

MoreSpace – Optimierung der Raumauslastung durch Einsatz von Discrete Event Simulation im Facility Management

D. Wiegand, Š. Emrich, S. Mesić, F. Breitenecker, N. Popper & S. Tauböck

Technische Universität Wien, Österreich

Kurzfassung

MoreSpace ist ein interdisziplinäres Forschungs- und Entwicklungsprojekt der Fachbereiche „Projektentwicklung und Projektmanagement“ und „Mathematical Modelling and Simulation“ an der TU Wien, finanziert von der Abteilung Gebäude- und Technik. Im Rahmen dieses Projektes wurde, basierend auf einer Kombination von Methoden beider Fachrichtungen (z.B. Discrete Event Simulation, Business Process Modeling und Flächenmanagement-Techniken), ein Werkzeug zur Simulation und Optimierung der Raumauslastung an der TU Wien entwickelt.

Der große Vorteil dieses Tools liegt einerseits im innovativen hybriden Ansatz und zweitens in der inhärenten Flexibilität. Obwohl ursprünglich speziell für die Bedürfnisse des TU Umbaus konzipiert, können durch die automatisierte Modellgenerierung beliebige Großgebäude dargestellt und simuliert werden – die notwendigen Input-Daten vorausgesetzt.

Durch den neuen Ansatz von MoreSpace wird es möglich potentielle Gebäude auf die Vereinbarkeit mit der (geplanten) Nutzung zu testen und so zu optimieren. Darüber hinaus können Kombinationen von Flächenmanagement-Strategien und dem Raumprogramm für (bestehende sowie geplante) Gebäude getestet und somit eine effizientere Raumnutzung erreicht bzw. Überdimensionierung von Gebäuden vermeiden werden.

1. Ausgangslage & Problemstellung

Der Umbau und die Neustrukturierung der Räume der TU Wien im Rahmen von „Univercity 2015“ und die damit einhergehende zeitweise Sperrung von Gebäudeteilen, waren der Anstoß für das Projekt MoreSpace. Im Rahmen von „Univercity 2015“ ist neben der Sanierung aller Gebäude der Technischen Universität auch eine Standortverdichtung der innerstädtisch gelegenen Universität vorgesehen. Da der Betrieb der Universität nicht ausgesetzt werden kann, finden sämtliche dieser Arbeiten parallel zum laufenden Betrieb statt. Die Komplexität des Umbaus gleicht dem Versuch einen Autoreifen bei voller Fahrt zu wechseln, wie TU-Rektor Skalicky bei einer internen Vorstellung von „Univercity 2015“ anmerkte. Als zusätzlich erschwerend erweist sich die Dimension des Systems, in das

während dem Umbau eingegriffen wird: über 2.000 Mitarbeiter, mehr als 15.000 Studierenden und Gebäude, die über mehrere Wiener Gemeindebezirke verteilt sind.

Um die durch die Bauarbeiten anfallenden Störungen des Forschungs- und Lehrbetriebs möglichst gering zu halten, wurde das Projekt MoreSpace gestartet. Die Abteilung „Gebäude und Technik“ beauftragte dazu die Forschungsgruppen „Projektenwicklung und –management“ um Prof. Wiegand und „Mathematical Modelling and Simulation“ um Prof. Breitenacker damit, ein Simulationswerkzeug zu entwickeln, das die Räume und ihre dynamische Nutzung abbildet und die Möglichkeit bietet verschiedene Strategien zur Minimierung der Störungen des Betriebs zu testen, mit dem Ziel Störungen zu minimieren.

Ziel von MoreSpace war es die dynamische Nutzung der im innerstädtischen Bereich knappen Ressource Raum durch den Lehrbetrieb auch nach dem Umbau zu optimieren – konkret: sicherzustellen, dass geplante Lehrveranstaltungen geeignete Räume finden und Lehrräume möglichst intensiv genutzt werden. Aus dieser Zielsetzung und den dafür eingesetzten Methoden und benötigten Daten ergaben sich zweite weitere Einsatzmöglichkeiten von MoreSpace: Die Optimierung von (Bau-) Plänen für zukünftige Gebäude sowie die Verbesserung des Flächenmanagements im laufenden Betrieb.

Ausgehend von dieser problemspezifischen Aufgabenstellung wurde ein Simulationsmodell entwickelt, welches durch die datenbankbasierte, automatisierte Modellgenerierung jedoch sehr einfach auf andere, dynamisch genutzte Großgebäude angewandt werden kann. So gesehen führte der hohe Komplexitätsgrad des Initialproblems zur Entwicklung eines generischen Simulationswerkzeugs mit einem großen Anwendungsbereich.

2. Angewandte Methoden

Wie eingangs bereits erwähnt, handelt es sich bei MoreSpace um ein interdisziplinäres Forschungs- und Entwicklungsprojekt, woraus sich ableitet, dass Methoden beider Fachrichtungen eingesetzt und kombiniert werden. Innovativ ist insbesondere der hybride Modellansatz des Simulationswerkzeugs, wobei bewährte Simulationstechniken mit jenen aus dem Projekt- und dem Flächenmanagement gekoppelt werden. Erfahrungen in einem Vorläuferprojekt an der ETH Zürich (von Prof. Wiegand geleitet) haben gezeigt, dass das Verhalten des Flächenmanagements und mögliches „Verhalten“ von Räumen, z.B. Teilbarkeit bzw. Zusammenlegbarkeit, entscheidend für die Effizienz der Raumnutzung sind. Im besagten Projekt (discreteFD) wurden Reduktionen von 40% der ursprünglich angenommenen Fläche erzielt (Wiegand et al. 2007).

Im Gegensatz zu den bisherigen, rein statischen Ansätzen (in der Regel simplen Tabellen-Kalkulationen), kennzeichnet sich das in MoreSpace entwickelte Werkzeug durch eine systemimmanente, echte Dynamik aus: Anstelle einfacher arithmetischer Operationen tritt die realitätsnahe Computersimulation. Die Grundlage und den Rahmen dafür bildet Discrete Event Simulation (DEVS)¹, eine Methode die schon seit langem in verschiedenen Bereichen zur Analyse und Verbesserung der Ressourcenplanung und -nutzung verwendet wird. Anwendungen findet man in Produktion und Logistik, der Kommunikationstechnik, im Supply Chain Management, aber auch im Krankenhausmanagement. Ihren Ausgang nahm die DEVS in den Fünfzigerjahren des vorigen Jahrhunderts (Nance 1993). Modellbildungsgrundlage ist das Entity- (Ressourcen) bzw. Entity-Flow - Konzept: Entities, z.B. zu bearbeitende Werkstücke, zu verarbeitende Datenpakete, zu liefernde Waren oder zu behandelnde Patienten, suchen ihren Weg durch den Prozess zu ihren Ressourcen – z. B. zu Bearbeitungsrobotern, zu Servern, zu Distributoren oder Ambulanzen, wobei Events, d.h. Ereignisse resp. Zustandsänderungen anderer Entitäten und die Information darüber, und Verhaltensweisen der Entitäten selbst diesen Weg beeinflussen und steuern.

Im Bereich des Managements von Raumressourcen, bzw. im Facility Management generell, stecken DEVS noch in den Kinderschuhen. Für den Einsatz in MoreSpace war es daher notwendig die Definition von DEVS zu adaptieren. Denn während Ressourcen eindeutig mit den zur Verfügung stehenden Räumen identifiziert werden können, sind für Entities verschiedene Ansätze möglich (Studenten, Buchungsanfragen, Lehrveranstaltungen, Nutzergruppen, etc.). Im Prinzip ist es ein Raumbedarf, welcher die Ressourcen für bestimmte Aufgaben reserviert. Dieser Bedarf kann wiederum mit einer bestimmten Arbeit, an der z.B. Personengruppen beteiligt sind, identifiziert werden, oder umgekehrt mit Personengruppen die im Raum eine bestimmte Aufgabe erledigen wollen.

In das DEVS-Framework werden die Flächenmanagementoptionen gebettet, welche die Buchung der Räume und dadurch das Systemverhalten steuern. Um diese Kombination realisieren zu können, werden weitere Methoden zur Unterstützung benötigt: Zum einen Business Process Modelle (BPM), zum anderen zelluläre Automaten (CA vom englischen „cellular automata“). Für die BPM wurde ursprünglich auf die Business Process Modelling Notation (BPMN) zurückgegriffen. Diese wurde von IBM speziell zur Systemanalyse und interdisziplinären Kommunikation in Form gut lesbarer Diagramme (White 2004) entwickelt.

¹ Für weiterführende Informationen zu DEVS sei u. A. auf (Fishman 2001) verwiesen.

BPMN soll allen Projektbeteiligten – begonnen bei den Analysten, über die technischen Mitarbeiter zur Umsetzung, bis zu den involvierten Wirtschaftskräften – das Verständnis der Geschäftsprozesse erleichtern und ermöglichen (Wolter & Schaad 2007).

Die bereits erwähnten zellulären Automaten (CA) sind, wie auch DEVS, ein bewährtes Modellierungswerkzeug, dessen Ursprünge ebenfalls um die Hälfte des vorigen Jahrhunderts herum liegen. Wie der Name bereits nahelegt, ist ihre Modellbildungsgrundlage die einzelne Zelle. Wenngleich unzählige Variationen von CA existieren, so wohnt ihnen allen doch ein kleinster gemeinsamer Nenner inne: Zelluläre Automaten sind in der Lage extrem komplexe Systeme abzubilden, dies jedoch bei gleichzeitig äußerst einfacher Beschreibung, bzw. auf Computersysteme übertragen, äußerst einfacher und ressourcenschonender Programmierung (Wolf Gladrow 2000, Emrich 2007). Zusammen mit Elementen der agentenbasierten Programmierung eröffnen CA ein riesiges Anwendungsfeld zur Simulation, darunter auch die Modellierung von unabhängigen Individuen in räumlichen Systemen.

Die Verifikation und Validierung des Modells erfolgte – entsprechend Wenzel et al. (2008) – sowohl parallel zur Entwicklung (V&V der Sub- und Teilmodelle sowie der neu entwickelten Algorithmen) als auch in Form einer abschließenden V&V-Session. Dabei wurden unter anderem Standardmethoden wie etwa Animation, Monitoring oder Schreibtischtest als auch komplexere Test wie z.B. Sensitivitätsanalysen, statistische Techniken oder Turing-Tests durchgeführt; vergleiche (Rabe et al. 2008).

3. Lösungsansatz und Ergebnisse

Im betrachteten Simulationsmodell sind sämtliche im vorigen Abschn. beschriebenen Methoden vereint. Als Input benötigt die Simulation Daten zu den Studierenden, den Lehrveranstaltungen (LVA) in den verschiedenen Studienrichtungen und Raumdaten. Auf Basis der Flächenmanagementregeln werden den LVA passende (Hörerzahl, LVA-Typ, Ausstattung, etc.) Hörsäle zugewiesen.

Die Entitäten (die Studenten im Fall der TU Wien) werden in Form von Agenten mit den zugehörigen Steuerplänen (Lehr- und Stundenplänen) im System abgebildet. Die Events & Ressourcen (LVA mit Anfangszeiten, Dauer, etc. sowie die zu den LVA gehörigen Hörsäle) lenken sodann die Entitäten durch den Simulationsverlauf (i.d.R. ein oder zwei Semester), wodurch z.B. die Auslastung der Hörsäle als Output ermittelt wird.

