



**Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg**  
**Medizinische Fakultät Mannheim**  
**Dissertations-Kurzfassung**

**Simulation modeling and analysis in operating room management :  
applications of computer simulation to process performance,  
economics and quality of care**

Autor: André Stephan Baumgart  
Institut / Klinik: Department of Anesthesiology and Intensive Care Medicine  
Doktorvater: Prof. Dr. med. Dr. rer. nat. H.-J. Bender

**Background:** The ongoing structural changes in the German healthcare system affect the development of existing clinical institutions. Hospitals are forced to efficiently allocate and mobilize their resources, particularly in operating rooms. Since the beginning of the 20<sup>th</sup> century, the scientific community of various fields, e.g., healthcare and medical management and applied mathematics, has started to investigate operating room (OR) and other hospital unit problems. The question of how operating rooms should be managed economically and effectively has received great attention from researchers in recent years.

**Research Questions:** This thesis analyzes appropriate computer-based representations of the real-world OR entities, studying the effects of changes in the OR setting on OR performance and economics and their impact on quality of care. The main objectives of this thesis are to conduct studies that utilize simulation theories and methodologies to address relevant research problems of OR management. The research framework therefore has fused existing scientific knowledge to address relevant problems of the operating room management. The approach of this thesis requires that the questions asked be divided into general (qualitative) and specific (quantitative) research questions. The qualitative questions entail the justification of applying simulation methods in OR management and the analysis of virtual representations of OR entities. The quantitative research questions focus on simulation studies of the planning and control levels of the presented research framework and output measures in each study. The questions include the flexible assignment of personnel in OR processes to improve process efficiency and robustness, the introduction or usage of innovative drugs in anesthesiological treatment to enhance perioperative performance and OR economics, and the analysis of work context in OR processes for improved quality of care.

**Methods:** Computer simulation was used to analyze and model ORs, as this approach has the highest degree of realism in a mathematically formal environment. Moreover, it is an economic, safe and expeditious method of experimentation. Modeling OR processes and their related entities for different levels of the planning and control framework were simulated. Thus, OR suites and processes, and their related problems were studied extensively through simulation.

**Results:** A valid description of operating room settings is provided through a simulation methodology involving the structured process of creating a computerized mathematical representation of OR entities and processes. This requires the organized and structured transfer of real-world OR settings into a computerized representation in which all medical components and organizational conditions are valid model entities. The components of a simulation study also enable the realization and the virtual modeling of an OR setting in a given computer program. The investigated aspects of the simulation studies focus on process performance or temporal indicators, economic indicators, and quality measures. Each of these indicators was analyzed and the OR setting modeled in a computer environment, followed by a scenario analysis and evaluation of the outputs of the simulation runs. The key identified process steps and resources include: (1) the ideal number of anesthesiologists for overlapping and parallel anesthetization and (2) accurate information transfer at the time of the next patient call when patients are called in from the ward. The impact of process designs on the selected performance and economic indicators showed that, in addition to the shortening of anesthesia emergence times and thus the possible shortening of turnover times, further medical and organizational conditions need to be fulfilled to realize process improvements and economic potentials. In addition, the interactions of the physicians and nurses (represented in the social network

analysis) greatly depend on the facility setting in which they work as the structures around them influence workflows and care processes.

**Discussions:** The main objective was to conduct simulation studies by utilizing mathematical theories and methodologies to address relevant problems faced in OR management. This was done through a thorough analysis and evaluation of changes in the OR setting in order to find practically relevant approaches and results as well as to develop new research knowledge. Although simulation has been used for many years our simulation studies revealed several problems in transferring the perioperative processes into a simulation model. Several artifacts and process entities in operating theaters cannot be transferred and represented easily in a simulation model. This is not caused by a specific tool but rather by the characteristics of the processes and resources. Existing models in manufacturing and logistics cannot be applied directly to the specific healthcare environments, which accounts for the lack of adoption of models in this field. Moreover, the social dynamics and culture in an OR unit need to be considered, since they could be essential prerequisites for the introduction of these new methods in ORs. In future studies, the usage of simulation in different areas of research, e.g., organizational ecology and public health, may be essential to show the socioeconomic impact of patient care in high-care processes. Moreover, the application of simulation to related hospital departments, e.g., intensive care units, will be of key interest for hospital managers and other stakeholders in the hospital organization to sustain improvement of clinical pathways.

