

# Der Einsatz computergestützter Simulation im OP-Management: Auswirkungen auf die Gestaltung und Leistungsfähigkeit der OP-Prozesse\*

## Computer simulation in operating room management: Impacts on process design and performance

A. Baumgart<sup>1</sup>, C. Denz<sup>1</sup>, H.-J. Bender<sup>1</sup> und A. Schleppers<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Klinik für Anästhesiologie und Operative Intensivmedizin, Universitätsklinikum Mannheim gGmbH (Direktor: Prof. Dr. Dr. h.c. K. van Ackern)

<sup>2</sup> Berufsverband Deutscher Anästhesisten, Nürnberg

► **Zusammenfassung:** **Hintergrund:** Operationsäle (OPs) werden als die kostenintensivsten Einrichtungen eines Krankenhauses angesehen. Aufgrund der stetig steigenden Kosten und fallender DRG-Erlöse ist es notwendig, eine nachhaltige Optimierung der OP-Effizienz voranzutreiben. In diesem Zusammenhang wurden zahlreiche Strategien propagiert, die die Steigerung der Anzahl der Patienten pro OP-Tag durch Umstrukturierungen perioperativer Prozesse zum Ziel hatten. Der erfolgreiche Einsatz von Strategien zur kontinuierlichen Prozessverbesserung erfordert, dass das OP-Management die Erreichung der Ziele der Umstrukturierungen oder Planungsänderungen stetig überprüfen kann, ohne in den OP-Ablauf einzugreifen.

**Methodik:** Der Einsatz computergestützter Simulation dient dazu, die Auswirkungen von neuartigen Technologien oder Änderungen in den Ablaufstrategien des Prozess-Managements zu untersuchen. In diesem Artikel wird ein Konzept zum Einsatz computergestützter Simulation vorgeschlagen. Zusätzlich werden am Beispiel der OP-Ablauf- und OP-Aufbauorganisation einer großen deutschen Universitätsklinik Simulationsstudien durchgeführt.

**Schlussfolgerung:** Die Ergebnisse zeigen, dass der Einsatz computergestützter Simulation einen wesentlichen Beitrag zur Entscheidungsunterstützung des OP-Managements und der objektiven Beurteilung neuartiger Managementstrategien leisten kann.

► **Schlüsselwörter:** Simulation – Prozessanalyse – OP-Management – Optimierung.

► **Summary:** **Background:** Operating rooms are regarded as the most costly hospital facilities. Due to rising costs and decreasing profits, it is necessary to optimize the efficiency of the operating room suite. Several strategies have been proposed in the literature to optimize the throughput of patients by redesigning perioperative processes. The successful implementation of effective practices to improve processes in operating rooms will require that operating

room management sets targets and monitors the improvements made objectively.

**Method:** Simulation methods can be used to study the effects of process improvements initiated by novel facilities, technologies and/or strategies. In this paper, we present simulation studies focusing on processes within a large university hospital. Additionally, we propose computer simulations as an adequate decision-making tool in operating room management.

**Conclusion:** The results of our studies provide evidence that simulation can provide effective decision support to improve performance in operating rooms.

► **Keywords:** Simulation – Process Analysis – OR Management – Optimization.

## 1. Einleitung

Heutzutage sehen sich die deutschen Krankenhäuser einem sich ständig ändernden politischen und ökonomischen Umfeld ausgesetzt. Hierfür müssen sie ihre Struktur, ihre medizinischen sowie administrativen Prozesse und Technologien kontinuierlich an die neuen Rahmenbedingungen anpassen [1,6,17,32]. Operationssäle sind die kostenintensivsten und gleichzeitig die (potentiell) erlösstärksten Dienstleistungszentren in Krankenhäusern. Zahlreiche neue Management-Methoden und Techniken wurden in den letzten Jahren eingeführt, um den Erfordernissen im OP-Management nach ständiger Veränderung und Verbesserung nachzukommen [13,23,26]. Der überwiegende Teil der Strategien konzentrierte sich hierbei auf die Steigerung der perioperativen Effizienz, wie z.B. die Reduktion von Wechselzeiten oder Überbelegungen, um mehr Fälle während der geplanten täglichen Arbeitszeit zu operieren bzw. die Profitabilität der Prozesse und Arbeitsschritte zu erhöhen [9,11,12,15,16,18,31,33,35].

\* Rechte vorbehalten

► Das OP-Management birgt immer noch erhebliches Potential, die Prozesse und operativen Abläufe zu steigern. Der Artikel schlägt eine Integration computergestützter Simulation in den Entscheidungsprozess vor, um das OP-Management mit einem geeigneten Werkzeug zu unterstützen. Die computergestützte Simulation wird in der Literatur als ein Mittel angesehen, um die Effektivität von Managementmethoden, wie z.B. Total-Quality-Management (TQM), Just-in-Time oder Geschäftsprozessoptimierung, zu verbessern [2,4,10,14,24]. Die Simulation bietet eine strukturierte Umgebung, die Prozesse und Arbeitsabläufe für unterschiedliche Interessensgruppen zu verstehen, zu analysieren, zu entwerfen oder zu dokumentieren, auszuführen und zu evaluieren [5,8,21].

Zahlreiche Herausforderungen müssen adressiert werden, um die Computersimulation in den Entscheidungsprozess des OP-Managements zu integrieren [8,30,34]. Die folgenden Kapitel stellen den Einsatz computergestützter Simulationen konzeptionell und anhand einer konkreten Simulationsstudie vor. Kapitel 2 ordnet die Simulation in das OP- und Gesundheitsmanagement ein, um ihre Anwendbarkeit anhand existierender Ansätze zu veranschaulichen. Den grundsätzlichen, konzeptionellen Aufbau einer Simulationsstudie stellt Kapitel 3 vor. Dieser theoretische Rahmen wird in Kapitel 4 am Beispiel einer computergestützten Simulation anhand der Aufbau- und Ablaufstrukturen der Zentralen Operationsbereiche (kurz: ZOP) des Universitätsklinikums Mannheim aufgezeigt. In Kapitel 5 werden die Ergebnisse der Simulation diskutiert. Abschließend gibt Kapitel 6 weiterführende Empfehlungen für den Einsatz computergestützter Simulation.

## 2. Computersimulation in OP- und Gesundheitsmanagement

Die Simulation ist eine Methode, um reale Prozesse, Systeme oder Ereignisse mit Hilfe von Computersoftware zu modellieren [8,22]. Die vollständige Wirkungskraft computergestützter Simulation wird dann realisiert, wenn sie dazu verwendet wird, dynamische Systeme mit komplexen Zusammenhängen zwischen den Komponenten und Prozessen zu analysieren [4,28]. OP-Bereiche mit ihren vielfältigen parallel verlaufenden Abläufen und der Interaktion unterschiedlicher Ressourcen (insbesondere Personalressourcen) erscheinen deshalb als prädestiniert für den Einsatz der Computersimulation [3,4,7,25,27,30].

Die **qualitativen Vorteile** werden insbesondere in der Analysephase der OP-Systemmodellierung deutlich. Die Prozessteilnehmer, wie z.B. Ärzte und

Schwestern, verwenden Prozessmodelle als Diskussionsgrundlage für Prozessverbesserungen oder entwickeln durch die interaktive Zusammenarbeit ein gemeinsames Verständnis über den Problembereich. Simulation kann zusätzlich als ein Werkzeug zur Kommunikation und Planung von Prozessen dienen. Sie kann dazu verwendet werden, eine ‚informierte Diskussion‘ zwischen den Prozessbeteiligten, z.B. medizinischem Personal, Krankenhausadministration und IT-Abteilungen, zu etablieren, um optimale Lösungen zu erschließen [12,22].

