

AUS DER KLINIK FÜR
ORTHOPÄDIE UND RHEUMATOLOGIE DER

GESCHÄFTSFÜHRENDE DIREKTORIN: FRAU PROF. DR. S. FUCHS

DES FACHBEREICHS MEDIZIN
DER PHILIPPS-UNIVERSITÄT MARBURG
UND DES UNIVERSITÄTSKLINIKUMS
GIEßEN UND MARBURG, STANDORT MARBURG

**ENTWICKLUNG EINES ALGORITHMUS
ZUR ELEKTIVEN OP-EINBESTELLUNG
IN DER KLINIK FÜR
ORTHOPÄDIE UND RHEUMATOLOGIE**



INAUGURAL-DISSERTATION
ZUR ERLANGUNG DES DOKTORGRADES DER GESAMTEN MEDIZIN
DEM FACHBEREICH HUMANMEDIZIN DER PHILIPPS-UNIVERSITÄT MARBURG
VORGELEGT VON

MARC P. HAUSER
AUS KREFELD-HÜLS

MARBURG AN DER LAHN
2005

ANGENOMMEN VOM FACHBEREICH MEDIZIN
DER PHILIPPS-UNIVERSITÄT MARBURG AM: 08.12.2005
GEDRUCKT MIT GENEHMIGUNG DES FACHBEREICHS.
DEKAN: PROF. DR. B. MAISCH
REFERENT: FRAU PROF. DR. S. FUCHS
KORREFERENT: PROF. DR. G. GELDNER

Meinen Eltern

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINFÜHRUNG	
1.1	MOTIVATION.....	1
1.2	ZIELSETZUNG	1
1.3	PROJEKTINTEGRATION.....	2
1.4	DIE KLINIK FÜR ORTHOPÄDIE UND RHEUMATOLOGIE IN MARBURG	2
1.5	HISTORISCHE ENTWICKLUNG DER ORTHOPÄDISCHEN CHIRURGIE	3
2	METHODIK	
2.1	ÜBERSICHT	5
2.2	PROZESSANALYSE	
2.2.1	Vorgehensweise	5
2.2.2	Unified Modelling Language (UML).....	7
2.2.3	Marburger Prozess Dokumentation (MaPDok).....	9
2.2.4	Ressourcenanalyse.....	11
2.2.5	Klassenbildung	12
2.2.6	Arbeitsablauf der Ist-Situation	13
2.2.7	Datenerhebung	14
2.3	DEFINITION DER ALGORITHMEN	
2.3.1	Bisheriger Algorithmus	15
2.3.2	Potenzielle Optimierte Algorithmen.....	16
2.4	HYPOTHESEN	19
2.5	SIMULATIONSSTUDIE	
2.5.1	Vorgehensweise	20
2.5.2	Modellbildung	23
2.5.3	Eingangsverteilungen	25
2.5.4	Verifikation	26
2.5.5	Validierung	26
2.5.6	Simulationsvorbereitung	27

3	ERGEBNISSE	
3.1	PROZESSANALYSE	
3.1.1	Arbeitsablauf der Ist-Situation	31
3.1.2	Ressourcen- und Datenanalyse	32
3.2	SIMULATIONSSTUDIE	
3.2.1	Verifikation	34
3.2.2	Validierung	34
3.2.3	Bestätigung der Hypothesen	38
3.3	ALGORITHMUS.....	40
4	DISKUSSION	
4.1	EINFÜHRUNG	43
4.2	PROZESSANALYSE.....	45
4.3	ALGORITHMUS.....	46
4.4	SIMULATIONSSTUDIE	47
4.5	AUSBLICK	50
4.6	SCHLUSSFOLGERUNG	51
5	ZUSAMMENFASSUNG	53
6	LITERATURVERZEICHNIS	55
7	ANHANG	
	ANHANG A - PROZESSANALYSE	60
	ANHANG B – EINGANGSVERTEILUNGEN.....	63
	ANHANG C - SIGNIFIKANZSCHRANKEN DER χ^2 -VERTEILUNG	67
	ANHANG D - SIGNIFIKANZSCHRANKEN DER t -VERTEILUNG	68
	ANHANG E - ZUFALLSZAHLENTAFEL (AUSSCHNITT)	69

8	VERZEICHNIS DER AKADEMISCHEN LEHRER	70
9	DANKSAGUNG	71

1 EINFÜHRUNG

1.1 MOTIVATION

Die vorliegende Arbeit wurde an der Klinik für Orthopädie und Rheumatologie am Klinikum der Philipps-Universität Marburg in enger Kooperation mit dem Institut für Medizinische Informatik in Marburg entwickelt. Der Anlass war durch zwei Ausgangsfragen gegeben.

Zum einen soll überprüft werden, ob ein Algorithmus geeignet ist eine langfristige Planung und Steuerung von Operationen (OP-Einbestellung) zu ermöglichen, was speziell auch im Hinblick auf strukturelle Veränderungen im Gesundheitswesen, wie die Einführung der German Diagnosis Related Groups (G-DRG), relevant ist.

Zum anderen soll geklärt werden, wie die Wartezeit auf eine elektive Operation, der bereits stationär aufgenommenen Patienten, verkürzt werden kann. Als Wartezeit wird hier diejenige Zeit definiert, die nicht zur Diagnostik oder Therapie aus medizinischer Sicht erforderlich ist. Durch eine Reduktion dieser präoperativen stationären Wartezeit kann zugleich die gesamte Verweildauer gesenkt werden.

1.2 ZIELSETZUNG

In der vorliegenden Arbeit wird für die Klinik für Orthopädie und Rheumatologie in Marburg ein Algorithmus zur Einbestellung von Patienten zur elektiven Operation entwickelt.

Der Algorithmus soll leicht zu handhaben und umzusetzen sein und für einen gewissen Komfort die Möglichkeit einer EDV Unterstützung aufweisen. Er soll die Rahmenbedingungen der Klinik für Orthopädie und Rheumatologie in Marburg berücksichtigen, und eine bedarfsgerechte langfristige Operationsplanung gewährleisten. Darüber hinaus soll er eine formale

Arbeitsanweisung darstellen, die die bisherige Vorgehensweise zur Einbestellung von Patienten zur elektiven Operation ablöst.

Als Zielparame-ter zur Optimierung dient die präoperative stationäre Verweildauer des einzelnen Patienten, die unter Anwendung des entwickelten Algorithmus auf möglichst einen Tag verkürzt werden soll, was simultan bedeutet, dass die gesamte stationäre Verweildauer gesenkt wird.

Voraussetzung ist indes das Fortführen der bisherigen operativen Tätigkeit der Klinik mit unveränderter Anzahl an Operationen.

1.3 PROJEKTINTEGRATION

Die Arbeit ist in eine Projektgruppe integriert, die Prozesse von verschiedenen Abteilungen des Klinikums der Philipps-Universität Marburg optimieren will und dazu die partizipierenden Fachabteilungen unter Leitung des Institutes für Medizinische Informatik eint. Die Gruppe fördert Grundlagen für gemeinsame Sprache und Verständnis und koordiniert die Vorgehensweise der Einzelprojekte.

Weitere Arbeiten der Klinik für Orthopädie und Rheumatologie haben die Optimierung der Arbeitsabläufe und der Terminplanung der Orthopädischen Poliklinik, sowie die Optimierung der präoperativen Eigenblutspende für orthopädische Patienten zum Ziel. Dabei ist gerade letztgenanntes Projekt ein Beispiel für die Bedeutung interdisziplinärer Zusammenarbeit, in diesem Fall zwischen der Klinik für Orthopädie und Rheumatologie und dem Institut für Transfusionsmedizin und Hämostaseologie, und macht die Notwendigkeit für eine übergeordnete Projektgruppe offenkundig.

1.4 DIE KLINIK FÜR ORTHOPÄDIE UND RHEUMATOLOGIE IN MARBURG

Die Klinik für Orthopädie und Rheumatologie in Marburg versorgt Patienten mit dem gesamten Spektrum der aktuellen Orthopädie. Im Jahr 2000 wurden 1.890 Patienten stationär und 13.036 Patienten ambulant behandelt, sowie 1.723 Operationen durchgeführt. Die durchschnittliche Verweildauer der stationären Patienten betrug 10,8 Tage.

Für die stationäre Versorgung stehen 66 Betten, sowie zwei Operationssäle zur Verfügung. Es werden alle Eingriffe der heutigen orthopädischen Chirurgie ausgeführt, wobei die Schwerpunkte in der Endoprothetik, insbesondere von Hüft- und Kniegelenken, rheumaorthopädisch-handchirurgischen Operationen und Wirbelsäuleneingriffen liegen.

Der überwiegende Anteil der stationär behandelten Patienten rekrutiert sich aus den ambulant in der Poliklinik der Klinik für Orthopädie und Rheumatologie gesehenen und behandelten Patienten. Einen sehr geringen Anteil stellen Übernahmen von anderen Fachabteilungen und Notfallpatienten dar.

1.5 HISTORISCHE ENTWICKLUNG DER ORTHOPÄDISCHEN CHIRURGIE

Um zu verstehen, auf welcher Basis die Klinik für Orthopädie und Rheumatologie in Marburg, ebenso wie viele andere Kliniken und Krankenhäuser in Ländern mit einem hohen medizinischen Standard, sich gezwungen sieht Wege zu suchen, ihre Patienten auch künftig qualitativ gut und ökonomisch in hinreichender Zahl versorgen zu können, soll ein kurzer Rückblick auf die historische Entwicklung erfolgen.

Erst die Entdeckung der Anästhesie, als deren Geburtsstunde gemeinhin der 17. Oktober 1846 mit der ersten Anwendung einer Äthernarkose betrachtet wird, und deren rasche Ausweitung auf Chloroform und Lachgas als Anästhetika in den nachfolgenden Jahren, sowie die Postulierung der Antisepsis durch Lord Joseph Lister (Lister, 1867) und der Asepsis durch Bergmann und Terrier (1837 - 1908), legten das Fundament für die temperamentvolle Entwicklung, die der Chirurgie seit der Mitte des 19. Jahrhunderts beschieden ist.

Als Gründung der modernen Orthopädie, zumindest dem Begriff nach, wird das Jahr 1741 angesehen, als Nicolas André sein Lehrbuch *»L'Orthopédie ou l'Art de prévenir et de corriger dans les enfants les difformités du corps«* vorlegte (Toellner, 2000). Die Orthopädie sah ihre vornehmliche Aufgabe zunächst in der Korrekturbehandlung von Missbildungen des Skeletts und des Bewegungsapparates. Erst mit den beschriebenen Voraussetzungen für die

gesamte Chirurgie konnte sich auch die orthopädische Operationstechnik entwickeln (Toellner, 2000).

Die Begründung der Endoprothetik ist untrennbar mit Persönlichkeiten, wie Themistocles Gluck (Gluck, 1890; Wessinghage, 1991), die Gebrüder Judet (Judet und Judet, 1950) und Sir John Charnley (Charnley, 1960) verbunden. Sie legten unabhängig voneinander die Grundsteine für die gegenwärtig bekannten Wege des Gelenkersatzes. Durch Verbesserung des verwendeten Materials und der Arbeitsmethoden konnten in Studien durchweg beachtliche Langzeitergebnisse, sowohl hinsichtlich der Hüft- (Schulte et al., 1993; Malchau und Herberts, 1996; Hinrichs et al., 2000; Hinrichs et al., 2003) als auch der Knieendoprothetik (Kienapfel et al., 1991; Knutson et al., 1994; Sprey, 1999) nachgewiesen werden. Dies führte in den letzten Jahren zusammen mit einer verbesserten Diagnostik und bedingt durch die Zunahme von Inzidenz und Prävalenz der Cox- und Gonarthrose mit zunehmendem Lebensalter der Patienten (Sun et al., 1997) bei einer fortschreitenden demographischen Überalterung der Bevölkerung zu einer vermehrten und großzügigeren Indikationsstellung zum endoprothetischen Ersatz von Hüft- und Kniegelenken und in der Folge zu einer Zunahme der operativen Eingriffe.

Exemplarisch kann so der Fortschritt der gesamten Chirurgie und die Entwicklung der Probleme, die die Notwendigkeit zu Optimierungsmaßnahmen anregen, nachvollzogen werden.

2 METHODIK

2.1 ÜBERSICHT

Die Methodik und Vorgehensweise der vorliegenden Arbeit kann zusammenfassend in zwei Anteile gegliedert werden.

Zunächst erfolgt eine Bestandsaufnahme der vorliegenden Situation und der Arbeitsabläufe der Klinik für Orthopädie und Rheumatologie in Marburg. Dies wird unter dem Begriff der Prozessanalyse zusammengefasst. Hierzu werden in Kapitel 2.2 (S. 5) die notwendigen Grundlagen aufgeführt und die Entscheidung für ein Dokumentationswerkzeug, sowie dessen Weiterentwicklung erörtert. Zwischenergebnisse werden, soweit zum Verständnis erforderlich, präsentiert und Vorbereitungen für den zweiten Teil, die Simulationsstudie getroffen.

Kapitel 2.5 (S. 20) erläutert die Vorgehensweise einer Simulationsstudie und begründet die Entscheidung dafür. Die elementaren Vorkehrungen und die Einzelschritte zur Vorbereitung der Simulation werden ebenfalls zum Teil mit Zwischenergebnissen besprochen.

Einem Bindeglied gleich, zwischen Prozessanalyse auf der einen und Simulationsstudie auf der anderen Seite, führen die Kapitel 2.3 und 2.4 (S. 15 und S. 19) aufbauend auf der bisherigen Arbeitsweise die denkbaren und mit der Simulation zu prüfenden optimierten Arbeitsweisen (Algorithmen) aus. Auf Basis der Zielparameter werden die Hypothesen festgelegt, die als Maß für die Güte der optimierten Algorithmen in der Simulation dienen.

2.2 PROZESSANALYSE

2.2.1 VORGEHENSWEISE

Um einen Algorithmus zur Einbestellung von Patienten zur Operation entwickeln, Hypothesen aufstellen und schließlich mithilfe von stochastischer

Simulation überprüfen zu können, ist es unerlässlich die bisherigen Arbeitsabläufe so distanziert wie möglich und so detailliert wie nötig zu verstehen und zu erfassen.

Dabei stehen grundsätzlich drei Möglichkeiten zum Verständnis der Prozesse zur Verfügung. Zunächst können strukturierte Interviews dem Untersucher sonst verborgene Details eröffnen, des Weiteren kann durch Beobachtung ein guter Überblick über die einzelnen Berufsfelder gewonnen werden und schließlich bietet die Mitarbeit des Untersuchers einen sehr direkten und persönlichen Einblick in die Abläufe. Jede der Methoden hat spezifische Vorteile, aber auch kennzeichnende Nachteile.

Strukturierte Interviews eröffnen möglicherweise einen nicht notwendigen, zu hohen Detaillierungsgrad und lassen häufig die Übersicht über den gesamten Arbeitsprozess vermissen, die jedoch durch Beobachtung gut erreicht werden kann. Während Interviews und Beobachtung nahezu immer mit einem Hawthorne-Effekt einhergehen, also einer verfälschten Erkenntnis durch gesteigerte Leistungsbereitschaft der Mitarbeiter bei erhöhter Zuwendung und Aufmerksamkeit durch den Beobachter, vermag dieser Fehler bei der Mitarbeit zumindest minimiert zu werden, jedoch können die Eindrücke des Untersuchers zu stark subjektiv geprägt sein.

Letztlich bietet die Kombination die beste Aussicht eine Prozessübersicht zu erlangen und diese mit allen beteiligten Berufsgruppen, dem administrativen Personal, dem Pflegepersonal und dem ärztlichen Personal zu erörtern, um durch gewissenhafte Darstellung der Ist-Situation Fehler aufzuspüren und Verbesserungen zu erkennen.

Um die gewonnenen Erkenntnisse des Untersuchers schließlich zusammen mit dem Personal einer Prozessanalyse zu unterziehen, muss ein Formalismus, allein schon zur Dokumentation, aber auch zur Bildung einer gemeinsamen Sprache und eines gemeinsamen Verständnisses gefunden werden.

Es bietet sich an, dabei auf vorhandene Dokumentationssprachen, wie die Unified Modelling Language (UML) (Oestereich, 1998; Wahl, 1998; Grässle et al., 2000) oder Architektur integrierter Systeme (ARIS) (Scheer, 1996) mit

der Erweiterung der Objektorientierten Ereignisgesteuerten Prozesskette (oEPK) (Scheer et al., 1997), zurückzugreifen.

2.2.2 UNIFIED MODELLING LANGUAGE (UML)

Die Unified Modelling Language (UML) ist eine Sprache, primär entwickelt zur Beschreibung von Softwaresystemen und zur Kommunikation zwischen Softwareentwicklern. Ihre Aufgabe ist die Spezifikation, Visualisierung, Konstruktion und Dokumentation von Softwaresystemen, aber auch von Geschäftssystemen und anderen Nicht-Softwaresystemen. Der wesentliche Vorteil bei der Verwendung der UML zur Dokumentation liegt in der Unabhängigkeit von Programmiersprachen, wodurch die Möglichkeit entsteht, differierende Systemteile einheitlich zu modellieren und in der Folge durch verschiedene Technologien umzusetzen.

Die UML entstand im Wesentlichen aus der Zusammenführung anerkannter Modellierungsmethoden, hauptsächlich aus dem Bereich der objektorientierten Modellierung, mit jeweils unterschiedlichen Zielsetzungen und Stärken. Im Kern formierte sich die UML als Grady Booch (Rational Software Corporation) und James Rumbaugh (General Electric) begannen ihre Ideen zur objektorientierten Modellierung anzugleichen und eine einheitliche Modellierungssprache anzustreben (Rumbaugh, 1994; Booch, 1997). Mit der Eingliederung der OOSE Methode (Object Oriented Software Engineering) von Ivar Jacobson wurde wenig später vor allem das Konzept der Anwendungsfälle (Use Cases) als etablierte Methode zur Anforderungsanalyse in die UML integriert (Jacobson, 1995).

Die UML setzt sich aus den drei Grundbestandteilen Dinge, Beziehungen und Diagramme zusammen. Dinge sind Abstraktionen in einem Modell, die durch Beziehungen verbunden werden. Beispiele für solche Abstraktionen sind unter anderem Klassen (Menge von Objekten), Schnittstellen (Zusammenfassung von Operationen, die das Verhalten eines Elements nach außen spezifizieren), Kollaborationen (Zusammenwirken von Elementen, die ein gemeinsames Verhalten hervorbringen), Anwendungsfälle (Beschreibung aufeinander folgender Aktionen, die eine bestimmte Funktion mit einem beobachtbaren Ergebnis aus der Sicht des Akteurs darstellen), und Komponenten (austauschbare Teile eines Systems). Für jedes dieser verschiedenen Dinge

definiert die UML graphische Symbole. Die Vereinheitlichung besteht im Wesentlichen darin, für identische Dinge durchgängig die gleichen grafischen Symbole zu verwenden. Weitere Aspekte der Vereinheitlichung betreffen beispielsweise Regeln für Namen, Gültigkeitsbereiche, Sichtbarkeit, Integrität und die Ausführung, beziehungsweise Simulation dynamischer Systeme.

Diagramme ermöglichen die Zusammenfassung von Dingen und Beziehungen zur Darstellung verschiedener Aspekte eines Modells. Die UML kennt im Gesamten neun verschiedene Diagrammtypen, bezeichnet als Klassen-, Objekt-, Anwendungsfall-, Sequenz-, Kollaborations-, Zustands-, Komponenten-, Einsatz- und Aktivitätsdiagramm. Sequenz- und Kollaborationsdiagramme werden zusammenfassend auch als Interaktionsdiagramme bezeichnet. Durch die verschiedenen Diagrammtypen können unterschiedliche Sichten auf die Architektur eines Systems dargestellt werden, analog den Bauplänen eines Hauses, die unterschiedliche Details hervorheben oder ausblenden.

Die UML stellt heute den de facto Standard im Software Engineering dar, indes bleiben die hierin zusammengefassten Methoden nicht ohne Kritik, möglich weil sie an dem hohen Anspruch gemessen werden, den sie an sich selbst stellen. So kritisiert Schewe vor allem die mangelnde Semantik und Pragmatik der UML (Schewe, 2000). Ein weiterer Kritikpunkt betrifft die mangelnde Modellierung von Benutzerschnittstellen in UML, die sich auf eine rein funktionale Beschreibung durch Anwendungsfälle beschränkt, die Modellierung einer Dialogführung fehlt dagegen gänzlich. Dazu kann ergänzt werden, dass die Modellierung von Geschäftsprozessen, die in UML mit Hilfe von Anwendungsfällen und Aktivitätsdiagrammen bewältigt werden kann, verglichen mit Methoden zur Geschäftsprozessmodellierung wie oEPK (Scheer et al., 1997), noch erhebliche Mängel aufweist. Entsprechende Erweiterungen und Ergänzungen sind zum Teil in UML 2.0 eingeflossen (Jeckle et al., 2004; Born et al., 2004).

Zum besseren Verständnis der Prozesse ergibt sich jedoch die Notwendigkeit auch den Kontrollfluss oder den Informationsfluss in einer gemeinsamen Sicht in einem Aktivitätsdiagramm zu vereinigen, was folgerichtig zur Entwicklung der Marburger Prozess Dokumentation (MaPDok) am Institut für Medizinische Informatik in Marburg im Jahr 2001 geführt hat. MaPDok orientiert sich an der

UML und lehnt sich insbesondere beim Aufbau beziehungsweise der Struktur einer Aktivität an den Anwendungsfällen (Use Cases) an, wodurch dank Erweiterung der Aktivitätsdiagramme in mannigfacher Hinsicht, die Anforderungen an die Modellierung klinischer Prozesse erfüllt werden können.

2.2.3 MARBURGER PROZESS DOKUMENTATION (MAPDOK)

Die Marburger Prozess Dokumentation (MaPDok) stellt ein Werkzeug zur Dokumentation und Visualisierung klinischer Abläufe dar. Es ermöglicht eine schnelle Erstellung von Ablaufdiagrammen und unterstützt deren Auswertung, indem es die erhobenen Daten in übersichtlicher Weise darstellt.

Für eine einfache Handhabung wird ein CASE-Werkzeug (Computer Aided Software Engineering) entwickelt, was bedeutet, dass die gezeigten Informationen, mit Ausnahme des Kontrollflusses, in einer Datenbank abgelegt sind und so die Erzeugung unterschiedlicher Sichten gestatten. Diese Unterstützung ist für die UML bekannt und hat sich seit vielen Jahren bewährt.

Die Modellierung erfolgt streng Aktivitätsgesteuert, d.h. ein Prozessmodell besteht aus Aktivitäten, denen Akteure, Ressourcen und Informationsträger zugeordnet werden. Aktivitäten werden durch den Kontrollfluss mit seiner bedingten und parallelen Verzweigung verbunden, Informationsträger durch den Informationsfluss.

