteuerung als Erfolgsvoraussetzung. In: A. Töpfer, D. M. Albrecht (Hrsg.), Erfolgreiches Changemanagement im Krankenhaus. Das 15-Punkte-Sofortprogramm für Kliniken, S. 381 – 398, Heidelberg: Springer Medizin-Verlag
- [Töx08] U. Töx, 2008, Diarrhö. In: H.-M. Steffen et al. (Hrsg.), Internistische Differenzialdiagnostik – ausgewählte evidenzbasierte Entscheidungsprozesse und diagnostische Pfade, 5 Auflage, S. 309 – 326, Stuttgart: Schattauer GbmH.
- [Tsc⁺09] M. Tschopp et al., 2009, Computer-Based Physician Order Entry: Implementation of Clinical Pathways. In: K. P. Adlassnig et al. (Hrsg.), Medical Informatics in a United and Healthy Europe, S. 673 – 677, Amsterdam: IOS Press.
- [Tu⁺07] S. W. Tu et al., 2007, The SAGE Guideline Model: Achievements and Overview. In: Journal of the American Medical Informatics Association, Vol. 14, Nr. 5 / September – Oktober 2007, S. 589 – 598, Oxford: Oxford University Press.
- [Van07] K. Vanhaecht, 2007, The impact of Clinical Pathways on the organisation of care processes. Diss., Katholieke Universiteit Leuven, Leuven.
- [Ven07] D. Vengerov, 2007, A Reinforcement learning approach to dynamic resource allocation. In: Engineering Applications of Artificial Intelligence, Vol. 20, Nr. 3 / April 2007, S. 383 – 390, Essex: Elsevier Science Ltd.
- [Ver09] A. Vera, 2009, Die „Industrialisierung“ des Krankenhauswesens durch DRG-Fallpauschalen - eine interdisziplinäre Analyse. In: Das Gesundheitswesen, Vol. 71, Nr. 3 / März 2009, S. 10 – 17, Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG.
- [Ver⁺02] G. Versteegen et al., 2002, Management-Technologien – Konvergenz von Knowledge-, Dokumenten-, Workflow- und Contentmanagement. Berlin: Springer-Verlag.
- [Vog96] P. Vogler, 1996, Chancen und Risiken von Workflow-Management. In: H. Österle, P. Vogler (Hrsg.), Praxis des Workflow-Managements – Grundlagen, Vorgehen, Beispiele, S. 344 – 362, Braunschweig: Friedr. Vieweg und Sohn Verlagsgesellschaft.

- [Vol06] B. G. Volkmer, 2006, Abrechnungssysteme im Krankenhaus, Berlin: Springer-Verlag.
- [VZH12] R. P. Vonberg, S. Ziesing, A. Heim 2012, Klinische Diagnostik, In: S. Suerbaum et al. (Hrsg.), Medizinische Mikrobiologie und Infektionologie, S. 119 – 122, Berlin: Springer-Verlag.
- [VCH07] V. Vuksic, V. Ceric, V. Hlupic, 2007, Criteria for the Evaluation of Business Process Simulation Tools. In: Interdisciplinary Journal of Information, Knowledge and Management, Vol. 2, Nr. 1 / Januar 2007, S. 73 – 88, Santa Rosa: Informing Science Institute.
- [VN10] M. H. J. Vullers; M. Netjes, 2010, Towards an Executable Semantics for Activities Using Discrete Event Simulation, In: S. Rinderle-Ma et al. (Hrsg.), Business Process Management Workshop, LNBIP 43, S. 369-380, Berlin: Springer-Verlag.
- [Vul⁺08] M. H. J. Vullers et al., 2008, Trade-Offs in the Performance of Workflows – Quantifying the Impact of Best Practices. In: A. ter Hofstede, B. Benatallah, H.-Y. Paik (Hrsg.), Business Process Management Workshops. S. 108 – 119, Berlin: Springer-Verlag.
- [Wac14] F. Wacker, 2014, Grundlagen der Erlösverteilung im Krankenhaus. In: W. Zapp, J. Terbeck (Hrsg.), Kosten- versus Erlösverteilung im DRG-System, S. 1 – 25, Berlin: Springer-Verlag.
- [Wag02] M. Wagner, 2002, Informationsstrukturen der protokollbasierten Medizin. Diss., Johannes Gutenberg Universität, Mainz.
- [WNW09] G. Wagner, O. Nicolae, J. Werner, 2009, Extending Discrete Event Simulation by Adding an Activity Concept for Business Modeling and Simulation. In: M. D. Rossetti et al. (Hrsg.), Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference, S. 2951 – 2962, Washington D.C.: IEEE Computer Society.
- [Wah08] A. Wahl, 2008, Randnotiz 18 zu §39 SGB V. In: K. Engelmann, R. Schlegel (Hrsg.), Juris PraxisKommentar SGB V – Gesetzliche Krankenversicherung, S. 628, Saarbrücken: juris GmbH.
- [Wai09] G. A. Wainer, 2009, Discrete-Event Modeling and Simulation: A Practitioner's Approach. Boca Raton: CRC Press Taylor & Francis Group.