**Quantitative Untersuchungen** wurden dazu benutzt, um einmalige Prozeßveränderungen im OP zu untersuchen. Für bestimmte OP-Konfigurationen wurden dabei Scheduling-Verfahren, Ressourcenpläne für Personal und Räume, oder perioperative Leistungsmaße, wie z.B. Wartezeiten, optimiert. Insbesondere die Prozessgestaltung für medizinische Prozesse (nicht OP-Prozesse) versprachen hierbei vielversprechende Ergebnisse [5,34]. Simulationsmodelle ermöglichen die sichere, schnelle und effiziente Untersuchung und Bewertung von neuen Methoden, Strategien und Technologien in der perioperativen und operativen Prozessgestaltung. Für weiterführende Diskussionen für unterschiedliche Bereiche oder Abteilungen im Krankenhaus und andere Prozesse im Gesundheitswesen vgl. [21,25].

## 3. Konzeptioneller Rahmen: Entwurf und Durchführung prozessorientierter Simulation

Der Entwurf und die Durchführung einer Simulationsstudie erfordern die schrittweise und strukturierte Überführung der realen OP-Umgebung in eine softwarebasierte Repräsentation der zahlreichen medizinischen und organisatorischen Komponenten.

In **Abbildung 1** sind die einzelnen Schritte einer idealtypischen und fundierten Simulationsstudie aufgeführt [8,22]. Trotz grundsätzlich unterschiedlicher Zielsetzungen und Anwendungsgebiete beginnt jede Simulationsstudie mit der Problemformulierung sowie der Identifikation relevanter Forschungsfragen und endet mit der Präsentation und Anwendung der Ergebnisse. Die **Phase der Problemidentifikation** umfasst die Problemformulierung und Systembeschreibung, die Definition der Forschungsfragen und Ziele sowie die Datensammlung über den realen OP-Bereich. Die **Realisierung des Simulationsmodells** beschreibt die schrittweise Umsetzung des realen OP-Ablaufs in ein computerbasiertes Modell. Die Verifikation des Modells garantiert die logische Richtigkeit des Simulationsmodells, und die Validierung sichert die Korrektheit der Modelle mit der ►

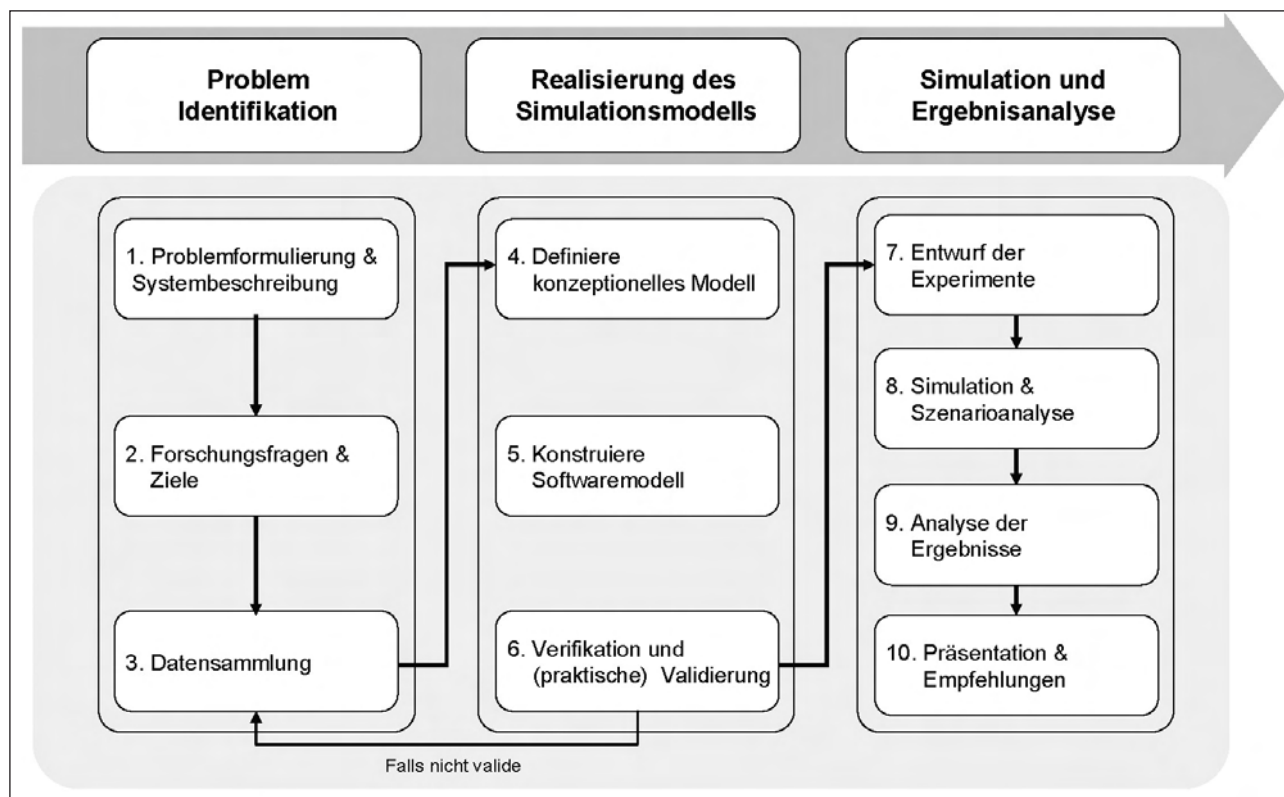


Abb. 1: Systematischer Ablauf einer Simulationsstudie.

► praktischen Umgebung und damit die Glaubwürdigkeit der späteren Ergebnisse. In der letzten Phase wird zunächst der experimentelle Rahmen der Simulation festgelegt. Beispielsweise wird definiert, wie viele Personalressourcen (z.B. OP-Pflegekräfte) in der Simulation zur Verfügung stehen und in welchem Rahmen deren Anzahl experimentell verändert werden soll. Die **Simulation und Ergebnisanalyse** schließt mit der Präsentation der Ergebnisse und der Ableitung möglicher Handlungsalternativen für die praktische Umsetzung ab. Die konzeptionelle Basis für die Durchführung von Simulationen wird im nächsten Kapitel benutzt, um Änderungen im Aufbau und Ablauf der OP-Prozesse anhand einer konkreten OP-Umgebung zu untersuchen. Dabei ist die Simulationsstudie in ähnlicher Weise aufgebaut, wie es der schrittweise Aufbau in Abbildung 1 widerspiegelt.