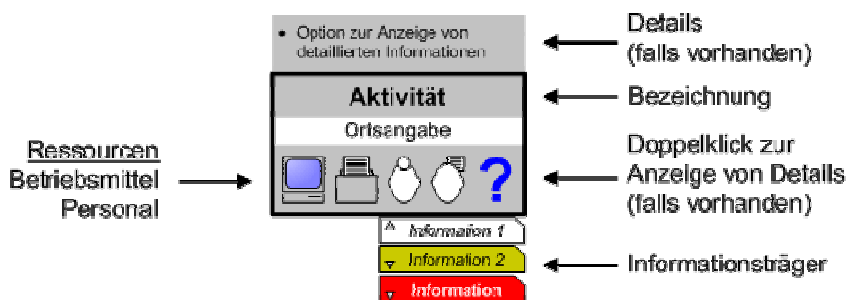


Abb. 2.1: Bestandteile einer Aktivität nach MaPDok
(Legende unter Anhang A, Seite 60)

Ein Synchronisationsfluss triggert Aktivitäten, die exakt zur gleichen Zeit stattfinden, wie beispielsweise eine Auftragserteilung und Auftragsannahme bei einem Telefonat. Neu ist ebenfalls die Unterscheidung einer bedingten und einer parallelen Zusammenführung, die zu der von der UML bekannten

einfachen Zusammenführung einen Rückschluss darüber erlaubt, ob für das Fortschreiten des gesamten Kontrollflusses das Eintreffen von einem Fluss oder von allen Flüssen an der Zusammenführung erforderlich ist. Eine solche Unterscheidung in Form einer Und- (AND) respektive Oder-Zusammenführung (OR) findet sich auch bei der Objektorientierten Ereignisgesteuerten Prozesskette (oEPK) (Scheer et al., 1997).

Das Aktivitätsdiagramm der Marburger Prozess Dokumentation (MaPDok) wird streng von links nach rechts gelesen und die Akteure durch Symbole den Aktivitäten zugeordnet.

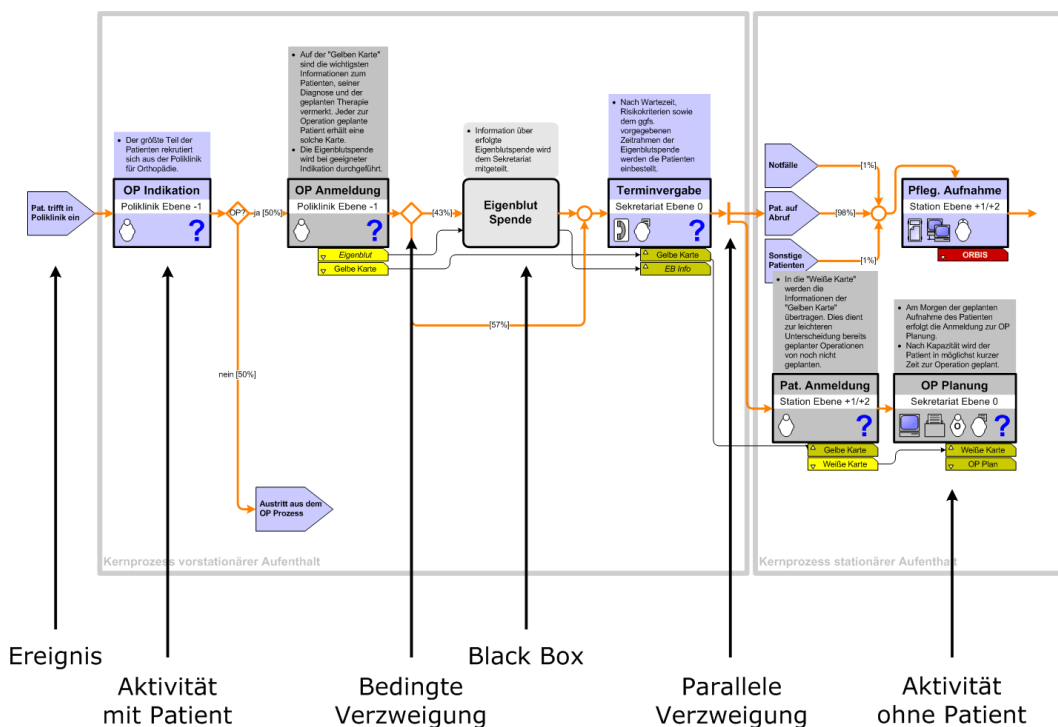


Abb. 2.2: Aktivitätenorientierte Darstellung nach MaPDok (Legende unter Anhang A, Seite 60)

Schlussendlich soll noch darauf hingewiesen werden, dass die Marburger Prozess Dokumentation und die Unified Modelling Language lediglich Sprachen, aber keine Methoden zur Verfügung stellen. Die dreischichtige Methodik in Form von Interview, Beobachtung und Mitarbeit wurde bereits weiter vorne vorgestellt. Durch das strukturierte Erfragen von Informationen zu den Aktivitäten stellt lediglich das CASE-Werkzeug der Marburger Prozess Dokumentation Ansätze einer Methodik bereit.

2.2.4 RESSOURCENANALYSE

Auf dem Weg zu einem möglichen Algorithmus zur Einbestellung von Patienten zur elektiven Operation müssen Ressourcen, die unmittelbar den Arbeitsablauf am Patienten beeinflussen, untersucht werden. Mit dem Patienten im Mittelpunkt der Betrachtungen ergeben sich innere Bedingungen, die in seinem Einflussbereich liegen, und äußere Bedingungen, die sich seiner Beeinflussung entziehen.

Äußere Bedingungen, die den Arbeitsablauf bestimmen, müssen bezüglich der Faktoren Material, Personal und Zeit untersucht werden. Dabei ergibt sich für das Material eine Unterscheidung von sechs Operationsverfahren, die aufgrund der jeweilig benötigten Instrumente und ihrer zugehörigen Aufbereitungszeit nach Benützung nur in limitierter Zahl pro Tag ausgeführt werden können. In der Konsequenz erfordert dies die Einbestellung einer adäquaten Zahl von Patienten pro entsprechendes Operationsverfahren pro Tag, da überzählig bestellte Patienten nicht am geplanten Termin operiert werden können.

Gemäß dem Personalfaktor darf konstatiert werden, dass sowohl in Bezug auf die Quantität der Operationen, als auch der Qualität der einzelnen Eingriffe, nicht zuletzt aufgrund des Ausbildungscharakters der Klinik, ärztliches Personal in hinreichender Anzahl bereit steht. Jedoch stellt die Regelarbeitszeit des ärztlichen und gewiss auch des pflegerischen Personals eine Grenze für die Anzahl an elektiven Operationen dar.

Damit ist der Zeitfaktor, als limitierende Funktion für die Anzahl der Operationen, die sich durch die tatsächlichen Schnitt-Naht-Zeiten zuzüglich der erforderlichen Vor- und Nachbereitungszeiten und der zur Verfügung stehenden Regelarbeitszeit ergeben, bereits angesprochen.

Als innere Bedingungen lassen sich zwei Merkmale unterscheiden, die im Einflussbereich des Patienten liegen. Die Option der Eigenblutspende wird, auch vom Gesetzgeber vorgeschrieben, allen Patienten mit einer Transfusionswahrscheinlichkeit größer zehn Prozent im Vorfeld elektiver Eingriffe angeboten. Dies bedeutet jedoch, dass ein Zeitraum von mindestens drei, besser vier Wochen zur Durchführung der Spende vor dem geplanten

Operationstermin zur Verfügung stehen muss. Nach Abschluss der Spende muss der Eingriff innerhalb von 35 Tagen bei den häufig erstellten Vollblutkonserven, respektive 47 Tagen bei den seltener verwandten leukozytendepletierten Präparaten durchgeführt werden, da diese sonst verfallen und nicht mehr verabreicht werden dürfen.

Die Inanspruchnahme von Wahlleistungen durch den Patienten stellt zwar an die Qualität der medizinischen Versorgung keine veränderten Anforderungen, wohl aber an die periphere, außermedizinische Handhabung, was eine Beachtung dieses Merkmals erforderlich macht.

2.2.5 KLASSENBILDUNG

Mit der durchgeführten Ressourcenanalyse und den identifizierten inneren und äußeren Bedingungen ergeben sich Merkmale. Jede Ausprägung eines solchen Merkmals wird als Klasse definiert, die einer theoretischen Warteliste von Patienten mit gleicher Merkmalsausprägung entspricht. Für jede dieser Wartelisten besteht eine eigene Entnahmestrategie, was ihre Unterscheidung und dadurch die Bildung von Klassen erforderlich macht.

Auf Grundlage der Ressourcenanalyse können die Merkmale Eigenblutspende, Wahlleistung, Therapie und Zeit unterschieden werden. Die Merkmale Eigenblutspende und Wahlleistung sind innere Bedingungen und können in den Ausprägungen »Inanspruchnahme« und »Ablehnung« auftreten, wodurch sich je Merkmal zwei Klassen ergeben.

Für das Merkmal Therapie müssen, durch die quantitative Einschränkung des nötigen Materials, sechs Ausprägungen charakterisiert werden. Folglich ergeben sich sieben Klassen, davon sechs, die den geforderten Therapietypen entsprechen und eine siebte, die alle verbleibenden Therapien umfasst (Tabelle 2.1).

Das Merkmal Zeit kann in äußerst vielschichtigen Ausprägungen auftreten, weshalb es nicht in Klassen Ausdruck finden kann, sondern in Form der Anzahl pro Zeit, die sich aus der Regelarbeitszeit und den tatsächlichen Operations- und Wechselzeiten ergibt, in den Algorithmus integriert werden muss.

Tabelle 2.1: Ausprägungen (Klassen) des Merkmals Therapie

Klasse	Beschreibung	ICPM	max. Anzahl pro Tag
1	Endoprothese Hüftgelenk	5-820 5-821	4
2	Endoprothese Kniegelenk (<i>bikondylär</i>)	5-822 exkl. 5-822.0 5-822.5 5-822.6	3
3	Endoprothese Kniegelenk (<i>gekoppelt</i>)	5-822.5 5-822.6	1
4	Endoprothese Kniegelenk (<i>med. Schlitten</i>)	5-822.0	1
5	Wirbelsäuleneingriffe	5-83	2
6	Korrekturosteotomien	5-781 5-804.4 5-788.6	2
7	Übrige		∞

Da sich die Klassen orthogonal zueinander verhalten, ergeben sich mit den drei Merkmalen Wahlleistung, Eigenblutspende und Therapie insgesamt 28 Klassen, also 28 theoretische Wartelisten mit je eigener Entnahmestrategie.

2.2.6 ARBEITSABLAUF DER IST-SITUATION

Für das weitere Verständnis auf dem Weg zu einem Algorithmus ist es unerlässlich, gleichsam als Zwischenergebnis, eine Erläuterung des bisherigen Arbeitsablaufes auf Basis der Prozessanalyse, der Prozessdokumentation und der Ressourcenanalyse vorzunehmen. Es ist sinnvoll im Verlauf dieses Kapitels die im Anhang (Anhang A, Seite 60) abgedruckte Darstellung zu Rate zu ziehen.

In der Klinik für Orthopädie und Rheumatologie in Marburg rekrutiert sich die Mehrzahl der Patienten zur Operation über die Poliklinik. Dort wird auch die Indikation zur Operation gestellt und im Bedarfsfall dem Patienten die Option zur Eigenblutspende gestellt. Nach erfolgter Indikationsstellung wird eine Operationsanmeldung in Form einer Karteikarte (»Gelbe Karte«) erstellt und dem Sekretariat überführt. Über erfolgreich durchgeführte und abgeschlossene Eigenblutspende wird das Sekretariat durch das Institut für Transfusionsmedizin und Hämostaseologie informiert.

Die Einbestellung der Patienten erfolgt nach freiwerdenden Kapazitäten (Betten) auf den Stationen durch das Sekretariat der Klinik, unter Beachtung der Merkmale Wahlleistung und Eigenblutspende in absteigender Reihenfolge.

Die Merkmale Therapie und Zeit bleiben unbedacht, wodurch die kapazitiven und materiellen Möglichkeiten der Operationsabteilung ignoriert werden. Hierdurch erfolgt die Terminvergabe zur Operation außerordentlich kurzfristig. Durch Fehlen einer langfristigen Terminvergabe ist eine langfristige Operationsplanung gleichsam faktisch nicht existent.

Am Aufnahmetag, unmittelbar vor stationärer Aufnahme der Patienten erfolgt ein Umschreiben der Informationen der Operationsanmeldung auf eine weitere Karteikarte («Weiße Karte»), die für die kurzfristige Operationsplanung, also die Festlegung von Saal, Reihenfolge, Operateur und Lagerungsart im Allgemeinen für den folgenden Arbeitstag zu Rate gezogen wird. Im weiteren Verlauf wird die Operationsfähigkeit aus ärztlicher Sicht sowohl vom Operateur, als auch vom Anästhesisten beurteilt. Die Operationsvorbereitung und die Durchführung in allen Details ist der Abbildung im Anhang (Anhang A, Seite 60) zu entnehmen.

Nach Abschluss der Operation erfolgt eine fortwährende Kontrolle des Operationserfolgs und des postoperativen Verlaufs, der schließlich über die Aufenthaltsdauer entscheidet. Die Beendigung eines stationären Aufenthaltes, die Entlassung eines Patienten, triggert die Entnahme des nächsten Patienten aus der Warteliste unter Berücksichtigung der angegebenen Merkmale.

2.2.7 DATENERHEBUNG

Zur Formulierung von Einbestellstrategien, vielmehr jedoch zum Vergleich der Strategien, respektive zur simulationsgestützten Überprüfung der Hypothesen, die mithilfe der Algorithmen bestätigt werden sollen, muss eine Datenerhebung, insbesondere zu den konstatierten Merkmalen durchgeführt werden. Maßgeblich ist hier die Registrierung von Zeiträumen, wie Aufenthaltszeiten, Arbeits- und Bedienzeiten, sowie die Erhebung von Anzahlen im Verhältnis zum Zeitraum (z.B. Operationen pro Jahr), wie der Menge an Elementen einer Klasse oder der Anzahl von Ereignissen und Aktivitäten.

Die erforderlichen Daten liegen in digitaler Form in zwei Datenbanksystemen vor, die über eine gemeinsame Schnittstelle verfügen, über die Datensätze zusammengeführt werden können.

Zum einen ist dies eine Datenbank zur Dokumentation der Start- und Endwerte von Vor- und Nachbereitungs-, Eingriffs- und Anästhesiezeiten, sowie Therapien und Diagnosen nach Schlüsselkatalogen (OPS-301 und ICD) und der Freitextformulierung der Operationsberichte (ISOP[®]-OP, Meierhofer AG). Die Dokumentation wird von ärztlichem und pflegerischem Personal unmittelbar während und nach der Operation durchgeführt.

Zeitpunkte zum stationären Aufenthalt und Angaben über die Inanspruchnahme von Wahlleistungen und der Eigenblutspende müssen der zweiten Datenbank, dem Klinikinformationssystem (ORBIS[®], GWI AG), entnommen werden.

Die retrospektive Erfassung der digital vorliegenden Daten mittels der Abfragesprache SQL bietet sich an, zumal eine sehr umfangreiche Datenmenge eines großen Zeitraumes von einem Jahr erhoben werden muss, um sichere Aussagen treffen zu können, was gegen eine prospektive Datenerhebung spricht, die einen ungleich größeren Zeit- und Arbeitsaufwand darstellen würde.

2.3 DEFINITION DER ALGORITHMEN

2.3.1 BISHERIGER ALGORITHMUS

Der bislang gängige Algorithmus (Abb. 2.3) beachtet für die Einbestellung zur Operation die Merkmale Wahlleistung und Eigenblutspende hinsichtlich ihrer Inanspruchnahme durch den einzelnen Patienten in subsidiärer Reihenfolge und füllt auf diese Weise freiwerdende Kapazitäten der Stationen. Die Merkmale Therapie und Zeit, respektive Anzahl, finden erst in der kurzfristigen Operationsplanung für den folgenden Arbeitstag, d.h. der Festlegung von Saal, Reihenfolge und Operateur, Ausdruck, was im Einzelfall zu einer Verzögerung zwischen Aufnahmetermin und Operation führen kann.

Die Einbestellstrategie berücksichtigt die vorhandenen Randbedingungen nur zu einem Teil, was sich in einer vermehrten Wartezeit und gleichsam verlängerten stationären Verweildauer der Patienten äußert und mithin den Algorithmus als unzureichend charakterisiert.

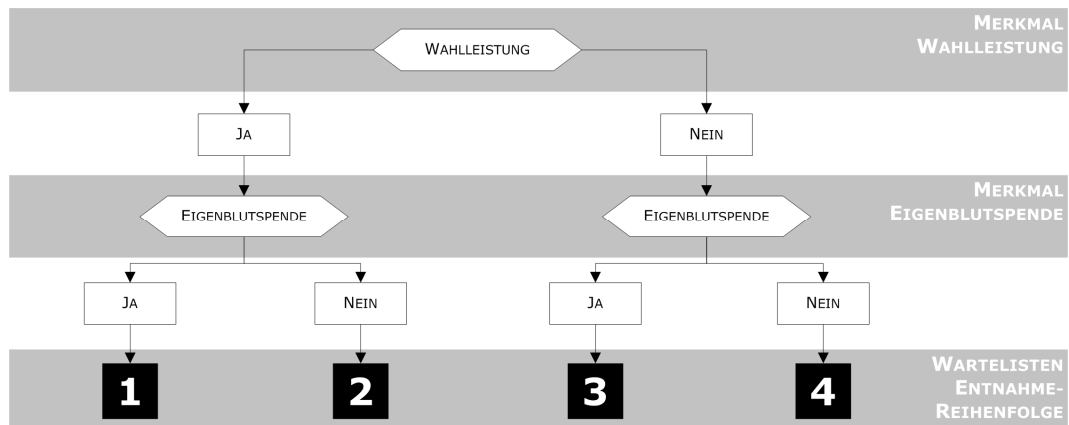


Abb. 2.3: Bislang gebräuchlicher Algorithmus

2.3.2 POTENZIELLE OPTIMIERTE ALGORITHMEN

Gemeinsamkeit der erdenklichen Formen optimierter Algorithmen muss die Beachtung ausnahmslos aller Randbedingungen, also der Merkmale Eigenblutspende, Wahlleistung, Therapie und Zeit, sein. Das Merkmal Eigenblutspende wird von allen potenziellen Arbeitsanweisungen dadurch reflektiert, dass ein Operationstermin auf die Spende abgestimmt wird und ein hinreichender Zeitraum von mindestens vier Wochen vor der Operation zur Verfügung steht.

Die Merkmale Wahlleistung und Therapie besitzen zwei, bzw. sieben Ausprägungen, die sich orthogonal zueinander verhalten und dadurch in 14 Klassen, respektive 14 Wartelisten, zum Ausdruck kommen. Der Umfang der einzelnen Klassen dient als Grundlage für die Erstellung eines Wochen- oder Monatsplanes, der als Raster zur Einordnung von Patienten fungiert und sich in regelmäßigen Zyklen wiederholt. Das Merkmal Zeit findet sich in diesem Schema als Limitierung der Zahl an Operationen pro Tag wieder. Die Eigenblutspende wird durch vorausschauende Terminplanung bedacht, mit einem Vorlauf von mindestens vier Wochen vor der Operation.

Diese Form eines Algorithmus kommt zwar der Forderung nach Berücksichtigung aller Randbedingungen nach, erweist sich jedoch schon bei flüchtiger Betrachtung als viel zu starr und unflexibel, da er niemals auf eine Veränderung der Zusammensetzung der Wartelisten, also einen Wandel innerhalb des Patientenkollektivs, reagieren kann. Es drängt sich damit die Vorstellung auf, die Merkmale mit ihren Ausprägungen und Bedingungen bei

jeder einzelnen Terminsuche auf ihre Erfüllung hin zu prüfen, wodurch die geforderte Flexibilität erreicht werden kann.

Ein solcher, verbesserter Algorithmus (Abb. 2.4) prüft für die Terminsuche jedes einzelnen Patienten zunächst das Merkmal Walleistung auf Inanspruchnahme und Ablehnung. Dies ist insofern entscheidend, da für beide Patientengruppen unterschiedliche Planungszeiträume vorgesehen sind. Das Merkmal Eigenblutspende wird in zweiter Instanz überprüft und führt im Falle der geplanten Durchführung einer Spende zu einem Vorlauf von mindestens vier Wochen vor einem Operationstermin.

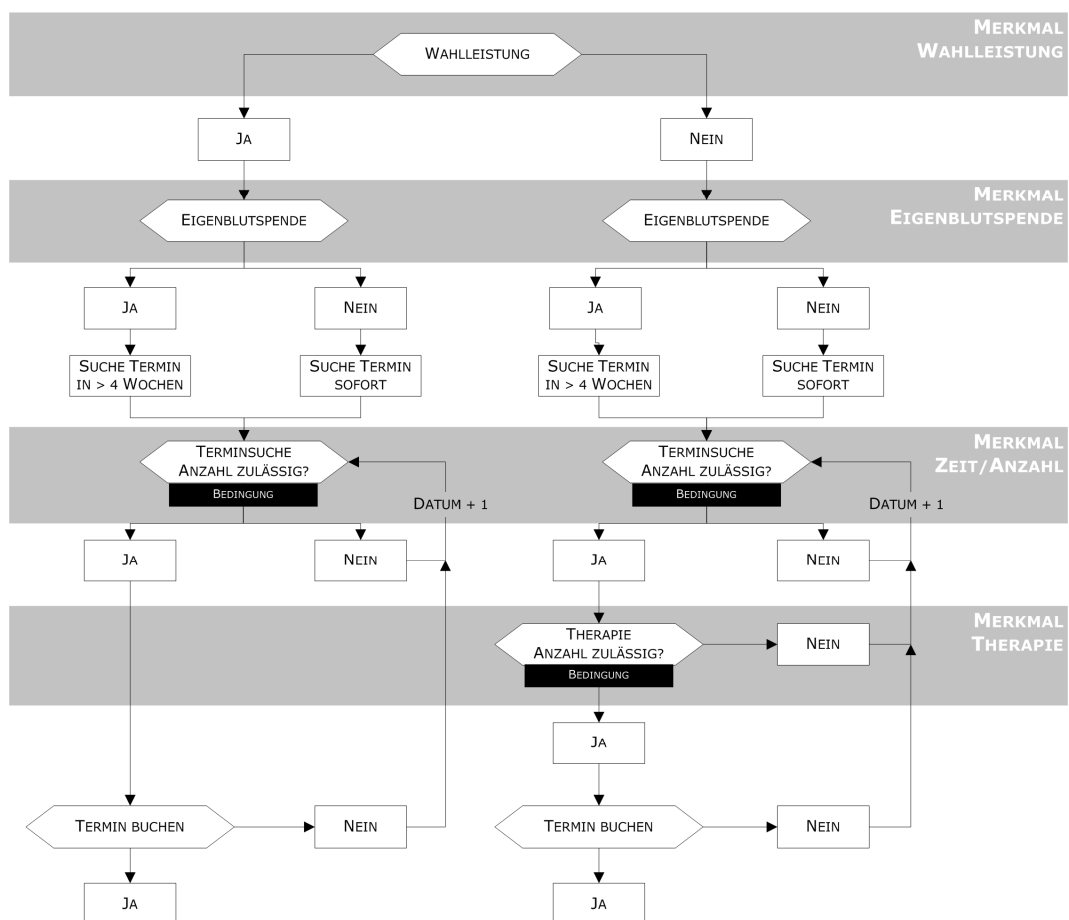


Abb. 2.4: Potenzieller optimierter Algorithmus

Da die zwei inzwischen differenzierten Patientengruppen sowohl für das Merkmal Zeit, respektive Anzahl möglicher Operationen pro Tag, als auch das Merkmal Therapie auf gleiche Ressourcen zugreifen, müssen die täglichen

Grenzwerte für die Gesamtanzahl an Operationen und die Anzahl an Eingriffen in den einzelnen Therapieklassen unter diesen beiden Kollektiven aufgeteilt werden. Zunächst werden für das Merkmal Zeit die maximale Anzahl an Operationen pro Tag auf beide Gruppen, gemäß der durch die Datenerhebung bekannten Aufspaltung, verteilt. Subsidiär erfolgt, nach Überprüfung des Merkmals Zeit, die Kontrolle des Merkmals Therapie. Dabei ist es möglich, die Grenzwerte der einzelnen Therapieklassen dergestalt unter den Kollektiven aufzuteilen, dass die Patientengruppe, die Wahlleistungen in Anspruch nimmt und über einen kürzeren Planungszeitraum verfügt, in allen oder zumindest den meisten Kombinationsmöglichkeiten an Therapieklassen nicht in Konflikt gerät mit der Gruppe, die keine Wahlleistungen beansprucht und auf einen wesentlich längeren Planungszeitraum zurückgreifen muss. Anders formuliert bedeutet dies, dass Patienten, die Wahlleistungen in Anspruch nehmen, das Merkmal Therapie nicht berücksichtigen müssen. Eine Terminvereinbarung ist unabhängig von der Art des geplanten Eingriffs.