- [WCE06] A. Waller, M. Clark, L. Enstone, 2006, L-SIM: Simulating BPMN diagrams with a purpose built engine. In: L. F. Perrone et al. (Hrsg.), Proc. of the 2006 Winter Simulation Conference, S. 591 – 597. Washington D. C.: IEEE Computer Society.
- [Wan⁺04] D. Wang et al., 2004, Design and implementation of the GLIF3 guideline execution engine. In: Journal of Biomedical Informatics, Vol. 37, Nr. 5 / Oktober 2004, S. 305 – 318, Essex: Elsevier Science Ltd.
- [Wee⁺13] J. De Weerd et al., 2013, Getting a Grasp on Clinical Pathway Data: An Approach Based on Process Mining. In: T. Washio et al. (Hrsg.), Emerging Trends in Knowledge Discovery and Data Mining PAKDD 2012 Workshop, S. 22 – 35, Berlin: Springer-Verlag.
- [Wes99] M. Weske, 1999, Workflow Management Systems: Formal Foundation, Conceptual Design, Implementation Aspects. Habil., Universität Münster, Münster.
- [Wes12] M. Weske, 2012, Business Process Management - Concepts, Languages, Architectures. 2. Auflage, Berlin: Springer-Verlag.
- [WK02] I. Wetzel, R. Klischewski, 2002, Serviceflow Beyond Workflow? Concepts and Architectures for Supporting Inter-Organizational Service Processes, In: A. Banks Pidduck et al. (Eds.), CAISE 2002, S. 500 – 515, Berlin: Springer-Verlag.
- [Whi04] S. A. White, 2004, Introduction to BPMN. Technical Report, Armonk: IBM.
- [Whi12] S. A. White, 2004, BPMN: Past, Present, and Future. Armonk: IBM.
- [Wic⁺04] C. Wicke et al., 2004, Entwicklung und Einsatz von Patientenpfaden in der Allgemeinchirurgie. In: Der Chirurg, Vol. 75, Nr. 9 / September 2004, S. 907 – 915, Berlin: Springer-Verlag.
- [Wie01] F. Wienberg, 2001, Informations- und prozessorientierte Modellierung verteilter Systeme auf der Basis von Feature-Structure-Netzen. Diss., Universität Hamburg, Hamburg.
- [Wil04] H. Wildemann, 2004, Prozessklinik - Bereichsübergreifende Optimierung von Prozessabläufen in Unternehmen. Technischer Report, Technische Universität München, München.
- [Wil08] H. Wildemann, 2008, Softwareentwicklung: Leitfaden und Management-Tools zur anforderungsgerechten Softwareentwicklung. München: TCW Transfer Centrum GmbH & Co. KG.

- [Wil⁺95] M. C. Wilson et al., 1995, Users' guides to the medical literature - VIII. How to use clinical practice guidelines - B. What are the recommendations and will they help you in caring for your patients? In: JAMA, Vol. 274, Nr. 20 / September 1995, S. 1630 – 1632, Chicago: American Medical Association.
- [Wim08] H. Wimmel, 2008, Entscheidbarkeit bei Petri Netzen. Berlin: Springer-Verlag.
- [Win03] E. Winsberg, 2003, Simulation. In: J. Heilbron (Hrsg.), The Oxford Companion to the History of Modern Science, S. 752 – 753, New York: Oxford University Press.
- [Win98] A. Winter, 1998, Wozu braucht ein Krankenhaus ein Krankenhaus informationssystem? In: Informatik, Biometrie und Epidemiologie in Medizin und Biologie, Vol. 29, Nr. 3 – 4/ Herbst 1998, S. 165 – 174, Stuttgart: Eugen Ulmer GmbH & Co.-Verlag.
- [Win08] A. Winter, 2008, Einführung in Krankenhausinformationssysteme (KIS I). Leipzig: Institut für Medizinische Informatik, Statistik und Epidemiologie.
- [WW06] W. Winzer, M. Wiedmeier, 2006, Controllingkonzept des Universitätsklinikums Dresden. In: M. Albrecht, A. Töpfer (Hrsg.), Erfolgreiches Changemanagement im Krankenhaus 15-Punkte Sofortprogramm für Kliniken, S. 485 – 493, Heidelberg: Springer Medizin-Verlag.
- [WL07] B. E. Wolfinger, M. Lehmann, 2007, Arbeitsgruppe Telekommunikation und Rechnernetze, Jahresbericht 2007. Hamburg: Universität Hamburg.
- [Woo90] S. H. Woolf, 1990, Practice guidelines: A new reality in medicine - I Recent developments. In: Archives of Internal Medicine, Vol. 150, Nr. 9 / September 1990, S. 1811 – 1818, Chicago: American Medical Association.
- [Woo92] S. H. Woolf, 1992, Practice guidelines: a new reality in medicine - II. Methods of developing guidelines. In: Archives of Internal Medicine, Vol. 152, Nr. 5 / Mai 1992, S. 946 – 952, Chicago: American Medical Association.
- [Wur08] A. Wurth, 2008, Strukturoptimierung und Klinikverbünde. Berlin: Pro Business GmbH.
- [Wyn⁺08] M. T. Wynn et al., 2008, Business Process Simulation for Operational Decision Support. In: A. ter Hofstede, B. Benatallah, H.-Y. Paik (Hrsg.), Business Process Management Workshops, S. 66 – 77, Berlin: Springer-Verlag,