#### 4. Simulationsstudien am Beispiel des Zentralen OP-Bereichs (ZOP) im Universitätsklinikum Mannheim

Der ökonomische Wettbewerb macht es auch am Universitätsklinikum Mannheim erforderlich, die Aufbau- und Ablaufstrukturen des ZOP ständig weiter zu entwickeln. Die wesentlichen Herausforderungen

bestehen darin, eine qualitativ hochwertige und effiziente medizinische Versorgung bei vorgegebenen Personal-, Material-, und Raumressourcen zu gewährleisten. Die Analyse der Prozesse und Arbeitsabläufe führt zu einem detaillierten Simulationsmodell, welches die Abläufe realitätsnah darstellt. Das Modell dient dazu, Probleme im OP-Ablauf zu identifizieren, die beispielsweise durch den unterschiedlichen Ressourceneinsatz entstehen. Die computergestützte Simulation bietet grundsätzlich zwei Aspekte, um bei der stetigen Verbesserung der OP-Abläufe Entscheidungsunterstützung leisten zu können:

- Der OP-Manager sowie die Chef- und Oberärzte der beteiligten Kliniken erhalten einen **OP-weiten Einblick**, wie sich lokale Änderungen im OP-Ablauf auswirken. Dies fördert eine erhöhte Transparenz für die komplexen Zusammenhänge im OP-Prozess. So kann z.B. der verspätete Abruf der Patienten oder die Anzahl der OP-Pflegekräfte, die für die Einschleusung der Patienten verantwortlich sind, entscheidend für die verspätete Patientenvorbereitung sein.
- Die **operative Leistungsfähigkeit** kann im Simulationsmodell ohne Eingriffe in den realen Ablauf ►

- ▶ untersucht werden. Darunter fallen z.B. die Anzahl operierter Patienten pro Tag und OP-Saal oder OP-Bereich, die Auslastung der OP-Säle oder die Auslastung des Personals.

Aufgrund der Vielzahl von Untersuchungsmöglichkeiten werden wichtige operative Ablaufänderungen herausgegriffen und in der Simulationsstudie untersucht (Anzahl der Personalressourcen, wie z.B. Anästhesisten oder Chirurgen, Anzahl der OP-Säle, Laufzeit der OP-Säle). Idealerweise läuft die Planung des OP-Programms mittelfristig, d.h. über mehrere Wochen hinweg, ab. Zunächst werden den Disziplinen Blockzeiten für die jeweiligen OP-Säle vergeben. In einem zweiten Schritt werden für jeden Block die einzelnen Eingriffe festgelegt. Die optimale Planung der Blockzeiten und Eingriffe bestimmt wesentlich, wie die Abläufe am Tag zu gestalten sind - vgl. hierzu [13,15,20,35]. Die folgende Studie konzentriert sich rein auf die erwähnten Ablaufänderungen der OP-Prozesse und verwendet das Patientenkollektiv des Universitätsklinikums in genau der Reihenfolge, wie es operativ versorgt wurde. Die damit in Verbindung stehenden Probleme wurden hinreichend in [12] diskutiert.

#### 4.1 Hintergrund: Systembeschreibung

Die Beschreibung des ZOP basiert auf den wesentlichen Gestaltungsoptionen eines OP-Bereichs. Zu diesen zählen die werktätlich bestehenden Rahmenbedingungen (z.B. bauliche Umgebung, personelle Ressourcen sowie der Patienten- und Behandlungsprozess). Die Gestaltungsoptionen sind im Einzelnen:

**a) Organisatorische Rahmenbedingungen:** Der ZOP ist mit 4 OP-Sälen der chirurgischen Klinik (Viszeral-, Gefäß- und Thoraxchirurgie) zugeteilt. Es werden pro Jahr ca. 4.200 Patienten der chirurgischen Klinik im ZOP versorgt. Der Ablauf ist durch eine hohe Parallelisierung gekennzeichnet: So wird schon seit mehreren Jahren überlappendes Einleiten (durch zusätzliche Personalressourcen) durchgeführt, um schnellere Wechselzeiten zu ermöglichen.

**b) Bauliche Gegebenheiten:** Tabelle 1 führt die wichtigsten Räume des OP-Prozesses sowie deren Nutzung auf.

**c) Personalressourcen:** Die wesentlichen Berufsgruppen im OP-Bereich sind in Tabelle 2 genannt. Dabei sind insbesondere die Personalgruppen der perioperativen Organisation von großer Bedeutung, da sie von der Parallelisierung der Aufgaben am meisten betroffen sind. In der Simulationsstudie wird deshalb vor allem auf die Variation der Anzahl von Anästhesisten eingegangen.

**d) Patientenprozess und Behandlungsablauf:** Die perioperativen Prozessabläufe besitzen eine allgemeine Struktur für nahezu jeden OP-Bereich. Sie bestehen hauptsächlich aus den folgenden fünf Teilprozessen: dem Einschleusen, der anästhesiologischen Vorbereitung (Monitoring) und Narkoseeinleitung, der Operation, der Ausleitung (beinhaltet die Narkoseausleitung) sowie dem Transport in den und Aufenthalt im AWR. Wie Personal-, Raum-, Material- und Geräteressourcen in die ▶

Tab. 1: Räume und Kapazitäten pro Raum des ZOP.

Räume	Anzahl	Kapazität / Raum
Schleuse	1	1
Vorbereitungs- / Einleitungsraum	4	1
OP-Saal	4	1
Umbetraum	1	1
Aufwachraum (AWR)	1	10

Tab. 2: Personalgruppen des OP-Bereichs.

Personalgruppen für den ZOP-Bereich			
Personalgruppen	Anzahl	maximal (gesamter ZOP)	Anmerkung
Anästhesisten	1 pro Saal	6	
AN-Pflegekraft	1 pro Saal	4	
Chirurgen	3 pro OP	3 pro OP	mit unterschiedlichem Ausbildungsstand
OP-Pflegekraft	2 pro Saal	12	
OP-Helfer	1	2	
Reinigungskraft	2	2	



- Prozesse integriert sind, hängt vom organisatorischen Aufbau des OP-Bereichs, den perioperativen Ablaufstrategien, dem Patientenkollektiv und weiteren Faktoren ab. Üblicherweise betreiben Krankenhäuser mehrere parallele Pfade der perioperativen Organisation. **Abbildung 2** zeigt die Konfiguration des ZOP-Bereichs des Klinikums, die auch in der Simulation verwendet wird. Je höher die Anzahl der verschiedenen Einheiten eines OP-Bereichs ist, desto größer sind die Interaktionen und funktionalen Abhängigkeiten der Prozesse. Aufgrund der komplexeren Strukturen ergibt sich ein zunehmend vielschichtigeres Verhalten des OP-Systems.

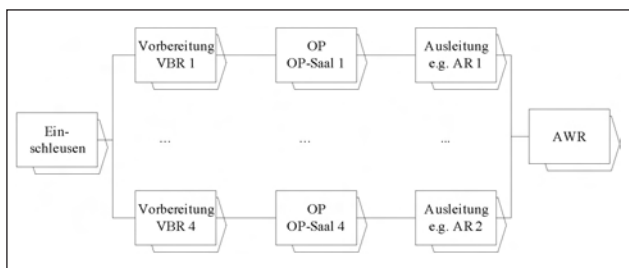


Abb. 2: Generische Prozess-Struktur eines ZOP-Bereichs.

**e) Patientenportfolio oder -kollektiv:** Das Patientenkollektiv des ZOP-Bereichs umfasst nur chirurgische Fälle (ACH). Zur Ausgestaltung eines erweiterten Simulationsszenarios wird das Patientenportfolio der HNO im Vergleichszeitraum ( $n=1607$  für die ACH und  $n=1420$  für HNO) ebenfalls integriert. Die Schnitt-Naht-Zeiten des Patientenkollektivs ergeben für die ACH einen Mittelwert von 106 Minuten (Standardabweichung: 85) und einen Median von 83 Minuten sowie für die HNO einen Mittelwert von 49 Minuten (Standardabweichung: 52) und einen Median von 33 Minuten.