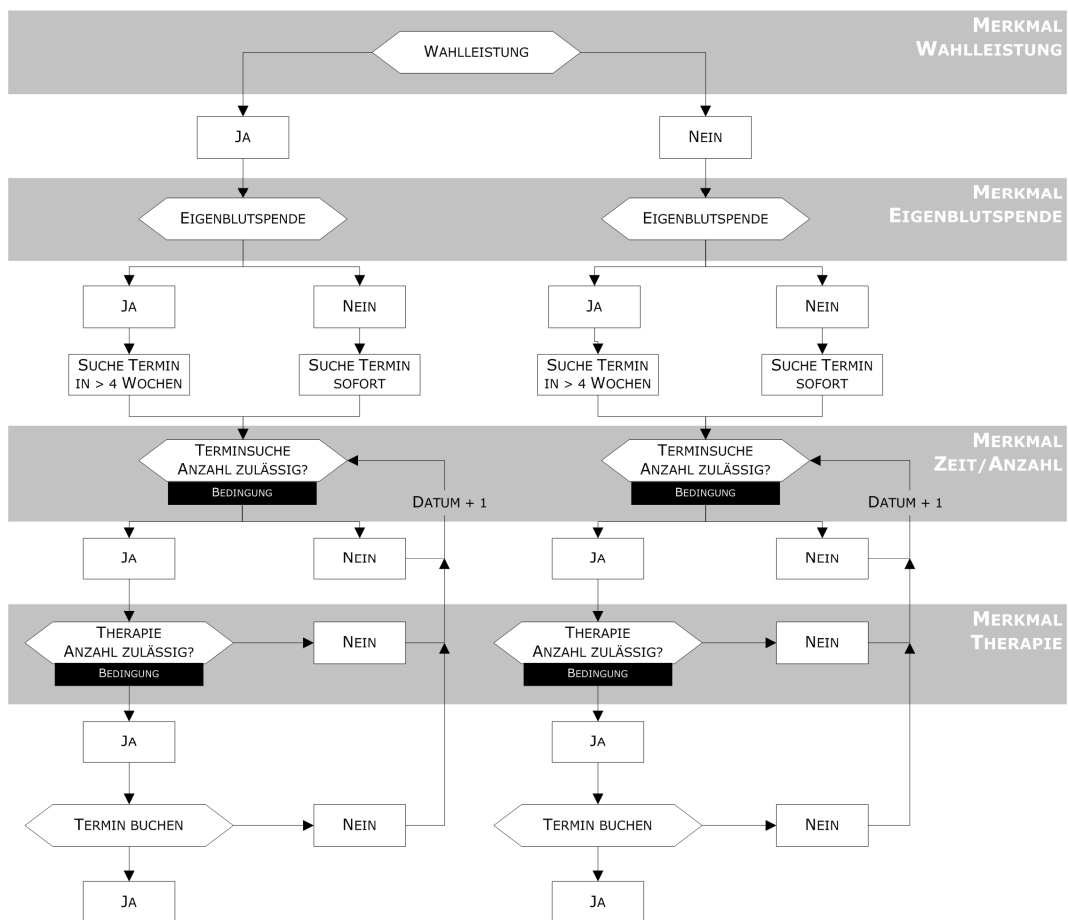


Abb. 2.5: Erweiterter potenzieller optimierter Algorithmus

Die Überprüfung mittels stochastischer Simulation soll zeigen, ob es möglich ist mit dieser einfachen Form eines Algorithmus (Abb. 2.4) die abgesteckten Ziele zu erreichen. Sollte dies nicht gelingen, so kann der vorgestellte Algorithmus derart verändert werden, dass auch Patienten, die Walleistungen beanspruchen, das Merkmal Therapie beachten und damit Konflikte bei der Durchführung der Operationen gänzlich vermieden werden (Abb. 2.5).

Wenn auch durch diese Veränderung die Ziele nicht erlangt werden können, so ist es denkbar, das Merkmal Zeit dahingehend weiter zu differenzieren, dass die erwartete durchschnittliche Operationszeit pro Therapieklasse, die sich über die Datenerhebung gewinnen lässt, in die Terminvergabe mit einfließt.

2.4 HYPOTHESEN

Die Hypothesen ergeben sich unmittelbar aus den Zielen, die dieser Arbeit zugrunde liegen und sind sogar schon in Form der Zielparameter eingangs beschrieben worden (Kapitel 1.2, Seite 1).

Erklärtes Ziel ist es, Wartezeit für Patienten zu verringern und die stationäre Verweildauer zu verkürzen. Im Einzelnen bedeutet dies, den stationären präoperativen Aufenthalt für erforderliche Diagnostik auf möglichst einen Tag zu verkürzen und damit ebenfalls die gesamte Verweildauer zu reduzieren.

Ein weiteres Ziel, besser als Bedingung bezeichnet, ist die unveränderte und uneingeschränkte Fortführung der Operationsaktivität unter der Voraussetzung einer veränderten Einbestellstrategie.

Die Hypothese, die gesetzten Ziele durch die formulierten Algorithmen zu erreichen, soll mittels stochastischer Simulation überprüft werden und in der Folge die Entscheidung zur Auswahl einer Arbeitsanweisung objektivieren.

2.5 SIMULATIONSSTUDIE

2.5.1 VORGEHENSWEISE

Es ist eine wohlüberlegte Entscheidung, eine Simulationsstudie durchzuführen. Es gilt im Vorfeld sehr sorgfältig die Nachteile zu bedenken, insbesondere den hohen Arbeitsaufwand durch die erforderliche Datenerhebung und die Programmierung, sowie die in aller Regel begrenzte Aussagekraft, da die Simulation mit einem abstrahierten Abbild der Realität arbeitet, also einem Modell, welches darüber hinaus vor dem Simulationseinsatz noch geprüft werden muss. Die Vorteile liegen jedoch in der Möglichkeit diverse Szenarien durchspielen und aufgestellte Hypothesen prüfen zu können, ohne dabei tatsächliche Interventionen durch Veränderung der Arbeitsabläufe vornehmen zu müssen. Die Simulation findet gerade auch in den Fällen Anwendung, wenn eine große Anzahl an Einflussgrößen eine Berechnung von Zielgrößen zu aufwändig erscheinen lässt. Dann gehen diese Einflussgrößen auf hohem Abstraktionsniveau in die Simulation ein und erlauben quantifizierende Aussagen innerhalb der Grenzen der Stochastik (Beckmann et al., 1992; Steinhausen, 1994; Hillier und Lieberman, 1997).

Im Allgemeinen lässt sich nach der Art des zu erwartenden, prädiktiven Ergebnisses zwischen deterministischer Simulation, deren Verhalten im Verlauf und im Ergebnis aufgrund festgeschriebener Daten und Entscheidungsregeln vollständig vorhersagbar ist, und stochastischer Simulation unterscheiden, deren Resultat dem Zufall, der Wahrscheinlichkeit im Rahmen der zugrunde liegenden Verteilungsfunktionen entspricht. Bezogen auf die temporäre Fortschreibung innerhalb der Simulation kann differenziert werden zwischen diskreter Simulation, bei der die Zustände zeitlich diskontinuierlich, sprunghaft von Ereignis zu Ereignis wechseln, kontinuierlicher Simulation, deren Charakteristikum stetige Änderungen des Zustands sind, mit der Untergruppe der dynamischen Simulation, die zusätzlich Rückkopplungseffekte aufweist und schließlich der statischen, d.h. zeitunabhängigen Simulation.

Die Simulation von Dienstleistungsprozessen stellt den Kunden, in diesem Fall den Patienten, in den Mittelpunkt der Betrachtungen. Der Kunde tritt in den Arbeitsprozess im Simulationsmodell mit dem Ziel ein, Dienstleistungen an

Bedienstationen in Anspruch zu nehmen. Die Zeiten dieser Dienstleistungen werden als Bedienzeiten bezeichnet und die Zahl und Periodizität der Kunden, die in den Prozess neu eintreten, durch die Ankunftsrate definiert (Heller et al., 1978; Beckmann et al., 1992; Steinhausen, 1994; Hillier und Lieberman, 1997; Müller, 1998). Die Ankunftsrate, die Menge an Kunden, die zur gleichen Zeit an einer Servicestation bedient werden können, und die Bedienzeiten bestimmen die resultierenden und für Untersuchungen schließlich interessanten Wartezeiten. Der Detaillierungs- und Abstraktionsgrad ist dabei dem Niveau der gewünschten Aussagen angepasst.

Ankunftsrate und Bedienzeiten werden mittels Datenerhebung als Verteilungen aus den realen Arbeitsprozessen erhoben. Dabei besteht grundsätzlich die Möglichkeit diese Daten als empirische Verteilungen oder mathematisch angepasste Verteilungsfunktionen dem Simulationsmodell zur Verfügung zu stellen (Bratley et al., 1987; Bateman et al., 1997). Im Rahmen dieser Vorgaben erzeugt und kombiniert die Simulation mittels berechneter Zufallszahlen Ankunftsraten und Bedienzeiten und ermöglicht eine Aussage über Wartezeiten unter dem Reglement der Stochastik (Bratley et al., 1987; Law und Kelton, 1991; Bateman et al., 1997; Hillier und Lieberman, 1997; Müller, 1998).

In dieser Arbeit findet die diskrete, ereignisorientierte stochastische Simulation Verwendung (Law und Kelton, 1991; Steinhausen, 1994; Bateman et al., 1997; Hillier und Lieberman, 1997), programmiert mit handelsüblicher Software in einer Programmiersprache der dritten Generation (high level language) und der vierten Ebene (anwendungsspezifische Simulationssoftware)(Müller, 1998). Es handelt sich um eine nicht terminierte Simulation, die zur Generierung von Zufallszahlen auf das Verfahren des PMMLCG (Multiplikatives Kongruenzverfahren) zurückgreift (Bateman et al., 1997). Die Startwerte (Seeds) zur Berechnung einer Zufallszahlenfolge werden einer Tafel mit echten Zufallszahlen entnommen (Anhang E, S. 69 nach Müller, 1998). Einen guten Überblick über die Thematik bieten die Werke von A. M. Law und W. D. Kelton, sowie D. Steinhausen (Law und Kelton, 1991; Steinhausen, 1994).

Die Prämisse eine möglichst hoch entwickelte und anwendungsspezifische, d.h. medizinisch orientierte Programmiersprache zur Simulation zu

verwenden, lässt die Entscheidung auf das Produkt MedModel® der Firma ProModel Corp. fallen. Ergänzend sei jedoch erwähnt, dass jede andere Simulationssoftware, wie auch elementare Programmiersprache die Aufgabe dieser Arbeit ebenso hätte erfüllen können, jedoch mit beträchtlich höherem Aufwand.

In Abb. 2.6 ist eine schematische Übersicht zum allgemeinen Ablauf einer Simulationsstudie vorgestellt.

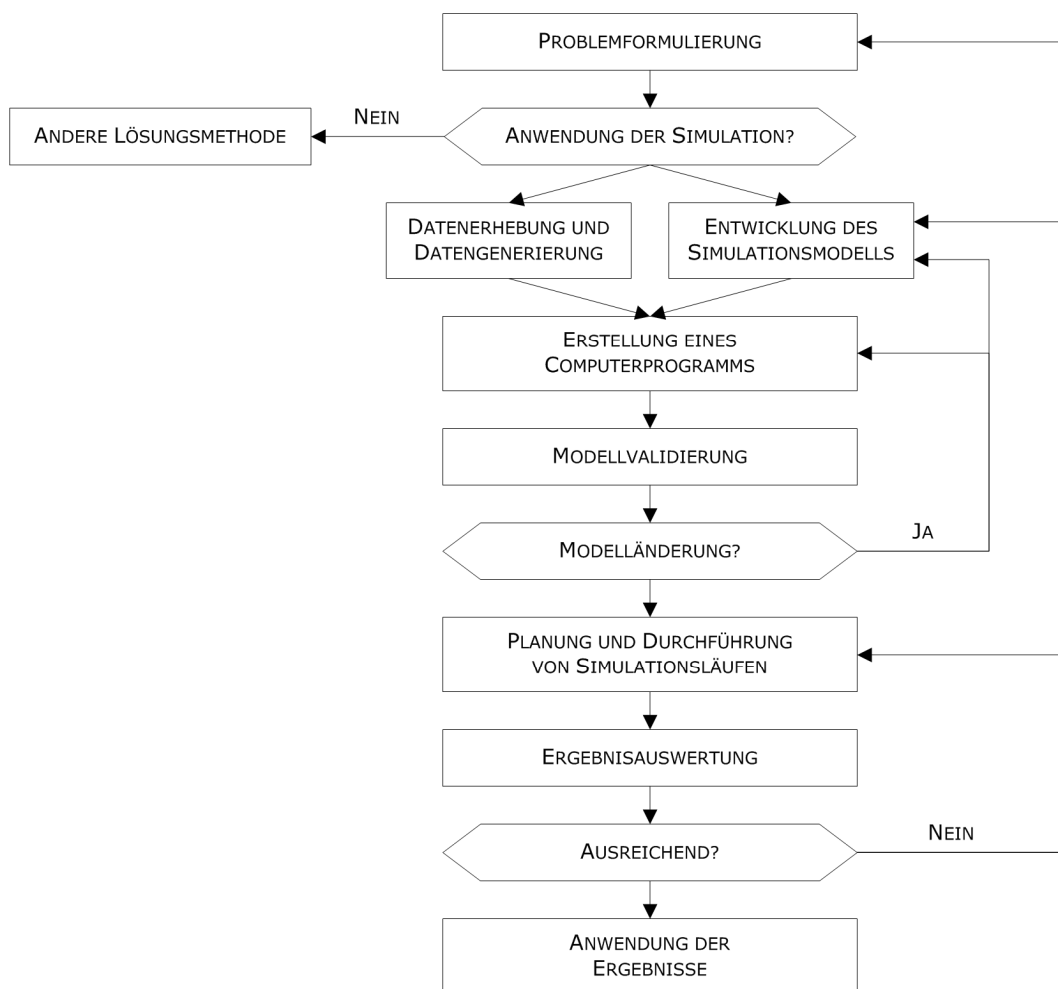


Abb. 2.6: Flussdiagramm zur Simulationsplanung (Beckmann et al., 1992; Bateman et al., 1997; Müller, 1998)

Am Beginn steht die Formulierung des Problems nebst der zugehörigen Fragestellung, die in der Folge die Entscheidung verlangt, ob der Einsatz der Simulation sinnvoll erscheint. In der vorliegenden Arbeit bedeutet dies die Auslegung der Ziele (Kapitel 1.2, S. 1), die Definition der Algorithmen, mit der

die Ziele erreicht werden sollen (Kapitel 2.3.2, S. 16) und schlussendlich das Postulat der Hypothesen (Kapitel 2.4, S. 19), die mit Hilfe der Simulation bewiesen werden sollen (Kapitel 3.2.3, S. 38).

Ein abstrahiertes Abbild der Realität, ein Modell (Kapitel 2.5.2, S. 23), das in der Detaillierung den Hypothesen Rechnung trägt, wird gemeinsam mit den erforderlichen Daten, wie Bedienzeiten, Ankunftsraten und Warteschlangengrößen (Kapitel 2.2.7, S. 14; Kapitel 2.5.2, S. 23; Kapitel 2.5.3, S. 25) in ein Computerprogramm übersetzt.

In der Validierung (Kapitel 2.5.4, S. 26; Kapitel 2.5.5, S. 26; Kapitel 3.2.1, S. 34; Kapitel 3.2.2, S. 34) wird das Modell gegen die Realität abgeglichen und überprüft, ob es sich entsprechend den Ergebnissen der Prozessanalyse verhält (Kapitel 2.2.6, S. 13; Kapitel 3.1, S. 31).

Im Stadium der Planung, Durchführung und Auswertung der Simulationsläufe wird sowohl die Laufzeit der einzelnen Simulationen (Experimente), als auch ihre Anzahl festgelegt, die durchgeführt werden muss, um unter dem Diktat der Stochastik Ergebnisse mit hinreichender Genauigkeit zur Hypothesenprüfung zu erlangen (Kapitel 2.5.6, S. 27; Kapitel 3.2, S. 34).

2.5.2 MODELLBILDUNG

Die Notwendigkeit der Modellbildung, schon im vorhergehenden Kapitel besprochen, ergibt sich aus der Abbildung der Realität in einem Computerprogramm. Dabei entspricht der Grad der Detaillierung den Erfordernissen der Zielparameter (präoperative stationäre Verweildauer, gesamte stationäre Verweildauer, Anzahl an Operationen, vgl. Kapitel 1.2, S. 1; Kapitel 2.4, S. 19) zur Prüfung der Hypothesen.

Die oben identifizierten Merkmale Wahlleistung, Eigenblutspende, Zeit/Anzahl, sowie Therapie (Kapitel 2.2.4, S. 11; Kapitel 2.2.5, S. 12) müssen mit ihren jeweiligen Ausprägungen ebenfalls in das Modell eingehen.

Gemäß der Definition von Simulation von Dienstleistungsprozessen beinhaltet das Modell eine Menge paralleler und/oder sequenzieller Bedienstationen, an denen die Kunden (Patienten) expediert werden (Beckmann et al., 1992; Steinhausen, 1994). Die Wartezeit ergibt sich dabei aus der Ankunftsrate der

Kunden, den Bedienzeiten an den Bedienstationen und der Anzahl paralleler Bedienstationen (Heller et al., 1978).

In Abb. 2.7 ist das Simulationsmodell grafisch dargestellt. Zum einen wird das Servicemodell, dem Dienstleistungscharakter entsprechend mit Warteschlange und Bedienstationen samt kennzeichnenden Kapazitäten demonstriert, zum anderen die jeweilig zugehörigen Bedienzeiten und ihre resultierenden Wartezeiten mit zulässigem Wertebereich und Einheit wiedergegeben. Bedienzeiten werden durch Datenerhebung in der Realität gewonnen und gehen als Verteilungsfunktionen (VF) in die Simulation ein. Die Wartezeiten ergeben sich, wie oben beschrieben. In geschweiften Klammern sind die Kapazität der Bedienstationen, also die Anzahl paralleler Schalter, sowie der zulässige Wertebereich der Bedien- und Wartezeiten angegeben. In eckigen Klammern werden die erforderlichen Zeiteinheiten ergänzt.

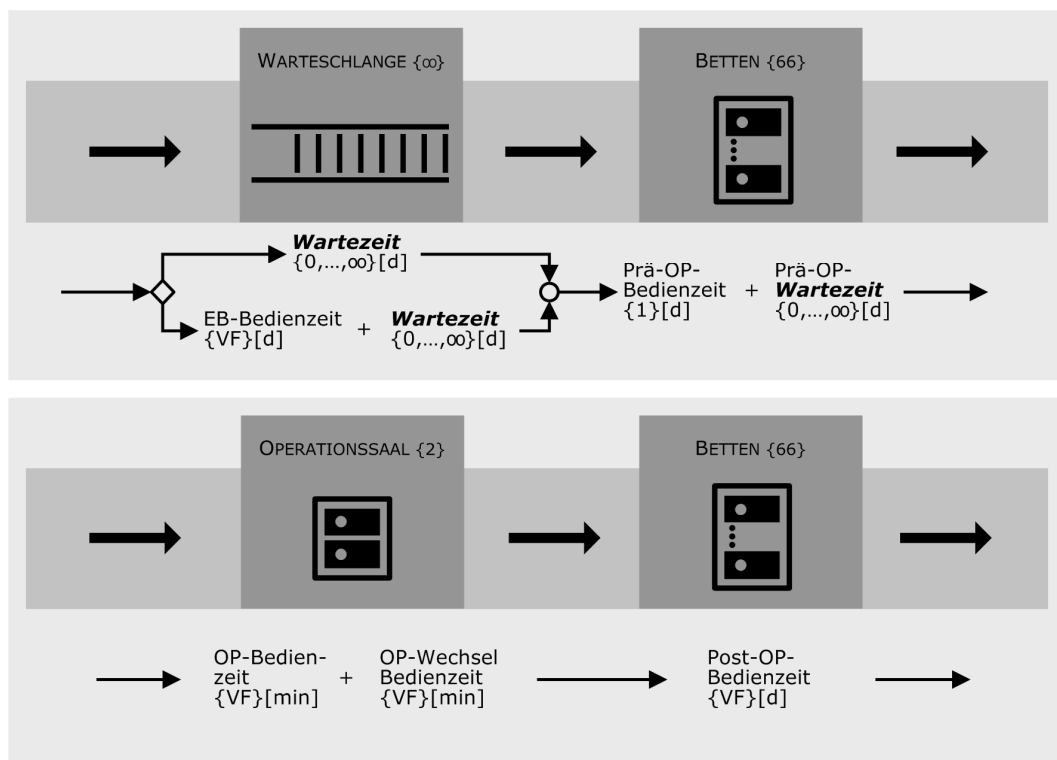


Abb. 2.7: Simulationsmodell
 {} zulässige Kapazität, bzw. zulässiger Wertebereich
 [] Zeiteinheit

Anschaulicher beschrieben, erläutert die Abb. 2.7 den Weg des Patienten (Kunden) durch das Simulationsmodell. Der Patient trifft zunächst in der

Warteschlange ein. Diese verlässt er sobald keine weiteren Patienten (Kunden) vor ihm warten und eine Bedienstation, also ein Bett frei wird. Die Anzahl von 66 Betten entspricht dabei 66 parallelen Bedienstationen, d.h. 66 Patienten (Kunden) können simultan behandelt werden. Der Operationsaal umfasst lediglich zwei parallele Bedienstationen, d.h. es können nur zwei Patienten zugleich behandelt werden. Die Patienten kehren nach erfolgter Operation wieder an die ursprüngliche Bedienstation (Bett) zurück, die unterdessen freigehalten wurde. Nach abgeschlossener stationärer Behandlung wird ein Bett frei und ein neuer Patient kann die Warteschlange verlassen.

