

# Multiagentensimulation zur Prozessoptimierung in der Strahlentherapie

Rainer Herrler<sup>1</sup>, Oliver Kölbl<sup>2</sup>, Frank Puppe<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Lehrstuhl VI, Institut für Informatik, Universität Würzburg  
{herrler, puppe}@ki.informatik.uni-wuerzburg.de

<sup>2</sup> Klinik für Strahlentherapie, Universität Würzburg  
{koelbl}@strahlentherapie.uni-wuerzburg.de

**Abstract.** Zahlreiche Beispiele aus Industrie und Forschung zeigen, dass Simulation ein nützliches Instrument zur Prozessoptimierung ist. Multiagentensimulation ist insbesondere auch zur Abbildung dynamischer Wechselwirkungen und flexibler Interaktionen geeignet. Diese spielen im Bereich der verteilten Terminplanung im Krankenhaus eine große Rolle und sind mit traditionellen Simulationsmethoden nur ungenügend zu realisieren. Ein spezialisiertes Baukastensystem basierend auf der Entwicklungsumgebung SeSAm soll das Erstellen von Simulationsmodellen im klinischen Bereich erleichtern. Erste Resultate werden anhand der Simulation einer Strahlentherapieambulanz illustriert.

## 1. Einleitung

Die Organisation und Optimierung von Terminen ist eine der wichtigsten Nebenaufgaben im klinischen Alltag [1]. Mit ihren Auswirkungen auf die Auslastung des Personals und der Geräte stellt sie als solches auch einen viel versprechenden Bereich für Kostensenkungen dar. Gleichzeitig muss jedoch auch die Autonomie der einzelnen Funktionseinheiten und die Dynamik der Umgebung (Notfälle usw.) berücksichtigt werden. Verschiedene Maßnahmen können zur Optimierung durchgeführt werden wie z.B. die Beschaffung von zusätzlichen Geräten, die Einführung von Schichtbetrieb oder einer alternativen Planungsstrategie [2]. Sichere Aussagen über die Auswirkungen solcher Maßnahmen auf zu optimierende Zielgrößen können dabei meist nicht a priori gemacht werden. Simulationsmodelle helfen an dieser Stelle, indem sie bessere Einschätzungen liefern und Entscheidungen unterstützen, da Experimente schnell, kostengünstig und gefahrlos am Rechner durchgeführt werden können.

Abhängig von der Fragestellung bieten sich verschiedene Simulationstechniken an. Warteschlangenmodelle sind bei einfachen Ressourcenfragen geeignet, bieten jedoch in komplexeren Szenarien mit individuellen Patientenpräferenzen, und unterschiedlichen Planungsstrategien zu wenig Flexibilität [3]. Die Multi-Agenten-Simulationen bieten dagegen diese Möglichkeiten und erlauben zudem eine sehr intuitive Modellierung der Szenarios [4].

Die Organisationsstruktur und die Abläufe in Kliniken unterscheiden sich nicht nur von Fachbereich zu Fachbereich sondern ebenso zwischen den einzelnen Stand-

orten sehr stark. Simulationsergebnisse können deshalb in der Regel nicht verallgemeinert werden und es sind angepasste Modelle für verschiedene Kliniken notwendig.

Dieser Betrag beschreibt wie mit Hilfe der Simulationsumgebung SeSAM (<http://www.simsesam.de>) ein Modell für eine Strahlentherapie-Klinik erstellt wurde und welche Untersuchungsfragen damit realisiert werden können. Das Simulationsmodell wurde in einer Kooperation der Klinik für Strahlentherapie und dem Lehrstuhl für künstliche Intelligenz der Universität Würzburg erstellt. Im Weiteren werden Erweiterungen vorgestellt, die das allgemeine Entwicklungswerkzeug SeSAM zu einem einfachen „Klinikbaukasten“ erweitern, der die Grundzüge der Domäne bereits berücksichtigt, jedoch auch den Unterschieden der Kliniken gerecht wird.