#### 4.2 Fragestellungen und Ziele der Simulation

Die relevanten Fragestellungen bestimmen den Umfang sowie den Detaillierungsgrad des Simulationsmodells. Hervorzuheben ist hierbei, dass in der Simulation zunächst der aktuelle Zustand des OP-Bereichs nachgebildet wird („Ex-post-Analyse“). Ausgehend von der Umgebung und den Bedingungen im OP-Bereich, wird dann eine Rekonfiguration der Aufbau- und Ablaufbedingungen vorgenommen. Die Forschungsfragen umfassen beispielsweise Veränderungen in der Ablauf- und Aufbauorganisation auf die Leistungserbringung des perioperativen Ablaufs oder die Ausgestaltung der perioperativen Organisation, um die Anzahl operativ ver-

sorgter Patienten pro vorgegebener Zeiteinheit zu erhöhen und gleichzeitig eine Optimierung der Belegung der OP-Säle zu ermöglichen. Die konkreten Fragestellungen für die Simulation beziehen sich auf Veränderungen der Ablaufparameter des OP-Bereichs. So werden z.B. die folgenden Fragestellungen untersucht:

- Wie wirken sich Veränderungen in den Ablaufregeln aus? (z.B. Einführung überlappender Einleitung und paralleler anästhesiologischer Patientenversorgung sowie Abrufzeitpunkte).
- Wie wirken sich Variationen in der Ressourcenanzahl aus? In der Studie werden die Veränderungen von Raum und Personalressourcen untersucht.
- Wie verändern sich die Leistungskennzahlen bei veränderter Zusammensetzung des Patientenportfolios? Der vorwiegend chirurgisch genutzte ZOP-Bereich wird in der Studie um einen HNO-Datensatz (mit im Durchschnitt erheblich kürzeren Eingriffen) ergänzt.

#### 4.3 Methodik und Umsetzung

Der in **Abbildung 1** vorgestellte Ablauf einer Simulationsstudie enthält im Kern die Realisierung und somit den virtuellen Entwurf einer OP-Umgebung in einem vorgegebenen Softwareprogramm. Die folgenden Abschnitte beschreiben die wichtigsten Punkte bei der Umsetzung.

##### a) Entwurf des Simulationsmodells

Ein Simulationsmodell muss die folgenden wichtigen Modelkomponenten spezifizieren:

1. Die Prozesselemente (Modellvariablen) definieren die Aufgaben und Ablaufalternativen sowie die Ablauflogik der perioperativen Organisation. Dabei müssen die organisatorischen Rahmenbedingungen des ZOP mit einbezogen werden. Die Ressourcen sind charakterisiert durch die Typen, Arbeitsrichtlinien, Anzahl und Verfügbarkeit.
2. Als Input dient das oben beschriebene Patientenkollektiv der ACH sowie zusätzlicher HNO-Patienten aus vergleichbaren Prozessabläufen im Universitätsklinikum Mannheim. Die Hinzunahme einer weiteren Disziplin soll die Effekte eines unterschiedlichen Patientenkollektivs hervorheben und deren Einfluss auf die OP-Leistungsfähigkeit abbilden.
3. Die Leistungsmaße als Output der Simulation beinhalten OP-Laufzeiten (Servicezeiten), Ausführungszeiten, Ankunftszeiten und Ressourcenauslastungen.

Die Prozesse im ZOP sind durch vier parallele OP-Säle gekennzeichnet. Die drei Hauptphasen der ►

► perioperativen und operativen Behandlung – Vorbereitung (VB), Operation (OP), Ausleitung (AL) – sind dabei in zwei getrennte Räume – Vorbereitungsraum (VBR) und OP-Saal – aufgeteilt. Die Ressourcen werden den OP-Prozessen und Abläufen des ZOP genau so zugeordnet, wie sie auch in das Simulationsmodell übernommen werden. Die OP-Daten aus dem Krankenhaus-Informationssystem (KIS) und OP-Informationssystem dienen in der Simulation als Dateninput für die detaillierten Prozessabläufe und zur Herleitung der stochastischen Verteilung der Aktivitäten. Für die wichtigsten Prozesszeiten werden für die Simulation konkrete historische Werte herangezogen.

#### b) Verifikation und (praktische) Validierung

Die Verifikation ist ein wichtiger Schritt, um die formale Korrektheit des Simulationsmodells zu ermitteln [3,22]. In der vorliegenden Simulation wurde das Modell in der Simulationssprache SIMAN (v.11 Rockwell 2007) abgebildet, welches eine automatisierte Verifikation des implementierten Modells erlaubt. Die Simulationsumgebung prüft die richtige Anwendung der Prozessbausteine, um mögliche Implementierungsfehler zu vermeiden. Die praktische Validierung dient dem Vergleich des computergetützten Modells mit den realen Abläufen im OP. Eine hohe Validität und damit praktische Richtigkeit des Modells erhöht grundsätzlich die Glaubwürdigkeit des Simulationsmodells und damit die Ergebnisse der Simulation für die praktische Umsetzung. Es gibt zahlreiche Möglichkeiten zur Validierung des Simulationsmodells (vgl. [22]). Zwei Methoden zur Validierung wurden in dieser Studie herangezogen:

1. Die qualitative Validierung erfolgte anhand von strukturierten Interviews. Die Prozessbeteiligten bestätigten die Vollständigkeit und Korrektheit der Aktivitäten und Abläufe des Modells.
2. Die quantitative Validierung wird anhand relevanter OP-Leistungsmaße oder -Kennzahlen vollzogen. Zu diesen zählen beispielsweise die Anzahl Operationen pro Tag, die Anzahl benötigter OP-

Tage für ein vorgegebenes Patientenkollektiv oder die durchschnittliche Durchlaufzeit (von Schleuse bis Aufwachraum) des Patienten. Aufgrund der Daten aus dem KIS konnte die Validierung des Modells anhand der dargestellten Kennzahlen nachgewiesen werden.

#### c) Simulation und Szenarioanalyse

Die Festlegung der wesentlichen Gestaltungsoptionen und deren Umsetzung in ein Simulationsmodell ermöglicht es, durch Variation der Modellparameter wesentliche Auswirkungen auf die OP-Kennzahlen zu untersuchen. In einer Szenarioanalyse werden die Variationen der wesentlichen Faktoren und Parameter systematisch untersucht. Die Szenarioanalyse für das Simulationsmodell des ZOP-Bereichs wird an den folgenden Fallbeispielen, die in **Tabelle 3** zusammengefasst sind, vollzogen. Dabei werden grundsätzlich zwei Fälle unterschieden, die sich am verwendeten Patientenkollektiv orientieren. Zum einen werden die Simulationsparameter für die chirurgischen Patienten variiert, wohingegen zum anderen das Patientenportfolio verändert wird. Im vorliegenden Beispiel werden zusätzlich Fälle der HNO im Vergleichszeitraum miteinbezogen. In beiden Fällen werden die Anzahl der Anästhesisten und die OP-Laufzeiten pro Tag variiert (die Anzahl der OP-Säle und die Variation der Abrufzeiten für den jeweils nächsten Patienten werden in dieser Darstellung aus Platzgründen nicht aufgeführt). Die daraus resultierende Szenarioanalyse umfasst für das erste Simulationsbeispiel mit vier OP-Sälen und den ausgewählten Parametern/Faktoren und deren Ausprägungen 30 ( $5 \times 3 \times 2$ ) Szenarien. Die Simulationsergebnisse werden anhand der ausgewählten Leistungskennzahlen, der Auslastung der OP-Säle, der Anästhesisten sowie der Anzahl der Operationstage für das gewählte Patientenkollektiv dargestellt.

#### d) Output und Analyse der Ergebnisse

Die Analyse und Präsentation der Ergebnisse erfolgt aufgrund der zahlreichen Variationsmöglichkeiten ►

Tab. 3: Inputgrößen, Parameter und Output der Simulation für die Szenarioanalyse des ZOP-Bereichs.

Simulation	Variationen: Räume, Personal und Patientenkollektiv	
Input		
Patientenkollektiv	Anzahl operativ versorgter Patienten	
Einbezogene Parameter		
Personal: Anästhesisten ( $n_{AN}$ )	2, 3, 4, 5, 6	gleicher Ausbildungsstand
Laufzeit der OP-Säle ( $h_{OP}$ )	8, 10, 12	
Disziplinen	ACH, HNO	
Output		
Leistungsmaße und Ziele:	- Auslastung der Säle - Auslastung der Anästhesisten - Anzahl der Operationstage	

► für ausgewählte wichtige Parametervariationen für die jeweiligen Simulationsläufe. Zudem werden die Auswirkungen eines heterogenen Patientenkollektivs auf die OP-Organisation bzw. die Leistungskriterien des ZOP veranschaulicht. Für die Analyse der Auslastung werden zwei statistische Kennzahlen unterschieden: Die normale Auslastung (oder im Folgenden nur Auslastung) und die geplante Auslastung. Beide Kennzahlen werden dabei wie folgt definiert - vgl. auch [22,26] für eine formale Definition:

1. (Normale) Auslastung: Die normale Auslastung beschreibt die Auslastung einer Ressource zu einem bestimmten Zeitpunkt. In der Simulation wird hierzu ein zeitgewichteter Durchschnitt gebildet.
2. Geplante Auslastung umfasst den zeitlich gewichteten Durchschnitt von genutzten Ressourcen zu einem bestimmten Zeitpunkt der Simulation, geteilt durch die eingeplanten (verfügbaren) Ressourcen zu diesem Zeitpunkt.

Wenn die Ressourcen über die gesamte Simulation konstant verfügbar sind, entspricht die normale Auslastung der geplanten Auslastung. Zudem ist es möglich, dass bei einer Überbeanspruchung über die geplanten Arbeits- oder Laufzeit der Ressourcen hinaus eine geplante Auslastung von über 100 % auftreten kann. Dies wird beispielsweise durch OP-Laufzeiten verursacht, die weit über das zu Grunde gelegte Arbeitszeitmodell hinausgehen.

#### 4.4 Ergebnisse der Simulation

Die Ergebnisse der Simulation lassen sich für die einzelnen Kennzahlen anhand unterschiedlicher Aspekte, wie z.B. heterogenes Patientenkollektiv oder veränderte Raumgestaltung, darstellen. Dabei werden die folgenden Simulationsbeispiele, ausgehend von den realen Bindungen aus dem ZOP-Bereich, unterschieden:

1. Simulationsbeispiel 1: ACH-Patientenkollektiv in 4 OP-Sälen.

2. Simulationsbeispiel 2: ACH und HNO-Patientenkollektiv in 4 OP-Sälen.

Die Vorstellung der Ergebnisse konzentriert sich hierbei auf die Variation der Personalressourcen (Anzahl der Anästhesisten) und die Laufzeiten (pro Tag) der OP-Säle.

#### Simulationsbeispiel 1:

##### ACH-Patientenkollektiv in 4 OP-Sälen

Die realitätsnahe Simulation der OP-Prozesse des ZOP-Bereichs lassen sich in einem ersten Schritt anhand der vorgegebenen Szenarien bei 4 OP-Sälen und dem operativ versorgten ACH-Patientenkollektiv untersuchen. Die untersuchten Kennzahlen ergaben die folgenden Ergebnisse.

#### Auslastung der OP-Säle

Die Auslastungen sind in der **Abbildung 3** für 4 in Betrieb stehende OP-Säle aufgeführt. Es wird deutlich, dass die Auslastung der Säle bei steigender Anzahl verfügbarer Anästhesisten steigt. Bei einem Saal zu Anästhesisten-Verhältnis von 1:1 wird eine geplante Auslastung von 100 % erreicht. Hierzu ist anzumerken, dass eine 100 %-ige Auslastung (geplant) der OP-Säle nur erreicht wird, weil die OP-Laufzeit über das vorgegebene Arbeitszeitmodell (hier z.B. bei 8 h Laufzeit von 8.00 bis 16.00 Uhr) hinausreicht. Die normale Auslastung liegt aufgrund der langen Überlaufzeiten durch lange OP-Fälle am Ende des operativen Tages auch beim Einsatz überlappenden Einleitungen nur zwischen ca. 40-70 %. Diese „Over-utilization“ für das vorliegende ACH-Patientenkollektiv könnte durch längere OP-Laufzeiten (d.h. z.B. ein alternatives Arbeitszeitmodell) verringert oder durch eine verbesserte OP-Programmplanung optimiert werden.

#### Auslastung der Anästhesisten

Die Auslastung der Anästhesisten - vgl. **Abbildung 4** - verringert sich rapide bei einem Verhältnis „Saal ▶

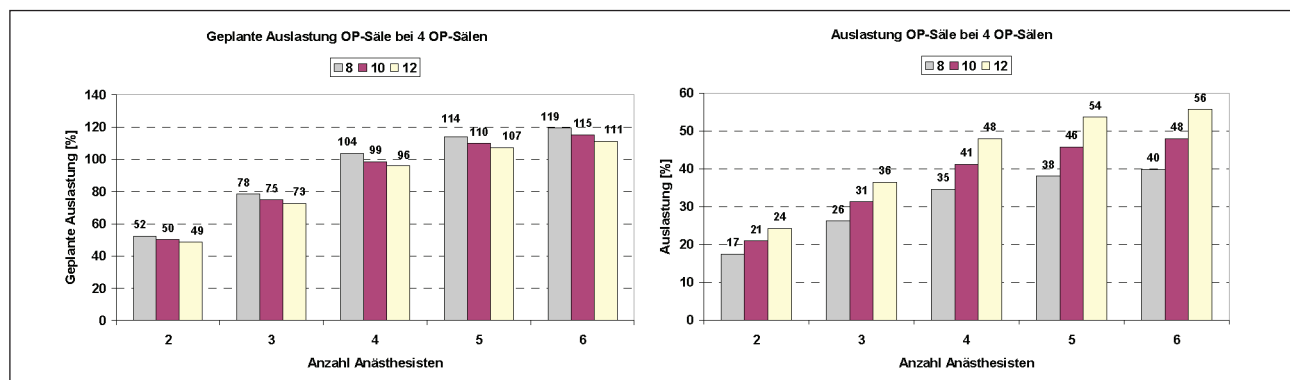


Abb. 3: Durchschnittliche Auslastungen der OP-Säle für das Simulationsbeispiel 1.

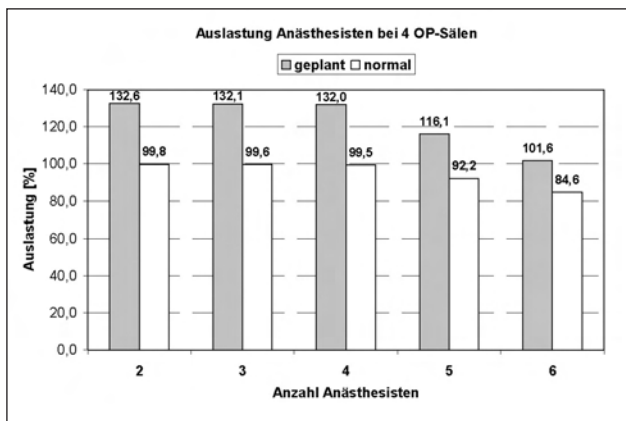


Abb. 4: Auslastungen der Anästhesisten bei 4 Sälen für das Simulationsbeispiel 1.

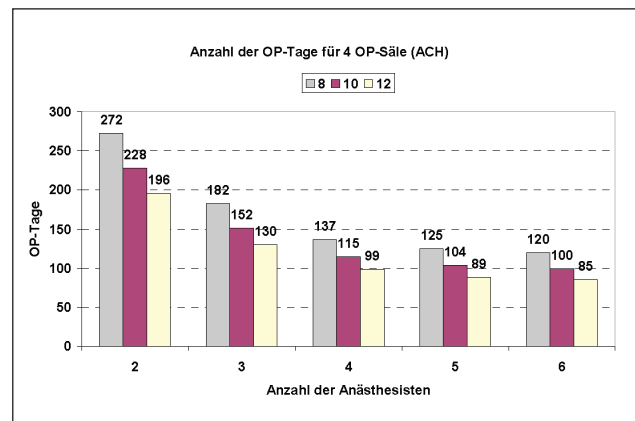


Abb. 5: OP-Gesamtlaufzeit in Tagen für das Simulationsbeispiel 1.

► zu Anästhesist“ von größer eins. Eine Erhöhung der Personalstärke von 5 auf 6 Anästhesisten führt dabei zu einer größeren Abnahme der Auslastung als eine Erhöhung von 4 auf 5 Anästhesisten. Dies entspricht der Intuition, dass für die Überlappung notwendige zusätzliche Personalressourcen nur zu einem gewissen Grad gesteigert werden sollten. Für die praktische Personalbesetzung ist dabei relevant, welche zusätzlichen Aufgaben (Notfallversorgung, Supervision, Teaching usw.) der 5. bzw. 6. Anästhesist wahrnehmen, da durch diese zusätzlichen ‚Anästhesie-Springer‘ eine größere Flexibilität im Gesamtsystem entsteht.

### Gesamtzahl der OP-Tage

Durch die Variation der Anzahl von Anästhesisten und der OP-Laufzeit ergeben sich die Gesamtlaufzeiten der 4 betriebenen OP-Säle in **Abbildung 5**. Das verwendete Datenmaterial für die Simulation umfasste 129 Arbeitstage bei einem Personaleinsatz von durchschnittlich 5 Anästhesisten und einer Laufzeit von 8 h. In der Simulation ergaben sich 125 Arbeitstage, d.h. eine Abweichung von ca. 3 %. Darüber hinaus ist zu erkennen, dass eine Ausweitung der Laufzeiten auf 10 bzw. 12 Stunden/Tag für

den ZOP im Klinikum Mannheim zu einer erheblichen Verkürzung der Gesamt OP-Tage führt.

### Simulationsbeispiel 2:

#### ACH und HNO-Patientenkollektiv in 4 Sälen

Bestehende OP-Organisationen vergeben oftmals die OP-Säle über einen längeren Zeitraum an die im Krankenhaus bestehenden operativen Disziplinen. Schwankende Patientenaufkommen und knappe Personalressourcen machen es jedoch erforderlich, diese strikte Trennung der Disziplinen für einen OP-Saal aufzubrechen. Im vorliegenden Simulationsbeispiel des ZOP ergab die Verwendung eines gepoolten, heterogenen Patientenkollektivs, bestehend aus ACH und HNO, die folgenden Ergebnisse.

### Auslastung der OP-Säle

Die Auslastung der OP-Säle in **Abbildung 6** zeigt ein ähnliches Bild wie in Simulationsbeispiel 1. Hervorzuheben ist jedoch die geringere (geplante) Überauslastung der OP-Säle, welche aus dem Mix des Patientenkollektivs resultiert. Somit trägt die Integration von kurzen und langen OP-Zeiten zu einer effektiveren Auslastung der OP-Kapazitäten bei. ►

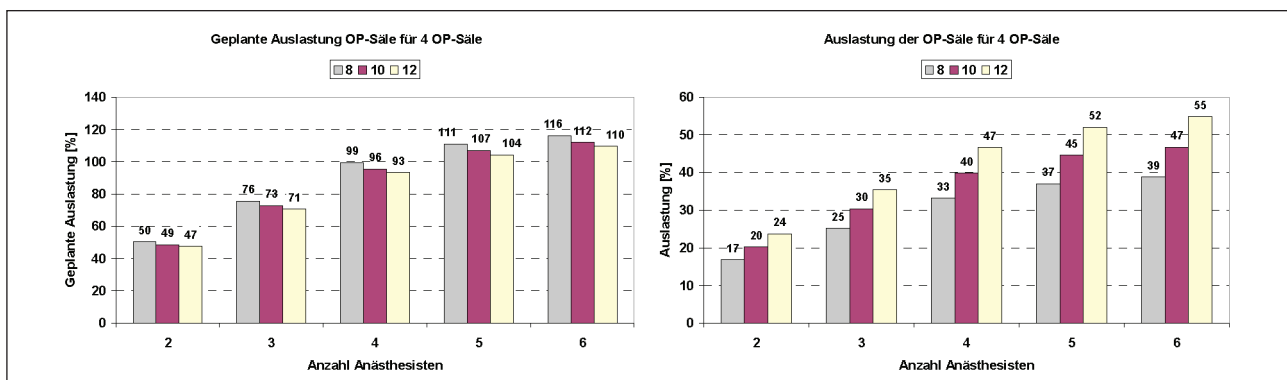


Abb. 6: Durchschnittliche Auslastung der OP-Säle für das Simulationsbeispiel 2.



### ► Auslastung der Anästhesisten

Die insgesamt kürzeren OP-Dauern für das gemischte ACH- und HNO-Patientenkollektiv tragen zu einer höheren Auslastung der zusätzlichen (>4) Anästhesisten bei. Daraus resultiert eine systematisch höhere geplante Auslastung, da die kürzeren OP-Dauern der HNO-Eingriffe eine erhöhte Parallelisierung beim überlappenden Einleiten der Prozesse erfordern - vgl. **Abbildung 7**.

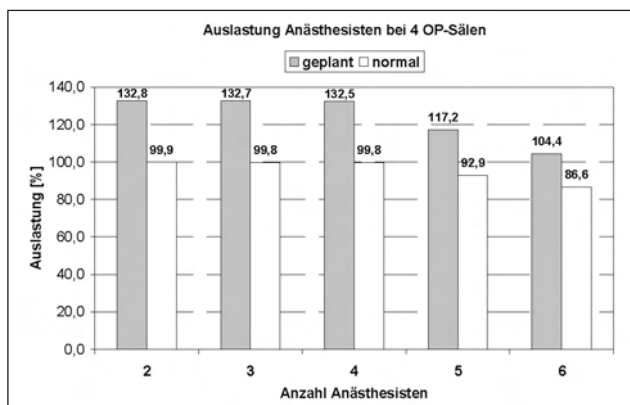


Abb. 7: Durchschnittliche Auslastung der Anästhesisten für das Simulationsbeispiel 2.