Ergänzend sei noch erwähnt, dass aufgrund der differenzierten Merkmale (Eigenblutspende, Wahlleistung, Zeit/Anzahl und Therapie) und ihrer Ausprägungen (Kapitel 2.2.4, S. 11; Kapitel 2.2.5, S. 12) eigentlich viel mehr Wartelisten mit je eigener Entnahmestrategie bestehen. Um der Vereinfachung willen, wurde diesem Umstand in der Abbildung jedoch nicht Rechnung getragen.

2.5.3 EINGANGSVERTEILUNGEN

Unter den Eingangsverteilungen werden die Bedienzeiten und Ankunftsdaten zusammengefasst, die gemäß dem Simulationsmodell (Kapitel 2.5.2, S. 23) in der Datenerhebung (Kapitel 2.2.7, S. 14) aus der Realität erfasst wurden.

Die Bedienzeiten werden als empirische Verteilungen der Simulation zur Verfügung gestellt. Der Vorteil der empirischen Verteilung im Vergleich zur angepassten mathematischen Verteilungsfunktion liegt darin, dass auf die aufwändigen Anpassungsverfahren (Goodness-of-Fit Tests, vgl. Law und Kelton, 1991; Bateman et al., 1997) verzichtet werden kann. Die angepassten Verteilungsfunktionen bieten wiederum den Vorzug, dass Fehler und Unregelmäßigkeiten im Erhebungszeitraum korrigiert werden, die eine empirische Verteilung gewöhnlich verfälschen. Der Gewinn der Fehlerkorrektur wird jedoch häufig überschätzt und steht in keinem Verhältnis zum erforderlichen Aufwand (Bratley et al., 1987). Dennoch bevorzugt die Mehrheit der Autoren (Law und Kelton, 1991; Beckmann et al., 1992; Bateman et al., 1997; Hillier und Lieberman, 1997) weiterhin die angepassten Verteilungsfunktionen.

Die empirischen Verteilungen entstammen dem retrospektiv erhobenen Zeitraum eines Jahres und sind ausnahmslos linksschief, sowie eingipflig. Der Stichprobenumfang je Verteilung variiert zwischen 1920 und elf (Anhang B, S. 63). Die Zahl der Klassen pro Verteilung korrespondiert mit dem Stichprobenumfang und der Spannbreite der Stichprobe und wird über die Formel nach Sturges (Sachs, 1999) festgelegt.

Die Ankunftsdaten müssen für die Simulation, bedingt durch die verwendete Software, als Zwischenankunftszeiten definiert werden. Aus der Datenerhebung bekannt ist nur die Zahl an Patienten, die pro Zeiteinheit eintreffen, nicht jedoch die durchschnittliche Zeit, die zwischen zwei Ereignissen, also dem Eintreffen zweier Patienten (Zwischenankunftszeit), liegt. Jedoch ist es aber möglich die Zwischenankunftszeit aus der Zahl der Patienten pro Zeiteinheit mathematisch zu gewinnen (Beckmann et al., 1992; Steinhausen, 1994; Bateman et al., 1997). Allerdings wird hierfür die vereinfachende Annahme einer negativen Exponentialverteilung für die Zwischenankunftszeit vorausgesetzt (Heller et al., 1978). Eine Überprüfung dieses Grundsatzes auf Korrektheit ist möglich (Kapitel 2.5.5, S. 26; Kapitel 3.2.2, S. 34).

2.5.4 VERIFIKATION

Die Verifikation, als untergeordneter Bestandteil der Validierung (Kapitel 2.1, S. 5), d.h. der Prüfung des Simulationsmodells, untersucht, ob die formale Arbeitsweise des Modells auf seiner Abstraktionsebene den Vorgaben (Kapitel 2.5.2, S. 23) und den Erhebungen der Prozessanalyse (Kapitel 2.2.6, S. 13) entspricht (Bateman et al., 1997). Dies kann durch einen Abgleich mit den Hauptverantwortlichen für die Prozessanalyse, also dem ärztlichen Personal (z.B. Ltd. Oberarzt für die OP-Planung verantwortlich), dem Pflegepersonal (z.B. Ltd. OP-Schwester) und dem administrativen Personal (z.B. Sekretärin für die OP-Einbestellung verantwortlich), erfolgen.

2.5.5 VALIDIERUNG

Die Validierung geht über die Kontrolle der formalen Arbeitsweise des Simulationsmodells hinaus und ergänzt diese durch einen Abgleich der erzeugten Werte von Wartezeiten und Zielgrößen in der Simulation mit den in

der Prozessanalyse erhobenen realen Daten, dies selbstverständlich im Rahmen der Stochastik.

Die zu prüfenden, d.h. zu validierenden Größen sind gänzlich in den vorangegangenen Kapiteln vorgestellt. Dabei handelt es sich - wie eingangs bemerkt - um die im Modell dargestellten Wartezeiten (Kapitel 2.5.2, S. 23; Abb. 2.7, S. 24) und die zu Beginn der Arbeit formulierten Zielparameter (Kapitel 1.2, S. 1), die die Hypothesen (Kapitel 2.4, S. 19) bestätigen sollen.

Im einzelnen sind dies die präoperative Wartezeit in der Warteschlange, die präoperative stationäre Wartezeit, die möglichst auf einen Tag reduziert werden soll und damit gleichzeitig eine Zielgröße darstellt, die Verteilung der Operationsanzahlen über die Zeit (Monate), deren Konstanz, in der Ist-Situation und bei veränderten Algorithmen gefordert ist, sowie, in Ergänzung zur Festlegung der Ankunftsrate die Bestätigung der Annahme negativer Exponentialfunktionen als Zwischenankunftszeiten.

Sämtliche Messgrößen der Validierung sollen als Verteilungen aus der Simulation der Ist-Situation gegen die erhobenen Verteilungen (Datenerhebung, Kapitel 2.2.7, S. 14; Kapitel 3.1.2, S. 32) der Realität auf Übereinstimmung geprüft werden. Hierzu wird als Testverfahren, unter Erfüllung der Voraussetzungen (Sachs, 1999), der Chi-Quadrat-Test angewendet.

2.5.6 SIMULATIONSVORBEREITUNG

Vor Durchführung der Simulationsexperimente sind schließlich noch zwei abschließende Vorbereitungen notwendig.

Eingangs des Kapitels wurde schon darauf verwiesen, dass es sich um eine nicht terminierte Simulation handelt, d.h. sie besitzt einen definierten Startzeitpunkt, jedoch keinen definitiven Endzeitpunkt. Am nachhaltigsten veranschaulichen dies zwei Beispiele:

Das Wartezimmer einer Arztpraxis füllt sich an einem Wochentag gegen Morgen, ist gegen Abend, sicher aber spät in der Nacht wieder frei. Simultan verhält sich das Modell einer Postfiliale oder eines Supermarktes, vorausgesetzt er hat nicht Tag und Nacht geöffnet. Diese Simulationen

besitzen einen Ausgangszustand, den sie über einige Zwischenstufen wieder erreichen und besitzen damit einen Start- und einen Endzeitpunkt.

Ganz anders verhält es sich im vorliegenden Fall bei der Betrachtung eines OP-Einbestellwesens. Die Warteschlange dieses Modells leert sich niemals und das reale System befindet sich schon zum Zeitpunkt der Prozessanalyse in einem Gleichgewicht. Der Weg dahin ist heute nicht mehr nachvollziehbar. Das Simulationsmodell kann nicht in diesem Gleichgewichtszustand starten, sondern muss ihn erst aufbauen. Dies wird als Einschwingphase bezeichnet.

Die Dauer der erforderlichen Einschwingphase kann mit der Methode nach Welch (Law und Kelton, 1991; Bateman et al., 1997) mittels geeigneter Messgrößen ermittelt werden. Die Messgrößen sind zum einen die Summe der Wartezeiten aller pro Tag aus der Warteschlange abgerufenen Patienten und zum anderen die Summe der stationären präoperativen Wartezeiten aller operierten Patienten pro Tag. Das Vorgehen ist grafisch orientiert, d.h. die Messgrößen werden in einem Koordinatensystem gegen die Zeit (Tage) aufgetragen. Die Einschwingphase gilt als abgeschlossen, wenn ein möglichst gleichmäßiger Kurvenverlauf erreicht ist.

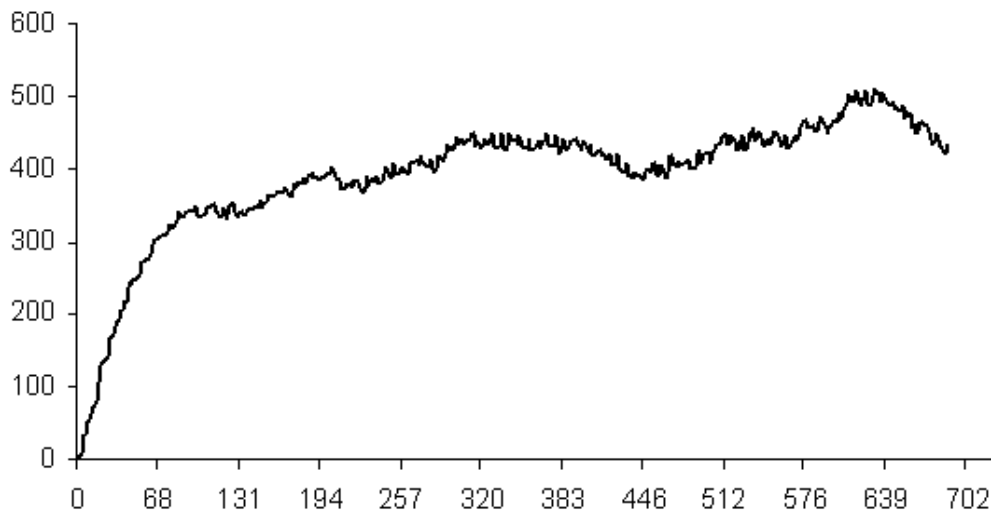


Abb. 2.8: Bestimmung der Einschwingphase, Methode nach Welch
Summe der Wartezeiten aller pro Tag aus der Warteschlange
abgerufenen Patienten

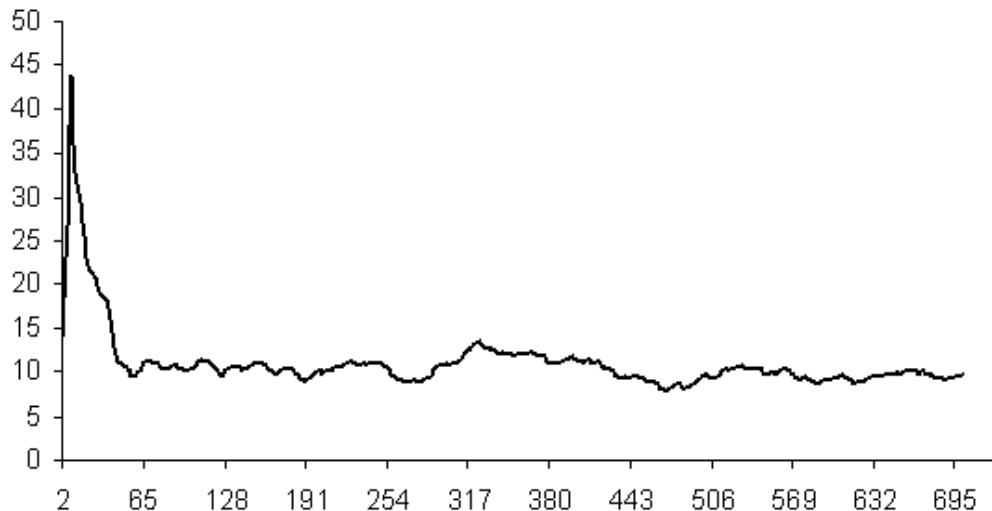


Abb. 2.9: Bestimmung der Einschwingphase, Methode nach Welch
Summe der stationären präoperativen Wartezeiten
aller operierten Patienten pro Tag

Aus Abb. 2.8 und Abb. 2.9 ist ersichtlich, dass das Simulationsmodell bereits nach etwa 90 Tagen einen Gleichgewichtszustand erreicht hat. Zur Sicherheit soll jedoch eine Auswertung der Simulationsexperimente erst nach einer Einschwingphase von 180 Tagen erfolgen. Der Auswertzeitraum umfasst ein Jahr, simultan zum Zeitraum der Datenerhebung.

Die letzte Vorkehrung vor Beginn der Simulationsexperimente betrifft die nötige Anzahl an Einzelexperimenten (Modellreplikationen), um die geforderte Genauigkeit der Zielparameter innerhalb der Grenzen der Stochastik zu erlangen.

Für die präoperative stationäre Wartezeit und die gesamte stationäre Aufenthaltsdauer soll die maximale Abweichung im Rahmen eines Konfidenzintervalles mit einem 95%-Vertrauensbereich nicht mehr als 0,1 Tage betragen. Für die Anzahl an Operation pro Jahr gilt eine maximale Abweichung von 20 Operationen als hinreichend.

Die Berechnung der erforderlichen Zahl der Modellreplikationen fordert die Annahme der t-Verteilung, was die Gültigkeit einer Normalverteilung der untersuchten Werte voraussetzt (Bateman et al., 1997). Da die Zielparameter Mittelwerte darstellen, die nach dem zentralen Grenzwertsatz, aus beliebigen

Verteilungen stammend in großer Anzahl annähernd normalverteilt sind, ist der Schluss zulässig (Sachs, 1999).

Der Berechnung entsprechend ist eine Anzahl von 18 Modellreplikationen (Einzelexperimente) ausreichend um die geforderte Genauigkeit zu erlangen.

3 ERGEBNISSE

3.1 PROZESSANALYSE

3.1.1 ARBEITSABLAUF DER IST-SITUATION

Die Arbeitsabläufe werden als Zwischenergebnis bereits eingehend in Kapitel 2.2.6 (S. 13 ff.) anhand der Abbildungen in Anhang A (S. 60 ff.) erläutert. Die Interpretation soll indes an dieser Stelle erfolgen.

Zwei wesentliche Schwachstellen fallen bei genauer Betrachtung der Arbeitsabläufe sofort ins Auge:

Zum einen werden Patienten ausschließlich nach freiwerdenden Kapazitäten (Betten) auf den Stationen und nicht nach freien Kapazitäten im Operationssaal einbestellt. Dieser Umstand ist auch schon bei der Darstellung des bisherigen Algorithmus (Abb. 2.3, S. 16) aufgefallen.

Zum zweiten ist der aktuelle OP-Plan an wichtigen Entscheidungsstellen nur als Kopie vorhanden. Das bedeutet, dass Änderungen am Master-Plan nicht automatisch, sondern nur bei entsprechender Aufmerksamkeit des Korrektors übernommen werden. Dies stellt eine nicht unerhebliche Fehlerquelle dar (Watkins, 1997).

Eine Erkenntnis aus den Beobachtungen der Arbeitsabläufe im Rahmen der Prozessanalyse findet sich nicht in den Darstellungen im Anhang A und ebenfalls nicht in den bisherigen Beschreibungen der Arbeitsabläufe. Eine nicht unerhebliche Zahl an Patienten wird entgegen den eigentlichen Arbeitsabläufen, am zentralen Sekretariat vorbei, von Ärzten direkt auf den Stationen zur Operation einbestellt. Aus diesem Grund ist die genaue Anzahl solcher Patienten auch nicht näher quantifizierbar.

Dieser Umstand führt jedoch zu zusätzlichen Unsicherheiten und Fehlerquellen im realen Arbeitsgeschehen und Problemen bei der Validierung des Simulationsmodells, wie in Kapitel 3.2.2 (S. 34 ff.) ausgeführt wird.

3.1.2 RESSOURCEN- UND DATENANALYSE

Die in der Ressourcenanalyse identifizierten vier Merkmale Wahlleistung, Eigenblutspende, Zeit und Therapie (Kapitel 2.2.4, S. 11) werden im bisherigen Algorithmus (Kapitel 2.3.1, S. 15) zum Teil unzureichend (Eigenblutspende) oder gar nicht (Zeit, Therapie) berücksichtigt. Da sie jedoch für die Entwicklung einer suffizienten Einbestellstrategie (Algorithmus) unabdingbar sind (Kapitel 2.3.2, S. 16; Kapitel 3.3, S. 40), werden im Folgenden die Ergebnisse der Ressourcen- und Datenanalyse für die vier Merkmale und ihre Ausprägungen dargelegt. Die vorliegenden Daten entstammen ausnahmslos dem Jahr 2000, in einer retrospektiven Datenerhebung (Kapitel 2.2.7, S. 14) erfasst.

Die Ausprägungshäufigkeit des Merkmals Wahlleistung, bezogen auf die Gesamtzahl an Operationen im Jahr 2000 ist aus Tabelle 3.1 ersichtlich.

Tabelle 3.1: Operationen mit/ohne Wahlleistung (2000)

	mit Wahlleistung	ohne Wahlleistung	Gesamt
absolut	289	1.441	1.730
relativ	0,167	0,833	

Eine orientierende Untersuchung der Operationszahlen der Jahre 1999 bis 2002 (Tabelle 3.2) zeigt, dass sich diese annähernd konstant verhalten.

Tabelle 3.2: Operationsanzahlen pro Jahr (1999 - 2002)

	1999	2000	2001	2002
1. Halbjahr	822	867	857	823
2. Halbjahr	878	863	842	-
Gesamt	1.700	1.730	1.699	-

Bei ca. 1.700 Operationen pro Jahr und etwa 260 Arbeitstagen im Jahr ergibt sich rein rechnerisch eine durchschnittliche Anzahl von 6,5 Operationen pro Arbeitstag und ca. 33 Operationen pro Woche.

Mit der Verteilung des Merkmals Wahlleistung und den durchschnittlichen Anzahlen an Operationen pro Arbeitstag und Woche ergibt sich für das Merkmal Zeit, unter der Voraussetzung einer verkürzten Arbeitszeit an Freitagen und Operation von Patienten mit Wahlleistung ausschließlich Dienstags, Mittwochs und Donnerstags aufgrund der Lage der Chefarztsprechstunde am Montag und am Freitag, folgende optimierte durchschnittliche Verteilung für den verbesserten Algorithmus (Tabelle 3.3).

Tabelle 3.3: Maximale Anzahl an Operationen pro Arbeitstag

	mit Wahlleistung	ohne Wahlleistung	Gesamt	
Mo	-	7	7	
Di	2	5	7	
Mi	2	5	7	
Do	2	5	7	
Fr	-	5	5	
absolut	6 312	27 1.404	33 1.716	pro Woche pro Jahr
relativ	0,181	0,819		

Dabei entsprechen sowohl die Aufteilung der Kontingente, als auch die Gesamtanzahl in etwa den tatsächlich erhobenen Werten.

Die maximal möglichen Operationszahlen pro Tag für die Ausprägungen (Klassen) des Merkmals Therapie (vgl. Tabelle 2.1, S. 13) können unter den Patientenkollektiven mit Wahlleistung und ohne Wahlleistung dergestalt aufgeteilt werden, dass es aufgrund der vorab festgelegten Aufteilung des Merkmals Zeit zu keinen Überschneidungen zwischen den beiden Patientengruppen kommen kann, damit der einfache optimierte Algorithmus, bei dem Patienten mit Wahlleistung das Merkmal Therapie nicht berücksichtigen müssen, wirksam eingesetzt werden kann. Selbstverständlich gilt diese Aufteilung der Operationszahlen unter den beiden Fraktionen nur für die Tage Dienstag, Mittwoch und Donnerstag, an denen sowohl Patienten mit Wahlleistung als auch Patienten ohne Wahlleistung operiert werden. Am Montag und Freitag gelten die ungeteilten maximalen Operationszahlen pro Tag ausschließlich für Patienten ohne Wahlleistung (Tabelle 3.4).

Tabelle 3.4: Aufteilung der maximalen Operationszahlen für das Merkmal Therapie

Klasse	Aufgeteilt		Gesamt maximale Anzahl pro Tag
	mit Wahlleistung	ohne Wahlleistung	
1 Endoprothese Hüftgelenk	2	2	4
2 Endoprothese Kniegelenk (<i>bikondylär</i>)	2	1	3
3 Endoprothese Kniegelenk (<i>gekoppelt</i>)	1	0	1
4 Endoprothese Kniegelenk (<i>med. Schlitten</i>)	1	0	1
5 Wirbelsäuleneingriffe	1	1	2
6 Korrekturosteotomien	1	1	2
7 Übrige			∞

Für das Merkmal Eigenblutspende gilt, dass ein gewisser Prozentsatz der Therapieklassen eins bis sechs die Option der Eigenblutspende in Anspruch nimmt. Die genaue Verteilung ist jedoch nur für das Simulationsmodell erforderlich, da eine Berücksichtigung der Eigenblutspende in Form der Entnahmestrategie aus den Wartelisten gemäß den vorgestellten optimierten Algorithmen erfolgt. Das bedeutet, dass eine geeignete Terminauswahl mit einer Vorlaufzeit von wenigstens vier Wochen die erfolgreiche Durchführbarkeit der Eigenblutspende sicherstellt.

3.2 SIMULATIONSSTUDIE

3.2.1 VERIFIKATION

Die Begutachtung der formalen Arbeitsweise des Simulationsmodells mit den Hauptverantwortlichen der Prozessanalyse (Kapitel 2.5.4, S. 26) ergibt keinen Unterschied zu den realen, mit der Prozessanalyse erhobenen Arbeitsabläufen. Das Modell kann erfolgreich verifiziert werden.

3.2.2 VALIDIERUNG

In Kapitel 2.5.5 (S. 26) werden vier Größen vorgestellt, die zur Validierung, d.h. zum Abgleich von Verteilungen aus der Simulation gegen die realen Verteilungen geeignet erscheinen. Dies sind im Einzelnen die präoperative Wartezeit in der Warteschlange, die präoperative stationäre Wartezeit, die Verteilung der Operationszahlen und die Bestätigung der Ankunftsdaten. Im

Folgenden werden die Validierungsergebnisse für jede einzelne Verteilung erörtert.