## **Simulationsbasierte Modellierung und Analyse im OP - Management**

Autor: André Stephan Baumgart  
Institut / Klinik: Klinik für Anästhesiologie und Operative Intensivmedizin  
Doktorvater: Prof. Dr. med. Dr. rer. nat. H.-J. Bender

**Hintergrund:** Die ökonomischen Rahmenbedingungen beeinflussen in zunehmendem Maße die Handlungsalternativen bestehender Einrichtungen des Gesundheitswesens und werden zu nachhaltigen strukturellen Änderungen im Krankenhauswesen führen. Krankenhäuser sind daher gezwungen ihre Aufbau- und Ablauforganisation umzugestalten, um ihre Ressourcen effizient zu allozieren, im Besonderen in den OP-Bereichen. Die Einführung von Techniken aus dem Bereich des Management Science und Operational Research zu Beginn des 20ten Jahrhunderts war der Anfang von zahlreichen Anwendungen wissenschaftlicher Managementmethoden und Prinzipien im Gesundheitswesen. Zahlreiche neue Managementstrategien wurden in den letzten Jahren eingeführt, um den Erfordernissen im OP-Management nach ständiger Veränderung und Verbesserung gerecht zu werden.

**Problemstellung und Forschungsfragen:** Die Arbeit analysiert geeignete Repräsentationen der realen OP-Umgebung und der damit verbundenen Entitäten (z.B. OP-Personal, Räume) in einem virtuellen, computerbasierten Simulationssystem. Das Hauptziel der Doktorarbeit war die Durchführung von Studien, welche simulationsbasierte, mathematische Methoden anwenden und Probleme des OP-Managements analysiert und modelliert. Die Studien untersuchen Veränderungen der OP-Bereiche und deren Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit der Prozesse und ökonomischen Kennzahlen sowie der Behandlungsqualität. Das Rahmenwerk der Forschungsarbeit verbindet existierende Ansätze der wissenschaftlichen Literatur (z.B., OP-Prozessmodellierung und statistische Verteilungsschätzung von Einleitungsdauern), um relevante Probleme (z.B. Analyse der überlappenden Einleitung) des OP-Managements zu untersuchen. Der Forschungsansatz der Arbeit erfordert eine Unterteilung der Forschungsfragen in einen allgemeinen, qualitativen und speziellen, quantitativen Teil. Die qualitativen Fragen beinhalten die Erläuterung der Anwendung von Simulationsmethoden im OP-Management. Die quantitativen Fragestellungen fokussieren sich auf die Planungsebenen des Forschungsrahmenwerks und die relevanten Kennzahlen, welche in jeder Simulationsstudie adressiert werden. Dies umfasst die flexible Zuordnung von Personal im OP-Prozess, um somit die Prozesseffizienz und Robustheit zu verbessern. Des Weiteren wird die Einführung innovativer Medikamente auf die anästhesiologisch kontrollierte Zeit zur Prozessverbesserung und Erlössteigerung untersucht. In der dritten Studie werden kontextspezifische Bedingungen im OP untersucht, welche die Auswirkungen auf die Arbeitsabläufe des OP-Personals sowie die „Übergabe von Arbeit“ (hand over of work) im Prozess aufzeigen. So werden potentielle

Auswirkungen auf die Qualität der Behandlung durch unterschiedliche bauliche Gegebenheiten durchleuchtet.

**Methoden:** Die Computersimulation wird für die Analyse und Modellierung unterschiedlicher Problemstellungen des OP-Managements herangezogen. Der Ansatz besitzt den höchsten Realitätsgrad formaler Modelle und ermöglicht gleichzeitig ausreichende Flexibilität, die komplexen organisatorischen Rahmenbedingungen im OP abzubilden. Zudem können die Entscheidungsträger und Verantwortlichen eines OP-Bereichs nicht in die Modellbildung eingreifen können, um die Ergebnisse der Simulationsstudien zu beeinflussen. Die Simulation ist ein ökonomischer, sicherer und schneller Weg die OP-Prozesse und -Entitäten auf unterschiedlichen Ebenen zu modellieren und durch entsprechende Szenariobetrachtungen zu analysieren.

**Ergebnisse:** Die operativen und perioperativen Arbeitsabläufe, welche in den Studien analysiert wurden, beeinflussen in hohem Maße die Performance der OP-Prozesse und damit des gesamten OP-Bereichs. Die Studien untersuchten zunächst das Prozessdesign und deren Auswirkung auf die Performanz der OP-Prozesse. Als zentrale Prozessschritte und Ressourcen in der perioperativen Organisation wurden identifiziert: (1) die optimale Anzahl von Anästhesiepersonal für die überlappende und parallele Einleitung im präoperativen Prozess und (2) die Weitergabe von Informationen, wie z.B. beim Abruf von Patienten sowie (3) die Ermittlung einer optimalen Arbeits- und Laufzeit der OP-Bereiche für ein vorliegendes Patientenportfolio, sodass auch Über- und Unterauslastungen vermieden werden. Die Einführung innovative Medikamente und der Einfluss auf die Erlössituation zeigen, dass die Verkürzung der Anästhesieausleitung und damit die Verkürzung der Wechselzeiten nur dann ökonomische Verbesserungen erbringt, wenn weitere medizinische und organisatorische Bedingungen vorliegen. Generell konnte nicht gezeigt werden, dass für jede OP-Umgebung in unterschiedlichen Krankenhäusern dieser Zusammenhang positiv und damit signifikant ist. Des Weiteren sind die Interaktionen von Ärzten und Schwestern in hohem Maße von der baulichen Struktur und damit der Arbeitsumgebung des OP-Bereichs beeinflusst. So können arbeitsintensive Arbeitsbereiche einer OP-Organisation mit enormem Stresspotential, zu potentiellen Fehlern oder Verzögerungen in der Patientenbehandlung führen.

**Diskussion:** Die Hauptziele der Arbeit umfassen die Beantwortung relevanter Fragestellungen des OP-Managements durch die Anwendung von computergestützten Simulationsmethoden, um eine fundierte Analyse und Bewertung von Veränderungen der OP-Umgebung zu erzielen. Die Formulierung geeigneter Empfehlungen und Strategien für das OP-Management werden durch die Entwicklung eines geeigneten Rahmenwerks gestützt, welches mehrere OP-Planungsebenen unterscheidet. Die Limitationen simulationsbasierter Planungs- und Steuerungsansätze liegen im Grad der Detailschärfe des Modells im Verhältnis zur Realität. Die existierenden Modelle zur praktischen Anwendung von Simulationsergebnissen aus dem Industriebereich können nicht einfach auf die OP-Bereiche übertragen werden. Dies führt dazu, dass im Krankenhaus und Gesundheitswesen formale Modelle bisher selten praktisch eingesetzt werden. Des Weiteren müssen die sozialen und kulturellen Begebenheiten eines OP-Bereichs beachtet werden. In der Zukunft wird die Anwendung von simulationsbasierten und quantitativen Methoden insbesondere Auswirkungen der Gestaltungsoptionen auf die Behandlungsqualität in den Prozessen des OP- und Intensivbereichs untersuchen. Moderne Forschungsbereiche der Organisationstheorie („organizational ecology“) und Public Health werden die Auswirkungen von organisatorischen Faktoren auf die langfristige Gesundheit von Patienten analysieren und wertvolle Rückschlüsse für Krankenhausmanager, leitenden Ärzte und Patienten liefern, um frühzeitig Gesundheitsmehrkosten zu vermeiden.