

Schlussbericht

Verbundprojekt

Innovative Konzepte zur regionalen Evakuierung unter Einbeziehung mobiler Informationssysteme (REPKA)

FKZ: 13N9964

Teilvorhaben:

Grundlegende Untersuchungen zur Simulation von Personenströmen

Organisation:

Siemens AG
Corporate Technology
CT RTC AUC SIM-DE
Otto-Hahn-Ring 6
81739 München, Deutschland



SIEMENS

Schlussbericht

**Innovative Konzepte zur regionalen Evakuierung
unter Einbeziehung mobiler Informationssysteme
(REPKA)**

Teilvorhaben:

**Grundlegende Untersuchungen zur Simulation von
Personenströmen**

TITEL	Verbundprojekt Innovative Konzepte zur regionalen Evakuierung unter Einbeziehung mobiler Informationssysteme (REPKA) Teilvorhaben Grundlegende Untersuchungen zur Simulation von Personenströmen
FÖRDERKENNZEICHEN	13N9964

AUTOR	ORGANISATION	EMAIL
Dr. D. Hartmann	Siemens AG, CT RTC AUC SIM-DE	hartmann.dirk@siemens.com
Dr. W. Klein	Siemens AG, CT RTC AUC SIM-DE	wolfram.klein@siemens.com
Prof. Dr. A. Borrmann	TU München Fak. für Bauingenieur- und Ver- messungswesen	borrmann@bv.tum-de
Prof. Dr. G. Köster	Hochschule München Fakultät 07	gerta.koester@hm.edu

Inhaltsverzeichnis

1.	Umfeld und Ziele.....	4
1.1	Aufgabenstellung.....	5
1.2	Voraussetzungen.....	7
1.3	Planung und Ablauf des Vorhabens.....	7
1.4	Stand von Wissenschaft und Technik.....	10
1.5	Zusammenarbeit mit anderen Stellen.....	11
1.5.1	Zusammenarbeit mit der TU München (Prof. E. Rank; Prof. A. Borrmann).....	11
1.5.2	Zusammenarbeit mit der Hochschule München (Prof. G. Köster).....	11
1.5.3	Zusammenarbeit innerhalb des Konsortiums.....	12
2.	Ergebnisse.....	14
2.1	Ergebnisse.....	14
2.1.1	Szenarienanalyse (AP1).....	14
2.1.2	Simulation und Optimierung (AP2) – Siemens AG.....	15
2.1.3	Simulation und Optimierung (AP2) – TU München.....	20
2.1.4	Simulation und Optimierung (AP2) – Hochschule München.....	22
2.1.5	Entscheidungsunterstützung (AP 4).....	23
2.1.6	Planung von regionalen Evakuierungen (AP 5).....	24
2.2	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit.....	25
2.3	Wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises.....	25
2.4	Nutzen im Sinne des Verwertungsplans.....	26
2.4.1	Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen und erteilte Schutzrechte.....	26
2.4.2	Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projekt-Ende.....	26
2.4.3	Wissenschaftliche / technische Erfolgsaussichten nach Projekt-Ende.....	27
2.4.4	Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit.....	27
2.5	Fortschritt auf dem Gebiet bei anderen Stellen.....	28
2.6	Veröffentlichungen.....	28

1. Umfeld und Ziele

Eine der wesentlichen Rettungsmaßnahmen bei Anschlägen, Anschlagsdrohungen, Großunfällen und Naturkatastrophen ist die Entfluchtung betroffener Gebäude, Gebiete und Regionen. Vorherrschendes Ziel ist dabei, betroffene Personen so schnell und so zuverlässig wie möglich zu evakuieren, d.h. aus dem Gefahrenbereich in Sicherheit zu bringen. In diesem Projekt wurde der Fokus auf die regionale Evakuierung gelegt, und hier insbesondere auf die Situation, die sich ergibt, wenn eine große Menschenmenge ein Gebäude verlassen hat und nun weiter in Sicherheit gebracht werden soll. Unsere Forschung knüpft hier an entsprechende Ergebnisse aus der Gebäudeevakuierung an und schließt damit eine wichtige Sicherheitslücke.

Das Ziel des Projekts REPKA war die entscheidende Verbesserung von Planung und Kontrolle regionaler Evakuierungen. REPKA betrachtete dazu verschiedene Module - Simulation, Optimierung, Echtzeitdatenerfassung, individuelle Fluchtplanung - die bereits einzeln, aber besonders in ihrer Verknüpfung ihre Wirkung entfalten. Mit Hilfe von Werkzeugen der Optimierung und Simulation wurden Methoden entwickelt, mit denen „gute“ regionale Evakuierungspläne a priori – also vor Eintreten eines Katastrophenfalls – entworfen werden können. Gleichzeitig können die Pläne mit den Methoden in der tatsächlichen Entfluchtungssituation kontrolliert und an veränderte Bedingungen, die sich auch während der Evakuierung aktuell entwickeln können, angepasst werden. Verschiedenste Szenarien wurden simuliert, verschiedene Handlungsoptionen getestet, mit systemoptimalen Lösungen verglichen und mit realen Ortsinformationen von Personen verifiziert. So wird eine robuste Entscheidung ermöglicht, d.h. die Evakuierungsplanung samt Eingriffsoptionen ist für eine Vielzahl denkbarer und wahrscheinlicher Entwicklungen richtig. Die Gefahr für Leib und Leben in Krisensituationen wird minimiert. Durch die direkte Einbindung von Endanwendern (BOS - Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben) im Projekt, wurde die Relevanz und Akzeptanz der Forschungsergebnisse sichergestellt.

Eine schematische Skizze des Projektaufbaus findet sich in Abbildung 1 wieder. In Abschnitt 1.1 wird die Aufgabenstellung der Siemens AG weiter detailliert.

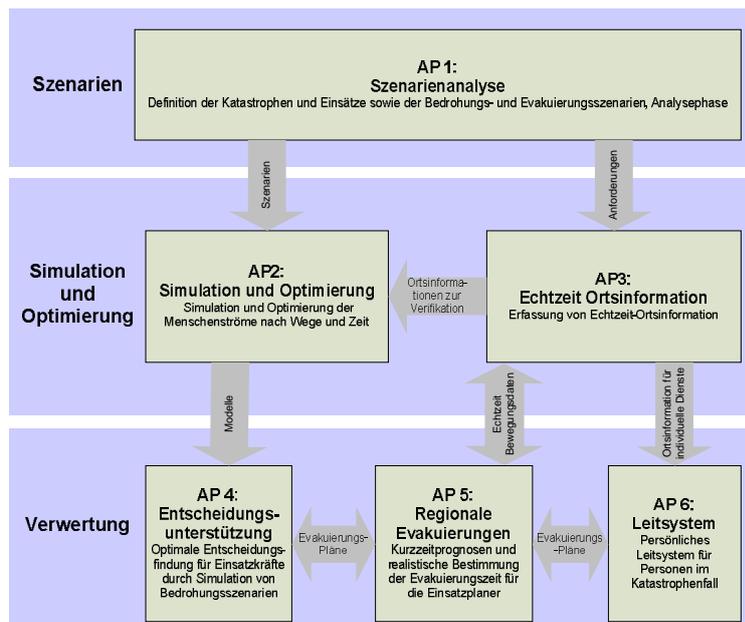


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Projektes.

1.1 Aufgabenstellung

Die Research Group „Simulation Germany“ CT RTF AUC SIM-DE (ehemals Global Technology Field Modeling-Simulation-Optimization CT T PRO MSO bzw. ehemals Fachzentrum Virtual Design CT PP2) der Siemens AG vertrat im Projekt das Teilvorhaben „Grundlegende Untersuchungen zur Simulation von Personenströmen“. Ziel war es, die Planung bei regionalen Evakuierungen basierend auf Simulationen der Personenströme entscheidend zu verbessern. Zusätzlich sollte hierdurch auch die Wissensgrundlage, auf der Einsatzkräfte ihre Entscheidungen fällen, nachhaltig verbreitert werden. Dafür wurde ein Simulationsverfahren erarbeitet, das es erlaubt, eine Vielzahl virtueller Evakuierungsabläufe zu beobachten. Gleichzeitig wurden Schnittstellen zu den Optimierungsmethoden, die im Teilvorhaben „Optimierung“ der TU Kaiserslautern entwickelt wurden, geschaffen. Durch eine direkte Kopplung, d.h. ein Routen der Personen nach den Ergebnissen der Optimierung, wurde eine obere und untere Abschätzung von Evakuierungszeiten berechnet. Die Rückkoppelung mit Daten sicherte die Nähe zur Wirklichkeit und damit die praktische Relevanz. Das Teilvorhaben beinhaltete die Erstellung eines Demonstrators, anhand dessen nicht nur die Funktionalität nachgewiesen sondern auch das Potenzial des Demonstrators visualisiert und für den Endanwender greifbar gemacht werden sollte.

Eine Gliederung der Arbeitspakete findet sich in Abbildung 1. Auf die Aufgabenstellungen dieser wird im Folgenden näher Bezug genommen.

AP 1: Szenarienanalyse

Der Forschungsverbund REPKA hatte die regionale Evakuierung des Betzenbergs in Kaiserslautern als Szenario gewählt. Ziel des AP1 „Szenarienanalyse“ sollte zum einen die Sammlung von Daten und Modellierungsannahmen für dieses spezifische Szenario sein. Zum anderen sollte das Vorgehen und die Erfahrungen bei der Szenarienanalyse so dokumentiert werden, dass die Ergebnisse am Ende der Förderperiode auf andere Evakuierungsszenarios angepasst werden können.

Bei der Szenarienanalyse sollte sowohl eine „Ist-Analyse“ der augenblicklichen Situation als auch eine „Soll-Analyse“ durchgeführt werden. Der Vergleich von Ist- und Soll-Analyse ist schon – für sich genommen - ein wichtiges Teilziel von REPKA. Als Teilergebnis des Vergleichs von Ist- und Sollanalyse sollten die Teilnehmer des Verbunds eine Definition relevanter Szenarien vornehmen, die im Verlaufe der Förderperiode untersucht werden sollte.

AP 2: Simulation und Optimierung

In diesem Arbeitspaket sollten Simulationsverfahren sowie Methoden der mathematischen Optimierung erarbeitet und in Form ausführbarer Computerprogramme umgesetzt werden. Mit Simulationsverfahren sollten zunächst besondere Situationen, die während Regionalevakuierungen auftreten können, entdeckt werden. Auf der einen Seite können die Einsatzkräfte so virtuelle Erfahrungen für den Ernstfall sammeln. Auf der anderen Seite bieten Simulationen die Möglichkeit, Kriterien für eine optimale Einsatzplanung und Gestaltung der Region zu erarbeiten. Die Berücksichtigung einer Vielzahl von Szenarien erlaubt es, strategische Entscheidungen der Verantwortlichen robust zu machen, d.h. die Entscheidungen bleiben für alle denkbaren Krisenfälle richtig.

Simulation und mathematische Modellierung der AG Optimierung ergänzen sich also, können aber auch direkt miteinander verknüpft werden. In den Simulationsläufen wurde die Evakuierungszeit für verschiedene Szenarien gemessen und damit das

Zeitfenster zwischen minimaler Evakuierungszeit - aus den Optimierungsmodellen - und maximaler Evakuierungszeit - dem simulierten Schlimmstfall - bestimmt. Realistische Evakuierungszeiten liegen deshalb im Zeitkorridor zwischen unterer und oberer Zeitschranke. Anwender erhalten somit wertvolle Informationen über den best- bzw. schlimmst-möglichen Ablauf einer Evakuierung und können ihre Maßnahmen iterativ anpassen und testen.

AP4: Entscheidungsunterstützung

In diesem Arbeitspaket sollten die Grundlagen für ein Werkzeug zur Entscheidungsunterstützung der späteren Anwender gelegt werden. Es sollten ein oder mehrere Demonstratoren der Gruppe der Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS) zur Verfügung gestellt werden. Diese Demonstratoren sollten ein Frontend zur mathematischen und simulativen Modellierung bilden. Die Demonstratoren sollten sich in REPKA auf das gewählte Szenario, d.h. auf die Region „Betzenberg“, beschränken

Den Entscheidungsträgern sollte es ermöglicht werden, über eine nutzerfreundliche Softwarelösung ein Bedrohungsszenario zu spezifizieren. Die Anwender sollten diese Basisdaten ohne großen Aufwand verändern können, um so eine Fülle verschiedener Szenarien (in Arbeitspaket 5) abzubilden.

In Arbeitspaket 4 sollten die Ergebnisse des Arbeitspaketes 2 so aufbereitet werden, dass es den unterschiedlichen Gruppen der Anwender leicht fällt, die für sie relevanten Ergebnisse aus der Ausgabe abzulesen. Dabei sollten aus offensichtlichen Gründen Visualisierungstechniken eingesetzt werden. Unser Entscheidungsunterstützungs-Werkzeug sollte dann in Arbeitspaket 5 bei der Planung von Evakuierungsszenarien verwendet werden.

AP5: Planung von regionalen Evakuierungen

In diesem Arbeitspaket sollte der Arbeitskreis Notfallmanagement und Katastrophenschutz (AK NOT/KAT) konkret mit einbezogen werden, um zu gewährleisten, dass Daten, die in Arbeitspaket 1 ermittelt wurden, regelmäßig angepasst werden und Ergebnisse von REPKA in der Praxis umgesetzt werden. Der TU KL KOOP BOS übernahm hier eine Bindegliedfunktion zwischen AK NOT/KAT (den Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben, BOS) und dem Verbundpartner Siemens. Eine der Hauptaufgaben im Arbeitspaket 5 sollte die Informationsübermittlung zwischen den Endnutzern und anderen Verbundpartnern (etwa bei der Anforderungsanalyse) sein.

Bei der Vorbereitung und Durchführung regionaler Evakuierungen sind mit Hilfe von Personenstromsimulationen Planspiele möglich, bei denen verschiedene Evakuierungsszenarien durchgespielt werden können („was-ist-wenn“ Fragen). Durch den Vergleich von Ergebnissen der Optimierung und Simulation mit den Erfahrungen durchgeführter Evakuierungsübungen sollten die Entwickler der Software Rückmeldungen erhalten, die zu einer Modifikation der theoretischen Arbeiten führen sollte. Umgekehrt sollte durch den Einsatz der theoretischen Methoden die Schulung neuer Mitarbeiter der BOS mit Hilfe von Optimierung und Simulation erprobt werden. In diesem Arbeitspaket sollte ein entsprechender Demonstrator realisiert werden.

Besonders wichtig ist die Erfahrung, ob der erarbeitete Demonstrator bei der Kontrolle und Anpassung von Evakuierungsplänen geeignet ist. Hier sollte geprüft werden, ob das Hauptziel von REPKA erreicht wurde – eine dynamische, statt statische Planung, die auf geänderte Umgebungsparameter reagieren kann.

1.2 Voraussetzungen

Die grundlegenden Untersuchungen zur Simulation von Personenströmen war ein Eckpfeiler des Verbundkonzepts: Das Teilvorhaben war eng mit den übrigen Teilvorhaben verwoben. Es verwertete Ergebnisse der Partner – etwa Lokalisierungsdaten oder die soziologischen Erkenntnisse – für den Endanwender. Weiter vervollständigte das Teilvorhaben Ergebnisse der Partner wie die Abschätzung von Evakuierungszeiten. Damit leistete das Teilvorhaben einen unverzichtbaren Beitrag zum Verbund.

Die Research Group CT RTF AUC SIM-DE der Siemens AG beschäftigt sich seit vielen Jahren mit physikalisch basierten Modellen und Simulationen für robustes Designs, z.B. von Anlagen aus den Bereichen Kraftwerkstechnik, Wasserwirtschaft oder Postverteilzentren. Eine robuste Designentscheidung bedeutet, dass die Entscheidung nicht nur in einem besonderen Fall optimal ist, sondern auch bei Abweichungen und in einer Vielzahl von Szenarien gut bleibt. Hier liegt einer der Forschungsschwerpunkte der Arbeitsgruppe. Insofern liegt das Arbeitsgebiet Personenstromsimulationen im Fokus der Arbeitsthemen der Research Group und baute entscheidend auf dem in der Gruppe vorhandenem Know-How auf.

Im Bereich der Personenstromsimulationen kooperierte Siemens Corporate Technology (CT) schon vor dem Forschungsprojekt intensiv mit Experten für interaktive Simulation am Lehrstuhl für Bauinformatik der Technischen Universität München. Im Rahmen eines eigenen Forschungsprojektes CROWD CONTROL in Kooperation mit der TU München entstand schon vor dem Forschungsprojekt REPKA bei Siemens CT ein allererster Demonstrator eines Personenstromsimulators. Erste Simulationsergebnisse einzelner Szenarien lagen damals schon mit vielversprechenden Ergebnissen vor. Die Kooperation mit der TU München wurde im Forschungsprojekt durch einen entsprechenden Unterauftrag weiter geführt.

1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Die Arbeitsschritte des Teilvorhabens „Grundlegende Untersuchungen zur Simulation von Personenströmen“ waren in die Arbeitspakete „Szenarienanalyse“ (AP1), „Simulation und Optimierung“ (AP2), „Entscheidungsunterstützung (AP4) und „Planung von regionalen Evakuierungen“ (AP5) des Gesamtvorhabens eingebunden.

Die geplanten Arbeiten wurden in Deutschland von Mitarbeitern der Forschungseinheit der Siemens AG, Corporate Technology (CT) sowie den Mitarbeitern der Arbeitsgruppen Prof. Dr. Ernst Rank / Prof. Dr. André Borrmann der TU München und der Arbeitsgruppe Prof. Dr. Gerta Köster der Hochschule München in entsprechenden Unteraufträgen ausgeführt. Federführend war hierbei die Research Group CT RTF AUC SIM-DE.

Der schematische Ablauf der einzelnen Arbeitspakete ist in Abbildung 2 abgebildet. An der ursprünglichen Planung wurde im Wesentlichen fest gehalten. Der Beginn unseres Teilvorhabens am Forschungsprojekt verzögerte sich um ca. einen Monat aufgrund personeller Engpässe. Die Zeitverzögerung wurde im Laufe des ersten Jahres aufgeholt, so dass sich hierdurch keine Veränderungen in der Arbeits-, Zeit- und Kostenplanung ergaben. Aufgrund der Verfügbarkeit von realen Daten bzgl. der Personenströme sowie von einigen Personalengpässen im Verlauf des zweiten und dritten Jahres wurden die Ziele zum ursprüngliche geplanten Ende nicht in vollem Umfang erreicht. Aus diesen Gründen wurde eine entsprechende Verlängerung des Projektes beantragt und genehmigt.

Arbeitsschritt	Jahr 1												Jahr 2												Jahr 3												Verlängerung																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6															
Analyse (AP1)	■															■															■															■											
Simulator (AP2)				■																		■			■																		■														
Test-Suite (AP2)				■						■																		■																		■											
Szenarien (AP 4)										■																		■																		■											
Trainingsmodul (AP5)																■																		■																		■					

Abbildung 2: Schematische Darstellung des Projektablaufes (Planung und Ablauf).

AP 1: Szenarienanalyse (15 Personenmonate)

Die Forschungsarbeiten richteten sich an den Bedürfnissen der Endanwender aus. Von besonderer Bedeutung war somit am Anfang des Projekts – und zyklisch immer wieder zu Beginn des nächsten Forschungsjahres – die Diskussion mit den Partnern zur Definition der relevanten Szenarien aber auch zur Schnittstellenspezifikation.

- **Definition der Szenarien:** Eine wichtige Rolle nahm die Diskussion mit den Partnern vom Arbeitskreis Notfallmanagement (AK NOT) zur Bestimmung der relevanten Szenarien ein. Die Vorstellungen des Endanwenders hatten so einen gewichtigen Einfluss auf den Fokus der Forschungsarbeiten im Teilprojekt und die Spezifikationen des Simulators mit seiner mathematischen Modellierung.
- **Schnittstellenspezifikation:** Die Arbeit am Simulator war stark vernetzt mit den Beiträgen der übrigen Teilvorhaben: inhaltlich vor allem mit dem Teilvorhaben „Optimierung“, bezüglich Datenübergabe mit dem Teilvorhaben „Echtzeit Ortsinformationen“. Hieraus ergaben sich wiederum Anforderungen an die Schnittstellen, also die Informationsübergabepunkte zwischen den Partnern und ihren technischen Modulen.

AP 2: Simulation und Optimierung (32 Personenmonate)

Wie bereits bei der Szenarienanalyse waren auch die Arbeitsschritte im Arbeitspaket „Simulation und Optimierung“ zyklisch angeordnet.

- **Spezifikation und erste demonstrative Umsetzung:** Im ersten Forschungsjahr entstanden grundlegende mathematische Modelle und Basisalgorithmen die als erste demonstrative Umsetzung in einem Simulator implementiert wurden. Die große Herausforderung in diesem Modellierungsschritt war die geschickte Vereinfachung der Wirklichkeit: Dazu zählten eine sinnvolle Auswahl der Teilaspekte der Wirklichkeit, die im Modell abgebildet werden müssen, und deren mathematische Beschreibung, so dass das Massenverhalten realistisch simuliert wird.
- **Evaluierung und Anpassung:** Erst im zweiten Jahr konnte mit einer ausreichenden Versorgung mit Realdaten gerechnet werden, um sie quantitativ im Simulator zu berücksichtigen. Die Interaktivität bzgl. der Nutzung des Simulators wurde weiter ausgebaut. Im letzten Zyklus wurden die Erfahrungen mit den Realzeitdaten aufgenommen.
- **Testverfahren:** Parallel zu den Arbeiten am eigentlichen Demonstrator war der Aufbau eines Testverfahrens ein weiterer Fokus. Diese sollten einerseits die nahtlose Funktionalitätserweiterung sichern, wenn der Code geändert wurde. Andererseits sollte eine Reihe von Testszenarien die Praxisnähe dokumentieren. Der Aufbau der Test-Suite folgte der Implementierung des Demonstrators wie im Balkendiagramm dargestellt.

AP 4: Entscheidungsunterstützung (18 Personenmonate)

- **Durchführung praxisrelevanter Simulationen:** Parallel zu den Fortschritten des Simulators sollten praxisrelevante Szenarien experimentell untersucht werden und so direkt die Partner im Arbeitskreis Notfallmanagement (AK NOT) bei ihrer Entscheidungsfindung unterstützen. Die Simulationen wurden durch die Wünsche der Endanwender bestimmt, aber von Siemens CT durchgeführt. Zwingend notwendig fand ein intensiver Austausch zwischen den Partnern statt.
- **Erstellung von Basisdaten:** Vor den eigentlichen Experimenten mussten Basisdaten erstellt bzw. geändert werden: Die Basis-Eingabedaten, wie Topologie und Gebäudedaten wurden erfasst und später entsprechend den Erfahrungen angepasst.
- **Visualisierung:** Erst eine für den Endanwender leicht verständliche und aussagekräftige Visualisierung vermittelt die Ergebnisse – und macht den Umgang damit – im Sinne eines Trainingssimulators – attraktiv. Mit dem Endanwender sollte im Arbeitspaket erarbeitet werden, welche visuelle Darstellung – von der virtuellen 3D-Welt über Diagramme zu simplen Ampelbildern (grün bei freiem Personenfluss, rot bei Gefahr) – hilfreich sind und diese dann im Rahmen der verfügbaren Personenmonate umgesetzt werden.

AP 5: Planung von regionalen Evakuierungen (13 Personenmonate)

- **Test des Demonstrators:** Der Demonstrator sollte im Verbund mit den Konsortiumspartnern getestet werden. Dazu gehörte neben der Funktionalität insbesondere auch die Eignung für den Endanwender. Viele Testläufe für den Simulator als abgeschlossenes Modul wurden von Siemens CT bereits im Arbeitspaket 2 durchgeführt. Tests die die Zusammenarbeit mit Modulen der Partner und damit des Gesamtdemonstrators betreffen erfolgten im Verbund. Sowohl Demonstrator als auch Testsuite haben im Rahmen der verfügbaren Ressourcen wissenschaftlichen Charakter behalten, das heißt sie mussten von Experten bedient werden.
- **Trainingsmodul und Prognosemodul:** Die „Planung von regionalen Evakuierungen“ wurde im Teilvorhaben „Grundlegende Untersuchungen zur Simulation von Personenströmen“ durch Experimente mit dem Demonstrator unterstützt. Die Experimente erlaubten es, den Partnern im Arbeitskreis „Notfallmanagement und Katastrophenplanung (AK NOT(KAT))“ virtuelle Erfahrungen zu sammeln. Prognosen – also Aussagen über wahrscheinliche Verläufe – wurden unter Einbeziehung der gesammelten Daten erstellt. Auch hier wurden die eigentlichen Experimente von Siemens CT gemäß den Anweisungen der Partner ausgeführt.
- **Auswertung der Übung:** Die Ergebnisse der Übung wurden insgesamt aber auch aus dem Blickwinkel der Simulation ausgewertet: Die Erkenntnisse sind sowohl für spätere Produktentwicklungen als auch für Anschlussforschungen relevant.

Meilensteinplanung

Siemens war in der Meilensteinplanung des Verbundvorhabens integriert.

1.4 Stand von Wissenschaft und Technik

Die Simulation von Personenströmen wird heute hauptsächlich eingesetzt für die Simulation von Gebäudeevakuierungen bzw. die Visualisierung virtueller Menschenmassen in Film und Fernsehen. Erst während des Projektes gewann in der wissenschaftlichen Community auch die Betrachtung der Evakuierung von Großereignissen bzw. der regionalen Evakuierung an Bedeutung.