Zur Validierung der präoperativen Wartezeit in der Warteschlange wird die reale Verteilung in einer prospektiven Erhebung dieser Wartezeiten über vier Monate gewonnen. Diese prospektive Untersuchung erfolgt im zentralen, für die Einbestellung zuständigen Sekretariat. Dabei offenbaren sich die Wartezeiten als außerordentlich indifferent, d.h. die erhobene Verteilung zeigt sehr hohe Werte für die Streumaße (Varianz und Standardabweichung). Erst durch dieses auffällige Resultat lässt sich die bereits in Kapitel 3.1.1 (S. 31) als Ergebnis dargestellte Tatsache erkennen, dass eine nicht unerhebliche Zahl von Patienten am Sekretariat vorbei direkt von Ärzten auf Station zur Operation aufgeboten wird. Da dies mit dem in der Prozessanalyse erhobenen regelrechten Arbeitsablauf antizipiert, ist die Menge der Patienten nicht weiter quantifizierbar. Die Simulation liefert natürlich eine Verteilung, mit weit geringerer Streuung, weshalb eine Validierung in diesem Fall keinesfalls sinnvoll erscheint. Aufgrund der Tatsache, dass es sich bei der präoperativen Wartezeit in der Warteschlange jedoch nicht um einen zu optimierenden Zielparameter handelt scheint dieser Umstand tolerierbar.

Die Verteilungen der präoperativen stationären Wartezeit der Simulation und der Realität werden mittels Chi-Quadrat-Test gegenübergestellt und verglichen. Die Voraussetzung für dieses Testverfahren ist gegeben und damit die Anwendung zulässig (Sachs, 1999). Der kritische Testwert kann in der Tabelle im Anhang C (S. 67) unter Angabe des Signifikanzniveaus von 0,05 und der Freiheitsgrade (Klassenzahl des Chi-Quadrat-Tests abzüglich eins) nachgeschlagen werden. In die Verteilung der Simulation gehen fünf Einzelexperimente ein (Bratley et al., 1987), die Verteilung der Realität stammt aus der Datenerhebung (Kapitel 2.2.7, S. 14)(Tabelle 3.5).

Der nachgeschlagene kritische Testwert liegt mit 15,51 deutlich unter dem errechneten Chi-Quadrat-Wert von 249,65. Dieser statistisch signifikante Unterschied bedeutet, dass die Werte aus Simulation und Realität verschiedenen Verteilungen entstammen. Es fallen jedoch die identischen Mittelwerte ins Auge.

Tabelle 3.5: Chi-Quadrat-Test der präoperativen stationären Wartezeit
Verteilung der Simulation versus Verteilung der Realität

Tage	Simulation		Realität		angepasst	S-R	(S-R) ² /R
	absolut	relativ	absolut	relativ			
	S		R'		R		
0	0	0,00	51	0,03	53	-53	53,00
1	902	0,58	927	0,62	971	-69	4,90
2	346	0,22	236	0,16	247	99	39,68
3	153	0,10	106	0,07	111	42	15,89
4	133	0,09	65	0,04	68	65	62,13
5	25	0,01	40	0,03	42	-17	6,88
6	1	0,00	37	0,03	39	-38	39,03
7	0	0,00	22	0,01	23	-23	23,00
≥ 8	1	0,00	7	0,01	7	-6	5,14
Σ	1.561		1.491		1.561		249,65
mittlere Wartezeit	1,75		1,75				
Standardabweichung	1,06		1,46				

Bei Betrachtung der Rohdaten aus der Erhebung der Realität fallen extreme Ausreißerwerte sowohl nach oben, als auch nach unten, sogar in den negativen Wertebereich auf. Per Definition sind negative Werte für Wartezeiten jedoch ausgeschlossen, was Anlass zu intensiver Ursachenforschung bietet. Die erhobenen Daten entstammen - wie schon in Kapitel 2.2.7 (S. 14) ausgeführt - zwei getrennten Datenbanken der beiden Dokumentationssysteme. Während die operationsbezogenen Daten im OP-Dokumentationssystem zeitnah aufgezeichnet werden, werden Aufnahme- und Entlassdaten der Patienten ausschließlich im Klinikinformationssystem, teilweise deutlich zeitferner von einer anderen Personengruppe erfasst.

Hinsichtlich der unterschiedlichen Erfassungszeitpunkte der Daten und der verschiedenen erfassenden Personengruppen erscheint der Mensch als Ursache der offensichtlichen Fehlerhaftigkeit der Daten am glaubhaftesten.

Trotz größter Sorgfalt bei der Datenerhebung mittels der Abfragesprache SQL ist es nicht möglich den Fehler weiter zu reduzieren. Eine prospektive Erhebung der präoperativen stationären Wartezeiten scheidet aufgrund des immensen Zeit- und Arbeitsaufwandes aus.

In Anbetracht der gefunden Fehlerquelle und ihrer Ursache erscheint, insbesondere angesichts der identischen Mittelwerte eine hypothetische

Annahme der Validierung für die präoperative stationäre Wartezeit durchaus als praktikabel und zulässig.

Die Verteilung der Operationen über die Monate, deren Konstanz gefordert ist (Kapitel 1.2, S. 1; Kapitel 2.4, S. 19), wird wiederum mittels Chi-Quadrat-Test geprüft, indem die Daten der Simulation, als Mittelwerte aus fünf Einzelexperimenten (Bratley et al., 1987), den realen Daten aus der Erhebung (Kapitel 2.2.7, S. 14) gegenübergestellt werden (Tabelle 3.6)

Tabelle 3.6: Chi-Quadrat-Test der Anzahl an Operationen pro Monat
Verteilung der Simulation versus Verteilung der Realität

Monat	Simulation		Realität			S-R	(S-R) ² /R
	absolut	relativ	absolut	relativ	angepasst		
	S		R'		R		
Januar	137	0,08	146	0,08	145	-8	0,44
Februar	155	0,09	153	0,09	153	2	0,03
März	143	0,08	152	0,09	151	-8	0,42
April	132	0,08	130	0,08	130	2	0,03
Mai	152	0,09	153	0,09	153	-1	0,01
Juni	134	0,08	135	0,08	135	-1	0,01
Juli	152	0,09	142	0,08	142	10	0,70
August	147	0,08	154	0,09	154	-7	0,32
September	142	0,08	146	0,08	146	-4	0,11
Oktober	147	0,08	142	0,08	142	5	0,18
November	155	0,09	163	0,09	163	-8	0,39
Dezember	132	0,08	114	0,07	114	18	2,84
Σ	1.728		1.730		1.728		5,48

Der errechnete Testwert liegt mit 5,48 unter dem kritischen Wert von 19,68 bei einem Signifikanzniveau von 0,05 und elf Freiheitsgraden (Anhang C, S. 67). Es kann damit kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen beiden Verteilungen konstatiert werden, was der Forderung entspricht, womit die vorliegende Messgröße als validiert betrachtet werden kann.

Als letzte Größe zur Validierung steht noch die Prüfung der Ankunftsrate an, also die Bestätigung der Annahme einer negativen Exponentialfunktion (Kapitel 2.5.3, S. 25; Heller et al., 1978). Auch in diesem Fall soll wieder die Verteilung der Simulation, als Mittel aus fünf Einzelexperimenten (Bratley et al., 1987), gegen die Verteilung der Realität mittels Chi-Quadrat-Test verglichen werden. In der Programmbeschaffenheit der Simulation liegt begründet, dass die vier Merkmale mit ihren jeweiligen Ausprägungen, also 28 Klassen (Kapitel 2.2.5, S. 12) teilweise zusammengefasst werden können zu zehn so genannten Entitäten (Tabelle 3.7).

Tabelle 3.7: Chi-Quadrat-Test der Ankunftsraten
Verteilung der Simulation versus Verteilung der Realität

Ankunftsrate	Simulation		Realität			S-R	(S-R) ² /R
	absolut	relativ	absolut	relativ	angepasst		
	S		R'		R		
Entität 1	330	0,19	336	0,19	335	-5	0,08
Entität 2	196	0,12	194	0,11	193	3	0,05
Entität 3	13	0,01	11	0,01	11	2	0,36
Entität 4	25	0,01	26	0,01	26	-1	0,04
Entität 5	103	0,05	110	0,06	110	-7	0,45
Entität 6	56	0,03	55	0,03	55	1	0,02
Entität 7	540	0,32	554	0,32	552	-12	0,26
Entität 8	299	0,18	287	0,17	286	13	0,59
Entität 9	116	0,07	114	0,07	114	2	0,04
Entität 10	46	0,02	43	0,03	43	3	0,21
Σ	1.725		1.730		1.725		2,10

Der ermittelte Testwert liegt mit 2,10 ebenfalls unter dem kritischen Wert von 16,92 zum Signifikanzniveau von 0,05 (Anhang C, S. 67). Es bedeutet, dass die Verteilungen keine statistisch signifikante Abweichung aufweisen und die Annahme der negativen Exponentialfunktion als Zwischenankunftszeit zulässig ist.

3.2.3 BESTÄTIGUNG DER HYPOTHESEN

Zur Erinnerung: Die eingangs aufgestellte Hypothese, durch einen verbesserten Einbestellalgorithmus die Wartezeit der Patienten zu verringern und die stationäre Verweildauer zu verkürzen unter der Prämisse einer unveränderten und uneingeschränkten Fortführung der Operationsaktivität (Kapitel 2.5.6, S. 27), gilt es mit Hilfe der stochastischen Simulation zu prüfen.

Drei Parameter - die präoperative Wartezeit, die gesamte stationäre Verweildauer, sowie die Anzahl an Operationen pro Jahr - sollen als Effekt der verschiedenen Einbestellstrategien mit Hilfe des T-Tests gegeneinander verglichen und beurteilt werden. Die Voraussetzung der Annahme einer Normalverteilung für die Zulässigkeit eines T-Tests mit Stichproben identischen Umfangs und unbekanntem Varianzen (Sachs, 1999) wird erfüllt (Kapitel 2.5.6, S. 27).

Zunächst werden der potenzielle optimierte Algorithmus (Kapitel 2.3.2, S. 16; Kapitel 3.3, S. 40), bei dem Patienten die Warteleistungen in Anspruch nehmen

das Merkmal Therapie nicht berücksichtigen müssen, der Ausgangssituation (Kapitel 2.3.1, S. 15) gegenübergestellt. In einem zweiten Schritt soll geprüft werden, ob die erweiterte Form des optimierten Algorithmus, bei dem alle Patienten das Merkmal Therapie berücksichtigen müssen (Kapitel 2.3.2, S. 16 und Kapitel 3.3, S. 40), einen zusätzlichen Vorteil erzielen kann.

Zu einem Signifikanzniveau von 0,05 unter Berechnung der Freiheitsgrade nach Hsu (Sachs, 1999) ergibt sich im Vergleich der Simulationsergebnisse zwischen dem einfachen optimierten Algorithmus und der Ausgangssituation ein signifikanter Unterschied sowohl hinsichtlich der präoperativen Wartezeit, als auch der stationären Verweildauer. Der erweiterte optimierte Algorithmus erzielt im Vergleich zum einfachen Algorithmus noch einen signifikanten Unterschied in der präoperativen Wartezeit, der sich jedoch im Vergleich der gesamten stationären Verweildauer nicht mehr findet. Die Operationsaktivität weist - der Annahme entsprechend - bei beiden optimierten Algorithmen keinen signifikanten Unterschied zur Ausgangssituation auf.

Tabelle 3.8: 95%-Konfidenzintervalle der Simulationsergebnisse zur Bestätigung der Hypothesen

	präoperative Wartezeit	stationäre Verweildauer	Operationsanzahl pro Jahr
Ausgangsalgorithmus	$1,68 < \mu < 1,76$	$12,34 < \mu < 12,50$	$1708 < \mu < 1728$
einfacher optimierter Algorithmus	$1,11 < \mu < 1,15$	$11,63 < \mu < 11,83$	$1715 < \mu < 1721$

In der Betrachtung der 95%-Konfidenzintervalle (Tabelle 3.8) ist zunächst eine deutliche Reduktion von präoperativer Wartezeit unter Anwendung des einfachen optimierten Algorithmus zu verzeichnen. Bemerkenswert ist darüber hinaus die Reduktion der stationären Verweildauer im Schnitt um ca. einen Tag, wohingegen die Operationsaktivität mit den gegebenen Ressourcen uneingeschränkt fortgeführt werden kann.

Der durch den einfachen optimierten Algorithmus erreichte Wert für die präoperative Wartezeit zwischen 1,11 und 1,15 Tagen (mit 95% Sicherheit), der dem Ziel von einem Tag sehr nahe kommt, wohl wissend, dass dieses Ziel aufgrund selten sehr langer und nicht vorhersagbarer Operationszeiten, unerwarteter Zwischenfälle oder Zweitoperationen während eines stationären Aufenthaltes nicht erreicht werden kann, führt gemeinsam mit dem Umstand, dass ein signifikanter Unterschied zwischen einfachem und erweitertem

optimierten Algorithmus lediglich hinsichtlich der präoperativen Wartezeit besteht und der einfache Algorithmus eine anspruchslosere Handhabung verspricht, dazu, die Ergebnisse des erweiterten optimierten Algorithmus nicht weiter auszuführen.

Tabelle 3.9: 95%-Konfidenzintervalle der Simulationsergebnisse - prästationäre Wartezeit von Patienten mit Wahlleistung

	Wartezeit zwischen Indikation und stationärer Aufnahme
Ausgangsalgorithmus	$1,22 < \mu < 1,32$
einfacher optimierter Algorithmus	$2,29 < \mu < 2,61$

Da Patienten mit Wahlleistung im Gegensatz zum Ausgangsalgorithmus das Merkmal Therapie zusätzlich bei der Operationsplanung zu beachten haben, darf ein Ausblick auf die prästationäre Wartezeit, also die Zeit, die zwischen Indikationsstellung zur Operation und stationärer Aufnahme liegt, nicht entfallen. Mit dem ursprünglichen Algorithmus ist es theoretisch möglich Patienten nach einer Vorlaufzeit von weniger als zwei Tagen zur Operation anzubieten. Durch den optimierten Algorithmus verlängert sich diese Zeit erwartungsgemäß, liegt jedoch mit weniger als drei Tagen im Durchschnitt weiterhin in einem geeigneten Rahmen (Tabelle 3.9).

3.3 ALGORITHMUS

Im Anschluss an die Darlegung der Resultate und Effekte der verschiedenen Algorithmen, muss natürlich eine praxisorientierte Erläuterung der bereits weiter vorne beschriebenen (Kapitel 2.3.2, S. 16) und nun geprüften und quantifizierten optimierten Arbeitsabläufe erfolgen.

Ist die Indikation zur elektiven Operation für einen Patienten gefallen und ein entsprechender Termin soll aufgeboten werden, so wird zunächst das Merkmal Wahlleistung geprüft. Dies führt im Algorithmus zu einer Verzweigung der Planungswege. An einem weiteren Entscheidungspunkt wird für beide Planungswege das Merkmal Eigenblutspende abgefragt, was im Falle einer durchzuführenden Eigenblutspende zu einer entsprechenden Vorlaufzeit von vier Wochen zum Operationstermin führt. Die Konsequenzen aus dem Merkmal Eigenblutspende sind für Patienten mit oder ohne Wahlleistung identisch.

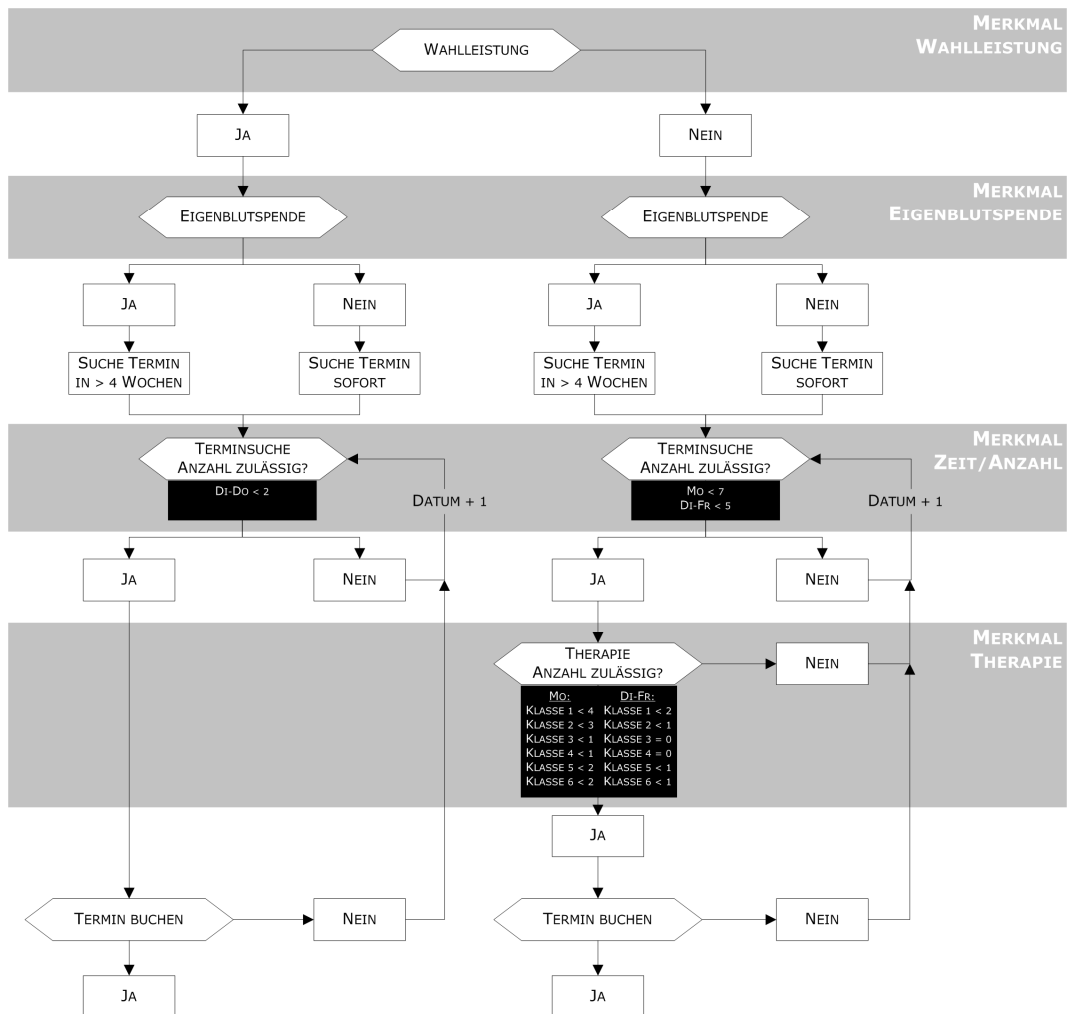


Abb. 3.1: optimierter Algorithmus

Erst bei der eigentlichen Terminsuche, in der dritten Entscheidungsinstanz, dem Merkmal Zeit/Anzahl, kommen Unterschiede zwischen den Patientengruppen zum Tragen, wenn mögliche Termine Wochentageweise zu den angegebenen Konditionen geprüft werden (Abb. 3.1).

Die subsidiäre Kontrolle des Merkmals Therapie stellt sicher, dass die geplante Therapie am gefundenen freien Termin ohne Kollision mit den angegebenen Häufigkeiten pro Merkmalsausprägung und Wochentag durchgeführt werden kann. Die Beachtung des Merkmals Therapie ist nur für Patienten notwendig, die keine Wahlleistung beanspruchen.

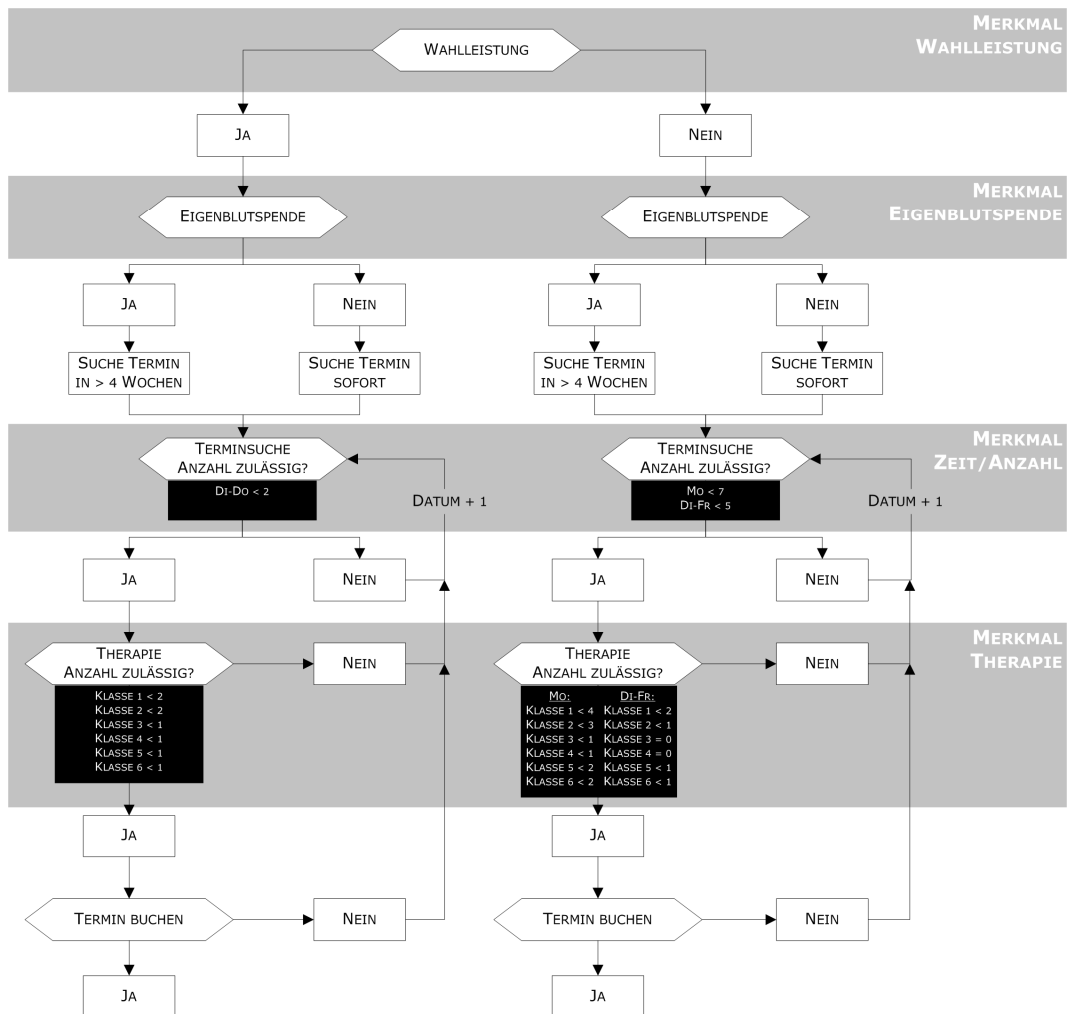


Abb. 3.2: erweiterter optimierter Algorithmus

Um der Vollständigkeit willen, darf der erweiterte optimierte Algorithmus nicht unerwähnt bleiben. Er unterscheidet sich von der vereinfachten Form dadurch, dass das Merkmal Therapie in seinen Ausprägungen durch alle Patienten berücksichtigt werden muss (Abb. 3.2).