- [XLZ08] J. Xu, C. Liu, X. Zhao, 2008, Resource Allocation vs. Business Process Improvement: How They Impact on Each Other. In: M. Duman, M. Reichert, M.-C. Shan (Hrsg.), Proceedings of the 6th Int. Conference on Business Process Management, S. 228 – 243, Berlin: Springer-Verlag.
- [Yan⁺07] K. Yanagi et al., 2007, Evaluation of the Clinical Pathway for Laparoscopic Cholecystectomy and Simulation of Short-term Hospitalization, In: Journal of Nippon Medical School, Vol. 74, Nr. 6, S. 409 - 413, Tokyo: The medical association of Nippon Medical School.
- [YTW06] D. Yang, L. Tong, H. Wu, 2006, Specifying Reasoning Processes of a KBS Using Process Modeling Approaches. In: N. Xiao et al. (Hrsg.), Proceedings of the 5th International Conference on Grid and Cooperative Computing Workshops (GCC2006), S. 243 – 250, Washington D. C.: IEEE Computer Society.
- [YS14] W. Yang, Q. Su, 2014, Process Mining for Clinical Pathway. In: B. Ning et al. (Hrsg.), Proc. of the 11th Int. Conference on Service Systems and Service Management, s. p., Washington D. C.: IEEE Computer Society.
- [YS06] S. Yao, S. M. Shatz, Consistency Checking of UML Dynamic Models Based on Petri Net Techniques. In: A. Gelbukh, S. S. Guerra (Hrsg.), Proceedings of the 15th International Conference on Computing (CIC2006), S. 289 – 297, Washington D. C.: IEEE Computer Society.
- [Zan02] K. Zander, 2002, Integrated care pathways: eleven international trends, In: Journal of integrated care pathways, Vol. 6, Nr. 3 / Dezember 2002, S. 101 – 107, London: The Royal Society of Medicine Press.
- [ZBE87] K. S. Zander, K. A. Bower, M. L. S. Etheredge, 1987, Nursing Care Management: Blueprints for Transformation. Technical Report, New England Medical Center Hospitals, Boston.
- [Zap10] M. Zapletal, et al., 2010, Modeling Interorganizational Business Processes. In: J. vom Brocke, M. Rosemann (Hrsg.), Handbook on Business Process Management 1; International Handbook on Information Systems, S. 543 – 565, Berlin: Springer-Verlag.
- [ZO09] W. Zapp, J. Oswald, 2009, Controlling Instrumente für Krankenhäuser. Stuttgart: W. Kohlhammer GmbH.

- [ZO10] W. Zapp, S. Otten, 2010, Vorgehensweise und Ablauf der Gestaltung von Prozessen. In: W. Zapp (Hrsg.), Prozessgestaltung in Gesundheitseinrichtungen – Von der Analyse zum Controlling, 2. Auflage, S. 87 – 119, Heidelberg: Economica.
- [ZS09] M. Zauner, A. Schrempf, 2009, Informatik in der Medizintechnik. Wien: Springer-Verlag.
- [Zie05] P. Ziesche, 2005, Nebenläufige und verteilte Programmierung - Konzepte, UML 2-Modellierung, Realisierung mit Java 1.4 & Java 5, Bochum: W3L-Verlag.
- [Zim12] C. Zimmermann, 2012, Der Anspruch des GKV-Versicherten auf Krankenbehandlung. In: C. Zimmermann (Hrsg.), Der Gemeinsame Bundesausschuss, S.165 – 208, Berlin: Springer-Verlag.
- [Zwe09] K. Zwerenz, 2009, Statistik: Einführung in die Datenanalyse. 4. Auflage, München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH.