

SIMULATIONSBASIERTE EVALUIERUNG VON GEBÄUDEDESIGN IM BEZUG AUF DIE GEPLANTE NUTZUNG

Štefan Emrich¹, Martin Bruckner², Sanja Zerlauth¹, Shabnam Tauböck²,
 Julia Funovits³, Niki Popper³, Marijana Srećković¹, Dietmar Wiegand¹, und Felix
 Breitenecker²

¹Institut für Städtebau, Landschaftsarchitektur und Entwerfen, TU Wien, Österreich

²Institut für Analysis und Scientific Computing, TU Wien, Österreich

³dwh GmbH, Simulation Services, Wien, Österreich

ABSTRACT

The present paper describes the development of a new simulation approach for evaluation of building design with respect to its utilization. Hereby the focus is set on buildings other than industry (currently university campuses), as for these – to the authors' knowledge – no appropriate methods exist.

From the starting point of a potential benefit for the whole society, the applied modeling techniques (discrete event simulation, cellular automata, agent-based approaches and business process modeling) are sketched and their – for the project approach necessary – adaption described.

First results obtained by the model are presented and analyzed – due to the early stage of the project these are to be treated with caution. Nevertheless the tendency is promising.

KURZFASSUNG

Das vorliegende Paper beschreibt die Entwicklung eines neuen Simulationsansatzes für die Bewertung von Gebäudedesign unter Berücksichtigung der Gebäudenutzung – abseits von Industrieobjekten. Ein Gebiet für welches (nach gegenwärtigem Wissenstand der Autoren) bisher keine Methoden existieren.

Ausgehend von der Motivation, bedingt durch den potentiellen gesamtgesellschaftlichen Nutzen dieses Modellansatzes, werden die verwendeten Simulationsmethoden (Discrete Event Simulation, zelluläre Automaten, agentenbasierte Ansätze und Business Process Modelling) skizziert, sowie die für den spezifischen Einsatz notwendigen Modifikationen bzw. Adaptionen beschrieben.

Erste mit dem Werkzeug produzierte Ergebnisse werden präsentiert und analysiert, wobei aufgrund des relativ frühen Projektstadiums diese noch nicht als gesichert betrachtet werden dürfen, jedoch eine klare und positive Tendenz abzeichnen.

EINLEITUNG

Im Lauf der vergangenen Jahre, spätestens mit den Diskussionen rund um die globale Erwärmung, ist die Reduktion des Energiebedarfs von Gebäuden (über den gesamten Lebenszyklus) in den Fokus breiten Interesses gerückt. Bei der Betrachtung des Energiebedarfs wird aber – in der Regel – die Frage nach der Sinnhaftigkeit des (Energie-)Einsatzes außer Acht gelassen: energiepassive bzw. -aktive Gebäudemodelle gelten per se als gut, eine Einschätzung welche das Gebäude aus dem Kontext reißt – die Nutzung wird nicht berücksichtigt. Ein Niedrigenergie-Gebäude welches gebaut und nie genutzt wird, weist ein schlechteres Verhältnis zwischen ökologischem Fußabdruck und Nutzung auf als ein „normales“ Gebäude welches hocheffizient Bewirtschaftet wird.

Es steht daher außer Frage, dass ein energieoptimiertes Gebäude (neben den bauphysikalischen Gesichtspunkten) so beschaffen sein muss, dass es der Nutzung bestmöglich entspricht. Gegenwärtig wird die Darstellung der „Nutzung“ von Gebäuden jedoch bestenfalls durch (3D) Visualisierungen abgedeckt – die keinesfalls die tatsächliche Nutzung aussagekräftig beschreiben, sondern höchstens den Anschein eines „belebten“ Gebäudes (z.B. animierte Videosequenzen) vortäuschen.

Eine Untersuchung hinsichtlich der Nutzung wird im Allgemeinen nur bei hochspezialisierten Gebäuden (v.a. in Produktion und Logistik, z.B. Fabriken oder Flughäfen) durchgeführt. Vor allem in Großgebäuden wie etwa (Hoch-) Schulen oder Bürokomplexen kann jedoch durch ein effizientes Management die Nutzung der vorhandenen (Raum-) Ressourcen deutlich verbessert werden (siehe Wiegand et al., 2007).

PROBLEMSTELLUNG

Während für andere, vor allem bauphysikalische, Aspekte (Thermodynamik, Lüftung, Steuersysteme, etc.) Gebäudesimulationen bereits Standard ist, ist die Untersuchung und Optimierung – möglichst vor

Errichtung des Gebäudes – der „Nutzbarkeit“ zurzeit kein Thema. Um auf die eingangs besprochene Herausforderung adäquat reagieren zu können, ist diese jedoch unerlässlich.

Als problematisch erwies sich das gänzliche Fehlen vergleichbarer Ansätze – mit Ausnahme der bereits erwähnten „industriellen“ Nutzung (entsprechen dem Wissensstand der Autoren nach eingehender Recherche). Es war daher notwendig ein neues Konzept für die Gebäudesimulation auf individueller Nutzerbasis zu entwickeln.

Um den Aufwand hierbei trotzdem in einem angemessenen Rahmen zu halten, lag es nahe als Basis dafür bereits bewährte Modellbildungsansätze zu wählen. Unter diesen bieten sich vor allem Logistikanalysen wie etwa Discrete Event Simulation (DEVS) an. Die Komplexität der betrachteten Systeme erfordert jedoch ein flexibles und anpassbares Modell. Logistikmodelle sind in der Regel zwar modular aufgebaut müssen jedoch per drag & drop aus Libraries zusammengesteckt werden. Bei großen, sich ändernden Systemen (z.B. regelmäßig revidierte Gebäudepläne mit mehreren hundert Räumen) ist dieser klassische DEVS-Ansatz zu wartungsintensiv.

Des Weiteren muss das Modell individuelles Nutzerverhalten berücksichtigen, wofür sich

agentenbasierte Ansätze eignen – jedoch mit dem Nachteil deutlich höherer Rechenintensivität behaftet sind. Dasselbe gilt für die Berechnung von Wegezeiten innerhalb der zu simulierenden Gebäudekomplexe: agentenbasierte Ansätze erlauben individuelle Modellierung, stellen gleichzeitig aber hohe Ressourcenanforderungen.

Durch diese Anforderungen beziehungsweise „Rahmenbedingungen“ fiel die Entscheidung zugunsten eines hybriden zweiteiligen Modells. Als Rahmenkonstruktion kommt darin Discrete Event Simulation zum Einsatz, wird jedoch um agentenbasierte Ansätze erweitert.

Für die Simulation der Wegezeiten wurden zelluläre Automaten (CA) als Basis gewählt, die allerdings ebenfalls agentenbasiert erweitert wurden. Dieses (Sub-)Modell kann per TCP/IP-Schnittstelle mit dem DEVS-Modell gekoppelt werden.

Ein weiteres für Bauprojekte beziehungsweise im Gebäudebereich gängiges Problem war die Koordination aller involvierten Stakeholder: von der Datenbeschaffung über die handelnden Entitäten bis zu den prozessrelevanten Entscheidungsträgern – wofür auf eine modifizierte Version des Business Process Modelling zurückgegriffen wurde.

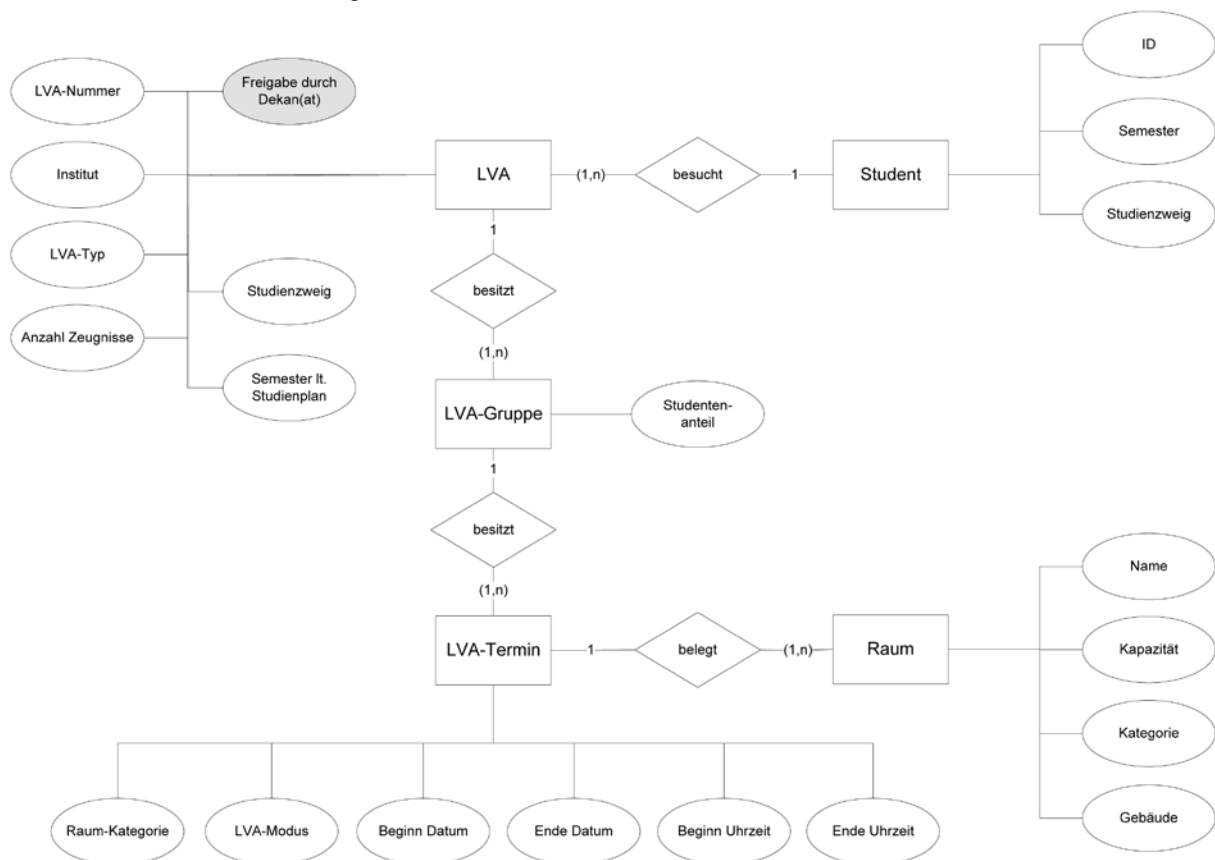


Abbildung 1: Entity-Relationship-Diagramm des Systems am Beispiel einer Hochschule

Das in diesem Paper beschriebene Simulationsmodell wurde in Kooperation mit der TU Wien entwickelt und wird gegenwärtig für einen Praxiseinsatz an dieser vorbereitet. In der bisherigen Implementierung liegt daher der Modellierungsschwerpunkt auf Hochschulgebäuden.

ADAPTION DER DEVS

Die Ursprünge von Discrete Event Simulation reichen bis zur Mitte des vorigen Jahrhunderts zurück (Nance, 1993). DEVS zählt seit langem zum Standardwerkzeug zahlreicher Anwendungsgebiete, in denen die Analyse und Verbesserung von Ressourcenplanung bzw. -Nutzung eine zentrale Rolle einnimmt.

Dazu zählen unter anderem Chain Supply, Produktion und Logistik, aber auch Krankenhausmanagement. Das Entity – Ressourcen bzw. Entity-Flow Konzept bilden die theoretische Grundlage dieses Modellierungskonzeptes. Entities suchen sich ihren Weg durch den Prozess zu den Ressourcen. Der Weg wird dabei durch Ereignisse (Events) gesteuert bzw. beeinflusst.

Im Facility Management bzw. im Management der Ressource „Raum“ kommt DEVS bisher kaum zum Einsatz. Es muss daher zuerst eine Definition respektive eine Zuordnung für das DEVS-Konzept gefunden werden: während Ressourcen eindeutig mit den Räumen identifiziert werden können stehen für Entities mehrere Ansätze frei.

Raum wird für einen bestimmten Bedarf, also Aufgaben, reserviert. Dieser Bedarf kann jedoch auf zwei Arten identifiziert werden: als Person(en)gruppen) welche bestimmte Arbeiten/Aufgaben durchführen wollen, oder als Arbeiten/Aufgaben welche einen Raum benötigen – und mit Personen verknüpft sind.

Für die Modellbildung wurde dabei der erste Ansatz gewählt, und die Personengruppen – wie bereits erwähnt – auf Individualbasis, also jeden einzelnen Nutzer, herunter gebrochen. Der Fokus des Modells lag dabei während der Entwicklung – und im aktuell anlaufenden Praxiseinsatz – vorerst auf Hochschulgebäuden, soll jedoch noch im weiteren Projektverlauf ausgeweitet und verallgemeinert werden.

Im so definierten DEVS-Ansatz suchen sich also Entities mit einer gemeinsamen Aufgabe (z.B. Studenten und Studienplan) den Weg durch das System zu den Ressourcen (Räume bzw. Hörsäle). Dabei treffen sie auf andere Entitäten und werden von Events (Veranstaltungen/Lehrveranstaltungen) beeinflusst.

Dabei ist das Modell jedoch nicht starr, vergleichbar einer Produktionsstraße, sondern kann – abhängig

vom notwendigen Grad der Modellierungsdetails - ebenfalls verändert werden. Wegzeiten zwischen zwei Räumen können so statisch angenommen oder mittels CA-Modell dynamisch gerechnet werden, um etwa einer hohen Dichte auf Gängen/in Stiegenhäusern Rechnung zu tragen.

Selbst die Räume (Ressourcen) sind modifizierbar, da diese bei Bedarf (und je nach technischer Möglichkeit der jeweiligen Räume) geteilt bzw. zusammengelegt werden können um dem Bedarf besser entsprechende Kapazitäten zu schaffen. Eine detaillierte Übersicht dieser Zusammenhänge ist im Entity-Relationship-Diagramm (ERD) zu finden (siehe Abbildung 1).

Wie bereits erwähnt, werden dabei die Entitäten individuell modelliert, also mit einer agentenbasierten Erweiterung versehen. Dadurch wird es möglich, dass die Entitäten individuelle „Ziele“ (Steuerungslogiken) besitzen und somit das Systemverhalten deutlich dynamischer und realitätsnäher gestaltet wird.

ERWEITERUNG ZELLULÄRER AUTOMATEN

Die zellulären Automaten (CA, vom englischen cellular automata) sind, wie auch DEVS, ein bewährtes Modellierungswerkzeug, dessen Ursprünge ebenfalls um die Hälfte des vorigen Jahrhunderts herum liegen.

Wie der Name nahelegt, ist ihre Modellbildungsgrundlage die einzelne Zelle: wengleich 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 (siehe Gladrow, 2000).

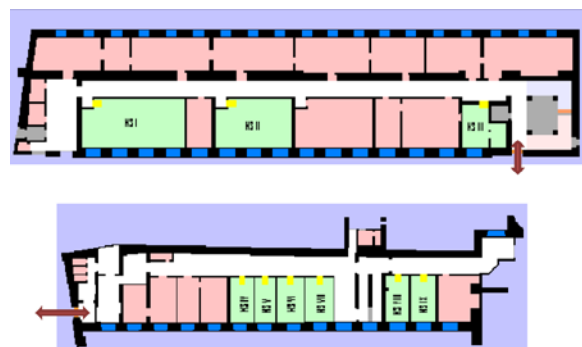


Abbildung 2: Screenshot zweier Gebäudetrakte mit Link (roter Pfeil) für die Verbindung der entsprechenden zellulären Automaten

Zusammen mit Elementen der agentenbasierten Programmierung eröffnen CA ein riesiges

Anwendungsfeld zur Simulation, darunter auch die Modellierung von unabhängigen Individuen in räumlichen Systemen (für weiterführende Information zu CA sowie einen Vergleich zwischen zellulären Automaten und agentenbasierten Systeme: Emrich, 2007).

Abbildung 2 zeigt einen Screenshot des verwendeten CA-Modells: zwei Trakte des TU Hauptgebäudes, welche aus den originalen Gebäudeplänen semi-automatisch erstellt wurden. Die einzelnen Gebäudeteile werden dabei als jeweils eigene CA realisiert und mittels Links (Türen, Treppen, Schnittstellen, Ausgänge, ...) verbunden. Diese Trennung ermöglicht zudem die parallelisierte Berechnung der einzelnen CA, und somit eine deutliche Effizienzsteigerung gegenüber einem Gesamt-CA.

MODIFIKATION DER BPMN-NOTATION

Wie bereits erwähnt fand für die Koordination der Stakeholder das Business Process Modelling (BPM) Verwendung. Zurückgegriffen wurde dabei auf die

Business Process Modelling Notation (BPMN), eine von der IBM entwickelte Notation für die grafische Darstellung von Geschäftsprozessen, welche die Erstellung von gut lesbaren Diagrammen (Zitat aus White, 2004) gewährleisten soll. Dies soll vor allem dazu führen, dass die damit kreierten Prozessbeschreibungen von allen Beteiligten – begonnen bei den Analysten die die Beschreibungen erstellen, über die technischen Mitarbeiter die mit der Umsetzung betraut sind, bis zu den involvierten Wirtschaftskräften die diese dann umsetzen – verstanden und nachvollzogen werden können (Zitat aus Wolter, Schaad, 2007).

Der Einsatz solche Techniken bei interdisziplinären Projekten ist (binahe) zwingend, da gerade zu Projektbeginn eine gemeinsame Sprache gefunden werden muss – BPMN stellt diese gemeinsame Sprache dar. Vom Auftraggeber über involvierte Wissenschaftler bis hin zum Endnutzer kann sie von jedem (mit minimaler Einarbeitungszeit) genutzt und verstanden werden.

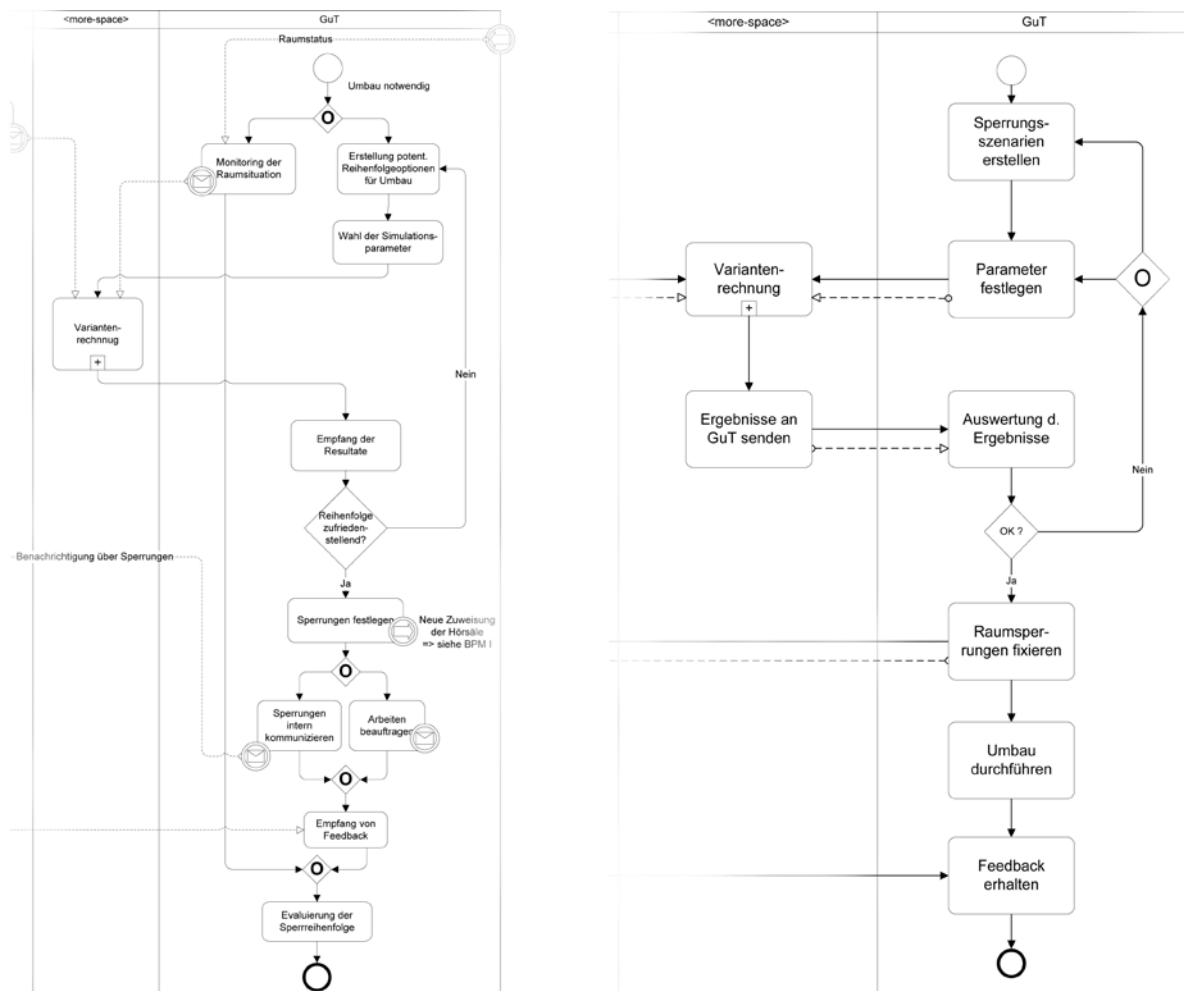


Abbildung 3: Vergleich zwischen original BPMN (links) und modifizierter Notation (rechts) anhand des selben Ausschnittes aus einem Geschäftsprozess.

Im Projektverlauf zeigte sich jedoch, dass die BPMN mit ihrem strengem Regelwerk und den zahlreichen Spezifikationen die Komplexität der abgebildeten Systeme über das notwendige Maß steigert. Deshalb wurde eine Modifikation der Notation vorgenommen um diese an die projektspezifischen Bedürfnisse anzupassen. Daher handelt es sich formal nicht mehr um die (von IBM entwickelte) BPMN-Spezifikation.

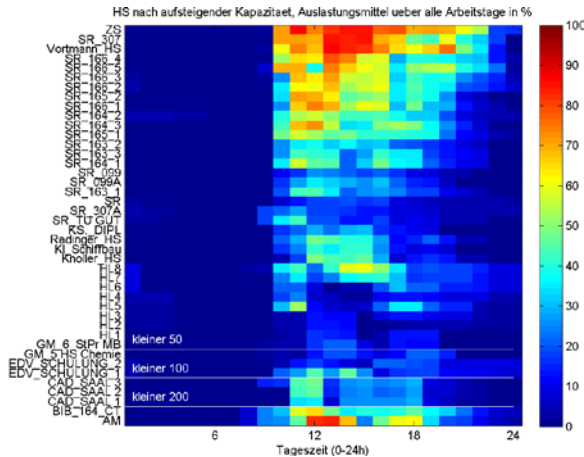


Abbildung 4: Visualisierung der Raumausnutzung im Tagesverlauf (x-Achse) aller Hörsäle (y-Achse) eines Gebäudes, Hörsäle von oben nach unten nach aufsteigender Kapazität sortiert.

Der Vorteil der modifizierten Notation wird jedoch deutlich, wenn man sich die daraus resultierende, drastische Komplexitätsreduktion vor Augen hält. Die Abbildung 3 stellt denselben Ausschnitt (aus demselben Geschäftsprozess) in originaler, sowie modifizierter Notation dar. In der klassischen BPM Notation ist für jede Aktion beziehungsweise Entscheidung eine Kennzeichnung durch spezielle Symbole notwendig (u.a. Gabelungen, Aufspaltungen der Prozess- & Datenflüsse). Die BPM Notation wurde durch eine Entschärfung der Regeln vereinfacht, so dass einfacher lesbare Flussdiagramme entstehen: für das Verständnis nicht zwingend notwendige Objekte wurden entfernt; separate Flows für die Datenübergabe wurden eingeführt.

Durch den Einsatz von BPM war es erstmals möglich die an der TU Wien für die Event-Raumvergabe (Zuordnung Lehrveranstaltungen zu Lehrräumen) etablierten Geschäftsprozesse abzubilden. Basierend auf dieser Systemanalyse wurden für ein effizienteres Flächenmanagement neue Geschäftsprozesse und dazugehörige Preconditions vorgeschlagen.

INPUTDATEN FÜR DIE SIMULATION

Eine wesentliche Hürde stellen – wie für beinahe alle Simulationsmodelle – die notwendigen Inputdaten da. Wie bereits aus dem Entity-Relationship Diagramm in Abbildung 1 ersichtlich, ist eine hohe Vernetzung

der Entitäten gegeben, ohne deren Berücksichtigung keine aussagekräftigen Schlüsse gezogen werden können.

Um das Simulationswerkzeug erfolgreich einsetzen zu können sind Daten, welche die Nutzung des abzubildenden Gebäudes bzw. Gebäudekomplexes beschrieben, zwingend notwendig. Für den Praxiseinsatz an der TU Wien ist dazu eine Schnittstelle zu den vorhandenen Datenbanken (TUWIS++, TISS, Raumdatenbank der Abteilung „Gebäude und Technik“) in Entwicklung.

Für den regulären Kundeneinsatz stellt diese Voraussetzung allerdings eine zusätzliche Herausforderung dar, da nicht angenommen werden kann, dass alle notwendigen Informationen bereits gesammelt vorliegen, nachdem dies selbst an der TU Wien nicht der Fall ist.

ERGEBNISSE

Für eine objektive Bewertung der Ergebnisse mussten Maßeinheiten neu definiert werden. Die drei wichtigsten dabei waren die „Raumauslastung“, „Raumausnutzung“ sowie die „Anzahl der Fehlbuchungen“.

Die Raumauslastung beschreibt den Anteil der Zeit in welcher ein Raum in Verwendung ist (im Vergleich etwa zur Kernzeit), während die Raumausnutzung das Verhältnis zwischen Raumkapazität und tatsächlich im Raum befindlicher Personen beschreibt. Als Fehlbuchung werden all jene Raumanfragen gewertet, welche nicht befriedigt werden können, also keinen adäquaten Raum zugewiesen bekommen (auf Einzelterminbasis).

Aufgrund der anfallenden Datenmengen (ca. 20.000 zu koordinierende Einzeltermine pro Semester im Praxiseinsatz an der TU Wien) ist eine teil-automatisierte Aufbereitung der Simulationsergebnisse unumgänglich. Diese wird in mehreren Schritten durchgeführt.

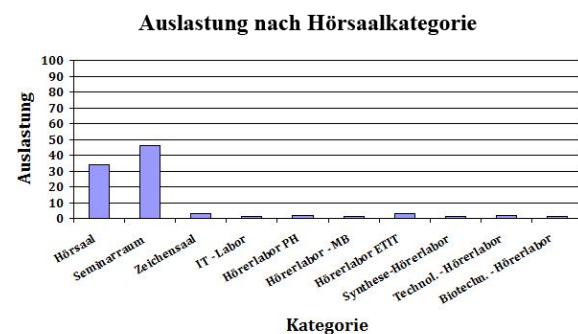


Abbildung 5: Durchschnittliche Auslastung der Hörsäle nach Kategorien (typisches Simulationsergebnis).

Automatisiert werden per GUI angesteuerte Datenbank-interne Aufbereitungen (basierend auf Access-Reports) durchgeführt, welche rudimentäre Diagramme liefern. Als zweiter Schritt erfolgt die Auswertung mittels visuell anspruchsvollerer Darstellung der Simulationsergebnisse, wofür externer Tools (z.Z. MATLAB) zum Einsatz kommen. Diese visualisieren u.a. die Auslastung und Ausnutzung der Hörsäle (siehe Abbildung 4).

Abschließend werden darauf aufbauend gezielte manuelle Analysen und Untersuchungen durchgeführt.

Die gegenwärtig implementierten Flächenmanagementstrategien erlauben es – basierend auf historischen Inputdaten – erste Schlüsse zu ziehen. So wird aus Abbildung 5 ersichtlich, dass die Leistungsgrenzen des Systems bei weitem noch nicht ausgereizt sind: die bisherige Erfahrung zeigt, dass in der Praxis eine maximal erreichbare Auslastung von 60% bis 80% angenommen werden kann. Aktuell auftretende, temporäre Engpässe können demnach durch ein verändertes Management bzw. einen koordinierenden Eingriff desselben behoben werden.

Gleichzeitig zeichnet sich jedoch ab, dass die bisher definierten 25 möglichen Flächenmanagement-Kombinationen noch nicht genügend differenziert sind und einer Verfeinerung bedürfen, was unter anderem aus der Grafik in Abb. 6 ersichtlich wird.

Die Grafik zeigt die Anzahl an nicht befriedigten Raumanfragen (auf Basis von Einzelterminen der Lehrveranstaltungen) für 15 gerechnete Szenarien. Ein Einfluss, vor allem des Regelsatzes L123 (blau), L23 (grün) bzw. L3 (orange) ist zwar erkennbar.

Dieser Regelsatz definiert welche Räume priorisiert vergeben werden (optimal passende Raumkapazität, räumlich Nähe zum Institut welches Lehrveranstaltung anbietet bzw. bloße Suche nach Raum dessen Kapazität die der Teilnehmer übersteigt). Die Unterschiede sind jedoch nicht dramatisch, eine weitere Verfeinerung der Flächenmanagementregeln also notwendig.

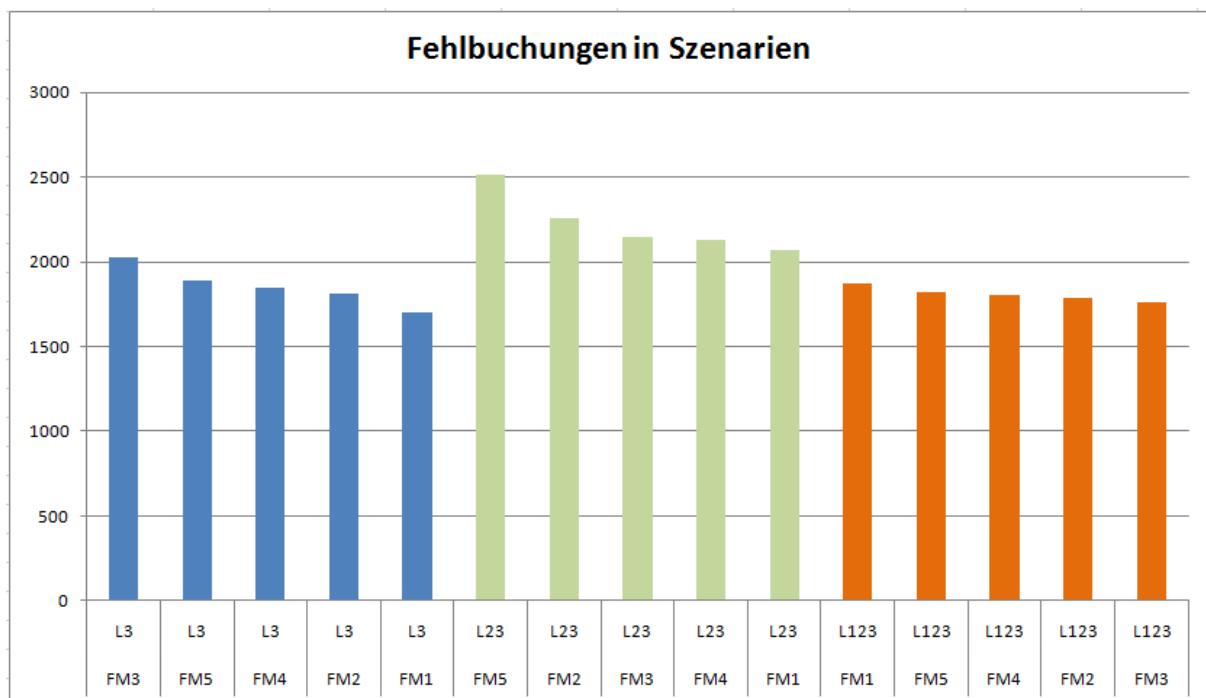


Abbildung 6: Anzahl der Fehlbuchung für 15 gerechneten Szenarien.

AUSBLICK

Aufgrund der bisherigen Ergebnisse darf ein positiver Verlauf des Praxiseinsatzes an der TU Wien erwartet werden. Dieser ist jedoch auf die Evaluierung und subsequeute Verbesserung des Flächenmanagements (der vorhandenen Gebäude) beschränkt.

In weiterer Folge bleibt daher zu untersuchen, welches Potential das Simulationsmodell als Planungswerkzeug hat, indem es bereits in der Planungsphase für die Evaluierung von Gebäudeplänen und dem geplanten Nutzen herangezogen wird.

Dadurch ließe sich das Gebäudedesign wesentlich gezielter und effizienter auf die geplante Nutzung zuschneiden. Und durch den Einsatz des Werkzeugs im laufenden Betrieb eines solchen Gebäudes könnten noch weiter greifende Effizienzsteigerungen erzielt werden.

Das Ergebnis wären mehr Nutzungseinheiten auf weniger beziehungsweise bei gleichbleibender Fläche und gleichem oder verbessertem Komfort für die Nutzer. Als Konsequenz würde der ökologische Fußabdruck pro Nutzungseinheit gesenkt werden.

Eine andere mögliche Weiterentwicklung des Modells wäre der Ausbau des Wegzeitenmodells (CA-Modell mit agentenbasierten Features) für die Simulation von Räumungszeiten. Dadurch könnten bereits im Planungsstadium Gebäude sicherer gestaltet werden und hohe Kosten für Evakuierungstests vermieden bzw. reduziert werden.

Ein Forschungsgebiet für sich stellt die Frage nach für Simulationszwecke verwertbaren Daten und deren Normierung dar.

LITERATUR

- Emrich Š. 2010. Comparison of Mathematical Models and Development of a Hybrid Approach for the Simulation and Forecast of Influenza Epidemics with Heterogeneous Populations. Betreuer: Breitenecker, F. TU Wien, Austria.
- Nance, R.E. 1993. A History of Discrete Event Simulation Programming Languages. In: ACM SIGPLAN Notices, Volume 28, No. 3, 149-175.
- Tauböck, S.M. 2010. Integration of Agent Based Modelling in DEVS for Utilisation Analysis: The MoreSpace Project at TU Vienna. Betreuer: Breitenecker, F. TU Wien, Austria.
- White S.A. 2004. Introduction to BPMN. IBM.
- Wiegand D., Mebes P., Pichler V. 2007. Event based simulations: enabling improved development planning and partnerships. In: Proceedings of Real Corp 007, CORP, 17-23. Wien, Austria.
- Wolf Gladrow, D. 2000. Lattice-Gas Cellular Automata and Lattice Boltzmann Models. Springer, Berlin, Deutschland.
- Wolter C., Schaad A. 2007. Modelling of Task-Based Authorization Constraints in BPMN. In: Proceedings of 5th Intl. Conference, BPM Brisbane, 64-79. Springer, Berlin Heidelberg, Deutschland.