Da es aufgrund der Bedingungen bei der Terminsuche, also dem Merkmal Zeit/Anzahl, als auch den Konditionen des Merkmals Therapie zu keinen Überschneidungen oder Kollisionen zwischen beiden Patientenkollektiven kommen kann und die Ergebnisse der Simulation dies bestätigen (Kapitel 3.2.3, S. 38), kann der vereinfachte optimierte Algorithmus (Abb. 3.1) sehr gut als Lösungsvorschlag zur elektiven OP-Einbestellung der Klinik für Orthopädie und Rheumatologie in Marburg gelten.

4 DISKUSSION

4.1 EINFÜHRUNG

Das Streben des Menschen nach Fortschritt, Entwicklung, Maximierung von Erfolg und Gewinn, kurz der Wunsch nach Optimierung der bestehenden Verhältnisse, lässt sich über weite Teile der Geschichte verfolgen, abgesehen freilich von isolierten Populationen und immer wieder auftretenden Rückschlägen und Misserfolgen. Die Entwicklung im Allgemeinen wird von zwei Motoren, dem materiellen, technischen Fortschritt einerseits und dem Zuwachs an Erkenntnis, Wissen und Information andererseits, in wechselnder Stärke getrieben. Immer wieder ist zu erkennen, dass zu Zeiten knapper werdender Ressourcen der technische Fortschritt allein keine Lösung zu bieten vermag, weshalb der Zuwachs an Wissen und Information gefragter ist denn je.

Die gegenwärtige Situation um den Wechsel des 20. zum 21. Jahrhundert, die gerne als Informationszeitalter bezeichnet wird, mithin aber durchaus als Informationsrevolution aufgefasst werden darf, prägt die Ausgangslage der vorliegenden Arbeit. Der emanzipierte und informierte Patient forciert heute zu Recht die Optimierungsbestrebungen im Gesundheitssystem sowohl betriebswirtschaftlich finanziell, in Form von Managementstrategien (Greulich et al., 1997; Eichhorn und Schmidt-Rettig, 1999; Conrad, 2001; Greulich et al., 2002), als auch medizinisch qualitativ, wie die zahlreichen Bemühungen um standardisierte Behandlungspfade (Greiling und Hofstetter, 2002) als auch der Aufbau eines umfassenden Qualitätsmanagements beweisen.

Die in der Arbeit vorgestellten und angewandten Methoden, sowie Techniken haben weitestgehend ihren Ursprung etwa in der Mitte des 20. Jahrhunderts, sofern eine intensive und sinnvolle Anwendung als Beginn vorausgesetzt wird. Dabei blicken sie häufig auf einen nicht friedlichen, militärischen Anfang zurück, wenn sich vermindernde Ressourcen, fehlende technische Neuerungen und äußere Bedrohungen während kriegerischer Auseinandersetzungen als

Initiator eines Informationsfortschritts offenbaren. Zwar gilt als erste belegte Anwendung der Monte-Carlo-Methode das Nadelexperiment aus dem 18. Jahrhundert (Hengartner, 1978), jedoch wird gemeinhin das Jahr 1949 als Geburtsstunde angesehen, nachdem die Methode sich zuvor bei der Entwicklung der Atombombe mit zweifelhafter Ehre beweisen musste (Hengartner, 1978; Müller, 1998). Der Begriff des Operations Research, dem die Prozessanalyse und die Simulationstechnik zugerechnet werden, deren integrativer Bestandteil die Monte-Carlo-Methode ist (Hillier und Lieberman, 1997), entspringt ebenso unmittelbar der Sprache und der Verwendung des Militärs, wie die Problemlösungsstrategie des Think Tank, die heute Verwendung auch im Consulting findet (Scheer und Köppen, 2000).

Häufig ist zu beobachten, dass betriebswirtschaftliche Methoden, Techniken oder Strategien, die in der Industrie längst erfolgreich eingesetzt werden, erst mit einiger Verzögerung auch im Gesundheitswesen Einzug halten (Benneyan, 1997). Der Handlungszwang solche betriebswirtschaftlichen Optimierungsmaßnahmen aufzugreifen ergibt sich gegenwärtig aus verknappenden Ressourcen, politischen Eingriffen zur Steuerung des Gesundheitssystems und nicht zuletzt auch durch den emanzipierten Patienten.

Optimierungsbemühungen im Bereich des Operationssaales lassen sich bereits seit einigen Jahren beobachten und greifen in der Regel zwei unterschiedliche Ansatzpunkte auf.

Viele Vorschläge greifen den Operationsprozess vom Innern auf und zielen auf eine Verbesserung im Ablauf der Operationstätigkeit. Gemeint ist hiermit die optimierte Nutzung der Ressourcen, Material und Personal (Watkins, 1997; Alon und Schüpfer, 1999; Dexter und Traub, 2000), sowie die Optimierung der Zeiten, Wechselzeiten (Turn Over) und Operationszeiten (Shukla et al., 1990; Wright et al., 1996; Dexter, Macario, Quian et al., 1999; Dexter, Macario, Traub et al., 1999; Patterson, 1999; Mathias, 2000), die gemeinsam eine Verbesserung der Auslastung und Minimierung der Kosten erreichen sollen.

Der zweite Ansatzpunkt ist einem Angriff von Außen vergleichbar. Er zielt auf das Operationsmanagement, die eigentliche Operationsplanung und greift

damit zeitlich weit vor der Operation in den Planungsprozess ein und rückt den Patienten mehr in den Mittelpunkt der Optimierungsbemühungen (Busse, 1998).

Dieser Ansatz erscheint deutlich schwieriger, wird insgesamt dennoch nicht seltener aufgegriffen, bleibt dafür jedoch mit meist oberflächlichen und wenig konkreten Lösungsvorschlägen spürbar hinter den Erwartungen zurück. In solchen Fällen werden gerne Softwarelösungen offeriert und leider allzu oft auch implementiert, die die hochgesteckten Erwartungen kaum zu erfüllen vermögen, da sie allesamt keine Logik, keinen Algorithmus, bestenfalls eine verbesserte Kalenderfunktionalität bieten können.

Selbstverständlich finden sich in der Literatur nicht nur isolierte Betrachtungen von Seiten eines Ansatzpunktes wie zuvor erläutert, sondern auch Bestrebungen mit holistischerem Ansatz, die aber häufig ebenfalls wenig konkret werden (Busse, 1998). Zugleich belegen die Vielzahl an Fortbildungen, Seminaren und Kongressen eindrücklich diese Unvollkommenheit und dokumentieren darüber hinaus die enorme Nachfrage und den großen Bedarf nach guten Lösungen.

Der in der vorliegenden Arbeit verfolgte Ansatz zielt von Beginn an darauf ab, das Operationsmanagement, die eigentliche Operationsplanung zu optimieren, während die Abläufe im Operationssaal unangetastet bleiben sollen. Dennoch muss diese Vorgehensweise als einzig richtig und in ihrem Ergebnis als einzigartig und neuartig angesehen werden, da sie eine Optimierung der Planungsphase, also weit vor der eigentlichen Operation anstrebt und Veränderungen in der Operationstätigkeit, also Optimierung von Materialwirtschaft, Personalplanung und Zeiten meist deutlich einfacher zu bewältigen sind und daher eher subsidiär verfolgt werden sollten.

4.2 PROZESSANALYSE

Die Bedeutung der Prozessanalyse als unbedingte und unerlässliche Voraussetzung für die Planung und erfolgreiche Durchführung einer Simulationsstudie ist unbestreitbar, wengleich die Literatur (Beckmann et al., 1992; Hillier un Lieberman, 1997; Müller, 1998) diesen Einfluss oft in nicht ausreichendem Maße hervorhebt. Vielleicht gerade deshalb, weil es sich

bei der Prozessanalyse allein oft genug schon um eine eigenständige Optimierungsmaßnahme handelt (Scheer und Köppen, 2000), wobei die gewonnenen Erkenntnisse über die Arbeitsabläufe als Entscheidungsgrundlage zur sofortigen Umstrukturierung (Reengineering) oder zur weiteren Überprüfung, beispielsweise mittels stochastischer Simulation, genutzt werden können.

Die in der Arbeit verwandte und weiter vorne vorgestellte (Kapitel 2.2.3, S. 9) aktivitätenorientierte Prozessdokumentation (MaPDok), die als Erweiterung der Unified Modelling Language (UML) aufgefasst werden kann, erscheint im vorliegenden Fall gewiss als die beste Darstellungsform, kommt jedoch auch für weitere Zielsetzungen als geeignete Dokumentation der spezifischen Arbeitsabläufe im Gesundheitswesen in Frage (Kuhn et al., 2003).

Die im vorliegenden Fall gewonnenen Erkenntnisse über eine nicht bedarfsadaptierte Einbestellung von Patienten zur elektiven Operation münden in die Definition eines Algorithmus, der die, aus Sicht des Patienten, inneren und äußeren Bedingungen aufgreift, also die entsprechenden Merkmale Wahlleistung, Eigenblutspende, Anzahl/Zeit und Therapie mit den zugehörigen Ausprägungen berücksichtigt und schließlich mittels stochastischer Simulation in zwei Varianten mit divergierender Komplexität qualitativ und quantitativ beurteilt.

Anlass zur Veränderung sollte auch die Einsicht bieten, dass ein OP-Plan der als Kopien verteilt wird, bei kurzfristigen Änderungen immer wieder als eminente Fehlerquelle in Erscheinung treten kann. Als Lösungsansatz wäre eine EDV Unterstützung mittels Datenbank in Server-Client-Architektur denkbar, bei der Benutzer - je nach Zugriffsrecht - Änderungen vornehmen oder die aktuelle Fassung des Operationsplans in Echtzeit abrufen können.

4.3 ALGORITHMUS

Der auf Basis der Prozessanalyse entwickelte Algorithmus, der die gewonnenen Erkenntnisse, also die Rahmenbedingungen der Klinik für Orthopädie und Rheumatologie in Marburg in bestmöglicher Weise berücksichtigt, zielt einzig auf eine langfristige bedarfsadaptierte Operationsplanung. Die kurzfristige Operationsplanung, also die Zuteilung von

Operateur, sowie die Festlegung von Reihenfolge und Saal, sollen weiterhin ohne vorgegebene Anweisungen durch den verantwortlichen Oberarzt erfolgen, wenngleich in Studien eine höhere Effektivität durch datenbankbasierte prädiktive Operationszeiten nachgewiesen werden konnte (Shukla et al., 1990). Jedoch steht der Aufwand einer solchen Datenerhebung und nachfolgend dauerhaft erforderlichen Datenpflege oftmals in einer vornehmlich finanziell ungünstigen Relation zum gewonnenen Nutzen. Die von einigen Autoren zur lang- und kurzfristigen ferner propagierte mittelfristige Operationsplanung (Busse, 1998) darf als obsolet betrachtet werden.

Der vorgestellte Algorithmus ist in seiner Struktur bewusst einfach und in der Komplexität gering gehalten. Dadurch ist er leicht verständlich und in der Handhabung anspruchslos. Eine Umsetzung ist leicht möglich, bedarf keiner größeren Interventionen und Investitionen und ist gut auch mit dem herkömmlichen Papiergebundenen Kalender möglich, wobei eine EDV Unterstützung eine leichtere Bedienung, sowie einen höheren Komfort in der Administration, bei gleichzeitig minimierter Fehleranfälligkeit durch eingebaute Plausibilitätsabfragen ermöglichen würde.

Nach erfolgter Stellung der Operationsindikation für einen Patienten, also der Zuordnung einer Ausprägung des Merkmals Therapie zum Patienten, kann eine Terminvergabe ohne spezielle medizinische oder administrative Kenntnisse durch jedwedes Personal fehlerfrei und bedarfsgerecht erfolgen. Gesonderte Schulungsmaßnahmen sind hierfür nicht erforderlich.

4.4 SIMULATIONSSTUDIE

Wie bereits eingangs der Arbeit (Kapitel 2.5.1, S. 20) angeführt wird, muss die Entscheidung zur Realisierung einer Simulationsstudie gut überlegt sein, vorwiegend aufgrund der aufwändigen Vorbereitung und der hohen Komplexität in der Durchführung. Obwohl Autoren einschlägiger Lehrbücher zur Technik der stochastischen Simulation (Bratley et al., 1987; Law und Kelton, 1991; Steinhausen, 1994; Bateman et al. 1997) wie auch zum Einsatz der Simulation im Rahmen des Operations Research (Beckmann et al., 1992; Hillier und Lieberman, 1997; Müller, 1998) nicht müde werden auf diese Problematiken hinzuweisen und vor unüberlegten Simulationsexperimenten

warnen, die oft genug mit enttäuschendem Ergebnis abschließen, so findet man doch immer wieder Beispiele von Arbeiten mit falschen Zielsetzungen oder signifikanten Fehlern und Ungenauigkeiten, wodurch die produzierten Ergebnisse - trotz großen Aufwands - in den Bereich der Bedeutungslosigkeit degradiert werden.

Entscheidendes Kriterium für den Einsatz einer stochastischen Simulationsstudie sollte die Möglichkeit zur Durchführung von Experimenten diverser Szenarien sein, mit dem Ziel diese qualitativ und quantitativ zu beurteilen und zu vergleichen. Arbeiten mit rein quantitativen Aussagen findet man außerordentlich selten und dann zumeist als Simulation von Fertigungsprozessen, da hier die Zeitparameter erfahrungsgemäß wesentlich exakter fassbar sind als bei Dienstleistungsprozessen, die den Menschen im Mittelpunkt der Betrachtungen haben.

Keinesfalls sollte jedoch eine Simulationsstudie zur Fehlersuche oder zum Erkenntnisgewinn über bestehende Arbeitsabläufe eingesetzt werden. Eine derartige Zielsetzung ist falsch und muss zwangsläufig zu einem enttäuschenden Ergebnis führen (Hashimoto und Bell, 1996; Fridsma, 2000), da dies einzig Aufgabe einer Prozessanalyse sein kann, die - wie bereits ausgeführt - unbedingte Voraussetzung für jede Simulationsstudie ist.

Fehler bei Simulationsstudien betreffen zumeist zu kurze oder unvollkommene Datenerhebungen und Datenanalysen, die keine validen Aussagen erlauben und darüber hinaus noch falsche Verteilungsfunktionen liefern (Hashimoto und Bell, 1996; Huarng und Lee, 1996; Clague et al., 1997). Ferner ist die schwerwiegende Fehlinterpretation der Verteilungsfunktionen von Arbeits- und Wartezeiten als Normalverteilung leider immer wieder anzutreffen (Aharonson-Daniel et al., 1996; Proctor, 1996). Verteilungen von Bedienzeiten sind grundsätzlich linksschief, allenfalls noch darf näherungsweise eine Triangularkurve akzeptiert werden, grundlegend falsch ist jedoch die Annahme einer Normalverteilung von Arbeits- und Wartezeiten.

Neben der aufwändigen Vorbereitungsarbeit, durch Prozessanalyse, Datenerhebung und Datenanalyse, für eine stochastische Simulation von Dienstleistungsprozessen, tritt die Validierung immer wieder als Quelle großer

Probleme in Erscheinung. Niemals aber darf eine Manipulation der Verteilungsfunktionen erfolgen, bis eine Validierung durch dergestalt veränderte Ergebnisse erfolgreich ist (McGuire, 1997).

In der Zwischenzeit weit verbreitete, vorwiegend graphisch orientierte, auf schnellen Erfolg ausgerichtete Simulationssoftware fördert durch den fehlenden Zwang für die Anwender sich adäquat mit den Grundlagen stochastischer Simulationstechnik vertraut machen zu müssen, die angeführten Fehler zusätzlich und bringt daher oftmals mehr Fluch als Segen, weshalb ihre Verwendung nur bedingt empfohlen werden kann und stattdessen vermehrt elementare Programmiersprachen zum Einsatz gelangen sollten.

In der vorliegenden Arbeit ist die Entscheidung zur Simulation positiv ausgefallen, da die entwickelten Optimierungsvorschläge, die Algorithmen in verschiedenen Komplexitätsstufen, experimentell mit den zur Verfügung stehenden Mitteln zusätzlich qualitativ und quantitativ beurteilt und gegeneinander verglichen werden sollen. Hierfür erscheint die Simulation ebenso geeignet wie zur Prüfung der eingangs aufgestellten Hypothesen.

Unzweifelhaft ergeben sich auch bei dieser Studie Kritikpunkte. Allem voran die Validierung, bei der ein Parameter, der Aufenthalt des Patienten in der Warteschlange, aufgrund der Arbeitsabläufe erst gar nicht validiert werden kann und ein weiterer Parameter, die präoperative stationäre Wartezeit, im Validierungsprozess als ungenügend zurückgewiesen werden muss (Kapitel 3.2.2, S. 34).

Zwar ist die Häufigkeit dieses zu beobachtenden Problems bei der Simulation von Dienstleistungsprozessen kein Grund zu dessen Akzeptanz, aber erst Recht kein Anlass zu entsprechender Manipulation. Allerdings erscheint die Validierung im vorliegenden Fall als hinnehmbar, durch die realitätsnahen Ergebnisse und den Einfluss des als systematisch geltenden Fehlers in gleicher Weise in allen Simulationsexperimenten. Mit hoher Wahrscheinlichkeit werden die quantifizierenden Aussagen nicht absolut äquivalent in die Realität zu übertragen sein, die Tendenz indes ist eindeutig erkennbar.

4.5 AUSBLICK

Obschon entsprechende Beweise nicht vorliegen, scheint dennoch der Weg frei, den vorgestellten Algorithmus zur OP-Einbestellung an die Erfordernisse anderer operativ tätiger Fachbereiche und Kliniken anzupassen.

Ein derart verallgemeinerter Algorithmus setzt die Berücksichtigung der inneren und äußeren Bedingungen aus der Sicht des Patienten voraus. Dabei sind die inneren Bedingungen gleichzusetzen mit den Optionen unter denen der Patient wählen kann. Im vorliegenden Fall sind dies die Merkmale Wahlleistung und Eigenblutspende.

Die äußeren Bedingungen werden durch die Merkmale Ressourcen, Zeit/Anzahl und Kenntnis vorgegeben. Dabei entsprechen die Ressourcen dem Material, das in Form eines begrenzten Angebotes einer offenen Nachfrage gegenübersteht. Im weitesten Sinne kann auch das Personal als Ressource aufgefasst werden, wobei eine Zuordnung zu den Merkmalen Zeit/Anzahl und Kenntnis sinnvoller erscheint, da Personal häufig den limitierenden Faktor hinsichtlich Regelarbeitszeit darstellt, also maximaler Anzahl an Operationen pro Zeit (Arbeitslast). Das Merkmal Kenntnis muss immer dann beachtet werden, wenn Eingriffe nur von bestimmten Operateuren durchgeführt werden können.

Zusätzlich zu den angeführten Bedingungen sind selbstverständlich divergierende Planungszeiträume und Planungskontingente zu erfassen, unter denen die äußeren Bedingungen subsidiär aufzuteilen sind.

Im vorliegenden Algorithmus werden zwei Planungskontingente durch das Merkmal Walleistung gebildet, während das Merkmal Eigenblutspende lediglich eine gewisse Vorbereitungszeit zwischen Indikationsstellung (Terminplanung) und Operation sichert.

Durch erweiterte Wahloptionen für den Patienten wären zusätzliche Planungskontingente mit eventuell abweichenden Planungszeiträumen denkbar.

Entgegen weit verbreiteter Meinung können nicht nur, sondern müssen gerade Notfälle durch Reservierung von Kontingenten, soweit dies der

jeweilige Fachbereich oder die Klinik erfordern, in die Planungen mit einbezogen werden. Die Rede ist hier von Patienten, die ohne Anmeldung eintreten und medizinisch keinen Aufschub dulden, somit das laufende Operationsprogramm unterbrechen und tatsächliche Notfälle darstellen. Alle Patienten, die ohne Anmeldung eintreten aber medizinisch einen Aufschub dulden und außerhalb der regulären Arbeitszeit oder sogar aufgrund freier Kapazitäten während des Regelprogramms am Folgetag operiert werden, können allenfalls als dringliche Operationen, aber aus organisatorischer Sicht sicher nicht als Notfälle bezeichnet werden.

Es wird ersichtlich, dass die Verfolgung eines generischen Algorithmus zur OP-Einbestellung nicht durch eine schnelle und allgemeingültige Softwarelösung erreichbar ist. Eine Prozessanalyse, wenngleich sie mit hoher Wahrscheinlichkeit weniger aufwändig sein muss wie im vorliegenden Fall, wird dennoch immer Voraussetzung für die Implementierung einer adäquaten Lösung bleiben. Unter Annahme der gemachten Erfahrungen reicht das Erheben einiger wesentlicher Eckdaten, wie der Operationszahlen pro Zeit - die oft schon bekannt sind - und die Aufteilung dieser Anzahlen auf die Planungskontingente und schließlich die Festlegung der Limiten für die identifizierten Merkmalsausprägungen aus.

Die Logik eines in der Prozessanalyse generierten Algorithmus wird mutmaßlich nie durch benutzerfreundliche Menüführungen allein in eine EDV Lösung zu implementieren sein, anstelle dessen immer eine gewisse Programmierung benötigen, die aber durch entsprechende User-Interfaces eine schnelle Anpassungsfähigkeit im Sinne der vorgegebenen Logik garantieren kann. Diesbezüglich bietet sich an, zur Umsetzung des vorgestellten Algorithmus in den Klinikalltag, auf das bestehende Klinikinformationssystem (ORBIS[®], GWI AG) zurückzugreifen, da es über den notwendigen modularen Aufbau und eine entsprechende Erweiterbarkeit verfügt.

4.6 SCHLUSSFOLGERUNG

Der dedizierte Vorschlag einer langfristigen Operationsplanung für die Klinik für Orthopädie und Rheumatologie in Marburg, umzusetzen mittels eines individuell entwickelten Algorithmus, ist im Ansatz ebenso neu, wie bislang

einzigartig. Er ist bewusst so einfach wie möglich gehalten und lässt sich auch ohne EDV Unterstützung, ohne große Intervention oder Investition, ohne wesentliche Schulungsmaßnahmen mit den bisherigen Mitarbeitern in die Tat umsetzen.

Zwar lassen sich die quantitativen Ergebnisse letztlich aufgrund der Schwächen der Simulationsstudie nicht gänzlich garantieren, jedoch sollte bei dem zu erwartenden geringen Aufwand und der beschriebenen Perspektive eine Umsetzung empfohlen werden. Eine Implementierung des Algorithmus in eine EDV Lösung ist anzuraten, jedoch nicht Voraussetzung, wobei ein mit Abstand besseres Resultat zu erwarten ist als es jede zurzeit kommerziell erhältliche Software zu offerieren vermag, die nur erweiterte Kalenderfunktionalität aber keine Logik zur Verfügung stellt.

5 ZUSAMMENFASSUNG

Die Entwicklung einer bedarfsadaptierten langfristigen Operationsplanung unter Identifikation und Beachtung der gegebenen Rahmenbedingungen der Klinik für Orthopädie und Rheumatologie in Marburg, mit dem Ziel der Reduktion von präoperativem stationärem Aufenthalt auf einen Tag und somit einer Verminderung von gesamt stationärer Verweildauer, ist Motivation der Arbeit.

Mittels ausgiebiger Prozessanalyse werden die gegebenen Arbeitsabläufe untersucht, sowie die Ergebnisse mit einem eigens entwickelten Dokumentationswerkzeug festgehalten, dass als Erweiterung der Unified Modelling Language (UML) aufgefasst werden kann und sich inzwischen unter dem Namen Marburger Prozess Dokumentation (MaPDok) etabliert hat.

Durch die Diskussion mit ärztlichem und administrativem Personal, sowie OP-Pflegepersonal werden potenzielle Fehlerquellen aufgedeckt und die Rahmenbedingungen der Klinik für Orthopädie und Rheumatologie in Marburg als innere und äußere Bedingungen aus Sicht des Patienten identifiziert.

Dabei sind unter den inneren Bedingungen Wahloptionen für den Patienten zu verstehen, in diesem Fall Inanspruchnahme von Wahlleistung und Eigenblutspende, und unter den äußeren Bedingungen jene Vorgaben, auf die der Patient keinen Einfluss hat, wie die Anzahl möglicher Operationen pro Tag. Diese Anzahl wird einerseits durch materielle Ressourcen bestimmt in Form von verfügbarem Material für die vorgesehene individuelle Operation (Merkmal Therapie) und andererseits durch zeitliche und personelle Ressourcen (Merkmal Zeit/Anzahl).

Insgesamt vier Merkmale (Wahlleistung, Eigenblutspende, Therapie, Zeit/Anzahl) mit ihren jeweiligen Ausprägungen fließen dabei in die Entwicklung eines Algorithmus zur OP-Einbestellung ein. Durch die Merkmale

werden zwei Planungskontingente (Wahlleistung und allgemeine Leistung) mit divergierenden Planungszeiträumen festgelegt.

Die Hypothese, die eingangs aufgestellten Ziele einer Reduktion der präoperativen stationären Wartezeit, sowie der gesamten stationären Verweildauer mit Hilfe des entwickelten Algorithmus zu erlangen, wird mittels stochastischer Simulation untersucht.

Dazu wird der entwickelte Algorithmus in unterschiedlichen Komplexitätsgraden in einer Simulationsstudie qualitativ und quantitativ vergleichend beurteilt. Die erforderliche Datenerhebung und Datenanalyse erfolgt weitestgehend retrospektiv auf Grundlage von Datenbanken zu Dokumentationszwecken, teilweise aber auch prospektiv.

Die gesetzten Ziele einer Reduktion der präoperativen stationären Wartezeit auf einen Tag, einer Reduktion der gesamten stationären Verweildauer und die Konstanz der bisherigen Operationsaktivität der Klinik für Orthopädie und Rheumatologie lassen sich in der Simulation bereits durch den Algorithmus mit der geringsten Komplexität erreichen und bestätigen die aufgestellten Hypothesen in eindrücklicher Form. So sollte eine präoperative stationäre Wartezeit zwischen 1,11 und 1,15 Tagen mit 95% Sicherheit garantiert werden können, während sich die gesamte stationäre Verweildauer um etwa einen Tag verkürzt und die Anzahl an Operationen pro Jahr konstant bei etwa 1.700 bleibt.

Eine Umsetzung des individuell entwickelten Algorithmus zur OP-Einbestellung kann mit oder ohne EDV Unterstützung weitestgehend Interventions- und Investitionsneutral erfolgen.

Der entwickelte Vorschlag zur langfristigen Operationsplanung ist bislang ohne Beispiel und bietet darüber hinaus die Perspektive auf eine Erweiterung mit generischem Ansatz.

6 LITERATURVERZEICHNIS

- AHARONSON-DANIEL, L.; PAUL, R. J.; HEDLEY, A. J.: »Management of queues in out-patient departments: the use of computer simulation«. *J. Manag. Med.*, 10 (1996), Nr. 6, S. 50-58
- ALON, E. ; SCHUPFER, G.: »Operating room management«. *Anaesthetist*, 48 (1999), Nr. 10, S. 689-697
- BATEMAN, ROBERT E. ; BOWDEN, ROYCE G. ; GOGG, THOMAS J. ; HARREL, CHARLES R. ; MOTT, JACK R. A.: *System Improvement Using Simulation*. 5th Edition. 1875 South State Street, Orem, Utah 84097 : PROMODEL Corp., 1997
- BECKMANN, M. J. ; GEHRING, H. ; KISTNER, K.-P. ; SCHNEEWEIB, CH. ; SCHWÖDIAUER, G. ; ZIMMERMANN, H.-J.: *Grundlagen des Operations Research : Gal, T. (Hrsg.)*. 3., durchgesehene Auflage. Berlin : Springer Verlag, 1992. - ISBN 3-540-55716-4
- BENNEYAN, J. C.: »An introduction to using computer simulation in healthcare: patient wait case study«. *J. Soc. Health Syst.*, 5 (1997), Nr. 3, S. 1-15
- BOOCH, G.: *Objektorientierte Analyse und Design mit praktischen Anwendungsbeispielen*. 4., unveränderter Nachdruck. Bonn : Addison-Wesley, 1997. - ISBN 3-89319-673-0
- BORN, M. ; HOLZ, E. ; KATH, O.: *Softwareentwicklung mit UML 2*. München : Addison-Wesley Verlag, 2004. - ISBN 3-8273-2086-0
- BRATLEY, P. ; BENNET, L. F. ; SCHRAGE, L. E.: *A Guide to Simulation*. Second Edition. Berlin : Springer-Verlag, 1987. - ISBN 3-540-96467-3
- BUSSE, THOMAS: *OP-Management / Prof.Günter Thiele (Hrsg.)*. Band 6. Heidelberg : R. v. Decker's Verlag, 1998 (Schriftenreihe zum Managementhandbuch Krankenhaus). - ISBN 3-7685-4296-3
- CHARNLEY, J.: »Anchorage of the femoral head prosthesis to the shaft of the femur«. *J. Bone Joint Surg. Br.*, 42 (1960), S. 28-30
- CLAGUE, J. E. ; REED, P. G. ; BARLOW, J. ; RADA, R. ; CLARKE, M. ; EDWARDS, R. H.: »Improving outpatient clinic efficiency using computer simulation«. *Int. J. Health Care Qual. Assur. Inc. Leadersh. Health Serv.*, 10 (1997), Nr. 4-5, S. 197-201
- CONRAD, H. J.: *Balanced Scorecard als modernes Managementinstrument im Krankenhaus*. Kulmbach : Baumann Fachzeitschriften Verlag, 2001. - ISBN 3-922091-68-7

- DEXTER, F. ; MACARIO, A. ; QIAN, F. ; TRAUB, R. D.: »Forecasting surgical groups' total hours of elective cases for allocation of block time: application of time series analysis to operating room management«. *Anesthesiology*, 91 (1999), Nr. 5, S. 1501-1508
- DEXTER, F. ; MACARIO, A. ; TRAUB, R. D. ; HOPWOOD, M. ; LUBARSKY, D. A.: »An operating room scheduling strategy to maximize the use of operating room block time: computer simulation of patient scheduling and survey of patients' preferences for surgical waiting time«. *Anesth. Analg.*, 89 (1999), Nr. 1, S. 7-20
- DEXTER, F. ; TRAUB, R. D.: »Determining staffing requirements for a second shift of anesthesiologists by graphical analysis of data from operating room information systems«. *AANA. J.*, 68 (2000), Nr. 1, S. 31-36
- EICHHORN, S. ; SCHMIDT-RETTIG, B. HERAUSG.: *Profitcenter und Prozeßorientierung : Optimierung von Budget, Arbeitsprozessen und Qualität*. Stuttgart : W. Kohlhammer Verlag, 1999. - ISBN 3-17-015843-0
- FRIDSMA, D. B.: »Error analysis using organizational simulation«. *Proc. AMIA. Symp.*, (2000), S. 260-264
- GLUCK, T.: »Autoplastik - Autotransplantation - Implantation von Fremdkörpern«. *Berliner Klinische Wochenschrift*, 27 (1890), S. 421-427
- GRÄSSLE, P. ; BAUMANN, H. ; BAUMANN, P.: *UML projektorientiert : Geschäftsprozessmodellierung, IT-System-Spezifikation und Systemintegration mit der UML*. 1. Auflage. Bonn : Galileo Press, 2000. - ISBN 3-934358-58-6
- GREILING, M. ; HOFSTETTER, J.: *Patientenbehandlungspfade optimieren - Prozessmanagement im Krankenhaus*. Kulmbach : Baumann Fachzeitschriften Verlag, 2002. - ISBN 3-922091-77-6
- GREULICH, A. ; ONETTI, A. ; SCHADE, V.: *Balanced Scorecard im Krankenhaus : von der Planung bis zur Umsetzung*. Heidelberg : Economica Verlag, 2002. - ISBN 3-87081-220-6
- GREULICH, A. ; THIELE, G. ; THIEX-KREYE, M.: *Prozeßmanagement im Krankenhaus / Prof.Günter Thiele (Hrsg.)*. Band 8. Heidelberg : R. v. Decker's Verlag, 1997 (Schriftenreihe zum Managementhandbuch Krankenhaus). - ISBN 3-7685-1597-4
- HASHIMOTO, F. ; BELL, S.: »Improving outpatient clinic staffing and scheduling with computer simulation«. *J. Gen. Intern. Med.*, 11 (1996), Nr. 3, S. 182-184
- HELLER, W.-D. ; LINDENBERG, H. ; NUSKE, M. ; SCHRIEVER, K.-H.: *Stochastische Systeme*. 1. Auflage. Berlin : Walter de Gruyter Verlag, 1978. - ISBN 3-11-007624-1

- HENGARTNER, W. ; THEODORESCU, R.: *Einführung in die Monte-Carlo Methode*. Berlin : VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, 1978. - ISBN 3-446-12331-8
- HILLIER, F. S. ; LIEBERMAN, G. S.: *Operations Research*. München : R. Oldenburg Verlag, 1997. - ISBN 3-486-23987-2
- HINRICHS, F. ; BOUDRIOT, U. ; GRISS, P.: »10 year results with a cemented fine-grit-blasted titanium-aluminum-vanadium hip endoprosthesis shaft«. *Z. Orthop. Ihre Grenzgeb.*, 138 (2000), Nr. 1, S. 52-56
- HINRICHS, F. ; KUHL, M. ; BOUDRIOT, U. ; GRISS, P.: »A comparative clinical outcome evaluation of smooth (10-13 year results) versus rough surface finish (5-8 year results) in an otherwise identically designed cemented Titanium alloy stem«. *Arch. Orthop. Trauma Surg.*, 123 (2003), Nr. 6, S. 268-72
- HUANG, F. ; LEE, M. H.: »Using simulation in out-patient queues: a case study«. *Int. J. Health Care Qual. Assur.*, 9 (1996), Nr. 6, S. 21-25
- JACOBSON, I.: *Object Oriented Software Engineering : A Use Case Driven Approach*. 4., durchgesehener Nachdruck. Wokingham : Addison-Wesley, 1995. - ISBN 0-201-54435-0
- JECKLE, M. ; RUPP, C. ; HAHN, J. ; ZENGLER, B. ; QUEINS, S.: *UML 2 glasklar*. 1. Auflage. München : Hanser Verlag, 2004. - ISBN 3-446-22575-7
- JUDET, J. ; JUDET, R.: »The use of an artificial femoral head for arthroplasty of the hip joint«. *J. Bone Joint Surg. Br.*, 32 (1950), S. 166-173
- KIENAPFEL, H. ; GRISS, P. ; ORTH, J. ; ROLOFF, K. ; MALZER, U.: »2- to 5-year follow-up of cementless implantable knee joint prosthesis of the Miller-Galante type«. *Orthopäde*, 20 (1991), Nr. 3, S. 189-196
- KNUTSON, K. ; LEWOLD, S. ; ROBERTSSON, O. ; LIDGREN, L.: »The Swedish knee arthroplasty register. A nation-wide study of 30,003 knees 1976-1992«. *Acta Orthop. Scand.*, 65 (1994), Nr. 4, S. 375-386
- KUHN, K. A. ; LENZ, R. ; ELSTNER, T. ; SIEGELE, H. ; MOLL, R.: »Experiences with a Generator Tool for Building Clinical Application Modules«. *Methods Inf. Med.*, 42 (2003), Nr. 1, S. 37-44
- LAW, A. M. ; KELTON, W. D.: *Simulation Modeling And Analysis*. 2nd Edition. New York : McGraw-Hill, Inc., 1991. - ISBN 0-07-036698-5
- LISTER, J.: »Antiseptic Principle of the practice of surgery«. *Lancet*, (1867)
- MALCHAU, H., HERBERTS, P.: »Prognose der totalen Hüftarthroplastik (THA)«. Wissenschaftliche Ausstellung des 63. Annual Meeting der American Academy of Orthopaedic Surgeons, Atlanta, (1996)
- MATHIAS, J. M.: »Benchmarking OR turnover times«. *OR. Manager.*, 16 (2000), Nr. 6, S. 15, 18-15, 20

- MCGUIRE, F.: »Using simulation to reduce length of stay in emergency departments«. *J. Soc. Health Syst.*, 5 (1997), Nr. 3, S. 81-90
- MÜLLER, J.-A.: *Simulation ökonomischer Prozesse*. Wien : MANZ Verlag Schulbuch GmbH, 1998. - ISBN 3-7068-0588-X
- OESTEREICH, BERND: *Objektorientierte Softwareentwicklung : Analyse und Design mit der Unified Modelling Language*. 4. aktualisierte Auflage. München : Oldenburg Verlag, 1998. - ISBN 3-486-24787-5
- PATTERSON, P.: »Turnover time: is all the study worth the effort?«. *OR. Manager.*, 15 (1999), Nr. 3, S. 1, 7-4
- PROCTOR, T.: »Simulation in hospitals«. *Health Manpow. Manage.*, 22 (1996), Nr. 5, S. 40-44
- RUMBAUGH, J.: *Objektorientiertes Modellieren und Entwerfen*. München : Hanser, 1994. - ISBN 3-446-17520-2
- SACHS, LOTHAR: *Angewandte Statistik : Anwendung statistischer Methoden*. 9. überarbeitete Auflage. Heidelberg : Springer-Verlag, 1999. - ISBN 3-540-65371-6
- SCHEER, A.-W. (HRSG.) ; KÖPPEN, A.: *Consulting*. 1. Auflage. Heidelberg : Springer-Verlag, 2000. - ISBN 3-540-66767-9
- SCHEER, A.-W.: »ARIS-House of Business Engineering«. Veröffentlichungen des Instituts für Wirtschaftsinformatik (IWI), Universität des Saarlandes, (1996), Heft 133
- SCHEER, A.-W. ; NÜTTGENS, M. ; ZIMMERMANN, V.: »Objektorientierte Ereignisgesteuerte Prozesskette (oEPK) - Methode und Anwendung«. Veröffentlichungen des Instituts für Wirtschaftsinformatik (IWI), Universität des Saarlandes, (1997), Heft 141
- SCHEWE K. D.: UML: A modern Dinosaur? A critical analysis of the Unified Modelling Language. In: Kawaguchi, E. ; Kangassalo, H. ; Jaakkola, H. ; HAMID, I. A. (HRSG.): *Information Modelling and Knowledge Bases*. Vol. 61, Amsterdam : IOS Press, 2000 (Frontiers in Artificial Intelligence and Applications). - ISBN 1-58603-041-8
- SCHULTE, K. R. ; CALLAGHAN, J. J. ; KELLEY, S. S. ; JOHNSTON, R. C.: »The outcome of Charnley total hip arthroplasty with cement after a minimum twenty-year follow-up. The results of one surgeon«. *J. Bone Joint Surg. Am.*, 75 (1993), Nr. 7, S. 961-975
- SHUKLA, R. K. ; KETCHAM, J. S. ; OZCAN, Y. A.: »Comparison of subjective versus data base approaches for improving efficiency of operating room scheduling«. *Health Serv. Manage. Res.*, 3 (1990), Nr. 2, S. 74-81
- SPREY, S.-C.: Revisionseingriffe nach Kniegelenkersatzoperationen und die Bedeutung der Röntgenstereometrie bei der Früherkennung von Implantatlockerungen. Med. Zentrum für Operative Medizin der Philipps-

Universität Marburg, Abteilung für Orthopädie, Inaugural Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der gesamten Medizin, 1999

STEINHAUSEN, D.: *Simulationstechniken*. München : Oldenburg Verlag, 1994. - ISBN 3-486-22656-8

SUN, Y. ; STURMER, T. ; GUNTHER, K. P. ; BRENNER, H.: »Incidence and prevalence of cox- and gonarthrosis in the general population«. *Z. Orthop. Ihre Grenzgeb.*, 135 (1997), Nr. 3, S. 184-192

TOELLNER, R.: *Illustrierte Geschichte der Medizin*. Augsburg : Bechtermünz Verlag, 2000. - ISBN 3-8289-1875-1

WAHL, G.: »UML kompakt« *Objekt Spektrum*, (1998), Nr. 2

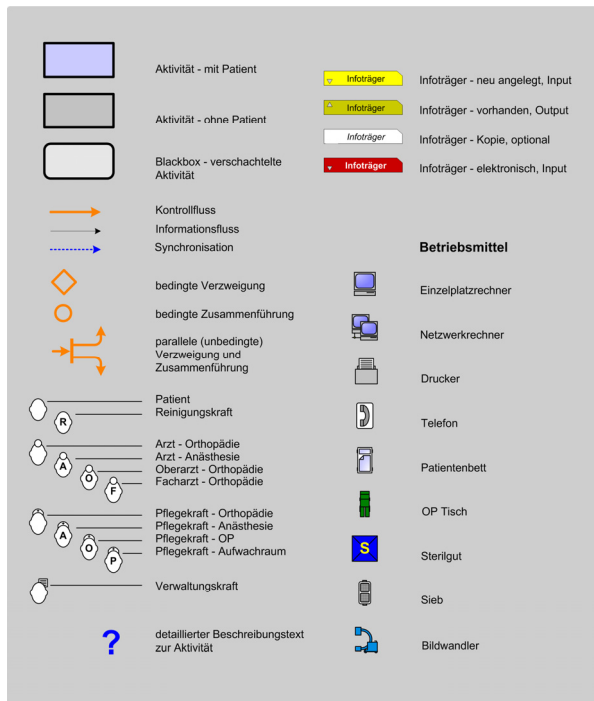
WATKINS, W. D.: »Principles of operating room organization«. *Acta Anaesthesiol. Scand. Suppl.*, 111 (1997), S. 113-115

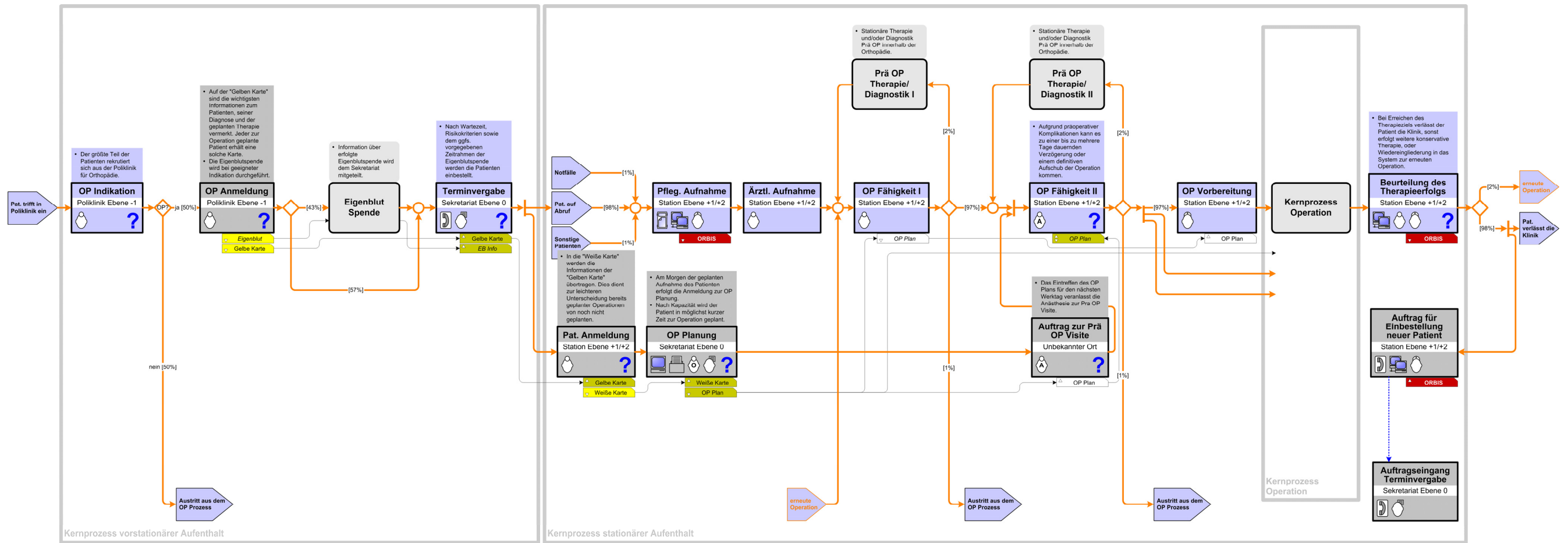
WESSINGHAGE, D.: »Themistocles Gluck. 100 Jahre künstlicher Gelenkersatz «. *Z. Orthop. Ihre Grenzgeb.*, 129 (1991), Nr. 5, S. 383-388

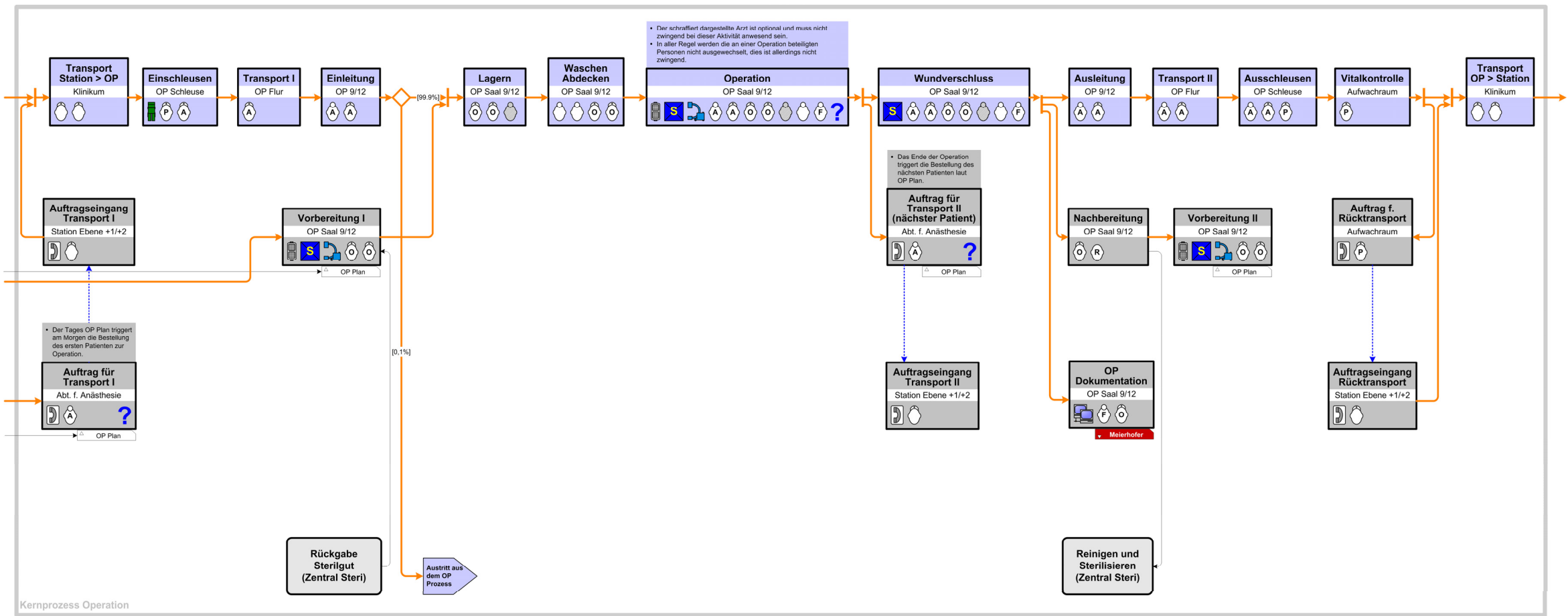
WRIGHT, I. H. ; KOOPERBERG, C. ; BONAR, B. A. ; BASHEIN, G.: »Statistical modeling to predict elective surgery time. Comparison with a computer scheduling system and surgeon-provided estimates«. *Anesthesiology*, 85 (1996), Nr. 6, S. 1235-1245

7 ANHANG

ANHANG A - PROZESSANALYSE







ANHANG B – EINGANGSVERTeilUNGEN

Tabelle 7.1: Eigenblut Bedienzeit
 $n = 190, R = 221$

Tage	Relative Häufigkeit
15,00	0,00
39,56	17,90
64,11	36,32
88,67	35,79
113,22	5,79
137,78	3,16
162,33	0,00
186,89	0,52
211,44	0,00
236,00	0,52

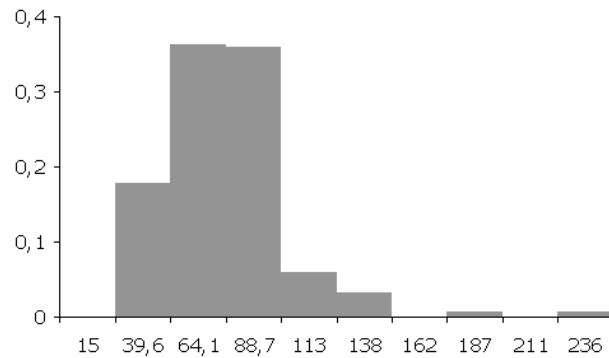


Abb. 7.1: Eigenblut Bedienzeit

Tabelle 7.2: OP-Bedienzeit Klasse 1
 $n = 424, R = 280$

Minuten	Relative Häufigkeit
10,0	0,00
38,0	1,65
66,0	33,96
94,0	39,39
122,0	15,57
150,0	4,25
178,0	3,30
206,0	1,18
234,0	0,24
262,0	0,23
290,0	0,23

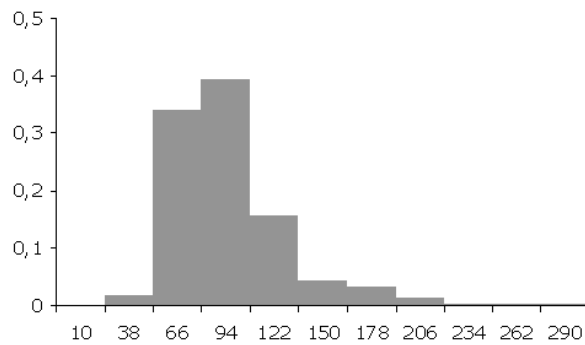


Abb. 7.2: OP-Bedienzeit Klasse 1

Tabelle 7.3: OP-Bedienzeit Klasse 2
 $n = 221$, $R = 80$

Minuten	Relative Häufigkeit
40,00	0,00
48,89	2,71
57,78	17,65
66,67	27,15
75,56	24,43
84,44	17,20
93,33	8,60
102,22	1,36
111,22	0,45
120,00	0,45

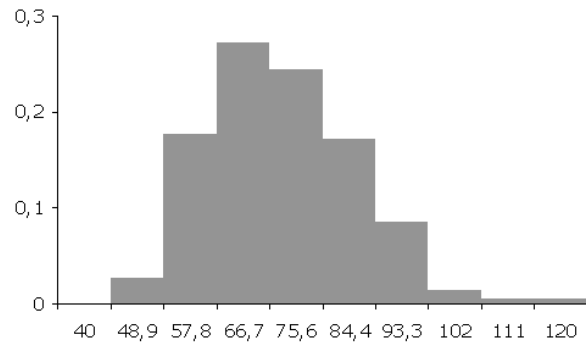


Abb. 7.3: OP-Bedienzeit Klasse 2

Tabelle 7.4: OP-Bedienzeit Klasse 3
 $n = 11$, $R = 80$

Minuten	Relative Häufigkeit
70,0	0,00
86,0	36,37
102,0	36,36
118,0	18,18
134,0	0,00
150,0	9,09

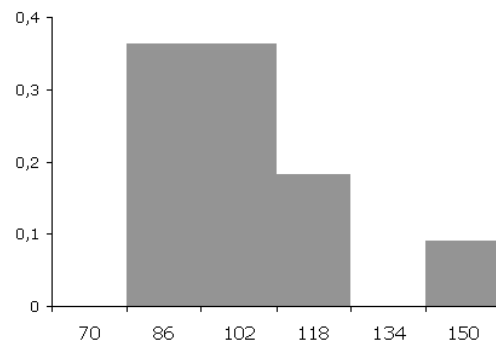


Abb. 7.4: OP-Bedienzeit Klasse 3

Tabelle 7.5: OP-Bedienzeit Klasse 4
 $n = 44$, $R = 60$

Minuten	Relative Häufigkeit
40,00	0,00
48,57	25,00
57,14	31,82
65,71	18,18
74,29	18,18
82,86	2,27
91,43	0,00
100,00	4,55

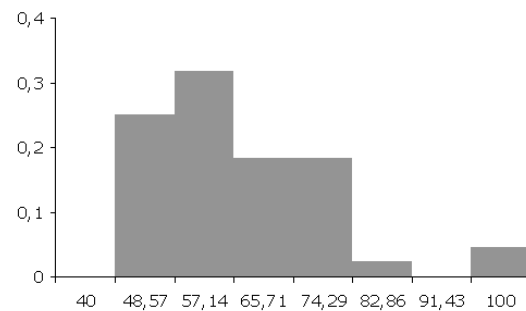


Abb. 7.5: OP-Bedienzeit Klasse 4

Tabelle 7.6: OP-Bedienzeit Klasse 5
 $n = 136, R = 260$

Minuten	Relative Häufigkeit
20,00	0,00
48,89	8,82
77,78	19,12
106,67	19,85
135,56	20,59
164,44	11,03
193,33	9,56
222,22	5,88
251,11	4,41
280,00	0,74

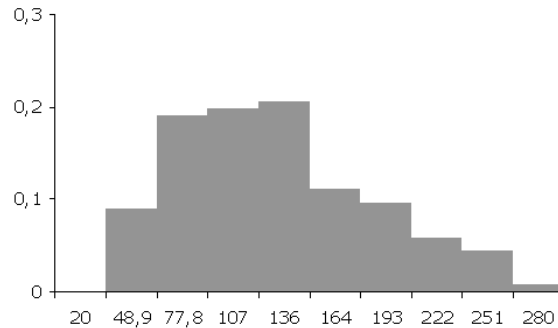


Abb. 7.6: OP-Bedienzeit Klasse 5

Tabelle 7.7: OP-Bedienzeit Klasse 6
 $n = 54, R = 140$

Minuten	Relative Häufigkeit
10,0	0,00
30,0	11,11
50,0	5,56
70,0	29,63
90,0	29,63
110,0	16,67
130,0	5,56
150,0	1,84

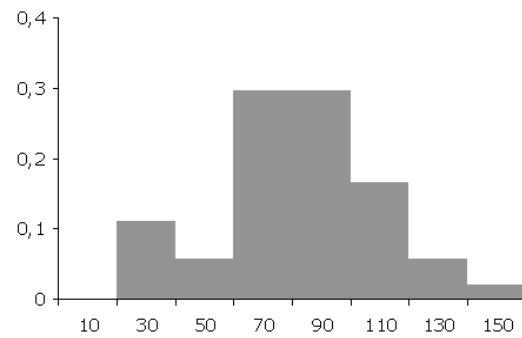


Abb. 7.7: OP-Bedienzeit Klasse 6

Tabelle 7.8: OP-Bedienzeit Klasse 7
 $n = 777, R = 280$

Minuten	Relative Häufigkeit
10,00	0,00
33,33	41,18
56,67	26,77
80,00	12,74
103,33	13,00
126,67	3,09
150,00	1,29
173,33	1,03
196,67	0,39
220,00	0,13
243,33	0,00
266,67	0,26
290,00	0,12

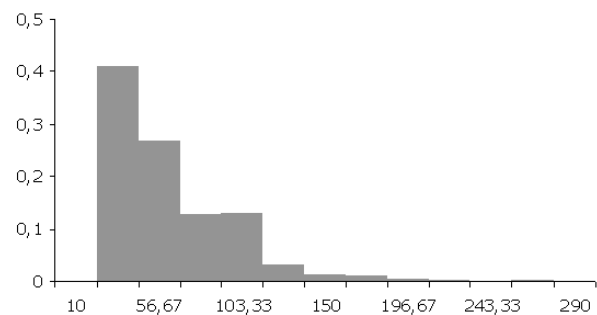


Abb. 7.8: OP-Bedienzeit Klasse 7

Tabelle 7.9: OP-Wechselzeit
 $n = 1920$, $R = 160$

Minuten	Relative Häufigkeit
0,0	0,00
10,0	0,52
20,0	0,21
30,0	1,56
40,0	8,18
50,0	29,32
60,0	29,48
70,0	15,16
80,0	7,24
90,0	3,59
100,0	1,98
110,0	1,04
120,0	0,89
130,0	0,36
140,0	0,26
150,0	0,16
160,0	0,05

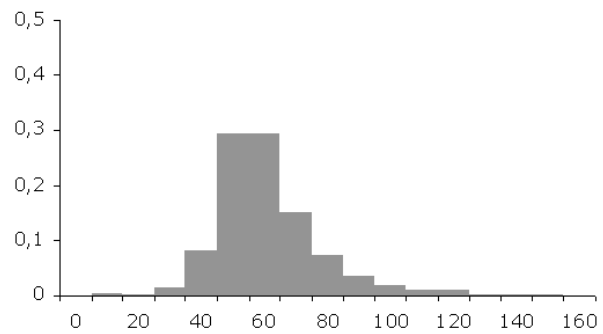


Abb. 7.9: OP-Wechselzeit

Tabelle 7.10: Post-OP-Bedienzeit
 $n = 1528$, $R = 86$

Tage	Relative Häufigkeit
0,0	0,00
5,7	20,90
11,5	30,10
17,2	41,70
22,9	4,25
28,7	1,05
34,4	0,79
40,1	0,52
45,9	0,07
51,6	0,20
57,3	0,20
63,1	0,13
68,8	0,00
74,5	0,00
80,3	0,05
86,0	0,04

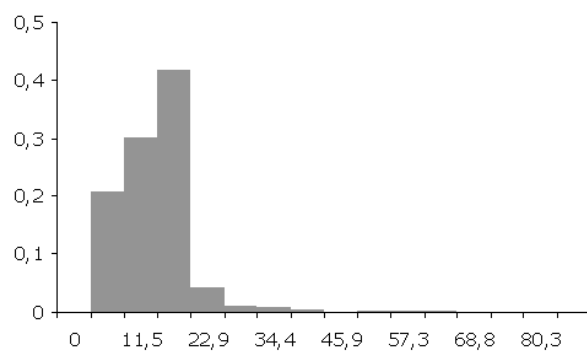


Abb. 7.10: Post-OP-Bedienzeit

ANHANG C - SIGNIFIKANZSCHRANKEN DER χ^2 -VERTEILUNG

α v	0,99	0,975	0,95	0,90	0,75	0,50	0,25	0,10	0,05	0,025	0,01
1	0,00016	0,00098	0,0039	0,0158	0,102	0,455	1,32	2,71	3,84	5,02	6,63
2	0,0201	0,0506	0,1026	0,2107	0,58	1,39	2,77	4,61	5,99	7,38	9,21
3	0,115	0,216	0,352	0,584	1,21	2,37	4,11	6,25	7,81	9,35	11,34
4	0,297	0,484	0,711	1,064	1,92	3,36	5,39	7,78	9,49	11,14	13,28
5	0,554	0,831	1,15	1,61	2,68	4,35	6,63	9,24	11,07	12,83	15,09
6	0,872	1,24	1,64	2,20	3,46	5,35	7,84	10,64	12,59	14,45	16,81
7	1,24	1,69	2,17	2,83	4,26	6,35	9,04	12,02	14,07	16,01	18,48
8	1,65	2,18	2,73	3,49	5,07	7,34	10,22	13,36	15,51	17,53	20,09
9	2,09	2,70	3,33	4,17	5,90	8,34	11,39	14,68	16,92	19,02	21,67
10	2,56	3,25	3,94	4,87	6,74	9,34	12,55	15,99	18,31	20,48	23,21
11	3,05	3,82	4,57	5,58	7,58	10,3	13,70	17,28	19,68	21,92	24,73
12	3,57	4,40	5,23	6,30	8,44	11,3	14,85	18,55	21,03	23,34	26,22
13	4,11	5,01	5,89	7,04	9,30	12,3	15,98	19,81	22,36	24,74	27,69
14	4,66	5,63	6,57	7,79	10,17	13,3	17,12	21,06	23,68	26,12	29,14
15	5,23	6,26	7,26	8,55	11,04	14,3	18,25	22,31	25,00	27,49	30,58
16	5,81	6,91	7,96	9,31	11,91	15,3	19,37	23,54	26,30	28,85	32,00
17	6,41	7,56	8,67	10,08	12,79	16,3	20,49	24,77	27,59	30,19	33,41
18	7,01	8,23	9,39	10,86	13,68	17,3	21,61	25,99	28,87	31,53	34,81
19	7,63	8,91	10,12	11,65	14,56	18,3	22,72	27,20	30,14	32,85	36,19
20	8,26	9,59	10,85	12,44	15,45	19,3	23,83	28,41	31,41	34,17	37,57
22	9,54	10,98	12,34	14,04	17,24	21,3	26,04	30,81	33,92	36,78	40,29
24	10,86	12,40	13,85	15,66	19,04	23,3	28,24	33,20	36,42	39,36	42,98
26	12,20	13,84	15,38	17,29	20,84	25,3	30,44	35,56	38,89	41,92	45,64
28	13,56	15,31	16,93	18,94	22,66	27,3	32,62	37,92	41,34	44,46	48,28
30	14,95	16,79	18,49	20,60	24,48	29,3	34,80	40,26	43,77	46,98	50,89
40	22,16	24,43	26,51	29,05	33,66	39,3	45,62	51,81	55,76	59,34	63,69
50	29,71	32,36	34,76	37,69	42,94	49,3	56,33	63,17	67,50	71,42	76,15
60	37,48	40,48	43,19	46,46	52,29	59,3	66,98	74,40	79,08	83,30	88,38
80	53,54	57,15	60,39	64,28	71,14	79,3	88,13	96,58	101,88	106,63	112,33
100	70,06	74,22	77,93	82,36	90,13	99,3	109,14	118,50	124,34	129,56	135,81

ANHANG D - SIGNIFIKANZSCHRANKEN DER t -VERTEILUNG

α ν	0,5	0,4	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01
1	1,000	1,376	3,078	6,314	12,706	31,821	63,657
2	0,817	1,061	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925
3	0,765	0,978	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841
4	0,741	0,941	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604
5	0,727	0,920	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032
6	0,718	0,906	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707
7	0,711	0,896	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499
8	0,706	0,889	1,397	1,860	2,306	2,897	3,355
9	0,703	0,883	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250
10	0,700	0,879	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169
11	0,697	0,876	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106
12	0,695	0,873	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055
13	0,694	0,870	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012
14	0,692	0,868	1,345	1,761	2,145	2,625	2,977
15	0,691	0,866	1,341	1,753	2,131	2,603	2,947
16	0,690	0,865	1,337	1,746	2,120	2,584	2,921
17	0,689	0,863	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898
18	0,688	0,862	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878
19	0,688	0,861	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861
20	0,687	0,860	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845
22	0,686	0,858	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819
24	0,685	0,857	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797
26	0,684	0,856	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779
28	0,683	0,855	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763
30	0,683	0,854	1,310	1,697	2,042	2,457	2,750
40	0,681	0,851	1,303	1,684	2,021	2,423	2,704
50	0,679	0,849	1,299	1,676	2,009	2,403	2,678
60	0,679	0,848	1,296	1,671	2,000	2,390	2,660
80	0,678	0,846	1,292	1,664	1,990	2,374	2,640
100	0,677	0,845	1,290	1,660	1,984	2,364	2,626

ANHANG E - ZUFALLSZAHLENTAFEL (AUSSCHNITT)

09656	96657	64842	49222	49506	10145	48455	23505	90430	04180
24712	55799	60857	73479	33581	17360	30406	05842	72044	90764
07202	96341	23699	76171	79126	04512	15426	15980	88898	06358
84575	46820	54083	43918	46989	05379	70682	43081	66171	38942
38144	87037	46626	70529	27918	34191	98668	33482	43998	75733
48048	56349	01986	29814	69800	91609	65374	22928	09704	59343
41936	58566	31276	19952	01352	18834	99596	09302	20087	19063
73391	94006	03822	81845	76158	41352	40596	14325	27020	17546
57580	08954	73554	28698	29022	11568	35668	59906	39557	27217
92646	41113	91411	56215	69302	86419	61224	41936	56939	27816
07118	12707	35622	81485	73354	49800	60805	05648	28898	60933
57842	57831	24130	75408	83784	64307	91620	40810	06539	70387
65078	44981	81009	33697	98324	46928	34198	96032	98426	77488
04294	96120	67629	55265	26248	40602	25566	12520	89785	93932
48381	06807	43775	09708	73199	53406	02910	83292	59249	18597
00459	62045	19249	67095	22752	24636	16965	91836	00582	46721
38824	81681	33323	64086	55970	04849	24819	20749	51711	86173
91465	22232	02907	01050	07121	53536	71070	26916	47620	01619
50874	00807	77751	73952	03073	69063	16894	85570	81746	07568
26644	75871	15618	50310	72610	66205	82640	86205	73453	90232

Rand Corporation, *A Million Random Digits with 100 000 Normal Derivates.*

Copyright. The Free Press. Glencoe. I11, 1955, S. 182

8 VERZEICHNIS DER AKADEMISCHEN LEHRER

Meine akademischen Lehrer waren die Damen und Herren in Marburg und Winterthur:

Prof. R. Arnold, Prof. G. Aumüller, Prof. P. J. Barth, Prof. H.-D. Basler, Prof. E. Baum, PD Dr. H. Christiansen, Prof. F. Czubayko, Prof. J. Daut, Prof. M. Decurtins, Prof. M. O. Doss, Dr. B. Feuser, PD Dr. C. Giese, Prof. C. Görg, Prof. L. Gotzen, Prof. P. Griss, Prof. R. Happle, Prof. A. Hasilik, PD Dr. A. Hellinger, PD Dr. L. Hesse, Prof. R. Hofmann, Prof. H. Jungclas, Prof. H. F. Kern, Prof. H.-D. Klenk, Prof. V. Kretschmer, Prof. J. C. Krieg, Prof. H. Lennartz, PD Dr. B. M. Lippert, Prof. R. Moll, Dr. M. Müller, Prof. U. Müller, Prof. J. Niessing, Prof. W. H. Oertel, Prof. H. Remschmidt, Prof. H. Schäfer, Prof. S. Schmidt, Prof. J. Seitz, Prof. B. Steiniger, Prof. J. Sundermeyer, PD Dr. H.-W. Vohland, Prof. K. Voigt, Prof. E. Weihe, Prof. J. A. Werner

9 DANKSAGUNG

Mein Dank gilt Herrn Prof. Dr. Peter Griss und Frau Prof. Dr. Susanne Fuchs für die Überlassung des Themas dieser Promotionsarbeit, sowie der Bereitstellung der Datenverarbeitungssysteme nebst der notwendigen Software. Herrn Prof. Dr. Klaus A. Kuhn danke ich für die nachhaltige Auseinandersetzung mit dem komplexen Thema, die vielfältigen konstruktiven Denkanstöße und den unermüdlichen Einsatz als akademischer Lehrer.

Ein ganz besonderer Dank gilt meinen Betreuern Herrn Dr. Frank Hinrichs und Herrn PD Dr. Ing. Richard Lenz für die intensive, konstruktive und stets motivierte Unterstützung meiner Arbeit, die insbesondere durch die beruflich teils stark divergierenden Perspektiven enorm bereichert wurde, sowie für die ausgesprochen ehrliche und freundschaftliche Zusammenarbeit.

Für die während der Prozessanalyse und auch der Simulationsstudie notwendige praxisnahe Diskussion meiner Ergebnisse möchte ich mich ganz besonders bei Herrn Prof. Dr. Thomas Wirth als leitendem Oberarzt und Frau Sabine Böger-Strack als leitende OP-Schwester bedanken. Ebenfalls großen Dank schulde ich den Sekretärinnen Frau Rita Grams, Frau Ilse Möder und Frau Cornelia Klein für ihren unermüdlichen Einsatz bei der prospektiven Datenerhebung und die Diskussion der Prozessanalyse.

Den Mitarbeitern des Zentrums für Informationsverarbeitung (ZIV), insbesondere Herrn Ludger Scharf, danke ich für die wohlwollende Unterstützung und den persönlichen Einsatz bei der Datenerhebung.