Mikroskopische Methoden modellieren das Verhalten einzelner Fußgänger mit spezifischen Attributen und Regeln. Hier existieren einige prototypische Insellösungen für unterschiedliche Szenarien. Zu Beginn des Projektes wurde die Personenstromsimulation von wenigen international renommierten Universitäten bzw. ausgelagerten Firmen vorangetrieben. Der Schwerpunkt der Arbeiten ist bisher geprägt durch einen Forschungscharakter im Rahmen von Studien- und Promotionsarbeiten. In den meisten Fällen wird dabei die Dimensionierung von Fluchtwegen in Gebäuden überprüft. In diesem Bereich finden sich innerhalb von Deutschland erste industrielle Anwendungen. Die Bedeutung und der Einsatz von Personenstromsimulation wuchsen im Projektverlauf stetig. Fokus waren jedoch im wesentlichen Gebäude, große Infrastrukturen, sowie Bahnen, Flugzeuge und Schiffe.

Die Simulation weniger kontrollierter Gebiete, etwa bei der Evakuierung des Umfeldes von großen Gebäuden oder öffentlichen Infrastrukturen, ist aber von besonderem Interesse, da hier der Erfahrungsschatz der verantwortlichen Planer und Einsatzkräfte viel geringer ist. Dennoch sind hier kaum Arbeiten bekannt.

Die Validierung und Kalibrierung der Simulation durch reale Szenarien und Daten gewinnt ebenfalls erst langsam an Bedeutung. Die direkte Kopplung der Simulation an reale Daten, darauf aufbauend die Generierung von Prognosen des Personenstromverhaltens bzw. eine automatisierte Online-Bewertung realer Daten stellt eine neue Herausforderung dar. Von besonderem Interesse ist hier, dass die Erfassung über WLAN räumlich weit darüber hinausgeht, was über eine einzelne Video-Kamera erfassbar ist.

Bisherige Arbeiten des Antragstellers

Die Research Group CT RTF AUC SIM-DE der Siemens AG beschäftigt sich seit vielen Jahren mit mathematisch-physikalisch basierten Modellen und Simulationen für robustes Design, z.B. von Anlagen aus dem Bereich Kraftwerkstechnik, Wasserwirtschaft oder Postverteilzentren. Eine robuste Designentscheidung bedeutet, dass die Entscheidung nicht nur in einem besonderen Fall optimal ist, sondern auch bei Abweichungen und in einer Vielzahl von Szenarien gut bleibt. Hier liegt einer der Forschungsschwerpunkte der Arbeitsgruppe. Das Arbeitsgebiet Personenstromsimulationen zielt ebenfalls auf robuste Entscheidungen bei der Lenkung von Personenströmen.

In allen Einsatzbereichen ist eine hohe Effizienz von Simulations- und Optimierungstool gefordert - ob als Trainingssimulator oder als wesentliche Entscheidungshilfe bei Design- und Auslegungsvarianten oder auch als Komponente beim Softwaretest mit realen Daten und Szenarien. Diese wird gewährt durch die langjährigen Erfahrungen auf dem Gebiet „Mathematical Engineering“ und wird belegt durch die extreme Schnelligkeit des im Rahmen von REPKA entwickelten Verfahrens.

Im Bereich der Personenstromsimulationen kooperierte Siemens bereits vor Projektbeginn intensiv mit Experten für Bauinformatik der Technischen Universität München, Lehrstühle Prof. Dr. E. Rank und Prof. Dr. A. Borrmann. Im Rahmen eines For-

schungsprojektes mit der TU München entstand bei Siemens CT ein erster einfacher Demonstrator für einen Personenstromsimulator.

Das Research Group CT RTF AUC SIM-DE hat im Rahmen des Siemens-internen Forschungsprojektes CROWD CONTROL schon bereits vor Projektbeginn eine Reihe von Patenten eingereicht. Darüber hinaus entstanden schon vorher ausführliche Konzepte zur Einbindung von Personenstromsimulationen und Kurzzeitprognosen in einen Regelkreis für das Sicherheitsmanagement vor Ort. Die Praxisrelevanz wurde durch umfangreiche Anforderungsanalysen aus einer Reihe von Workshops mit der deutschen Polizei sichergestellt.

1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Alle geplanten Arbeiten wurden in enger Kooperation zwischen den Verbundpartnern ausgeführt. Des Weiteren wurden im Rahmen des Teilvorhabens „Grundlegende Untersuchungen zur Simulation von Personenströmen“ jeweils Unteraufträge an die Technische Universität München und die Hochschule München vergeben. Im Folgenden sind diese Zusammenarbeiten innerhalb des REPKA – Projektes aufgelistet.

1.5.1 Zusammenarbeit mit der TU München (Prof. E. Rank; Prof. A. Borrmann)

Aus Sicht der Simulation bestanden im Verbundprojekt zu Anfang zwei Know-how-Lücken:

- Für die Simulation war es notwendig, Topologiedaten – wie Gebäude, Straßen, Treppen, Hindernisse, Personenzuströme – abzubilden. Ziel sollte es sein, im Verlauf des Projekts eine weitgehend automatische Abbildung zu erreichen. Hier waren spezielle Kenntnisse der Bauinformatik unabdingbar.
- Ein Fokus der Forschungsarbeiten lag in den Untersuchungen zu einem Trainingssimulator. Um Auswirkungen von Entscheidungen – wie das Öffnen oder Sperren von Fluchtwegen – virtuell beobachten zu können, mussten die Simulationen im Verlaufe des Projekts interaktiv gestaltet werden.

Beide Aspekte, Topologieabbildung und Interaktion, lagen im Zusammenhang mit Personenstromsimulationen im Bereich der neuesten Forschung. Siemens CT hielt es, um im Zeitrahmen des Projektes zu bleiben, für unbedingt notwendig, die Wissenslücken über einen Unterauftrag an eine führende Forschungseinrichtung zu schließen.

Der Lehrstuhl „Computation in Engineering/Bauinformatik“ von Prof. Dr. Ernst Rank und der Lehrstuhl „Computergestützte Modellierung und Simulation“ von Prof. Dr. Andre Borrmann an der Technischen Universität München boten die für das Projekt notwendigen Kenntnisse und Erfahrungen im Bereich Bauinformatik und interaktive Simulation. Im Bereich der Personenstromsimulationen kooperierte Siemens bereits intensiv mit den Experten für Bauinformatik an der TU München. Diese enge Kooperation wurde auch im Projekt REPKA erfolgreich fortgesetzt und ist einer der Grundpfeiler für den Erfolg des Projektes, insbesondere bezüglich der Interaktivität und der Kopplung zwischen Simulation und Optimierung innerhalb eines integrierten Ansatzes.

1.5.2 Zusammenarbeit mit der Hochschule München (Prof. G. Köster)

Insbesondere durch den Erfahrungsaustausch mit Soziologen und BOS Kräften, hat sich in der ersten Phase des Projektes die wesentliche Bedeutung von Gruppen bei Evakuierungen heraus kristallisiert. Dieser wesentliche Aspekt war bei der Antrags-

stellung nicht so erkannt worden. Aus der Zusammenarbeit mit der Soziologin Prof. Dr. A. Spellerberg ergab sich eine neue Erkenntnis bezüglich des Verhaltens von Menschen in der Menge. Bisher wurden in mikroskopischen Simulatoren grundsätzlich Menschen als Individuen behandelt, ihre Tendenz in Gruppen zusammenzubleiben vernachlässigt. Im Rahmen einer regionalen Evakuierung ist das aber falsch, denn „Familien überleben gemeinsam oder gehen gemeinsam unter“ - so Prof. Spellerberg.

Aufgrund dieser besonderen Bedeutung von Gruppenverhalten in Evakuierungsszenarien hat sich Siemens entschlossen, Gruppenverhalten zusätzlich zu untersuchen. Es bot sich an, diese Untersuchungen im Rahmen eines Unterauftrags gemeinsam mit der FH München zu realisieren, da zum 1.3.2010 die bisherige Siemens-Projektleiterin für REPKA, Dr. Gerta Köster, auf eine Professur für Scientific Computing an die Hochschule München wechselte. Die Hochschule München besaß damit bereits einen Wissensvorsprung auf dem Gebiet. Gleichzeitig konnte das Know-how von Frau Dr. Köster so für REPKA erhalten bleiben und Ihre vielfältigen Kontakte mit Soziologen, die sich mit dem Verhalten von Personenströmen beschäftigen, genutzt werden. Ein entsprechender Antrag auf Mittelumwidmung wurde vom BMBF genehmigt.

Durch die Kooperation mit Frau Köster konnte der Einfluss von Gruppen auf Personenströme im Simulator integriert werden. Durch die Validierung und Kalibrierung mit realen Messdaten hat der Simulator so deutlich an Realismus gewonnen. Insbesondere zeigen sich hier Qualitätsvorteile, wie diese zurzeit in fast keinem anderen Personenstromsimulator zu finden sind.

1.5.3 Zusammenarbeit innerhalb des Konsortiums

Auch innerhalb des Konsortiums fand eine enge Zusammenarbeit statt, die weit über die regelmäßigen Verbundtreffen hinaus ging. So fand insbesondere mit der TU Kaiserslautern ein regelmäßiger persönlicher Austausch von einzelnen Mitarbeitern vor Ort statt.

TU Kaiserslautern (AG Optimierung / AG Stadtsoziologie / AK Notfallmanagement)

Fachgebiet der Arbeitsgruppe Optimierung ist die mathematische Optimierung und die Erstellung und Implementierung von Lösungsalgorithmen zur Lösung praxisbezogener Anwendungen. Für REPKA sind insbesondere die Vorarbeiten zur Netzwerk-Optimierung und zur Standortplanung von Bedeutung. Die Ansätze erlauben durch eine idealisierte Betrachtung die Bestimmung von optimalen Evakuierungsstrategien mit minimalen Evakuierungszeiten. Die somit bestimmten Evakuierungszeiten stellen eine untere Schranke im Falle einer Evakuierung dar. Durch ein neu entwickeltes Verfahren zur Kopplung zwischen Simulation und Optimierung konnten insbesondere potentielle optimale Evakuierungsstrategien mittels Simulation verifiziert werden, auf der anderen Seite gleichzeitig realistischere Evakuierungszeiten bestimmt werden. Der durch die enge Kooperation realisierte Sandwich Ansatz ist ein deutliches Unterscheidungsmerkmal zu anderen Ansätzen von Personenstromsimulationen im Bereich der Evakuierung.

Neben der Kooperation mit der AG Optimierung fand ebenfalls ein intensiver Austausch mit dem Lehrgebiet Stadtsoziologie statt. Durch intensive Diskussion der modellierten Verhaltensweisen konnten die Modelle, insbesondere die Gruppenmodelle, deutlich verbessert werden. Durch die erhobenen Daten konnten die Modelle entsprechend validiert und kalibriert werden. Besonders im letzten Jahr profitierte der von der Siemens AG entwickelte Demonstrator von der Evaluierung hinsichtlich Re-

levanz und „Benutzerfreundlichkeit“ durch die Mitarbeiter des Lehrgebietes Stadtsoziologie.

Durch den regelmäßigen Austausch mit dem Arbeitskreis „Notfallmanagement und Katastrophenplanung“ der BOS, konnte der Simulator mit direktem Bezug zu den Bedürfnissen der Endanwender entwickelt werden. Das regelmäßige Feedback spiegelte die hohe Relevanz des Simulators wieder. Mit Hilfe der durch den Arbeitskreis initiierten Kooperation mit der Deutschen Polizeihochschule in Münster konnte insbesondere auch eine breitere Sichtweise von Experten aus dem polizeilichen Umfeld gewonnen werden. Neben dieser Evaluierung wurden des Weiteren mehrere Demonstrationen vorgeführt und Demonstrationsmaterial (Foliensätze, Videos) erstellt. Dieses wurde durch die Mitglieder des Arbeitskreises einem großen Kreise potentieller Endanwender vorgestellt.

Neben diesem direkten Bezug ist insbesondere das Engagement des Arbeitskreises hinsichtlich der Datengewinnung hervorzuheben. Durch den Arbeitskreis wurde eine Vielzahl von Daten erhoben, die zur quantitativen Aussagekraft des entwickelten Demonstrators deutlich beigetragen hat.

Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS

Die Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer Institut für Integrierte Schaltungen hatte die Datengewinnung zur Validierung und Kalibrierung der entwickelten Tools im Fokus. Mittels WLAN-Lokalisierung wurden Bewegungspfade (Tracks) von Testpersonen und Stadionbesuchern aufgezeichnet, die zur Kalibrierung des Simulators verwendet wurden. Die Zusammenarbeit bezog sich im Wesentlichen auf die Definition der benötigten Informationen sowie die Definition entsprechender Schnittstellen für die Onlinedatenbank. Von Seiten der Siemens AG wurde eine entsprechende Schnittstelle im Visualisierungstool geschaffen, so dass die aufgezeichneten Daten gemeinsam mit Simulationsdaten in einem Tool visualisiert werden konnten.

IT2media (Partner IT2)

In der Planung des Projektes wurde nur eine sehr geringen Kopplung der Ergebnisse der Siemens AG sowie von IT2media vorgesehen, so dass die Zusammenarbeit sich auf die regelmäßigen Konsortialtreffen beschränkte.

2. Ergebnisse

2.1 Ergebnisse

Die wesentlichen Arbeitspakete für Siemens im Forschungsprojekt konzentrierten sich auf grundlegende Untersuchungen zur mikroskopischen Modellierung und Simulation von Personenströmen. Basierend auf diesen Untersuchungen wurde im Projekt ein Demonstrator für einen mikroskopischen Personenstromsimulator erarbeitet. In diesem wurden neue wissenschaftlich-technische Methoden implementiert, die insbesondere im Hinblick auf einen hohen Realismus der Simulationen bei niedrigem Computer Ressourcen-Verbrauch hervorzuheben sind.

Die besondere Bedeutung der wissenschaftlichen und technischen Ergebnisse lässt sich an den Publikationen (siehe auch Abschnitt 2.6) wie auch an den Patentanmeldungen (siehe auch Abschnitt 2.4.1) erkennen. Des Weiteren sei insbesondere auf das sehr positive Feedback von Seiten der BOS sowie der Masterarbeit von Markus Oppenhäuser (*Realisierung und Potentialanalyse von wissenschaftlichen Konzepten zur regionalen Evakuierung aus polizeilicher Sicht am Beispiel des Projektes REPKA – Regionale Evakuierung: Planung, Kontrolle und Anpassung*) an der Hochschule der Polizei verwiesen. Letztere hat die Relevanz des entwickelten Simulationstools anhand einer Vielzahl von Interviews mit Polizeibeamten ausführlich dargestellt.

Die folgende Aufzählung der wichtigsten wissenschaftlich technischen Ergebnisse orientiert sich an den im Antrag festgelegten Arbeitspaketen: Szenarienanalyse (Abschnitt 2.1.1), Simulation und Optimierung (Abschnitt 2.1.2, 2.1.3 und 2.1.4), Entscheidungsunterstützung (Abschnitt 2.1.5), Planung von regionalen Evakuierungen (Abschnitt 2.1.6).

2.1.1 Szenarienanalyse (AP1)

Die Arbeiten dieses Arbeitspaketes konzentrierten sich in der ersten Phase des Projektes. Wobei jedoch wiederkehrend Anpassungen an aktuelle Erkenntnisse und Notwendigkeiten im Verlauf des Projektes stattfanden.

Im Rahmen des zweiten REPKA – Workshops in Kaiserslautern (9.-10.09.2009) wurde von den Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben der Stadt Kaiserslautern (BOS) sowie dem Lehrgebiet Stadtsoziologie und der Arbeitsgruppe Optimierung der TU Kaiserslautern eine ausführliche Szenarienanalyse vorgestellt.

Zentrales Ergebnis dieses intensiven Austausches war die Bedeutung des qualitativen und quantitativen Fußgängerverhaltens, das durchaus von Situation zu Situation stark variieren kann (Eine Evakuierung unter einer Bedrohung wird deutlich anders ablaufen als eine „normale Evakuierung“ nach Spielende.). Bereits die Untersuchung einer normalen Evakuierung nach Spielende mittels mikroskopischen Simulationen zeigte einen Bedarf nach detaillierteren Daten zum Fußgängerverhalten. Da dieser Bedarf durch vorhandene Daten aus der Literatur nicht abgedeckt werden konnte, wurden detailliert Anforderungen an Datenerhebungen im Rahmen von Spielen des FCK diskutiert. Im Rahmen von unterschiedlichen Übungen wurden entsprechende Daten dann erhoben.

Ebenfalls kristallisierte sich in diesen Diskussionen die Bedeutung von Gruppen heraus. Viele der Besucher am Betzenberg kommen in Gruppen. Diese haben einen deutlich stärkeren Zusammenhalt als einzelne Personen, was insbesondere durch folgendes Zitat unterstrichen wird: „Familien überleben gemeinsam oder gehen ge-

meinsam unter“ (Prof. Spellerberg). Entsprechende Betrachtungen flossen sowohl in die Datenerhebungen, als auch in den entwickelten Simulator.

Neben den Szenarien wurden auch die Anforderungen an den entwickelten Demonstrator zur Personenstromsimulation im Rahmen von Demonstrationen immer wieder präzisiert und angepasst. Hervorzuheben ist hier insbesondere die Anforderung an eine intuitive benutzerfreundliche Bedienbarkeit, so dass auch Nicht-Experten ohne große Einarbeitungszeit wertvolle Erkenntnisse gewinnen können. Diese Anforderungen sind direkt in die Erarbeitung des Demonstrators eingeflossen.

Ein weiteres wichtiges Ergebnis war die Erarbeitung gemeinsamer Topologie und Parametersätze für die Kopplung des Simulationstools der Siemens AG und des Optimierungstools der TU Kaiserslautern sowie die Spezifikation entsprechender Schnittstellen. Ebenfalls wurden basierend auf Erhebungen und Expertenbefragungen der BOS gemeinsam mit der TU Kaiserslautern Aspekte der Wegewahl, z.B. Verteilungen an den einzelnen Kreuzungen, genauer präzisiert.

2.1.2 Simulation und Optimierung (AP2) – Siemens AG

Modellierung

In der ersten Phase wurde ein vorhandenes mikroskopisches Modell eines zellulären Zustandsautomaten für das Verhalten von Personenströmen erweitert. Besonderes Augenmerk wurde auf folgende Aspekte gelegt:

- Navigation von Personen basierend auf Navigationspotentialen,
- Navigation von Personen basierend auf Graphen (Unterauftrag an die TU München),
- Realisierung von zufälligem Verhalten einzelner Personen,
- Interaktion der Personen untereinander,
- Erste Ansätze zur Behandlung von Personengruppen (später Unterauftrag an die Hochschule München).

Bei der Personennavigation wird zwischen verschiedenen Größenskalen unterschieden. Strategische Navigationsentscheidungen, wie z.B. die Wahl der Straße an einer Kreuzung, werden im Allgemeinen mit Graphen modelliert. Die Navigation von einer Kreuzung zur nächsten erfolgt mittels Navigationspotentialen / Navigationsfeldern. Durch eine erste Integration von Graphen-basierter Navigation in den Simulator durch die TU München konnten diese beiden Aspekte in unserem Simulator vereint integriert werden. Somit wurden die wesentlichen Aspekte der Personennavigation explizit berücksichtigt.

Zusätzlich wurden die Navigationsalgorithmen basierend auf Navigationspotentialen deutlich verbessert. Dadurch hebt sich der Personenstromsimulator im Vergleich zu anderen Ansätzen des Standes der Technik deutlich ab. Durch die verbesserten Algorithmen kann menschliches Navigationsverhalten wesentlich genauer abgebildet werden und Artefakte, wie diese in vielen Simulationstools zu finden sind, sind nicht zu beobachten. Durch diesen Gewinn an Realismus konnte die Aussagekraft bzgl. Evakuierungszeiten und zu erwartenden Dichten deutlich gesteigert werden.

Durch eine erste explizite Berücksichtigung von Gruppen konnte ein weiterer Gewinn an Realismus erreicht werden. Aufgrund des sehr positiven Feedbacks in Diskussionen mit den BOS – Kräften und der AG Stadtsoziologie wurde dieser Aspekt insbesondere in der zweiten Phase noch stärker im Rahmen der Kooperation mit der

Hochschule München (AG Prof. Dr. Gerta Köster) betrachtet. Hierbei wurde unterschieden zwischen

- Kleingruppen und ihrem Zusammenhalt und der Auswirkung auf die Menge
- Großgruppen und ihrem Zusammenhalt und der Auswirkung auf die Menge

Die Auswirkung der Präsenz von beiden Gruppentypen auf Evakuierungszeiten konnten erstmals untersucht werden. Sowohl die Beobachtungen der Stadtsoziologen als auch die in Abstimmung durchgeführten Simulationsexperimente belegten, dass soziale Gruppenstrukturierungen einen signifikanten Einfluss auf die Dynamik der Menschenströme hat und insbesondere bei Veranstaltungen wie Fußballspielen oder Volksfesten, an denen die Besucher in der Regel in Gruppen teilnehmen, nicht vernachlässigt werden dürfen. Im Projekt konnte so ein klarer Vorsprung gegenüber dem – auch derzeit noch so bestehenden – Stand der Technik erzielt werden.

Alle Modelle wurden in dem erarbeiteten Demonstrator implementiert und ausführlich getestet. Es zeigt sich insbesondere, dass die qualitativen Ergebnisse der Simulationen bei Variation der zugrunde liegenden Parameter deutlich variieren. Soweit möglich wurden die Parameter anhand von quantitativen Literaturergebnissen (Weidmann - Diagramm) kalibriert. Alle weiteren Parameter wurden anhand von qualitativen Betrachtungen gewählt. Ein Bedarf nach quantitativen Daten insbesondere im Rahmen der gegebenen Situation, d.h. für die Evakuierung eines Fußballstadions, ist von besonderer Bedeutung. Entsprechende Anforderungen wurden dokumentiert und an die Kooperationspartner kommuniziert.

In der zweiten Phase wurde das entwickelte mikroskopische Modell neben der verbesserten Berücksichtigung von Gruppen weiter optimiert. Besonderes Augenmerk wurde auf folgende Aspekte gelegt, die im Hinblick auf die Anwendung am Betzenberg von Bedeutung sind:

- Navigationsalgorithmen von Personen auf Graphen unter Berücksichtigung von personenabhängigen Navigationsstrategien (Unterauftrag an die TU München),
- Optimierung der Algorithmen zur Navigationsfeldberechnung.

Alle Modelle wurden in dem erarbeiteten Demonstrator implementiert und ausführlich getestet. Entsprechende Parameter wurden sorgfältig unter Berücksichtigung von qualitativen Plausibilitätsbetrachtungen als auch von realen Experimenten gewählt.

Durch Verbesserungen der Algorithmen zur Navigationsfeldberechnung konnte ein deutlicher Geschwindigkeitsgewinn in der Berechnung erreicht werden. Dieses ermöglicht es unter anderem dynamisch Navigationsfelder zu berechnen, die andere Personen im Szenario bei Navigationsentscheidungen berücksichtigen. So wird menschliches Verhalten, wie z.B. das frühzeitige Ausweichen von Staus, deutlich besser abgebildet. Die erzielten Verbesserungen erlauben es diese Techniken für realistische Szenarien mittlerer Größe zu verwenden.

Gleichzeitig erlauben die verbesserten Navigationsalgorithmen auf Graphen eine relativ exakte Beschreibung realen Personenverhaltens. Durch die Arbeiten der TU München ist es nun möglich, explizit das Navigationsverhalten unterschiedlicher Besuchergruppen zu modellieren. Zum Beispiel ist davon auszugehen, dass eingefleischte Fans nach Jahren den kürzesten oder schnellsten Weg wählen, wogegen auswärtige Fans den Massen oder Beschilderungen folgen. Diese detaillierte Modellierung von personenabhängigen Navigationsstrategien ist ein deutliches Unterscheidungsmerkmal zu den meisten existierenden Personenstromsimulatoren.

In der letzten Phase des Projektes wurden auf der einen Seite die Modelle weiter verfeinert auf der anderen Seite wurde ein sehr starker Fokus auf die Integration der Arbeiten der Hochschule München und der TU München gelegt. So wurde durch die detaillierte Betrachtung von Gruppen eine große Annäherung an reales menschliches Verhalten erreicht. Ein ähnlicher Realismus von soziologischem Verhalten findet sich so in fast keinem Simulator – weder in kommerziellen noch in Universitäts-Tools. Zusätzlich wurde die Kopplung von mikroskopischer Navigation mit makroskopischen Graphen-basierten Navigationsalgorithmen weiter entwickelt. Der Ansatz erlaubt es die dynamische Neuberechnung der Navigationsfelder unter Berücksichtigung anderer Personen auf ein absolutes Minimum zu beschränken, ohne der Realismus zu reduzieren. Eine wiederholte Navigationsfeldberechnung hat nun im Vergleich zu anderen Simulationsansätzen nur geringe Geschwindigkeitsverluste. Weiterhin war hierbei die Realisierung effizienter Kopplungsmöglichkeiten zwischen mikroskopischer Simulation (Siemens AG) und Optimierung (AG Optimierung, TU Kaiserslautern) ein wesentlicher Aspekt.

In der kostenneutralen Verlängerung war ein zentraler Aspekt die Modellierung von starken Gegenströmen. In allen Simulatoren des Standes der Technik zeigt sich in vielen Fällen nicht der gewünschte Realismus, wie z.B. das Ausbilden von Bahnen. Oft führt dies zu unnatürlichen Staus. Aufgrund dieser unnatürlichen Blockaden ist die Aussagekraft der Simulatoren dann nicht gesichert. Hier konnten mit den entwickelten Methoden deutliche Verbesserungen erreicht werden, so dass selbst in sehr dichten Personenmengen Gegenströme simuliert werden können.

Neben den zwei-dimensionalen mikroskopischen Modellen, wurden in der letzten Phase des Projektes noch quasi-eindimensionale Modelle untersucht. Der Vergleich mit den mikroskopischen Simulationen zeigt bei einer Geometrie ähnlich denen, wie sie am Betzenberg zu finden sind, d.h. viele lange Wege / Straßen, eine gute Übereinstimmung der Simulationsergebnisse. Gleichzeitig bieten die reduzierten Modelle eine deutlich effizientere Berechenbarkeit. Somit könnten diese eine Alternative in Situationen darstellen, in denen ein sehr effizienter Simulationsansatz benötigt wird, z.B. bei Verwendung der Simulation in einem echten Einsatz oder im Rahmen einer algorithmischen Optimierung. Diese Modelle befinden sich zwar noch in einem frühen Entwicklungsstadium, zeigen aber sehr viel versprechende Ergebnisse. Die Rechenzeit konnte bei gleicher Aussagekraft um einen Faktor 10 reduziert werden. Weitere Arbeiten und Evaluationen sind jedoch noch notwendig, bis eine ähnliche Reife wie bei den mikroskopischen Simulationen erreicht wird.

Erstellung eines Demonstrators

Parallel zur Modellierung von Personenverhalten wurde eine Implementierung der Modelle in einem Demonstrator in JAVA vorgenommen. Besondere Ergebnisse hierbei waren:

- Benutzerfreundliche intuitive GUI,
- Graphischer Editor zur Geometriegeneration,
- Tool zur Visualisierung und Evaluation der Simulationen,
- Schnittstelle zu Daten von Geoinformationssystemen zur Generierung geeigneter Navigationsfelder,
- Schnittstelle zu den Tools der Arbeitsgruppe Optimierung an der TU Kaiserslautern,
- Bereitstellen von Schnittstellen zur Daten-Ein- und Ausgabe.

In der zweiten Phase des Projektes wurde das in der ersten Phase entwickelte Simulationstool deutlich überarbeitet. Ziel war eine Optimierung der Softwarestruktur hinsichtlich einer besseren Wartung der Software als auch die Verbesserung der verwendeten Algorithmen zur Steigerung der Simulationsgeschwindigkeit. Besondere Ergebnisse waren:

- Modularisierung der Software,
- Beschleunigung durch Softwareoptimierung,
- Statistik Modul (inkl. GUI) zur effizienten Datenauswertung.

Hierdurch wurde eine langfristige Weiterentwicklung des Demonstrators gewährleistet, da die Modularität zu einer deutlichen Stabilisierung und deutlich geringeren Fehleranfälligkeit führte. Des Weiteren wurde die Zusammenarbeit mit der TU München als auch der Hochschule München vereinfacht, da klare Schnittstellen geschaffen wurden.

In der letzten Phase des Projektes wurden nach und nach die von den Kooperationspartnern entwickelten Algorithmen in den Demonstrator der Siemens AG integriert. Des Weiteren wurden entsprechende Schnittstellen für eine effiziente Kopplung zwischen Optimierungs- und Simulationstool geschaffen. In allen Fällen wurde auch hier auf eine ausreichende Modularität geachtet.

Ein Hauptaugenmerk in der letzten Phase lag insbesondere auch in der Erstellung einer attraktiven Benutzeroberfläche (GUI), so dass eine Verwendung des Simulators auch für Laien nach einer kurzen Einarbeitung möglich ist. Durch die Bereitstellung geeigneter Schnittstellen können aus dem entwickelten Demonstrator sowohl die mikroskopischen Simulationen (Siemens AG) als auch die Graphen-basierten Optimierungsalgorithmen (AG Optimierung, TU Kaiserslautern) aus einer GUI zentral gestartet werden. Insbesondere können die optimierten Routen direkt für die mikroskopische Simulation übernommen werden.

Neben dem Simulator selbst wurden ebenfalls entsprechende Visualisierungsmöglichkeiten entwickelt. Das separat entwickelte Visualisierungstool erlaubt eine ansprechende Visualisierung der Simulationsdaten sowie eine Vielzahl von Auswertemöglichkeiten. Insbesondere letztere ermöglichen ein detailliertes Verständnis der nichtlinearen komplexen Phänomene von Personenströmen. Des Weiteren können die durch die Partner gewonnenen Daten, wie diese vom Fraunhofer Institut IIS bereit gestellt werden, ebenfalls mit dem entwickelten Visualisierungstool dargestellt werden. Dieses ermöglicht einen benutzerfreundlichen und einfachen Abgleich zwischen Daten und Simulation zur Verifizierung und Kalibrierung der Modelle in einem Tool.

Parallel zur Erstellung des Demonstrators wurde eine Testsuite, die aus einer Fülle typischer Szenarien besteht, erarbeitet. Eine regelmäßige Überprüfung des Simulators basierend auf dieser Testsuite garantiert einen jederzeit im Hinblick auf quantitative und qualitative Simulationsergebnisse getesteten Code. Des Weiteren ermöglicht die Testsuite jederzeit einen Abgleich typischer Verhaltensweisen von Personenströmen im Modell mit der Realität (z.B. wie werden Hindernisse umlaufen).

Die entwickelte Testsuite beruht auf zwei Säulen: In der Entwicklungsumgebung integrierte Unit-Tests, die eine schnelle und effektive Verifizierung wesentlicher Algorithmen des Codes während der Entwicklung erlauben, garantieren einen Mindestqualitätsstandard. Die zweite Säule bilden Regressionstests, die in regelmäßigen Abständen durchgeführt werden. Inhalt dieser Tests ist eine Vielzahl von Szenarien

an Hand denen wesentliche Kennzahlen von mikroskopischen Fußgängersimulationen überprüft werden. Diese Tests beruhen insbesondere auf den Vorgaben der Richtlinie für Mikroskopische Entfluchtungs-Analysen (RiMEA), wie diese vom RiMEA – Projekt vorgeschlagen wurden (<http://www.rimea.de>). Somit findet eine regelmäßige Überprüfung des Simulationstools hinsichtlich wesentlicher unabhängiger Qualitätsmerkmale statt. Die Testsuite wurde kontinuierlich an die neuesten Erfahrungen, Erkenntnisse und Modelle angepasst.

Der entwickelte Demonstrator, d.h. das entwickelte Simulationstool sowie das Visualisierungstool, wurde während des gesamten Projektes in regelmäßigen Abständen den Projektbeteiligten und dem Projektträger auf den Projekttreffen ausführlich präsentiert. Entsprechendes Feedback ist jeweils in die Weiterentwicklung eingeflossen. Dieses iterative Vorgehen ist einer der wesentlichen Gründe für die sehr positive Evaluation des Tools aus Sicht der Praktiker der BOS.

Kalibrierung von Parametern und Validierung der Modelle

Die zugrunde gelegten Modelle des Fußgängerverhaltens beruhen auf einer Vielzahl von postulierten Annahmen und Parametern. Eine zentrale Herausforderung des mikroskopischen Ansatzes ist die spezielle Wahl der Parameter, so dass die Realität möglichst gut durch die Simulation nachgebildet wird. Der Abgleich mit realen quantitativen Daten bietet des Weiteren die Möglichkeit, den Simulator nicht nur qualitativ sondern insbesondere auch quantitativ zu verifizieren.

Basierend auf quantitativen experimentellen Daten für eine typische Zusammensetzung von Personen wurden in einem ersten Schritt die Parameter unseres Ansatzes manuell angepasst. Da in der ersten Phase noch keine entsprechenden Daten vom Betzenberg vorlagen, haben wir uns zuerst auf bekannte Literatur-Daten (Fundamental-Diagramme) gestützt. Nach entsprechender Kalibrierung der Modelle zeigt sich eine sehr gute quantitative Übereinstimmung zwischen den Personen im Simulator und in der Realität.

Diese aus der Literatur gewählten Parameter spiegeln das Verhalten einer durchschnittlichen Bevölkerungszusammensetzung wieder. Basierend auf den Beobachtungen der BOS muss das Verhalten der Stadionbesucher jedoch nicht zwingend mit dem einer durchschnittlichen Bevölkerungsgruppe übereinstimmen. Eine Zusammensetzung der Stadionbesucher kann völlig anders sein. Weitere Aspekte wie Dunkelheit, Gruppenverhalten oder ähnliches haben ebenfalls eine Auswirkung auf die angenommenen Parameter der Modelle.

In der zweiten Phase des Projektes wurden daher basierend auf den ersten Übungen der TU Kaiserslautern / BOS in Kooperation mit dem Fraunhofer IIS eine Vielzahl von Geschwindigkeitsdaten extrahiert und anhand dieser die Simulationsparameter bezüglich der Geschwindigkeitswahl kalibriert.

Auch bezüglich des Navigationsverhaltens einzelner Personen sowie dem Verhalten von Gruppen zeigte sich jedoch ein deutlicher Mangel an entsprechenden Daten. Zur Behebung dieses Defizits wurden im Rahmen des Projektes zwei Übungen durchgeführt:

- Erhebung von Parametern zur Modellierung von Gruppenverhalten (Experiment mit Studenten der FH München am 08.11.2010),
- Erhebung von Parametern zum Navigationsverhaltens (Experiment mit Studenten der TU München am 12.11.2010).

Des Weiteren konnten im Rahmen von Befragungen durch die AG Stadtsoziologie der TU Kaiserslautern im Verlauf des Projektes eine Vielzahl von Daten hinsichtlich der Wegewahl und auch typischer Gruppenzusammensetzungen am Betzenberg gewonnen werden. Auch diese Daten wurden den entsprechenden Simulationsszenarien zugrunde gelegt, so dass die unbekannt Parameter auf ein Minimum reduziert werden konnten.

Durch Kalibrierung der Simulationsparameter anhand der im Rahmen des Projektes gewonnen Daten konnte der Realismus des Simulators und somit die Aussagekraft deutlich gesteigert werden. Die gewonnen Daten sind jedoch sehr Situationsspezifisch und sind nicht ohne weiteres auf andere Szenarien übertragbar. Hier besteht auch in Zukunft noch ein großer Forschungsbedarf.

2.1.3 Simulation und Optimierung (AP2) – TU München

Im Rahmen des an die TU München vergebenen Unterauftrags erfolgte die Erforschung von Graphen-basierten Navigationsalgorithmen und deren Integration in den Simulator. Ziel war es dabei, zum einen menschliches Navigationsverhalten möglichst genau und vielfältig abzubilden und zum anderen die Möglichkeit der Szenarienmodifikation während des Simulationslaufs umzusetzen, um auf diese Weise den Effekt der Sperrung von Wegen auf das Evakuierungsverhalten untersuchen zu können.

Wesentliche Voraussetzung für die Abbildung von Navigationsverhalten ist die Nutzung eines zugrundeliegenden Graphen, der mögliche Wege und Entscheidungsknoten beinhaltet. Um zu verhindern, dass ein solcher Navigationsgraph manuell erstellt werden muss, wurden im Rahmen des Unterauftrags Verfahren zur automatisierten Generierung entwickelt. Eingangsinformation ist dabei eine Vektorgraphik des zu untersuchenden Gebiets, die alle wesentlichen Hindernisse und Wegeinformationen beinhaltet. Das entwickelte Verfahren erzeugt zunächst sogenannte Orientierungspunkte an konvexen Ecken der Hindernisse und generiert daraus, nach mehreren Zwischenschritten zur Bereinigung, die Knoten des Navigationsgraphen. Im nächsten Schritt werden die Knoten miteinander verbunden, die in Sichtverbindung stehen. Da bei der Anwendung dieses Verfahrens äußerst dichte Navigationsgraphen entstehen können, die zum Teil geometrisch redundante Kanten aufweisen und damit unvorteilhaft für das Laufzeitverhalten des Simulators sind, wurde im weiteren Verlauf des Forschungsvorhabens eine Verfeinerung des Verfahrens entwickelt. Durch Betrachtung von Sichtkegeln können deutliche ausgedünnte Graphen erzeugt werden, ohne die Güte des abgebildeten Navigationsverhaltens zu beeinträchtigen. Im Ergebnis ist es gelungen, ein generisches Verfahren zur Ableitung von Navigationsgraphen aus beliebigen Szenarien zu entwickeln, das den Anforderungen der Personenstromsimulation in Hinblick auf Effizienz und Genauigkeit gerecht wird.

Auf Grundlage der so erzeugten Navigationsgraphen können verschiedene Algorithmen zur Abbildung unterschiedlichen Navigationsverhaltens realisiert werden. Im Rahmen des Unterauftrags wurden hierzu folgende typische Personengruppen abgebildet:

- Personen, die sehr gut mit der Umgebung und der Dynamik des Fußgängerhaltens (Auftreten von Staus) vertraut sind, wie beispielsweise die Fans der Heimmannschaft
- Personen, die weniger gut mit der Örtlichkeit vertraut sind, sich aber anhand von Landmarks orientieren und ihren Weg so wählen, dass sie diese – vermeintlich – auf direktem Wege erreichen

- Personen, die schlecht mit der Örtlichkeit vertraut sind und sich maßgeblich an der Wegewahl der anderen Besucher orientieren

Das Navigationsverhalten dieser verschiedenen Personengruppen wurde mithilfe unterschiedlicher Graphen-basierter Algorithmen umgesetzt. Für Gruppe (1) kommt eine Variante des Dijkstra-Algorithmus zum Einsatz, bei der zur Bewertung der Kantengewichte die dort geschätzten Reisezeiten herangezogen werden. Für Gruppe (2) wurde eine Variante des A*-Algorithmus implementiert, bei der die Attraktivität des nächsten zu wählenden Knoten durch die Entfernung zum Ziel bzw. Zwischenziel (Luftlinie) gesteuert wird. Gruppe (3) wird durch eine Variante des Ameisenalgorithmus (Ant Colony Optimization) gesteuert, bei der die Attraktivität eines Weges durch Pheromonablagerung bestimmt wird, um damit die Häufigkeit seiner Wahl abzubilden.

Da sich die Besucher von Großveranstaltungen wie Fußballspielen häufig aus heterogenen Gruppen zusammensetzen, empfiehlt sich beim Simulationslauf ein Mischbetrieb mit allen drei Navigationsalgorithmen. Die konkrete quantitative Zusammensetzung ist anhand von statistischen Erhebungen zu ermitteln. Der im Rahmen des Forschungsprojekts an der TU München durchgeführte Versuch mit 150 Studenten, die ausgehend vom Stammgelände der Technischen Universität München unterschiedliche Ziele im Stadtbereich ansteuern mussten, zeigte eine sehr gute Übereinstimmung der vorhergesagten mit der realen Wegewahl. Da sich die Teilnehmenden aus Einheimischen und Studienanfänger anderer Herkunft zusammensetzten, war sichergestellt, dass alle oben genannten Personengruppen vertreten waren.

Die zunächst rein auf Graphebene funktionierenden Algorithmen wurden in den Personensimulator der Siemens AG integriert. Die simulierten Personen wählen dabei die durch die Graph-Algorithmen vorgegebenen Knoten als nächstes Zwischenziel. Auf diese Weise konnte ein reibungsloses Zusammenspiel zwischen der Navigationsebene und der Locomotion-Ebene realisiert werden. Zudem ergab sich ein technologischer Vorteil: Dadurch, dass die Algorithmen zur Berechnung des Navigationsfeldes nicht mehr auf das gesamte Gebiet angewendet werden müssen, sondern nur noch entlang einer Kante des Navigationsgraphen, kann der benötigte Rechenaufwand deutlich reduziert werden.

Aufbauend auf der technischen Integration von Navigations- und Locomotion-Ebene wurde ein methodisch neuer Ansatz entwickelt, bei dem die Verfahren der makroskopischen Optimierung (TU Kaiserslautern) mit den Verfahren der mikroskopischen Simulation gekoppelt werden. Grundlegendes Ziel ist es dabei, die durch die mathematischen Verfahren ermittelte Aufteilung zur systemoptimalen Nutzung des Wegenetzes so in den Simulator einzuspeisen, dass die dort simulierten Personen ihre Wege entsprechend wählen. Als Schnittstelle und gemeinsam genutzte Grundlage dient dabei der oben erwähnte Navigationsgraph. Da bei den makroskopischen Optimierungsverfahren mikroskopische Effekte wie die gegenseitige Behinderung von Fußgängern an Engstellen nicht berücksichtigt werden können, war die Entwicklung einer bidirektionalen Kopplung notwendig. Die durch die Simulation ermittelten Reisezeiten dienen als Eingangsgröße für die Optimierung und anders herum die von der Optimierung ermittelten Aufteilungen an Kreuzungspunkten stellen Eingangsinformation für die mikroskopische Simulation dar. Das gekoppelte Verfahren muss in Form einer Iteration durchgeführt werden, um eine Konvergenz zu gewährleisten. Im Ergebnis kann durch dieses neuartige Verfahren, die Prognose der erforderlichen Evakuierungszeit geschärft werden, d.h. die Lücke zwischen oberer und unterer Schranke der ermittelten Evakuierungszeiten im Sinne des Sandwich-Ansatzes weiter geschlossen werden.

2.1.4 Simulation und Optimierung (AP2) – Hochschule München

Im Rahmen des an die Hochschule München vergebenen Unterauftrags wurden durch die Arbeitsgruppe von Frau Prof. G. Köster Modelle für soziale Gruppenstrukturen erarbeitet und im Demonstrator integriert. Motivation war der Hinweis der Projektpartner aus der Stadtsoziologie, dass Gruppenzusammenhalt gerade in Gefahrensituation besonders stark ausgeprägt ist.

Gemeinsam mit den Stadtsoziologen wurde zunächst der Stand der Wissenschaft in Soziologie und Psychologie erarbeitet. Hier zeigte sich, dass Gruppenzusammenhalt in Krisensituationen nicht nur verstärkt wird, sondern sich sogar Gruppen neu formieren, die gemeinsam weiter agieren. Außerdem wurde klar, dass sinnvoll zwischen Kleingruppen wie Familien, die sehr stark zusammenhalten, und Großgruppen, die oft in Kleingruppen zersplittert sind, unterschieden werden sollte. Großgruppen sind bereit ihren Verband schon bei geringen Störungen aufzulösen – sie zerfallen in Kleingruppen. Aus psychologischer und soziologischer Sicht war ein Vernachlässigen von Gruppen in Personenstrommodellen wissenschaftlich nicht haltbar. Große Auswirkungen auf Evaluierungszeiten wurden vermutet.

Seitens der Modellierung bestand zu Beginn der Arbeit nur ein einziger vorausgehender Ansatz für ein Gruppenmodell (M. Moussaïd et al.: *The walking behaviour of pedestrian social groups and its impact on crowd*, PLoS ONE, 2010), der sich auf Kleingruppen beschränkte und einen Differentialgleichungsmodell als Basisansatz voraussetzte.

Das im Rahmen des Arbeitspakets zunächst entwickelte Modell für Kleingruppen setzte auf wesentlichen Komponenten des Basismodells auf. Insbesondere wurde auf die Darstellung von abstoßenden – und für Gruppen dann auch anziehenden – Kräften zwischen Personen aufgebaut. Im Modell dienen abstoßende Kräfte der Wahrung eines persönlichen Raums und anziehende Kräfte dem Zusammenhalt. Durch dieses Vorgehen konnte die Effizienz des Simulators weitgehend erhalten werden. Die Simulation auch sehr großer Mengen bleibt weiter möglich.

Kleingruppen zeichnen sich aber auch durch typische Formationen aus. So laufen bis zu vier Personen tendenziell nebeneinander, um die gemeinsame Kommunikation zu erleichtern. Ab 4-5 Personen entstehen Formationen mit einer Vordergruppe und einer Nachfolgergruppe, die wiederum nebeneinander gehen. Kleingruppen lassen sich sehr schwer trennen und versuchen, sollten sie kurzzeitig den Zusammenhalt verlieren, wieder zu einander zu finden. Sie warten aufeinander und holen auf. Hier entstanden Rollen im Modell – Führer, Nachfolger – und Entscheidungsmechanismen, deren Umsetzung erste Schritte in Richtung eines Agentenmodells bedeuteten.

Die Modellierungsarbeiten wurden begleitet durch kleine Experimente mit Probanden an der Hochschule München – etwa eine Hörsaalräumung in verschiedenen Gruppenkonstellationen. Ebenso wurden Feldbeobachtungen der Partner aus der Stadtsoziologie berücksichtigt. So konnten Messwerte ermittelt werden, anhand derer validiert wurde und auch die Modellparameter kalibriert werden konnten. Als Resultat ergab sich nicht nur eine hervorragende Übereinstimmung der Simulationsergebnisse mit den eigenen Messungen sondern auch mit den im unabhängigen Parallel-Projekt EVA ermittelten Fundamentaldiagrammen für Gruppen. Personenströme mit Gruppen bewegen sich signifikant langsamer als bei Mengen mit Individuen. Je größer die Gruppen im Schnitt, desto langsamer wird die Menge.

In einem zweiten Schritt wurde ein Großgruppenmodell aufgestellt. Hier wurde ein lockerer Zusammenhalt zwischen Kleingruppen angenommen, die die Großgruppe

bilden. Simulationsexperimente wurden mit Beobachtungen der Stadtsoziologen verglichen. Interessantes Resultat war, dass die in der Realität beobachteten Bänder in Personenströmen durch die Existenz von Großgruppen begünstigt werden.

Im Endergebnis erhöht die Berücksichtigung von Gruppen den Realismus und damit der Zuverlässigkeit des Demonstrators und schärft weiter die berechneten Evakuierungszeiten. Dies gilt insbesondere für Szenarien, bei denen starke soziale Bindungen zwischen den anwesenden Personen bestehen. Fußballspiele am Betzenberg sind ein typisches Beispiel.

Besonders fruchtbar war in diesem Arbeitspaket der enge Erfahrungsaustausch zwischen den Naturwissenschaftlern der Hochschule München und Sozialwissenschaftlern der TU Kaiserslautern. Gemeinsame Workshops an der Hochschule München dienten zuerst der gemeinsamen Sprachfindung, dann der Planung von Beobachtungen und nicht zuletzt der Diskussion der entwickelten Modelle.

2.1.5 Entscheidungsunterstützung (AP 4)

Basierend auf zumindest groben topographischen Daten wurde in der ersten Phase des Projektes ein erstes Simulationsmodell erstellt. Mit diesem wurden praxisrelevante Simulationen einer „normalen Evakuierung“ nach Spielende durchgeführt. Die visualisierten Ergebnisse zeigten durchaus sehr realistische Personenströme. Ein erster Vergleich der so ermittelten oberen Schranke für die Evakuierungszeit mit der durch den Optimierungsansatz (Arbeitsgruppe Optimierung der TU Kaiserslautern) gelieferten unteren Schranke wurde angestellt. So konnte schon relativ früh der verfolgte Ansatz verifiziert werden.

Die Erfahrungen mit diesem ersten Simulationsmodell zeigten allerdings auch, dass die Simulationen zum Teil sehr sensitiv auf Geometrievariation reagieren. In den so ermittelten kritischen Bereichen ist eine sehr genaue Spezifizierung der Topographie durch die Eingabedaten notwendig. Somit wurde basierend auf den exakten topographischen Geoinformations-Daten der Stadt Kaiserslautern sowie einer detaillierten Karte der Stadionumgebung ein entsprechend detailliertes Simulationsmodell / Szenario in der zweiten Phase des Projektes erstellt. Dieses detaillierte Simulationsmodell wurde als Basis-Modell für alle weiteren Simulationen im Verlauf des Projektes verwendet.

Mit dem so erstellten Szenario wurde eine Simulation einer „normalen Räumung“ nach Spielende durchgeführt. Des Weiteren wurde ein Vergleich mit einer Räumung bei gleichzeitigem Freihalten der üblichen Notfallroute (Kantstraße) angestellt. Die Ergebnisse / Simulationen wurden in einem Video fest gehalten und auf dem Meilensteintreffen präsentiert. Hierbei wurden die Benutzerfreundlichkeit des erstellten Werkzeuges sowie die Möglichkeiten der Visualisierung von allen Beteiligten sehr gelobt. Eine Verfügbarkeit des Demonstrators oder eines ähnlichen Tools für den alltäglichen Einsatz wurde von den BOS als sehr wünschenswert betrachtet.

In der letzten Phase des Projektes wurde im Rahmen einer Masterarbeit von Markus Oppenhäuser (*Realisierung und Potentialanalyse von wissenschaftlichen Konzepten zur regionalen Evakuierung aus polizeilicher Sicht am Beispiel des Projektes REPKA – Regionale Evakuierung: Planung, Kontrolle und Anpassung*) das Simulationstool noch intensiver aus polizeilicher Sicht getestet und evaluiert - unter anderem durch eine Befragung mehrerer Polizeibeamter im Land Rheinland-Pfalz. Das Ergebnis zeigt, dass die Simulationsmodelle sehr weit fortgeschritten sind, die graphischen Benutzerschnittstellen sehr intuitiv zu bedienen sind und der Demonstrator als Gan-

zes eine sehr gute Reife erreicht hat. Durch die intuitiven Bedienmöglichkeiten der GUI ergibt sich somit ein sehr attraktiver Trainingssimulator für die BOS.

Eine noch offene Fragestellung ist eine Abschätzung der Einflüsse, falls sich nicht alle Personen an die (durch die Optimierung) vorgegebenen Routen halten würden. Dieser Aspekt wurde unter Anderem in der Phase der kostenneutralen Verlängerung betrachtet. Halten sich nicht alle Personen an die vorgegebenen Routen, so entstehen teilweise Gegenströme, die zum Teil zu Blockaden führen. Hier wurden entsprechend die Modelle erweitert, so dass nun auch Szenarien mit Gegenströmen bei hohen Dichten behandelt werden können. Dieses führt jedoch zu relativ hohen Rechenaufwänden. Für Szenarien der Größe des Betzenberges ist hier noch Forschungsbedarf hinsichtlich einer Geschwindigkeitssteigerung der verwendeten Simulationsalgorithmen, um die Praxisrelevanz und Praxistauglichkeit noch zu verbessern.

2.1.6 Planung von regionalen Evakuierungen (AP 5)

Gemäß Projektplanung war die Planung von regionalen Evakuierungen erst im letzten Jahr ein zentraler Fokus. Aber schon deutlich früher wurden Vorarbeiten hinsichtlich der Erarbeitung eines Tools zur simulativen Planung einer regionalen Evakuierung begonnen. Fokus war hierbei eine Planung und Anpassung von Strategien im Vorfeld von möglichen Evakuierungen. Eine adaptive Anpassung während einer Evakuierung selbst stellte sich im Laufe des Projektes aus polizeilicher Sicht als (zu Zeit) nicht relevant heraus. Ein wesentliches Ergebnis der soziologischen Begleitforschung.

Mit den Ergebnissen der ersten Simulationen einer Räumung des Stadions unter Freihaltung der Notfallroute wurden die Möglichkeiten eines Personenstromsimulators zur Entscheidungsunterstützung aufgezeigt. Eine entsprechende Präsentation wurde erstellt. In zwei Veranstaltungen im zweiten Jahr des Projektes wurde der von Siemens entwickelte Demonstrator sowohl Herrn Brühl (Leiter Polizeidirektion Kaiserslautern / Projektpartner) als auch Herrn Schmitt (Referatsleitung Feuerwehr Kaiserslautern / Projektpartner) und Kollegen vorgestellt. Im Rahmen dieser Veranstaltungen wurde ein umfangreiches Feedback hinsichtlich möglicher Anwendungsszenarien eingeholt und dokumentiert. Bereits diese frühe Version des Demonstrators konnte das Potential eines Trainings- und Prognosemodules sehr gut veranschaulichen. Basierend auf diesen ersten simulierten Szenarien konnten mögliche kritische Engpässe / Bereiche sehr hoher Personendichten bei einer Evakuierung aufgezeigt werden.

Des Weiteren wurde ein erster Ansatz zur Kopplung des von Siemens erarbeiteten Demonstrators mit dem Optimierungstool der AG Optimierung der TU Kaiserslautern im Rahmen unserer Kooperation mit der TU München bereits in den ersten zwei Jahren ausgearbeitet. Durch eine iterative Vorgehensweise werden effektive Parameter für den makroskopischen Optimierer bestimmt und die mit diesen Parametern bestimmten Evakuierungsstrategien in den Simulator zurück gegeben. Aufgrund der sehr ressourcenintensiven Berechnungen wurde sich hier zunächst auf ein sehr einfaches Szenario beschränkt. Bereits dieses einfache Szenario zeigte, dass eine Kopplung beider Verfahren optimale Handlungsempfehlungen für die Evakuierung geben kann. Basierend auf diese Erfahrungen wurden dann entsprechende Schnittstellen hinsichtlich der Kopplung von beliebigen Routingverfahren (z.B. basierend auf den Ergebnissen der AG Diskrete Optimierung der TU Kaiserslautern) im Demonstrator realisiert.

In der letzten Phase des Projektes wurden dann die im Arbeitspaket Szenarienanalyse (AP 1) definierten Szenarien realisiert. Dieses erfolgte in enger Abstimmung mit der AG Optimierung (TU Kaiserslautern). Nach mehreren iterativen Zyklen konnte

so eine optimale Basisgeometrie mit entsprechenden Navigationsgraphen erstellt werden. Hauptaugenmerk hier war die Möglichkeit der direkten Kopplung, insbesondere eine Leitung der Personen analog zu den Ergebnissen der Optimierung.

Die Simulation der praxisrelevanten Szenarien zeigte eine gute Übereinstimmung der Ergebnisse von Simulation und Optimierung. Der im Projekt verfolgte Sandwichansatz wurde somit erfolgreich umgesetzt und es konnten insbesondere untere und obere Schranken für die unterschiedlichen Szenarien abgeleitet werden. Die Ergebnisse wurden entsprechend aufbereitet, dokumentiert und beim Projekttreffen im Herbst 2011 allen Projektbeteiligten präsentiert. Insbesondere wurden Polizeiliche Entscheidungen bzgl. einer möglichen regionalen Evakuierung des Betzenbergs anhand dieser Ergebnisse überprüft und angepasst. Eines der wesentlichen Ziele des Projektes. So konnte schon anhand des Demonstrators die Sicherheit der Stadionbesucher im Ernstfall deutlich verbessert werden.

Weiterhin wurde der entwickelte Demonstrator auch an alternativen Szenarien, z.B. Evakuierung eines Bürogebäudes, erfolgreich getestet. Die Tests ergaben eine Einsatzmöglichkeit auch außerhalb von regionalen Evakuierungen. Die Anfangs postulierte Allgemeine Gültigkeit des Ansatzes wurde somit verifiziert.

Zur Auswertung der gewonnenen Daten in den Übungen wurde des Weiteren die Möglichkeit der Visualisierung von gewonnenen Online-Daten mittels Smartphones aufgezeigt. Das Visualisierungstool der Siemens AG (ursprünglich nur für die Visualisierung der Simulationen gedacht) wurde so erweitert, dass eine gleichzeitige Visualisierung von Simulation und Daten (Wege der erfassten Personen) möglich ist. Die Auswertung der Übung mit Ordnern vom Winter 2010 zeigte hier bereits eine sehr gute Übereinstimmung zwischen Simulation und Realdaten, wie auch auf dem Projekttreffen im Herbst 2011 präsentiert. Dieser Ansatz ermöglicht eine effiziente Verifizierung der verfolgten Simulationsansätze und ist ohne weiteres auch auf andere Szenarien sehr einfach übertragbar.

2.2 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Verglichen mit der Zielerreichung in den Arbeitspaketen, den von Siemens geleisteten Einzelentwicklungen bis hin zum Aufbau eines Demonstrators waren die geleisteten Arbeiten dem Ergebnis angemessen.

2.3 Wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Bei der Umsetzung des Vorhabens standen die durch Fachpersonal durchgeführten Forschungs- und Entwicklungsleistungen im Vordergrund. Dies spiegelte sich bereits in der Gesamtvorkalkulation wieder, in der die beantragten und vom Fördermittelgeber genehmigten Personalkosten die wesentliche Kostenposition ausmachten.

Diese setzen sich zusammen aus Personalkosten für die Projektleitung, die Grundlagenforschung sowie die Demonstrator-Entwicklung. Die Fremdkosten betreffen Forschungsleistungen der TU München (Lehrstühle Prof. Dr. E. Rank und Prof. Dr. A. Borrmann) sowie der Hochschule München (Prof. Dr. G. Köster), durch entsprechende Unteraufträge.

Ein Überblick findet sich in Abbildung 3.

Projektgesamtansicht:

GJ	Einzelkosten			Personal		
	bewilligt	Plan	Ist	bewilligt	Plan	Ist
2009	20.000,00	32.048,00	32.048,00	260.000,00	262.324,25	262.324,25
2010	78.100,00	82.749,00	82.749,00	351.900,00	311.261,76	311.261,76
2011	78.100,00	115.978,00	115.978,00	401.900,00	324.824,50	347.991,73
2012	68.100,00	13.525,00	20.657,00	141.900,00	257.289,49	256.854,00
Summe	244.300,00	244.300,00	251.432,00	1.155.700,00	1.155.700,00	1.178.431,74

GJ	Gesamtkosten			Förderung		
	bewilligt	Plan	Ist	bewilligt	Plan	Ist
2009	280.000,00	294.372,25	294.372,25	140.000,00	147.186,13	147.186,13
2010	430.000,00	394.010,76	394.010,76	215.000,00	197.005,38	197.005,38
2011	480.000,00	440.802,50	463.969,73	240.000,00	220.401,25	231.984,87
2012	210.000,00	270.814,49	277.511,00	105.000,00	135.407,25	138.755,50
Summe	1.400.000,00	1.400.000,00	1.429.863,74	700.000,00	700.000,01	714.931,88

Abbildung 3: Überblick über den zahlenmäßigen Nachweis (Stand 03.08.2012)

2.4 Nutzen im Sinne des Verwertungsplans

2.4.1 Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen und erteilte Schutzrechte

Für die im Zuge der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten entstanden Erfindungen, die patentwürdig sind, wurden entsprechende Schutzrechte geprüft und entsprechend angemeldet. Insgesamt sind 12 Erfindungsmeldungen entstanden, von denen die meisten zum Patent angemeldet wurden. Damit wurden zukunftssträchtige Technologien für den Standort Deutschland als Wettbewerbsfaktor und Einnahmequelle (Lizenzen) ausgebaut.

2.4.2 Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projekt-Ende

Die Evaluationen der entwickelten Tools durch die Verbundpartner, insbesondere durch die TU KL KOOP BOS und TU KL SOZ, hat gezeigt, dass der entwickelte Demonstrator für die BOS ein sehr wertvolles Tool für die alltägliche Arbeit ist – besonders bei der Planung von Großveranstaltungen. Hervorzuheben ist die Masterarbeit von Markus Oppenhäuser (*Realisierung und Potentialanalyse von wissenschaftlichen Konzepten zur regionalen Evakuierung aus polizeilicher Sicht am Beispiel des Projektes REPKA – Regionale Evakuierung: Planung, Kontrolle und Anpassung*) an der Polizeihochschule Münster. Umfangreiche Interviews mit Beamten von unterschiedlichen Polizeidienststellen unterstreichen das Marktpotential des Demonstrators. Einheitliches Feedback der Partner als auch der befragten BOS – Kräfte war die hohe Praxistauglichkeit des entwickelten Demonstrators. Somit ist hier eine wirtschaftliche Verwertung möglich.

Mit relativ wenig Einarbeitungsaufwand können Szenarien modelliert werden und virtuelle Erfahrung gesammelt werden, die in der Realität so nur schwer zu sammeln ist. Durch Modifikation komplexerer und von Experten erstellter Szenarien (hier am Beispiel Betzenberg) können unterschiedliche Handlungsalternativen durchgespielt werden. Defizite und Probleme in Bereich der Sicherheit können mit Hilfe der Simulation frühzeitig identifiziert und Empfehlungen zur effizienten Arbeit des Sicherheitspersonals ausgearbeitet werden. Eine Bedienung des Demonstrators und Modifikation von Szenarien ist auch für Nicht-Simulations-Experten leicht möglich. Hierdurch können Sicherheitsanforderungen deutlich verbessert werden. Erste Ergebnisse der

so untersuchten Szenarien am Betzenberg sind bereits in die Einsatzplanungen der Polizei am Betzenberg eingeflossen.

Neben der reinen Simulation wird auch das von der TU KL AG OPT entwickelte Optimierungsmodul vom Siemens-Demonstrator unterstützt. So können entsprechende Optimierungen direkt über die GUI gestartet werden und durch entsprechende Simulationen verifiziert werden. Damit werden optimale Handlungsalternativen aufgezeigt. Die Kombination von Optimierung und Simulation (Sandwichansatz) ermöglicht es hierbei, die optimalen Evakuierungszeiten realistischer zu schätzen. Diese Funktionalität ist jedoch momentan nur für Experten zu bedienen, da eine relativ komplexe Modellierung erforderlich ist, u.a. müssen zur Zeit noch zwei separate Modelle für Simulation und Optimierung erstellt werden.

Die Verwendung des Demonstrators für andere Szenarien als den Betzenberg ist problemlos möglich. Die entsprechenden Szenarien müssen zwar durch Experten erstellt werden, der benötigte Aufwand ist jedoch relativ gering. Dieses wurde durch die Untersuchung von vielen Alternativbeispielen eindrucksvoll belegt, unter anderem wurden Personenströme in der Innenstadt von München (A. Kneidl, D. Hartmann, A. Borrmann: *A hybrid multi-scale approach for simulation of crowd dynamics*) oder der Münchener Firmenlauf im Olympiapark (Bachelorarbeit Marion Gödel, *Münchener Firmenlauf Ein TestszENARIO für Personenstromsimulationen: Konzept, Auswertung, Implementierung*) erfolgreich simuliert.

Damit besteht mittelfristig eine sehr wahrscheinliche Aussicht der Nutzung der Ergebnisse des Projektes oder zumindest Teile hiervon.

2.4.3 Wissenschaftliche / technische Erfolgsaussichten nach Projekt-Ende

Im Bereich der Personenstromsimulation konnten im Rahmen des Projektes zahlreiche wissenschaftliche Erkenntnisse verzeichnet werden, die in verschiedenen wissenschaftlichen Veröffentlichungen und Konferenzbeiträgen (siehe Abschnitt 2.6) sowie Patenten (siehe Abschnitt 2.4.1) dokumentiert sind. Diese Beiträge zeigen, dass der wissenschaftliche erlangte Reifegrad sehr hoch ist, wodurch entweder ein direkter forschungsorientierter Einsatz möglich ist oder auch weitere Forschungsaktivitäten direkt im Anschluss durchgeführt werden können.

2.4.4 Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit

Ein Fokus bei der Realisierung des Demonstrators war eine zugrundeliegende Modularität der Software. Primäres Ziel war die Vereinfachung der Interaktion mit den beteiligten Unteraufträgen. Gleichzeitig begünstigt diese Modularität jedoch auch die wirtschaftliche und wissenschaftliche Anschlussfähigkeit der Ergebnisse, die zu einem nicht unwesentlichen Teil aus Algorithmen und somit Softwaremodulen besteht.

Wissenschaftliche Anschlussfähigkeit: Durch die Einbindung und Akquise weiterer, auch Siemens interner, Projekte und die Zusammenarbeit mit anderen nationalen und internationalen Forschungsgruppen wurden viele Ergebnisse des REPKA Projektes bereits weiter verwendet. Ein Beispiel ist das BMBF Projekt SinoVE der Siemens Building Technologies mit maßgeblicher Beteiligung der CT. Gleichzeitig haben die Ergebnisse von REPKA auch eine breite Siemens interne Basis geschaffen, auf der es nun möglich ist, weitere Forschungs-Projekte in Gebiet der Fußgänger-Simulationen zu definieren und damit weitere große Forschungs-Aktivitäten zu ermöglichen.

Durch die enge Kooperation mit der Technischen Universität München und der Hochschule München ist ein Anschluss an die weitere wissenschaftliche Forschung

gewährleistet. Die in den Kooperationen erzielten wissenschaftlichen Ergebnisse fließen zum Teil auch wieder in weitere beantragte Projekte durch die beteiligten Partner ein.

Wirtschaftliche Anschlussfähigkeit: In den verschiedenen Präsentationen, Begleitstudien und Masterarbeiten an der Polizeihochschule Münster haben die End-Anwender deutliches Interesse an den Ergebnissen gezeigt. Auch auf der Messe „Security 2012“ auf der Siemens mit einem Demonstrator eines Personenstromsimulators vertreten war, gab es durchweg positives Feedback. Somit ist eine erfolgreiche wirtschaftliche Weiterverwendung der Ergebnisse sehr wahrscheinlich.

2.5 Fortschritt auf dem Gebiet bei anderen Stellen

Während der Projektlaufzeit wurden nach unserem Wissen folgende Fortschritte auf dem aktuellen Gebiet der Personenstromsimulation bei anderen Stellen erzielt:

- Neben dem in REPKA verfolgten Personenstromsimulations-Tools zur Ausbildung und Training von BOS-Kräften im Rahmen der regionalen Evakuierung wurde innerhalb des BMBF-Projektes SinoVE eine Simulationsansatz als eine Komponente eines Sicherheitsmanagementsystems zur online Planung und Prognose von Personenströmen mit Beiträgen der CT entwickelt.
- Neben dem REPKA Projekt hat das BMBF noch weitere fachlich ähnliche Forschungsaufträge im Themenfeld „Schutz und Rettung von Menschen“ vergeben, von denen hier einige aufgelistet werden sollen:
 - **BASIGO** - Bausteine für die Sicherheit von Großveranstaltungen
 - **EVA** – Risiko Großveranstaltungen - Planung, Bewertung, Evakuierung und Rettungskonzepte
 - **EVASIM** – Gekoppelte Verkehrs- und Hydrauliksimulation zur Steuerung von Verkehr bei Evakuierungsmaßnahmen
 - **HERMES** – Erforschung eines Evakuierungsassistenten für den Krisenfall bei Großveranstaltungen
 - **SPIDER** - Security System for Public Institutions in Disastrous Emergency Scenarios

Im Rahmen von Konferenzen als auch mithilfe der Plattformen des BMBF fand hier ein wissenschaftlicher Austausch statt. Dieser hat gezeigt, dass unterschiedliche Firmen (in Deutschland sind insbesondere die PTV Planung Transport Verkehr AG, Karlsruhe, und TraffGo HT GmbH, Duisburg, zu nennen) und Universitäten auf diesem Gebiet arbeiten, allerdings mit anderen Ansätzen und Methoden.

2.6 Veröffentlichungen

Jorunal-Veröffentlichungen

- [1] D. Hartmann: *Adaptive pedestrian dynamics based on geodesics*. New Journal of Physics 12: 043032, 2010.
- [2] G. Köster, M. Seitz, F. Treml, D. Hartmann, W. Klein: *On modelling the influence of group formations in a crowd*. Contemporary Social Science 6: 397-414, 2011.

- [3] A. Kneidl, M. Thiemann, A. Borrmann, S. Ruzika, H. W. Hamacher, G. Köster, E. Rank: *Bidirectional Coupling of Macroscopic and Microscopic Pedestrian*. Safety Science 50: 1695-1703, 2012.
- [4] A. Kneidl, D. Hartmann, A. Borrmann: *Generation and use of sparse navigation graphs for microscopic pedestrian simulation models*. Advanced Engineering Informatics 26:669-680, 2012
- [5] D. Hartmann, P. Hasel: *Efficient dynamic floor field methods for microscopic pedestrian crowd simulations*. Eingereicht, 2012.
- [6] A. Kneidl, D. Hartmann, A. Borrmann: *A hybrid multi-scale approach for simulation of crowd dynamics*. Eingereicht, 2012.
- [7] D. Hartmann, I v. Sivers: *Structured first order conservation models for pedestrian dynamics*. Eingereicht, 2012.

Konferenzbeiträge

- [1] W. Klein, G. Köster, A. Meister: *Towards the calibration of pedestrian stream models*. PPAM 2009, Wroclaw, 2009.
- [2] H.W. Hamacher, S. Heller, S. Ruzika, G. Köster, W. Klein: *A sandwich approach for evacuation time bounds*. PED 2010, Gaithersburg, 2010.
- [3] A. Kneidl, M. Thiemann, A. Borrmann, S. Ruzika, H. W. Hamacher, G. Köster, E. Rank: *Bidirectional coupling of macroscopic and microscopic approaches for pedestrian behavior prediction*. PED 2010, Gaithersburg, 2010.
- [4] G. Köster, D. Hartmann, W. Klein: *Microscopic pedestrian simulations: From passenger exchange times to regional evacuation*. Operations Research "MASTERING COMPLEXITY", München, 2010.
- [5] A. Kneidl, A. Borrmann, D. Hartmann: *Einsatz von graphenbasierten Ansätzen in einer mikroskopischen Personenstromsimulation für die Wegewahl der Fußgänger*. Forum Bauinformatik, Berlin, 2010.
- [6] M. Höcker, V. Berkahn, A. Kneidl, A. Borrmann, W. Klein: *Graph-based approaches for simulating pedestrian dynamics in building models*. 8th European Conference on Product & Process Modelling (ECPPM), University College Cork, Cork, 2010.
- [7] M. Seitz, G. Köster, D. Hartmann: *Modeling the separation and reunion of group members in a crowd*, International Scientific and Technical Conference Emergency Evacuation of People from Buildings, Warschau, 2011.
- [8] K. Gerhardt, G. Köster, M. Seitz, F. Treml, W. Klein: *On free-flow velocities for groups*. International Scientific and Technical Emergency Evacuation of People from Buildings, Warschau, 2011.
- [9] A. Kneidl, A. Borrmann: *How do pedestrians find their Way? Results of an experimental study with students compared to simulation results*. International Scientific and Technical Emergency Evacuation of People from Buildings, Warschau, 2011.
- [10] A. Kneidl, D. Hartmann, A. Borrmann: *Generating sparse navigation graphs for microscopic pedestrian simulation models*. EG-ICE, Enschede, 2011.
- [11] A. Kneidl, M. Thiemann, D. Hartmann, A. Borrmann: *Combining pedestrian simulation with a network flow optimization to support security staff in han-*

- dling an evacuation of a soccer stadium*. Forum Bauinformatik 2011, Cork, 2011.
- [12] G. Köster, M. Seitz, F. Treml, A. Pfaffinger: *How to validate group models in pedestrian stream simulators: proposal for basic tests*. OR 2011, Zürich, 2011.
- [13] M. Seitz, G. Köster, D. Hartmann: *Social groups and graph based routing in a crowd simulation*. OR 2011, Zürich, 2011.
- [14] M. Butenuth, F. Burkert, F. Schmidt, S. Hinz, D. Hartmann, A. Kneidl, A. Borrmann, B. Sirmacek: *Integrating pedestrian simulation, tracking and event detection for crowd analysis*. IEEE International Conference on Computer Vision Workshops, 2011.
- [15] D. Hartmann, J. Mille, A. Pfaffinger, C. Royer: *Dynamic medium scale navigation using dynamic floor fields*. PED 2012, Zürich, 2012.
- [16] A. Kneidl, D. Hartmann, A. Borrmann: *Using a multi-scale model for simulating pedestrian behavior*. PED 2012, Zürich, 2012.
- [17] G. Köster, F. Treml, M. Seitz, W. Klein: *Validation of crowd models including social groups*. PED 2012, Zürich, 2012.
- [18] G. Köster, M. Seitz, A. Pfaffinger: *Modeling pedestrian group behavior in a cellular automaton*. PED 2012, Zürich, 2012.
- [19] V. Reuter, B. Berger, A. Spellerberg, G. Köster, M. Seitz, F. Treml, D. Hartmann: *On modeling groups in crowds: empirical evidence and simulation results including large groups*. PED 2012, Zürich, 2012.

Sonstige Veröffentlichungen

- [1] *Menschen retten mit dem Rechner*, Pictures of the Future, Magazin, Herbst 2009.
- [2] *Die Wissenschaft von der Panik*, Die Welt, 26.07.2010.
- [3] ARD Nachtmagazin, Interview mit Prof. Dr. A. Borrmann, 27.07.2010.
- [4] ZDF Reporter, Interview mit Prof. Dr. A. Borrmann, 29.07.2010.
- [5] *Wiesn-Panik: Diese Software kann sie berechnen*, Bericht über die Aktivitäten der AG Borrmann (TU München), Abendzeitung München, 06.03.2012.
- [6] *Simuliertes Gewimmel*, Faszination Forschung, TU München, Juni 2012.

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht
3. Titel Innovative Konzepte zur regionalen Evakuierung unter Einbeziehung mobiler Informationssysteme (REPKA) Teilvorhaben: <i>Grundlegende Untersuchungen zur Simulation von Personenströmen</i>	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Hartmann, Dirk Wolfram, Klein Köster, Gerta Borrmann, André	5. Abschlussdatum des Vorhabens 31.07.2012
	6. Veröffentlichungsdatum 14.01.2013
	7. Form der Publikation Schlussbericht
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Siemens AG Corporate Technology CT RTC AUC SIM-DE Otto-Hahn-Ring 6 81739 München, Deutschland	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen 13N9964
	11. Seitenzahl 30
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. Literaturangaben 32
	14. Tabellen 1
	15. Abbildungen 3
16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) VDI Technologiezentrum GmbH, Düsseldorf, 14.01.2013	
18. Kurzfassung Im Teilvorhaben <i>Grundlegende Untersuchungen zur Simulation von Personenströmen</i> wurde ein prototypisches Tool zur Planung von regionalen Evakuierungen entwickelt. Dafür wurde ein Simulationsverfahren erarbeitet, das es erlaubt, eine Vielzahl virtueller Evakuierungsabläufe zu beobachten. Das entwickelte Verfahren zeichnet sich durch eine große Realitätsnähe insbesondere hinsichtlich des Navigationsverhaltens einzelner Personen sowie soziologischen Verhaltens in Gruppen aus. Gleichzeitig wurde in Kombination mit dem Teilvorhaben „Optimierung“ der TU Kaiserslautern eine Möglichkeit geschaffen, obere und untere Abschätzungen von Evakuierungszeiten zu berechnen. Die Rückkoppelung mit Daten sichert die Nähe zur Wirklichkeit und damit die praktische Relevanz. Mit Hilfe der entwickelten Methoden kann die Wissensgrundlage, auf der Einsatzkräfte ihre Entscheidungen fällen, nachhaltig verbreitert werden. Strategien für eine schnelle und sichere regionale Evakuierung können verbessert werden.	
19. Schlagwörter Regionale Evakuierung, Personenströme, Simulation, mikroskopische Modelle	
20. Verlag	21. Preis

Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN	2. type of document (e.g. report, publication) Final report	
3. title Innovative Konzepte zur regionalen Evakuierung unter Einbeziehung mobiler Informationssysteme (REPKA) Teilvorhaben: <i>Grundlegende Untersuchungen zur Simulation von Personenströmen</i>		
4. author(s) (family name, first name(s)) Hartmann, Dirk Wolfram, Klein Köster, Gerta Borrmann, André	5. end of project 31.07.2012	6. publication date 14.01.2013
	7. form of publication Final report	
	8. performing organization(s) (name, address) Siemens AG Corporate Technology CT RTC AUC SIM-DE Otto-Hahn-Ring 6 81739 Munich, Germany	
12. sponsoring agency (name, address) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	9. originator's report no.	
	10. reference no. 13N9964	
	11. no. of pages 30	
12. sponsoring agency (name, address) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. no. of references 32	
	14. no. of tables 1	
	15. no. of figures 3	
16. supplementary notes		
17. presented at (title, place, date) VDI Technologiezentrum GmbH, Düsseldorf, 14.01.2013		
18. abstract Within the subproject <i>basic research of pedestrian crowd simulation (Grundlegende Untersuchungen zur Simulation von Personenströmen)</i> a prototypic tool for the planning of regional evacuations has been developed. The tool is based on a simulation method, which allows studying a multitude of virtual evacuations within a reasonable time frame. The advantage of the developed methods is its particular realism. Navigational decisions of individuals are modeled on different levels and sociological behavior such as group formation is included. In combination with the subproject <i>optimization</i> lead by the TU Kaiserslautern the ansatz allows to estimate upper and lower bounds for expected evacuation times. Validation with data obtained within the project ensures realism and thus practical relevance. In the future, action of personnel involved in evacuation can be based on studies using the developed simulation algorithms and demonstrator leading to an improved reaction. Strategies for faster and saver evacuation are obtained by virtual means.		
19. keywords Regional evacuation, pedestrian streams, simulation, microscopic models		
20. publisher	21. price	