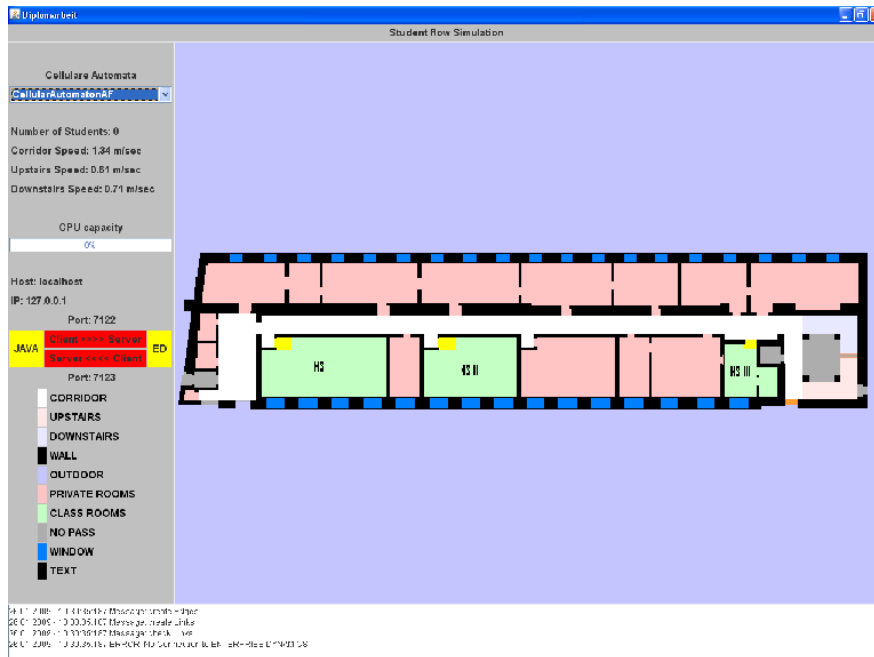


Abb. 1: Screenshot des CA-Submodells für die Wegzeitenmodellierung (im Bild ein Trakt des Hauptgebäudes der TU Wien).

Für die Simulation von Wegzeiten zwischen zwei LVA bzw. Hörsälen kommen die CA zum Einsatz, in welchen die Agenten, d.h. die Studierenden, sich die Wege durch das System suchen. Aus den Gebäudeplänen werden hierfür die Grundrisse ausgelesen und ein Submodell erstellt in welchem bei Bedarf die Wegzeiten simuliert werden. Dadurch ist die Simulation in der Lage auch Überlappungen von Events zu erkennen – die Entitäten (die Studierenden) kommen nicht oder zu spät von einer Veranstaltung in die Nächste. In Abb. 1 ist ein Screenshot des CA-Modells mit einem Trakt des TU Hauptgebäudes dargestellt.

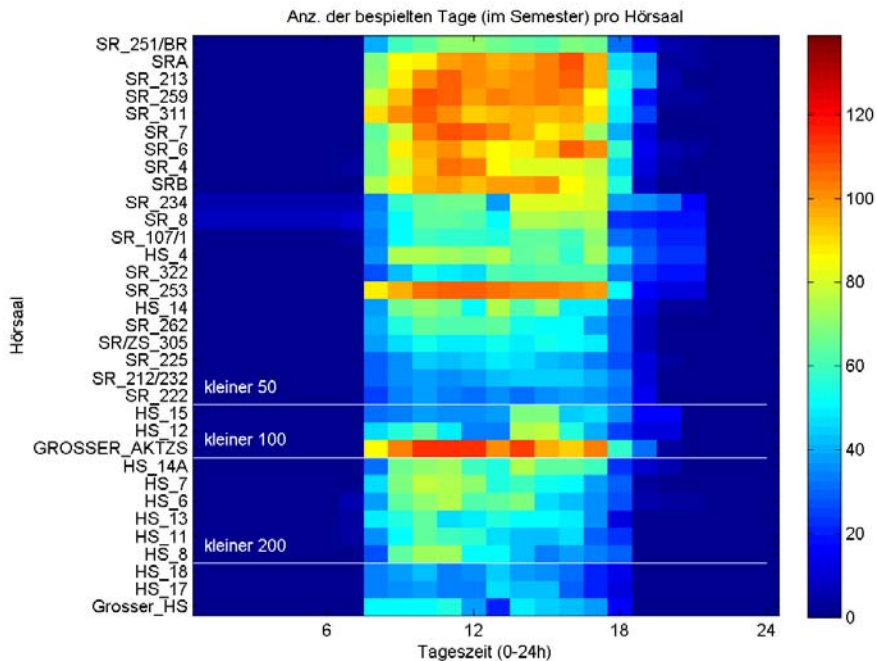


Abb. 2: Übersichtliche visuelle Darstellung der über ein Semester gemittelten Raumauslastung im Tagesverlauf (y-Achse: Hörsäle nach aufsteigender Kapazität von oben nach unten; x-Achse: Uhrzeit)

Neben der Raumauslastung (s. Abb. 2) stellt die Anzahl der Fehlbuchungen – unbefriedigte Raumanfragen für Nutzungen (LVA) – die wichtigste Kennzahl dar. Beim Einsatz an der TU Wien konnte mit der MoreSpace-Entwicklung u.a. gezeigt werden, dass die größten Engpässe bei Räumen mit Hörerkapazitäten von ≥ 200 auftreten, diese Räume aber nur zu 30% (gemittelt über die Kernzeit) ausgelastet sind.

Daraus folgt, dass es zu einer zeitgleichen Überbuchung der Räume und somit zu Ressourcenknappheit kommt. Zur Lösung dieses Problems bieten sich zwei Strategien an: eine zeitliche Flexibilisierung der Anfragen bzw. der Einsatz flexibler Räume. Letzteres ist vor allem unter dem Aspekt interessant, dass im Verlauf des Semesters der Bedarf an gewissen Hörsaalgrößen schwankt. So werden am Anfang des Semesters LVA für alle Studenten gemeinsam abgehalten, während danach die Arbeit in kleineren Gruppen erfolgt. Durch flexible Trennwände und die Möglichkeit Räume mit kleiner Hörerkapazität kurzfristig zu Großräumen zusammen zu schalten soll diesem Umstand im Rahmen von Univercity 2015 Rechnung getragen werden. Wie in Abb. 3 zu erkennen, bietet ein zeitliches Re-Scheduling zusätzliches Entspannungspotential.

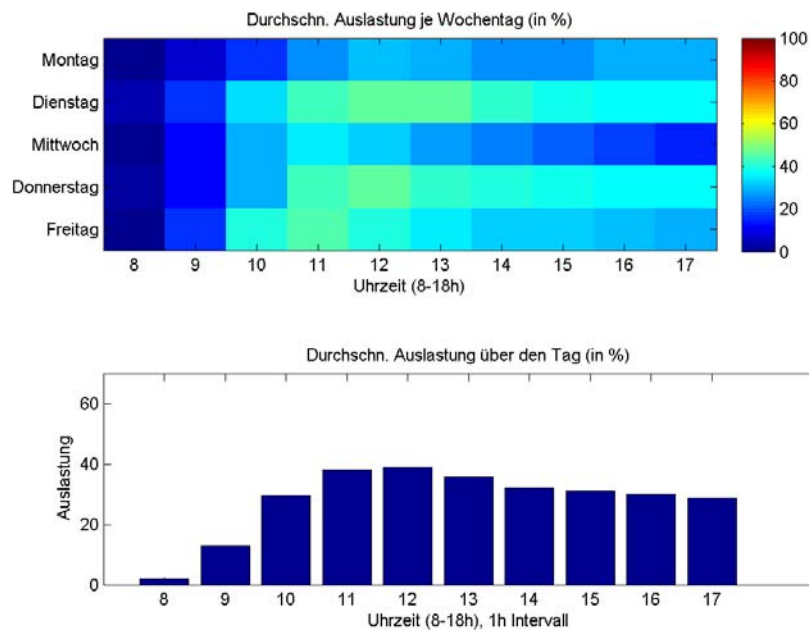


Abb. 3: Zeitlich ungleichmäßige Auslastung der Räume über ein Semester (oben: Durchschnittsauslastung der Räume nach Wochentagen und Uhrzeit unten: akkumuliert nur über Tageszeit).

Ein zweiter interessanter Aspekt war die durch das Werkzeug gewonnene Erkenntnis, dass die verwendete Buchungsdatenbank an der TU Wien automatische Reservierungen vornahm und dadurch das System blockierte. Dieses Problem wurde inzwischen behoben.

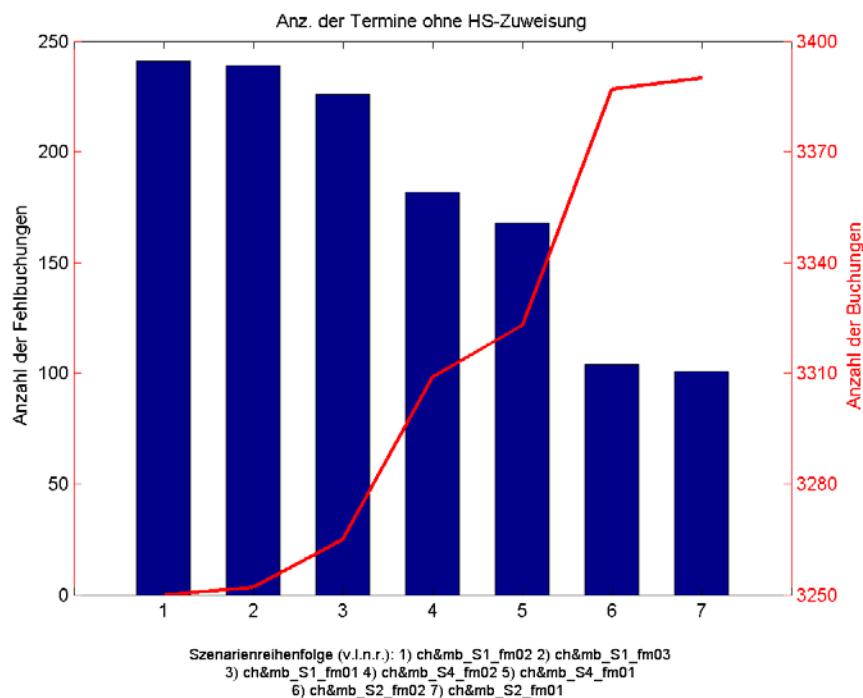


Abb. 4: Reduktion der Fehlbuchungen durch optimiertes Flächenmanagement (blau: Anzahl der Fehlbuchungen, rot: befriedigte Buchungsanfragen).

Es konnte auch eindeutig gezeigt werden, dass durch Veränderungen des Flächenmanagements, z.B. durch die Veränderung der Reihenfolge der Abarbeitung der Buchungsanfragen, die Anzahl der Fehlbuchungen extrem reduziert werden kann. Wie aus Abb. 4 ersichtlich wird, liegt das Verbesserungspotential bei den Fehlbuchungen deutlich über 50%!

Durch die intelligente Implementierung der Simulationsmodelle ist es ohne Modelländerungen möglich nahezu beliebige Raum-, Studenten- oder LVA-Strukturen zu simulieren. Diese werden über Schnittstellen direkt aus Datenbanken eingelesen. Die Veränderungen der Regeln des Flächenmanagements erfolgt über eine graphische Benutzeroberfläche. Die vorausschauende oder rückblickende Bewertung unterschiedlicher Raumstrukturen, Stundenpläne oder Verhaltensweisen des Flächenmanagements benötigen keinen Programmieraufwand, d.h. der Zeitaufwand für die Nutzung der Simulation wird bestimmt durch die Qualität der Eingabedaten und den Aufwand für ihre Akquisition. Mit dem Simulationswerkzeug MoreSpace kann neben der sogenannten Systemoptimierung auch eine Bestimmung von Systemgrenzen erfolgen, so z.B. die Frage beantwortet werden „Wie viele Studierende können die Räumlichkeiten der TU Wien (unter gewissen Bedingungen) maximal aufnehmen?“.

4. Ausblick & zukünftige Schwerpunkte

Ausgehend von einem konkreten Problem wurde im Rahmen von MoreSpace ein Werkzeug entwickelt, welches durch seine Flexibilität bei einem Gutteil aller Großgebäude, allen voran Bildungseinrichtungen, zur Untersuchung und Verbesserung des Raumprogramms und somit auch zur Intensivierung der Nutzung vorhandener Räume verwendet werden kann. Wie gezeigt wurde, führt der Einsatz des Tools einerseits zu einem tieferen Systemverständnis, andererseits kann die Raumauslastung substanziell gesteigert werden. Dadurch kann zusätzliche Nutzung auf bestehendem Raum untergebracht werden, z.B. neue Unterrichtsformen oder Ganztagsbetreuung in Schulen. Zubauten werden vermeidbar, Wege in den Städten (zwischen Gebäuden) kürzer, was den Bedarf an städtischer Infrastruktur reduziert. MoreSpace liefert somit nicht nur einen Beitrag zur Verbesserung der Ökoeffizienz der Gebäude sondern des Siedlungssystems. Der zukünftige Anwendungsbereich von MoreSpace liegt im Bereich der Optimierung regionaler Siedlungsgefüge, der darin stattfindenden Aktivitäten und den Versuchen ihrer Steuerung.

Mit dem hier vorgestellten Werkzeug wurde im Facility Management der Technologiesprung von den bisher eingesetzten – rein statischen – Methoden der Tabellenkalkulation zur dynamischen Verhaltenssimulation vollzogen. Gegenwärtig wird ein MoreSpace-Folgeprojekt vorbereitet, welches einerseits das Werkzeug und die damit bisher erreichte Benutzerfreundlichkeit sowie Nützlichkeit für einen massenhaften Praxiseinsatz vorbereitet und andererseits zusätzliche, weiterführende Features implementiert.

5. Literaturverzeichnis

- Emrich, Š. (2007): *Comparison of Mathematical Models and Development of a Hybrid Approach for the Simulation and Forecast of Influenza Epidemics with Heterogeneous Populations*. Wien, Österreich: TU Wien.
- Fishman, G.S. (2001): *Discrete-event simulation: modeling, programming, and analysis*. New York, USA: Springer-Verlag.
- Nance, R.E. (1993): A History of Discrete Event Simulation Programming Languages. In: *ACM SIGPLAN Notices*, Volume 28, No. 3, 149-175.
- Rabe M. & Spieckermann, S. & Wenzel, S. (2008): *Verifikation und Validierung für die Simulation in Produktion und Logistik: Vorgehensmodelle und Techniken*. Berlin, Deutschland: Springer-Verlag.
- Wenzel, S. & Weiß, M. & Collisi-Böhmer, S. & Pitsch, H. & Rose, O. (2008): *Qualitätskriterien für die Simulation in Produktion und Logistik: Planung und Durchführung von Simulationsstudien*. Berlin, Deutschland: Springer-Verlag.
- White, S.A. (2004): *Introduction to BPMN*. IBM.
- Wiegand, D. & Mebes, P. & Pichler, V. (2007): Event Based Simulations: Enabling Improved Development Planning and Partnership. In: *Proceedings of Real Corp 007*. Wien, Österreich: CORP, 17-23.
- Wolf Gladrow, D. (2000): *Lattice-Gas Cellular Automata and Lattice Boltzmann Models*. Berlin, Deutschland: Springer-Verlag.
- Wolter, C. & Schaad, A. (2007): Modelling of Task-Based Authorization Constraints in BPMN. In: *Proceedings of 5th Intl. Conference. BPM*, Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag, 64-79.