## 2 Beschreibung der Abläufe in der Strahlentherapie

In der Behandlung bösartiger Erkrankungen hat die Strahlentherapie heute neben der Operation und der Chemotherapie ihren festen Platz. Die Patienten werden meist vom Hausarzt eingewiesen und ambulant behandelt. Nach dem ersten Erscheinen werden zunächst einige Termine für Untersuchungen und Einstellungen gemacht, bevor die Patienten nach etwa 8 Tagen zu täglichen Bestrahlungen bestellt werden. Die Planung der ersten Untersuchungen ist dabei am kritischsten, da die sie kurzfristig erfolgen muss und viele Randbedingungen (z.B. Zeitabstand zw. Untersuchungen) beachtet werden müssen. Nach der ärztlichen Aufnahme in der Poliklinik wird entschieden, welcher von drei möglichen Behandlungspfaden durchgeführt wird. Der Behandlungspfad gibt vor, welche medizinischen Aktionen (siehe Abbildung 1) in welcher Reihenfolge durchgeführt werden sollen. Dabei gibt es verschiedene Ressourcen zur Durchführung der Aktionen: ein spezielles Durchleuchtungsgerät (Simulator), in dem eine geeignete Lagerung des Patienten bestimmt wird, ein CT zur Ermittlung der Lage von Organen und vier Bestrahlungsgeräte zur Behandlung. Die erste Bestrahlung (auch genannt Neueinstellung) dauert etwas länger als die nachfolgenden und sie wird deshalb zu speziell reservierten Planungszeiten durchgeführt. Sobald die Patienten den Einstellungsprozess durchlaufen haben, kommen sie zur täglichen Bestrahlung, wobei im Schnitt 30 Behandlungen durchgeführt werden.

Die Planung wird unter Berücksichtigung von Reihenfolge- und Zeitconstraints nach der ärztlichen Aufnahme von einer MTA durchgeführt. Bei der Planung wird von den durchschnittlichen Zeitdauern aus Abbildung 2 ausgegangen, die in der Durchführung jedoch abweichend sein kann.

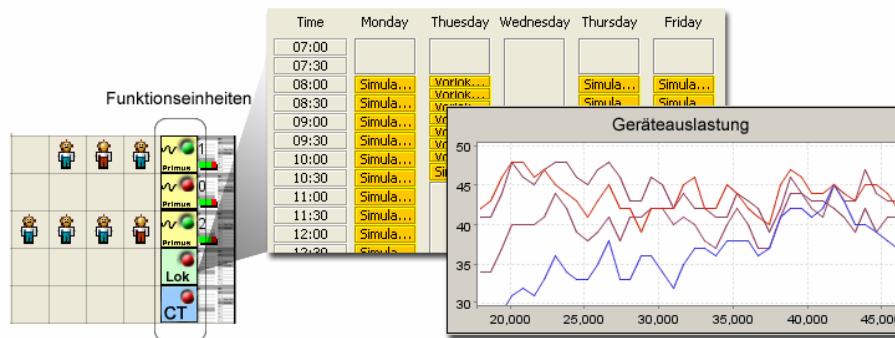
	Geplanter Task	Bed.	Beteiligte Ressourcen (Menge)	Dauer	Anzahl pro Tag	Typischer Zeitablauf
1	Vorlokalisierung	vor 3	Simulator (1)	~20 min	~ 20	8-17 Uhr
2	Simulation	vor 4		~30 min		
3	CT	vor 2	CT (1)	~30 min	~13	8-15 Uhr
4	Neueinstellung	vor 5	Bestrahlungsgerät (4)	~15 min	~16	10-11 Uhr
5	Bestrahlung			~10 min	~120	8-10 u. 11-17

**Abbildung 1.** Tabelle mit Informationen über Zeitdauern und Ressourcen

### 3 Simulationsmodell in SeSAM

Basierend auf dem in Abschnitt 3 dargestelltem Szenario wurde in der Modellierungsumgebung SeSAM ein Simulationsmodell erstellt, das die Planungsvorgänge und die Patientenbehandlung nachbildet (siehe Abbildung 2).

Damit eine leichte Anpassung des Modells an andere Szenarien nach dem „Baukastenprinzip“ möglich wird, wurde SeSAM um spezialisierte Dialoge und Editoren erweitert. Simulationsparameter wie Anzahl, Art und Öffnungszeiten der Geräte können hier ohne aufwendigere Modelländerungen eingegeben werden. Behandlungspfade für verschiedene Krankheiten können definiert werden und eine Verteilungsfunktion bestimmt den Patientenmix und die Ankunftsrate von neuen Patienten.



**Abbildung 2.** Laufendes Modell der Strahlentherapie. Patienten besuchen die Funktionseinheiten zu vorgeplanten Terminen. Die Auslastung der Geräte wird protokolliert.