### Gesamtzahl der OP-Tage

Die Laufzeiten in **Abbildung 8** weisen grundsätzlich einen ähnlichen Verlauf auf wie in Simulationsbeispiel 1. Dabei ist es wichtig, eine geeignete Abschätzung der erwarteten Laufzeit der Simulation für die 4 Säle mit durchschnittlich 5 Anästhesisten zu entwickeln. Die errechneten Laufzeiten für das gesamte Patientenkollektiv lassen sich anhand der zugrunde liegenden Daten wie folgt abschätzen: Die jeweils 129 Arbeitstage des ACH- (auf Basis von 4 Sälen) und HNO- (auf Basis von 2 Sälen) Kollektivs lassen sich unter der Annahme eines linearen Verhaltens auf 194 ( $129 + 129 \cdot 0,5$ ) Arbeitstage errechnen. Die in der Simulation erzielte Abweichung von ca. 4 % (202 Arbeitstage) kann als eine hinreichend gute Annäherung verstanden werden.

## 5. Diskussion

### 5.1 Allgemeine Einschränkungen

Die computergestützte Simulation erweist sich als ein effektives Werkzeug zur Analyse und Untersuchung perioperativer Prozesse. Simulationen können dabei helfen, diese Prozesse, deren Umfang und Kosten selten aufgezeigt werden, für den jeweiligen OP-Bereich weiter zu untersuchen. Darüber hinaus stellt die computergestützte Simulation im Gegensatz zur tatsächlichen Nachbildung perioperativer Strategien ein sicheres und ökonomisches Mittel dar,

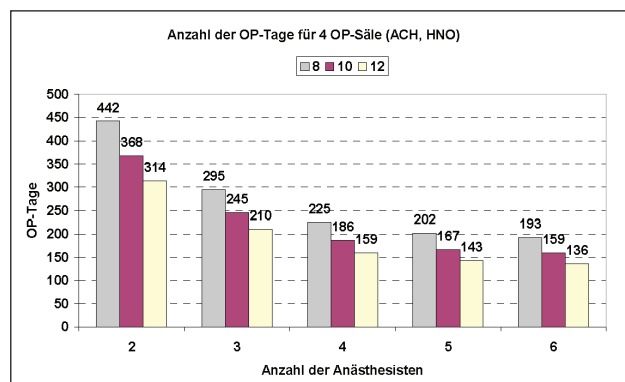


Abb. 8: OP-Gesamtlaufzeit in Tagen für das heterogene Patientenkollektiv in Simulationsbeispiel 2.

eine Entscheidungsunterstützung im perioperativen Prozess zu ermöglichen. Obwohl die computergestützte Simulation schon seit einigen Jahren zur Analyse von Krankenhausprozessen und OP-Prozessen verwendet wird, gibt es zahlreiche Probleme bei der Transformation perioperativer Abläufe in ein Simulationsmodell. Diese Einschränkungen betreffen nicht eine spezifische Simulationssoftware, sondern beziehen sich auf die Charakteristika der Prozesse und Ressourcen im OP – siehe auch [29]. Häufig sind diese in der Komplexität klinischer und perioperativer Prozesse verankert und erfordern neuartige Herangehensweisen bei der Übertragung der OP-Prozesse [4,29].

### 5.2 Handlungsempfehlungen aus der Simulation

Im OP-Prozess können bestimmte Arbeitsabläufe identifiziert werden, die die 'Performance' des Prozesses und somit auch des gesamten OP-Zentrums während des Tages wesentlich beeinflussen. Diese sogenannten Steuerungspunkte lassen sich auf die gemeinsame Beanspruchung knapper Personal- und Raumressourcen zurückführen. Insbesondere die Allokation bestimmter Arbeitsabläufe und Aktivitäten in vordefinierten Räumen setzt enge Grenzen an die Flexibilität des perioperativen Ablaufs und deren Umgestaltung. Der Einsatz der Simulation unterstützt dabei, die identifizierten Steuerungspunkte der Prozesse objektiv und transparent herauszufinden. Die wichtigsten Punkte für die Prozess(-um-)gestaltung sind dabei der optimale Einsatz von Anästhesisten zur überlappenden und parallelen Einleitung sowie die korrekte Informationsübermittlung bei der Freigabe von Patienten oder dem Patientenabruf von der Station. Zudem wird deutlich, dass die Überbeanspruchung der Ressourcen auf eine unzureichende OP-Planung zurückzuführen ist. Eine optimale Abstimmung der verfügbaren Blockzeiten mit den entsprechenden Disziplinen und die Festlegung eines detaillierten OP-Plans durch statistische ►

► Methoden (vgl. [15,20]) kann zur Reduzierung der Überbeanspruchung beitragen. Darüber hinaus lassen sich umfangreichere und komplexere Mechanismen der OP-Prozesse abbilden. Die einzelnen Einflussfaktoren und deren Abhängigkeiten auf den OP-Ablauf ermöglichen weitreichende Erkenntnisse bei den Entscheidungsträgern der einzelnen Bereiche des OP- und Klinik-Managements. So können Arbeitszeitmodelle überprüft, komplexere Raumveränderungen, wie z.B. die Einführung einer Holding-Area getestet oder die Auswirkungen unterschiedlicher Ausbildungslevels und Qualifikationen des Personals untersucht werden.

## 6. Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Artikel wird der Einsatz computergestützter Simulation vorgeschlagen, um das OP-Management zu unterstützen, im Entscheidungsprozess neuartige perioperative Ablaufstrategien umzusetzen. Darüber hinaus wurde eine Simulationsstudie präsentiert, die die Potentiale computergestützter Simulation für Entscheidungen am Klinikum Mannheim präsentiert. Eine Feldstudie zeigt zudem, wie sich das Verhalten eines OP-Bereichs bei Einsatz einer unterschiedlichen Anzahl von Ressourcen und anderer Ablaufparameter ändert.

Die Ergebnisse unserer Studie zeigen, dass die computergestützte Simulation ein effektives, sicheres und ökonomisches Werkzeug zur Entscheidungsunterstützung sein kann. Simulationen können zur Untersuchung von Prozessveränderungen, Optimierungsstrategien, veränderten baulichen Einrichtungen oder neuen Technologien benutzt werden. Die perioperativen Abläufe können durch die Steigerung der Sicherheit und Effizienz optimiert werden.

Zur verbesserten Entscheidungsunterstützung in Zukunft werden in Kapitel 5 die Herausforderungen weiter untersucht. Dazu werden bessere und realitätsnahe Abbildungen realer Prozesse im Simulationssystem angestrebt. Die erfolgreiche Umsetzung simulationsbasierter Ergebnisse erfordert die Entwicklung von Richtlinien und Anweisungen für das OP-Personal, um die Wirksamkeit der Optimierungsstrategien zu verankern. Die Forschungsinitiative ‚OP-proActive‘ (<http://www.op-proactive.de>) geht durch die Entwicklung einer web-basierten Simulationsumgebung neue Wege beim Einsatz computergestützter Simulation für das OP-Management.

### Literatur

1. **vd Aalst W, Hee Kv.** Workflow Management: Models, Methods, and Systems. Cambridge/Massachusetts, London/England: The MIT Press; 2002.

2. **Anderson JG.** Evaluation in health informatics: computer simulation. *Computers Biology Medicine* 2002;32(3):151-164.
3. **Barkaoui K, Dechambre P, Hachicha R.** Verification and optimisation of an operating room workflow. *HICSS. Proc 35th Ann Hawaii International Conference on System Sciences*. 2002
4. **Baumgart A, A. Zoeller, Denz C., Bender H.-J., Heinzl A., Badreddin, E.** Using Computer Simulation in Operating Room Management: Impacts on Process Engineering and Performance. *HICSS 2007. 40th Ann Hawaii Internat Conference on System Sciences* 2007;
5. **Centeno MA.** Challenges of introducing simulation as a decision making tool, in *WSC '01: Proc 33rd Conference on Winter Simulation*, IEEE Computer Society 2001:17-21.
6. **Davenport TH.** *Process Innovation: Reengineering Work through Information Technology*. Boston: Harvard Business School Press; 1993.
7. **Davies R, Davies HTO.** Modelling patient flows and resources provision in health systems. *Omega Intern J Management Science* 1994;19:173-182.
8. **Davis JP, Eisenhardt KM, Bingham CB.** Developing Theory through Simulation Methods. *Acad Management Rev* 2007;32(2):480-499.
9. **Denton B, Viapiano J, Vogl A.** Optimization of surgery sequencing and scheduling decisions under uncertainty. *Health Care Management Science* 2007;10(1):13-24.
10. **Denz C, Baumgart A, Zöller A, Schleppers A, Heinzl A, Bender HJ.** Perspektiven zur Weiterentwicklung des OP-Managements: Von der Prozessanalyse zur simulationsbasierten Planung und Steuerung. *Anästh Intensivmed* 2008;49:85-93.
11. **Dexter F.** Deciding whether your hospital can apply clinical trial results of strategies to increase productivity by reducing anesthesia and turnover times. *Anesthesiology* 2005;103:225-228.
12. **Dexter F, Macario A, Lubarsky DA, Burns DD.** Statistical method to evaluate management strategies to decrease variability in operating room utilization: Application of linear statistical modeling and Monte Carlo simulation to operating room management. *Anesthesiology* 1999;91:262-274.
13. **Dexter F, Epstein RH.** Operating room efficiency and scheduling. *Curr Opin Anaesthesiol* 2005;18:195-198.
14. **Feyrer R, Kunzmann U, Weyand M.** Computerunterstützte Prozesssimulation: Ein Beitrag zur Prozessoptimierung im OP. *Computer-assisted Process Simulation: A Suitable Instrument for Process Optimization in Hospitals*(4): 2006:347-353.
15. **Freytag S, Dexter F, Epstein RH, Kugler C, Schnettler R.** Allocating and scheduling operating room time. *Chirurg* 2005;76:71-79.
16. **Everett JE.** A decision support simulation model for the management of an elective surgery waiting system. *Health Care Management Science* 2002;5:89-95.
17. **Hammer M.** Reengineering work: Don't automate, Obliterate. *Harv Bus Rev* 1990;104-112.
18. **Hanss R, Buttgerit B, Tonner PH, Bein B, Schleppers A, Steinfath M, et al.** Overlapping induction of anesthesia: an analysis of benefits and costs. *Anesthesiology* 2005;103:391-400.
19. **Hartung J, Elpelt B, Klossner KH.** *Statistik - Lehr- und Handbuch der angewandten Statistik ; mit zahlreichen, vollständig durchgerechneten Beispielen*. München, Wien: Oldenbourg; 2005.
20. **Jebali, AB, Alouane H, Ladet P.** Operating rooms scheduling. *Internat J Production Econom* 2006;99:52-62.
21. **Jun JB, Jacobson SH.** Application of discrete-event simulation in health care clinics: A survey. *J Oper Res Soc* 1999;50:109.
22. **Law AL, Kelton WD.** *Simulation Modelling and Analysis*. McGraw Hill; 2000.
23. **Krupka DC, Sandberg WS.** Operating room design and its impact on operating room economics. *Curr Opin Anaesthesiol* 2006;19:185-191.
24. **Kwak NK, Kuzdrall PJ, Schmitz HH.** The GPSS Simulation of scheduling Policies for surgical Patients. *Management Science* 1976;22:982-989.
25. **Lowery JC, Davis JA.** Determination of operating room requirements using simulation. In: *WSC '99: Proc 31st Conference on Winter Simulation*. ACM Press; 1999:1568-1572.
26. **McIntosh C, Dexter F, Epstein R.** The impact of service-spe-

- cific staffing, case scheduling, turnovers, and first-case starts on anesthesia group and operating room productivity: a tutorial using data from an Australian hospital. *Anesth Analg* 2006;103(6):1499-1516.
27. **Miller MJ, Ferrin DM.** The application of simulation methodology in a hospital's six sigma project, HICSS. *Proc 38th Annual Hawaii International Conference System Sciences*; 2005:4.
28. **Pinedo M L.** *Planning and Scheduling in Manufacturing and Services.* Berlin: Springer; 2006.
29. **Reijers HA, van der Aalst, Wil MP.** The effectiveness of workflow management systems: Predictions and lessons learned. *Internat J Information Management* 2005;25:458-472.
30. **Robinson S.** Discrete-event simulation: from the pioneers to the present, what next? *J Oper Res Soc* 2005;56:619-629.
31. **Sandberg WS, Daily B, Egan M, Goldman, Stahl JE, Julian M, Wiklund RA, Rattner D.** Deliberate perioperative systems design improves operating room throughput. *Anesthesiology* 2005;103:406-418.
32. **Smith H, Fingar P.** *Business Process Management - the Third Wave.* Meghan Kiffer Press; 2003.
33. **Torkki PM, Marjamaa RA, Torkki MI, Kallio PE, Kirvelä OA.** Use of anesthesia induction rooms can increase the number of urgent orthopedic cases completed within 7 hours. *Anesthesiology* 2005;103:401-405.
34. **Volkner P, Werners B.** A simulation-based decision support system for business process planning. *Fuzzy Sets and Systems* 2002;125:275-287.

35. **Wullink G, Houdenhoven M, Hans E W, Oostrum JM, Lans M, Kazemier G.** Closing Emergency Operating Rooms Improves Efficiency. *J Med Syst* 2007;31(6):543-546.

36. **Zoeller D, Denz C, Baumgart A, Bender HJ, Badreddin E, Heinzl A.** Information need and IT demands for business process reengineering in operation room management. In: *Proceeding of 1st European Conference on eHealth (ECEH06)* Fribourg, Switzerland, 2006 October 12-13.

### Korrespondenzadresse:

André Baumgart, Diplom-Kaufmann

Klinik für Anästhesiologie und

Operative Intensivmedizin

Universitätsklinikum Mannheim

Theodor-Kutzer-Ufer 1 - 3

68167 Mannheim

Deutschland

Tel: 0621 383-3573

Fax: 0621 383-2164

E-Mail: [andre.baumgart@medma.uni-heidelberg.de](mailto:andre.baumgart@medma.uni-heidelberg.de)