Das Simulationsmodell ermöglicht, mit den Modellparametern als „Stellschrauben“ zu experimentieren und es können geänderte Alternativmodelle erstellt werden. Mögliche Untersuchungsfragen für vergleichende Evaluationen sind:

- *Ermittlung der Auslastungsgrenzen für bestimmte Szenarien*  
Das Patientenaufkommen kann durch die Änderung der Ankunftsverteilung gesteuert werden. Durch kann ermittelt werden, bis zu welchem Patientenaufkommen Planung und Ressourcenausstattung ausreichend sind.
- *Auswirkungen von Pufferzeiten*  
Zeitpuffer zwischen den geplanten Terminen ermöglichen ein flexibleres Reagieren auf ungeplante Anforderungen (Notfälle). Zugleich können sich Zeitpuffer negativ auf die Auslastung auswirken.
- *Umgang mit Geräteausfall*  
Bei Ausfall eines der vier Bestrahlungsgeräte verknappen sich die verfügbaren Termine, so dass für Ausgleich gesorgt werden muss. Hier boten sich in der Strahlentherapie zwei Möglichkeiten: Zum einen könnte Zwei-Schichtbetrieb an einem weiteren Gerät eingeführt werden oder leicht verlängerte Arbeitszeiten an allen Geräten durchgeführt werden.

In SeSAM bereitgestellte Analysefunktionen ermöglichen das Speichern von Zeitreihen zu Parametern oder die Ausgabe von Parameterwertern in Diagrammen. Auswirkungen von Modelländerungen auf die durchschnittliche Wartezeit eines Patienten und die Auslastung der Geräte sind deshalb gut zu beobachten.

Zur Optimierung eines Systems mit Hilfe der Simulation sind drei Schritte durchzuführen:

1. Ist-Zustand als Modell nachbilden.
2. Modell validieren.
3. Optimierungen im Modell erproben.

Bei der Simulation mit dem IST-Modell der Strahlentherapie konnten auch in der Realität auftretende Phänomene, wie periodisches Schwanken der Auslastung bestimmter Geräte, beobachtet werden. Auch die in der Simulation ermittelten Auslastungsgrenzen stimmen mit der Realität überein. In dem so validierten Modell sollen als nächster Schritt oben erwähnte Optimierungsfragen untersucht werden.

## 5. Zusammenfassung und Ausblick

Entscheidungsträger im Krankenhauswesen sind ständig damit konfrontiert, die Qualität der Versorgung zu garantieren als auch ein wirtschaftliches Arbeiten des Krankenhauses zu sorgen. Folgen von Optimierungsansätzen sind jedoch meist schwer zu kalkulieren. Durch die intuitive und realitätsnahe Modellierung eignet sich die Multi-Agenten-Simulation sehr gut zum Experimentieren mit solchen verteilten Systemen. Die Realisierung eines spezialisierten Werkzeuges für den klinischen Bereich ermöglicht einen einfachen und effizienten Zugang zum Thema Simulation. Natürlich ist zu überprüfen, ob die Ergebnisse des abstrahierten Modells auch der Realität entsprechen, bei Benutzung eines gut validierten Ausgangsmodells kann man jedoch zuverlässige Aussagen über die Realität machen.

Die Anwendung des entwickelten Grundsystems auf andere Kliniken soll zeigen, welche weiteren Anforderungen an solch ein Werkzeug gestellt werden müssen. Dabei steht die Repräsentation und Simulation klinischer Pfade im Vordergrund, da das Spektrum von Krankheiten in vielen Kliniken sehr heterogen ist.

## Literatur

- [1] Schlichtermann J. Patientensteuerung. Verlag Josef Eul, Bergisch Gladbach, (1990).
- [2] Sepúlveda, J., Thompson, W., Baesler, F., Alvarez, M., Cahoon, L.: The Use of Simulation for Process Improvement in a Cancer Treatment Center. Proc. of 1999 Winter Simulation conference, P. Farrington, H. Nembhard, D. Sturrock, and G. Evans (eds.), 1541-1547, 1999.
- [3] Sibbel, R., Urban, C.: Agent-Based Modelling and Simulation for Hospital Management. in: Saam, N., Schmidt, B. (eds.): Cooperative Agents. Kluwer academic publishers, Boston (2001)
- [4] Klügl, F.; Oechslein, C.; Puppe, F., Dornhaus, A.: Multi-Agent Modelling in Comparison to Standard Modelling In: AIS'2002 (Artificial Intelligence, Simulation and Planning in High Autonomy Systems), F. J. Barros, N. Giambiasi (eds.) SCS Publishing House, 105-110, 2002