Abschlussbericht

Verbesserung der Sicherheit von Verkehrsinfrastrukturen (SiVe)

Teilvorhaben: Modellierung sicherheitsrelevanter Logistikprozesse am Flughafen

Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik (IML)
(bisher Fraunhofer ALI)
Konrad-Wachsmann-Allee 1
03046 Cottbus
Tel.: 0355 / 69-4590
Fax: 0355 / 69-4800

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 13N10028 gefördert.

Projektträger:

VDI Technologiezentrum GmbH
Postfach 10 11 39
40002 Düsseldorf

Kurzdarstellung

Zuwendungsempfänger

Fraunhofer Anwendungszentrum für Logistiksytemplanung und Informationssysteme

Vorhabensbezeichnung

Verbesserung der Sicherheit von Verkehrsinfrastrukturen (SiVe) – Teilvorhaben: Modellierung sicherheitsrelevanter Logistikprozesse am Flughafen

Förderkennzeichen:	13N10028
Förderzeitraum:	01.07.2008 bis 30.09.2011
Fördervolumen:	1.425.597 EUR
Antragsteller:	Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik (IML) (bisher Fraunhofer ALI) Konrad-Wachsmann-Allee 1 03046 Cottbus Tel.: 0355 / 69-4590 Fax: 0355 / 69-4800

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 13N10028 gefördert.

Bundesministerium für Bildung und Forschung

Projektträger:

VDI Technologiezentrum GmbH
Postfach 10 11 39
40002 Düsseldorf

Inhaltsverzeichnis

1 Aufgabenstellung 3
1.1 Gesamtziel des Vorhabens 3
1.2 Ziel des Teilvorhabens 3
2 Vorhabensvoraussetzungen 4
3 Planung und Ablauf des Vorhabens 5
4 Wissenschaftlicher und technischer Stand 6
1.1 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde 6
1.2 Verwendete Fachliteratur, Informations- und Dokumentationsdienste an die angeknüpft wurde 8
5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen 13
Literaturverzeichnis 14

1 Aufgabenstellung

1.1 Gesamtziel des Vorhabens

Das Gesamtziel des Vorhabens SiVe ist die Förderung der Sicherheit der deutschen Verkehrsinfrastruktur, die insbesondere durch Flughäfen in die internationalen Verkehrsströme eingebettet ist. Dort wirken unterschiedliche Sicherheitssysteme zusammen, die sowohl präventive, permanente und auch reaktive Maßnahmen beinhalten und die durch unterschiedliche Institutionen bereitgestellt werden. Das interdisziplinäre Projektteam wird die aktuellen sowie zukünftig relevanten Bedrohungsszenarien aufnehmen bzw. entwickeln. Diese szenarienorientierte Analyse legt den Grundstein für die modellgestützte Analyse des Flughafens, seine Infrastruktur und Passagiere, welche das Fraunhofer ALI mittels der agentenbasierten Simulation abbildet.

1.2 Ziel des Teilvorhabens

Ziel des Teilprojektes vom Fraunhofer ALI ist die Abbildung des Flughafens mit seiner gesamten Struktur, der technischen Logistik und seiner begleitenden Prozesse im Rahmen einer Simulationsumgebung. Es sollen die modularen Einrichtungen sowie die Mechanismen abgebildet werden, um mit den entstehenden Modellen und Simulationen zum Schutz von Menschen bei der Nutzung moderner Verkehrsinfrastrukturen beizutragen. Ziel ist die Entwicklung eines agentenbasierten Simulationsmodells als Entscheidungsgrundlage für die Planung von Sicherheitsprozessen bzw. das Aufzeigen von Sicherheitslücken.

Mit der agentenbasierten Simulation ist es möglich, komplexe Systeme, die aus mehreren miteinander und ihrer Umwelt interagierenden Objekten bestehen, als Multiagentensysteme abzubilden. Damit ist es möglich, den Flughafen in seiner gesamten Struktur mit seinen Passagieren, mit ihrem Verhalten und ihren Interaktionen untereinander sowie das durch ihre Umgebung entstehende Verhalten und Muster zu modellieren. Diese realitätsnahe Abbildung mittels der agentenbasierten Simulation macht es möglich, komplexe Systeme, die aus miteinander und mit ihrer Umwelt interagierenden Agenten und Objekten bestehen, zu interpretieren und gemäß dieser Interpretation auch zu simulieren und damit einen wichtigen Beitrag zur Analyse der Möglichkeiten zum Schutz von Passagieren bei der Nutzung der Infrastruktur Flughafen unter besonderer Berücksichtigung der Sicherheitskomponente leistet und als Planungs- und Entscheidungsinstrument dienen kann.

2 Vorhabensvoraussetzungen

Das Fraunhofer-Anwendungszentrum für Logistiksystemplanung und Informationssysteme versteht sich als Ansprechpartner für Unternehmen aller Branchen und Größen und bietet Dienstleistungen auf dem Gebiet der Informationsverarbeitung in der Logistik an. Dabei erstrecken sich die Dienstleistungen über Analyse, Bewertung und Optimierung logistikbezogener Informationssysteme bis hin zu deren Realisierung. Organisationseinheiten und Geschäftsprozesse werden im Hinblick auf einen effizienten Material-, Daten- und Informationsfluss untersucht und Verbesserungspotenziale unter Einbezug moderner und effizienter Tools zur Visualisierung, Modellierung und Simulation analysiert und bewertet. Neben der technisch/organisatorischen Konzeption und der dazugehörigen Systemauswahl werden entsprechende Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen angeboten. Das Fraunhofer ALI konnte auf Teilaspekte als Erfahrung für die SiVe-Thematik verweisen. Der Forschungsansatz für das durchgeführte Projekt war allerdings neu und alle beteiligten Partner wurden anhand ihrer bisherigen Kompetenzen und Projekterfahrungen gewählt, um das definierte Projektziel erfolgreich zu bearbeiten. Zum Zeitpunkt der Beantragung und Zusammenstellung des Konsortiums konnte das Fraunhofer ALI nachfolgende Kompetenzen mit einbringen:

Unsere Kernkompetenzen/Dienstleistungen im Geschäftsfeld Flughafenverkehr umfassen:

- Analyse und Konzeption von Informationssystemen (IT),
- Logistiksystemplanung im Bereich Luftfracht,
- Analyse und Gestaltung objektgebundener Datenflüsse mittels RFID,
- Analyse und Simulation von Passagierströmen und
- Visualisierung und Simulation von Flughafenprozessen.

Das Fraunhofer ALI hat bezugnehmend zum Inhalt des Gesamtvorhabens folgende Projekte, Diplomarbeiten sowie Forschungs- und Beratungsprojekte durchgeführt bzw. begleitet, die einen direkten Bezug zum Teilvorhaben haben:

Projekte

- Aufbau eines Kompetenzzentrums für objektgebundene und objektbegleitende Datenflüsse in Wertschöpfungsnetzen, welches sich damit auseinander setzt, wie die ausgesprochen komplexen Datenflüsse in Wertschöpfungsnetzen technisch und wirtschaftlich bewertbar und beherrschbar werden. Außerdem erfolgt die Entwicklung von Konzepten und Lösungen zur Aufnahme, Analyse und Visualisierung von Datenflüssen.
- LogIN&Fly Netzwerk - Aufgabe des Netzwerkes "LogIn&Fly" ist die Entwicklung und Vermarktung neuartiger Systemlösungen für eine durchgängige Informations- und Dienstleistungsbegleitung des Passagiers entlang aller fluggastbezogenen Prozesse wie Abflug, Transit oder Ankunft.
- ALADIN – Analyse logistischer Abläufe durch Identsystem-Nutzung, welches in der Lage ist, logistische Abläufe zu identifizieren und hinsichtlich der vorher definierten Zielsetzung (z.B. Steigerung der Flexibilität) zu analysieren.
- Forschungsvorhaben mit dem Flughafen Berlin-Schönefeld zu Themen der Prozesssicherheit in der Gepäck- und Personenlogistik sowie industrielle Abfertigung von Passagierströmen und die Analyse von Informationssystemen in Hinblick auf eine ganzheitliche Systemlösung.

3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Die Partner des SiVe-Konsortiums haben zum Zweck des gemeinsam durchzuführenden Vorhabens beim Verein Deutscher Ingenieure e.V. als Projektträger, in Vertretung des BMBF, getrennte Anträge auf Gewährung von Bundeszuwendungen gestellt. Die beantragten Zuwendungen sind bewilligt worden. Im Anschluss an die Bewilligung wurden die rechtlichen Rahmenbedingungen in einer Kooperationsvereinbarung geregelt. Die Partner waren sich im Klaren darüber, dass für das Gelingen des Vorhabens ein offener und ausgewogener Austausch von Informationen und Erfahrungen im Rahmen des Vorhabenszwecks unerlässlich ist. Zur gegenseitigen Abstimmung der einschlägigen Arbeiten vereinbarten die Partner eine Zusammenarbeit, gemäß den Bedingungen des im März 2009 geschlossenen Kooperationsvertrages zusammenzuarbeiten, die ihnen zugewiesenen Arbeitsanteile durchzuführen und entsprechend der Gesamtvorhabensbeschreibung und den Einzelvorhabensbeschreibungen zu einem möglichst guten Ergebnis zu führen. Die Kooperationsvereinbarung regelte dabei neben dem Zweck und Umfang vor allem Punkte zur Koordination und internen Kommunikation, zu Kosten, Verantwortlichkeiten, Schutz- und Nutzungsrechten sowie Vertraulichkeiten.

Der Ablauf des Vorhabens war anhand der vorher definierten Arbeitspakete und Meilensteine festgelegt worden. Zu Beginn des Projektes gab es ein offizielles Kick-Off-Meeting beim Konsortialpartner EADS. Der weitere Verlauf des Projektes war geprägt durch regelmäßige Projekttreffen, ca. alle 4 Wochen im gesamten Verbund. Des Weiteren gab es regelmäßige Arbeitstreffen in den unterschiedlichen Arbeitsgruppen, unsererseits, insbesondere mit den Partnern zur entscheidungsbasierten Modellierung und der probabilistischen Modellierung, da es hier direkte Schnittstellen für den SiVe-Demonstrator gibt. Um über den aktuellen Projektstand aller Partner informiert zu sein bzw. Aufgaben zu besprechen, gab es wöchentliche Telefonkonferenzen zwischen allen Partnern im Konsortium. Bei diesen wöchentlichen Treffen gab es Gelegenheit, über aktuelle Arbeitspakete oder Veröffentlichungen und Konferenzteilnahmen zu informieren und zu diskutieren.

Um eine zuverlässige Zusammenarbeit der Konsortialpartner gewährleisten zu können, hat das Fraunhofer ALI eine zentrale Kommunikationsplattform (Microsoft SharePoint Servers) eingerichtet. So war es den Partnern möglich, Informationen sicher mit anderen zu teilen, die Zusammenarbeit effektiver zu gestalten, die generierten Projektergebnisse über den gesamten Lebenszyklus zu verwalten sowie Informationen zuverlässiger zu suchen und zu finden.

Zum Ablauf des Projektes gehörten auch die gemeinsamen Veröffentlichungen oder Vorträge über den Projektstand auf Konferenzen und Tagungen. So erhielt das Konsortium regelmäßig Feedback von außen und konnte dieses direkt in die aktuellen Arbeiten mit einfließen lassen.

4 Wissenschaftlicher und technischer Stand

4.1 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Forscher der Verkehrsdynamik versuchen seit mehr als vier Jahrzehnten Fußgängerbewegungen so realitätsgetreu wie möglich abzubilden. Aufgrund der Tatsache, dass bei den Bewegungen von Fußgängern Parallelen zur Natur mit Hilfe von Beobachtungen, Photographien oder Filmen festgestellt werden können, wird versucht, diese physikalischen Gegebenheiten in die einzelnen Simulationsmodelle zu integrieren [Hel01]. Genauso wie Teilchen, die sich in Flüssigkeiten bewegen, interagieren auch Menschen mit ihrer Umwelt. Sie werden von ihr beeinflusst und reagieren auf verschiedenste Einflüsse von außen. Das erste Modell, welches in der Literatur zu finden ist, stammt von Gipps und Marksjö aus dem Jahr 1985 [GMa85]. In Abhängigkeit von der Fremdeinwirkung der Umgebung und des treibenden Wunsches nach Fortbewegung wurde eine Kostenfunktion eingeführt, welche die individuelle Bewegung bestimmt. Ausgehend von dieser ersten Idee wurden viele verschiedene Modelle und Varianten entwickelt, die auf verschiedene Situationen der Umwelt angepasst sind. Die modellgestützte Beantwortung vieler Fragen der Fußgängerdynamik mittels Simulation ist von großer Bedeutung und kann mittels etablierter Simulationsmethoden beantwortet werden. Folgende Aufzählung kann für mögliche Fragestellungen für Einsatzszenarien vorgenommen werden:

- Wie lang ist die Evakuierungszeit für Gebäude, Stadien, Bahnhöfe?
- Wie ist der Fluchtweg für einen schnellen Fußgängerfluss zu gestalten?
- Wie sind Not- und Ausgangstüren zu dimensionieren?
- Können Staugefahren bei Menschenmassen frühzeitig erkannt werden?

In der Literatur werden häufig die Ansätze und Möglichkeiten der Simulation in makroskopische und mikroskopische Modelle eingeteilt [Hel97]. In der Literatur [Hel01] wird von einer dritten Einteilung gesprochen, die die Gesetze der Gaskinetik als Grundlage verwendet. Dabei handelt es sich um mesoskopische Modelle.

Bei den makroskopischen Modellierungsansätzen werden die Bewegungen der Personen als Gesamtheit angesehen und modelliert. Aufgrund der feindetaillierten zu beantwortenden Fragestellungen im SiVe-Projekt sind makroskopische Modellierungsansätze ungeeignet. Sie stehen im Gegensatz zu den mikroskopischen Modellansätzen. Bei ihnen werden den Individuen Charakteristika wie Ziel und Wunschgeschwindigkeit zugeordnet. Diese Modelle finden wesentlich häufiger Anwendung in der Praxis, da sie die Bewegungen jedes einzelnen Fußgängers sehr genau abbilden können [KRo03].

Weiterhin können Modelle nach dem Grad ihrer Raum- und Zeitgestaltung separiert werden. Hierbei gibt es zum einen die diskreten Modelle, in denen die einzelnen Situationen in Zeitschritten ablaufen, und zum anderen die kontinuierlichen Modelle. Zwar kann ein Computer eine kontinuierliche Betrachtung von Raum und Zeit nicht gewährleisten, jedoch gehen diese Modelle davon aus, dass die einzelnen Situationen fließend ineinander übergehen [Chr08].

Der Modellierungsansatz des Fraunhofer ALI ist eine Kombination aus einem kontinuierlichen und einem agentenbasierten Modell (hybrider Modellansatz). Als kontinuierliche

Modellkomponente kommt dabei das etablierte soziale Kräftemodell zum Einsatz. Das Konzept der sozialen Kräfte basiert auf der Feldtheorie der Sozialwissenschaften [Lew51] und wurde von Helbing mathematisch formuliert [Hel94]. Das soziale Kräftemodell (SKM) arbeitet auf der Grundlage einer Mikrosimulation und der Annahme, dass sich die Geschwindigkeits- und Wegänderungen mit Hilfe von verallgemeinerten Kräften darstellen lassen. Durch die einfache mathematische Beschreibung und der breiten Theorie der Differenzialgleichungen wird eine realistische Beschreibung der Fußgängerdynamik ermöglicht.

Für die aufwendige Beschreibung der Passagierprozesse eines Flughafens mit seiner großen Passagiervielfalt ist das soziale Kräftemodell alleinstehend allerdings eher ungeeignet. Als Ergänzung für die Modellierung sowie des menschlichen Verhaltens der Passagiere und der Flughafenmitarbeiter eignete sich die Multiagentensimulation.

Die Multiagentensimulation gehört ebenfalls zur Familie der mikroskopischen Modelle. Sie ist eine relativ neue Form der Modellierung und besonders für komplexe und detaillierte Simulationen geeignet [Klü06], so dass durch die Kombination der unterschiedlichen Modellansätze die Stärken beider Modelle zusammengefasst wurden.

Die Verbindung der Vorteile der agentenbasierten Simulation, vor dem Hintergrund der Modellierung und Simulation von individuellen Objekteigenschaften, wurde hinsichtlich der sicherheitsrelevanten Fragestellungen, die das Projekt als Grundlage hat, nach unserem Kenntnisstand so noch nicht erfasst.

Darüber hinaus bestanden und bestehen beim Fraunhofer ALI selbst keine Schutzrechte an die angeknüpft wurde, welche die Verwertung der Projektergebnisse behindern oder gefährden könnten. Wissenschaftliche Vorarbeiten seitens des ALI, die in der Fachpresse publiziert sind, unterliegen ebenfalls keinen Schutzrechten. Zum sehr breit gefächerten Themengebiet der Simulation und deren Optimierungspotenziale existieren eine Vielzahl unterschiedlichster Forschungsarbeiten und wissenschaftlicher Studien, die als Grundlage für die durchgeführte Arbeit verwendet wurden.

Die Tatsache, dass selbst in der heutigen Zeit zahlreiche Unglücke bei Großveranstaltungen zu verzeichnen sind, zeigt den weiterhin bestehenden Forschungsbedarf.

4.2 Verwendete Fachliteratur, Informations- und Dokumentationsdienste an die angeknüpft wurde

- AlGadhi, S., Mahmassani, H. (1991). Simulation of Crowd Behavior and Movement. *Fundamental Relation and Application*. Transport Research, S. 260 - 268.
- Arbeitsgruppe "ped-net". (2008): *Fußgängerdaten*. Abgerufen am 16. 02 2011 von ped-net.org: http://www.ped-net.org/index.php?id=12&L=1&ID=298
- Arnold, D., Isermann, H., Kuhn, A. & Tempelmeier, H. (2002): *Handbuch Logistik*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Batty, M., DeSyllas, J. & Duxbury, E. (2002). The Discrete Dynamics of Small-Scale Spatial Events. *Agent-Based Models of Mobility in Carnivals and Street Parades*. Center for Advanced Spatial Analysis, London.
- Bloech, P. & Ihde, P. B. (1997). *Vahlens Großes Logistiklexikon*. München: Verlag Franz Vahlen GmbH.
- Blue, V. J. & Adler, J. L. (2001). *Cellular automata microsimulation for modeling bidirectional pedestrian walkways*. Transportation Research, S 293-312.
- Bitzer, T.F. (2010). *Mikroskopische Modellierung und Simulation des Fußgängerverkehrs.* Dissertation, Stuttgart.
- Bratman, M. E. (1999). *Intentions, plans and practical reason* (Neuauflage, illustriert Ausg.). Stanford, Center for the Study of Language and Information.
- Breyer, T. (2003). *Modellierung der Bewegung und des Verhaltens von Dienstnutzern in mobile Ad-hoc-Netzen*. Diplomarbeit.
- Castaneda, E., Gonzalez, J., Harris, S. and Kim, J. (2007). *Optimized Airport Security Infrastructure System (OASIS).* IEEE Systems and Information Engineering Design Symposium, Charlottesville, VA USA 2007.
- Center of Cognitive Architecture at the University of Michigan. (2006). *Soar Research Groups*. Abgerufen am 21. 11 2010 von Soar: http://sitemaker.umich.edu/soar/soar_research_groups
- Chraibi, M. (2008). *Systeme gewöhnlicher Differentialgleichungen zur Beschreibung von Fußgängerdynamik*. Hamburg, Diplomarbeit
- Daamen, W., Hoogendoorn, S.P. (2003). *Experimental Research of Pedestrian Walking Behavior*. Transportation Research, S. 20-30.
- Dambeck, H. (2010). *Fußgängersimulation. Warum die Wege des Menschen unberechenbar sind*. Abgerufen am 13.12.2010 von Spiegel Online: http://www.spiegel.de/wissenschaft/mensch/0,1518,699080,00.html
- Eichler, A., & Vogel, M. (2009). *Leitidee Daten und Zufall.* Wiesbaden: Vieweg + Teubner.
- Freund, J., Rücker, B., Henninger, T. (2010). *Praxishandbuch BPMN*. München (DE): Carl Hanser Verlag.
- Gadatsch, A. (2010). *Grundkurs Geschäftsprozess-Management*. Wiesbaden: Vieweg + Teubner Verlag, 6. Auflage.

- Gershenfeld, N. A. (1999). *The nature of mathematical modeling*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Gipps, P. G., B. Marksjö, B. (1985). *A micro-simulation model for pedestrian flows. Mathematics and Computers in Simulation*. Mathematics and Computers in Simulation, S. 95–105.
- Guo, R. Y., Huang, H.-J. (2008). A modified floor field cellular automata model for pedestrian evacuation simulation. Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical, Vol. 41.
- Hanisch, A., Tolujew, J., Meuschke, T., & Schulze, T. (2004). *"Datenkollektion" zur online Simulation von Personenströmen.*
- Helbing, D. (1992). *Stochastische Methoden, nichtlineare Dynamik und quantitative Modelle sozialer Prozesse.* Aachen: Shaker.
- Helbing D. (1992a). *A Fluid-Dynamic Model for the Movement of Pedestrians*. Complex Systems 6, 391-415.
- Helbing, D. (1994). *A mathematical model for the behavior of individuals in a social field*. Journal of Mathematical Sociology, 19(3), S. 189-219.
- Helbing, D., Molnár P. (1995). *Social force model for pedestrian dynamics*. Physical Review E, 4282 – 4286.
- Helbing, D. (1997). *Verkehrsdynamik*. Berlin:Springer.
- Helbing, D., Keltsch, J., Molnár, P. (1997). *Modelling the evolution of human trail systems*. Nature, Vol. 388, S. 47-50.
- Helbing, D., Molnár, P., Schweitzer, F. (1998). *Computer Simulation of Pedestrain Dynamics and Trail Formation*. Evolution of Natural Science, S. 229 – 240.
- Helbing, D., Farkas, I., Vicsek, T. (2000). *Freezing by Heating in a Driven Mesoscopic.* System. Physical Review Letters Vol. 84, Nr. 6, S. 1240-1243.
- Helbing, D., Farkas, I., Vicsek, T. (2000a). *Simulating dynamical features of escape panic,* Nature 407, S. 487-490
- Helbing, D., Molnár, P., Farkas, I., Bolay, K. (2001). *Self-organizing pedestrian movement*. Environment and Planning B, Vol. 28, S. 361-383.
- Helbing, D. (2001a). *Traffic and related self-driven many-particle systems*. Reviews of modern physics, Vol. 73, S. 1067 – 1141.
- Helbing, D., Farkas, I., Molnár, P., Vicsek, T. (2002). *Simulation of Pedestrian Crowds in Normal and Evacuation Situations*. Schreckenberg, M., Sharma, S. (Hrsg). Pedestrian and Evacuation Dynamics - 33 - Studienarbeit Fußgängerbewegung 2011.
- Helbing, D., Farkas, I. J., Molnàr, P., Visek, T. (2002a). *Simulation von Fußgängermengen in normalen Situationen und im Evakuierungsfall*. Freyer, W., Groß, S. Tourismus und Sport – Events, Dresden, S. 205 – 248.
- Helbing, D. (2004). *Sicherheit in Fußgängermengen bei Massenveranstaltungen*. Freyer, W. & Groß, S. (Hrsg.). Sicherheit in Tourismus und Verkehr, S. 253-288.

- Helbing, D., Buzna, L., Johansson, A., Werner, T. (2005). Self-Organized Pedestrian Crowd Dynamics: Experiments. *Simulations and Design Solutions*. Transportation Science, Vol. 39, Nr.1, S. 1-24.

- Henderson, L. F. (1974). *On the fluid mechanics of human crowd motion*. Transportation Research, S. 509–515.

- Hoogendoorn, S. P., Bovy, P. H. L. (1999). Generic gas-kinetic traffic systems modeling with applications to vehicular traffic flow. Transport Research B, S. 317-336.

- Hughes, R.L. (2003). *The Flow of Human Crowds.* Annual Reviews. Fluid Mechanik, S. 169-182.

- Johansson, A., Helbing, D., Shukla, P. K. (2008). *Specification of a Microscopic Pedestrian Model by Evolutionary Adjustment to Video Tracking Data*. Advances in Complex Systems, S. 271–288.

- Kessel, A., Klüpfel, H., Schreckenberg, M. (2001). *Simulation der Bewegung von Fußgängern, Menschenmengen und Evakuierungsprozessen*. Panreck, K., Dörrscheidt, F.(Hrsg). Frontiers in Simulation, S. 343-348.

- Kinkeldey, C. (2003). *Fußgängersimulation auf der Basis sechseckiger Automaten*. Universität Hannover, Institut für Bauinformatik, Studienarbeit.

- Kirchner, A. (2002). *Modellierung und statistische Physik biologischer und sozialer Systeme*. Universität zu Köln. Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät, Dissertation.

- Kirchner, A., Klüpfel, H., Nishinari, K., Schadschneider, A., Schreckenberg M. (2004). *Discretization effects and the influence of walking speed in cellular automata models for pedestrian dynamics*. Journal of Statistical Mechanics. Theory and Experiment.

- Klügl, F. (2006). *Multiagentensimulation*. Informatik Spektrum, Band 29, S. 412-415.

- Kurt, L. (1951). *Field Theory in Social Science*. Harper, New York.

- Lam, L. (1995). *Active Walker Models for Complex Systems*. Chaos Solitons Fractals, Vol. 6, S. 267–285.

- Lehman, J. F., Laird, J., & Rosenbloom, P. (2006). *A Gentle Introduction To SOAR, An Architecture For Human Cognition.* Abgerufen am 02. 12 2010 von Soar: http://ai.eecs.umich.edu/soar/sitemaker/docs/misc/GentleIntroduction-2006.pdf

- Lewin, K. (1951). *Field Theory in Social Science*. New York, Harper & Brothers.

- Liepert, T., Borrmann, A., Klein, W. (2008). *Ein Multi-Speed-Personenstromsimulator auf Basis eines Zellularen Automaten*. Tagungsband des 20. Forum Bauinformatik, Dresden.

- Luger, G. F. (2002). *Künstliche Intelligenz - Strategien zur Lösung komplexer Probleme.* München: Pearson Education Deutschland GmbH.

- Løvas, G. G. (1994). *Modeling and Simulation of Pedestrian Traffic Flow*. Transportation Research B, Vol. 28B Nr. 6, S. 429-443.

- Martin, J. (2004). Simulation stochastischer Modelle am Computer. *Diskrete Zufallsprozesse Brownsche Bewegung*. Seminararbeit.
- Mayne, A. J. (1954). *Some further results in the theory of pedestrians and road traffic*. Biometrica 41, S. 375–389.
- Mehlich, J. (2009). *Laufzeitoptimierung von Simulationen raumkontinuierlicher Modelle der Fußgängerdynamik mithilfe von Nachbarschaftslisten*. Jülich Forschungszentrum.
- Mintz, A. (1951). *Non-adaptive group behavior*. The Journal of Abnormal and Normal Social Psychology 46, S. 150-159.
- Moltenbrey, M. (2009). *Multimodale parallele Simulation des Verkehrsflusses in großen Netzen*. Dissertation an der Technischen Universität München.
- Nöhmeier, M. (1998). *Agenten in globalen Informationsräumen.* Frankfurt am Main: Europäischer Verlag der Wissenschaften.
- Okazaki, S., Matsushita, S. (1993). *A Study of Simulation Model for Pedestrian Movement with Evacuation and Queuing*. Proceedings of the International Conference on Engineering for crowd safety, London.
- Predtetschenski, W. M., & Milinski, A. I. (1971). *Personenströme in Gebäuden*. Berlin: Staatsverlag der Deutschen Demokratischen Republik.
- Rao, A. S., & Foo, N. Y. (1989). Minimal change and maximal coherence: a basis for belief revision and reasoning about actions. *Proceedings of the 11th international joint conference on Artificial intelligence. 2*, S. 966-971. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers Inc.
- Rao, A. S., & Georgeff, M. P. (1995). BDI-Agents: From Theorie to Practice. *Proceedings of the First International Conference on Multiagent Systems* (S. 312-319). San Francisco: The MIT Press.
- Rao, A. S., & Georgeff, M. P. (1998). *Decision Procedures for BDI Logics*. Abgerufen am 21. 10 2010 von Oxford Journals, Mathematics & Physical Sciences, Journal of Logic and Computation: http://logcom.oxfordjournals.org/content/8/3/293.full.pdf+html?sid=2b6d0ca3-5ec0-4582-bdb2-3e44a7f8d415
- Schmidt, P. D. (2000). *Die Modellierung menschlichen Verhaltens Das PECS-Referenzmodell*. Abgerufen am 06. 11 2010 von Prof. Dr. B. Schmidt - Simulation in Passau: http://staff.fim.uni-passau.de/~schmidtb/or/modelle/downloads/PECSbuch_deutsch.doc
- Schweitzer, F., Lao, K., Family, F. (1997). *Active random walker simulate trunk trail formation by ants*. BioSystems 41, S. 153 -166.
- Song, W., Xu, X., Wang, B.-H., Ni, S. (2006). *Simulation of evacuation processes using a multi-grid model for pedestrian dynamics*. Physica A.
- Statistisches Bundesamt Deutschland. Abgerufen am 13.12.2010: https://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/DE/Navigation/Statistiken/Bevoelkerung/Bevoelkerungsstand/Bevoelkerungsstand.psml
- Steierwald, G., Künne, H.P., Vogt, W. (2005). *Stadtverkehrsplanung*. Grundlagen, Methoden, Ziele. Berlin: Springer, 2. Auflage.

- Stucki, P., Schmid, A. (2003). *Fußgängersimulation für Evakuierungsprozesse*. Technische Rundschau, 2004.

- Tolujew, J., & Alcalá, F. (2004). A mesoskopic approach to modelling and simulation of pedestrian trraffic flows. *Proceedings 18th European Simulation Multiconference.* Graham Horton (c) SCS Europe.

- Tolujew, J., & Thomas, S. (2003). Online simulation of pedestrian flow in public buildings. *Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference* (S. 1635-1641). I.E.E.E.Press.

- Vetter, M. (2006). *Ein Multiagentensystem zur Verhandlungsautomatisierung in elektronischen Märkten*. Stuttgart: Jost-Jetter Verlag, Dissertation.

- Weidmann, U. (1993). *Transporttechnik der Fussgänger: Transporttechnische Eigenschaften des Fußgängerverkehrs*. Zürich, 2. Auflage.

- Weiß, G. (2001). *Agentenorientiertes Software-Engineering*. InformatikSpektrum 2, 98- 101 [52] Willis, A., Kukla, R., Hine, J., Kerridge, J. (2000). Developing the behavioural rules for an agent-based model of pedestrian movement. 25. European Transport Congress, Cambridge.

- Weiß, G., & Jakob, R. (2005). *Agentenorientierte Softwareentwicklung.* Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag.

- Willis, A., Kukla, R., Hine, J., Kerridge, J. (2000). *Developing the behavioural rules for an agent-based model of pedestrian movement*. 25. European Transport Congress, Cambridge.

- Yilmaz, L., & Ören, T. (2009). *Agent-Directed Simulation and Systems Engineering*. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.

- Yu, W. J., Chen, R., Dong, L.Y., Dai, S.Q. (2005). *Centrifugal force model for pedestrian dynamics*. Physical Review E.

5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Bei der Bearbeitung der komplexen Aufgabenstellung des Teilvorhabens wurde seitens des Fraunhofer ALI, neben den Partnern aus dem Konsortium, mit zahlreichen Partnern zusammengearbeitet. Diese befanden bzw. befinden sich im Austausch mit dem Fraunhofer ALI, gaben Input oder standen als Interviewpartner zur Verfügung. Der Kontakt kam zum einen durch Partner im SiVe-Konsortium zustande, zum anderen aber auch durch Kontakte auf Konferenzen zur Thematik, durch Feedback auf Veröffentlichungen oder direktes Ansprechen durch das Fraunhofer ALI. So können als Partner beispielhaft die Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung in Berlin, der Flughafen Berlin Schönefeld oder das Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie genannt werden. Hier fand insbesondere ein Austausch hinsichtlich der Inputparameter der logistischen Simulation statt. Im Gesamten konnte das ALI von allen Kontakten partizipieren. Allerdings soll auch erwähnt werden, dass bestimmte Informationen, insbesondere aus dem sicherheitskritischen Bereich, leider nicht für das Konsortium zugänglich waren. Als Ergebnis musste das Projekt teilweise mit Annahmen bearbeitet werden und hat den Anstoß dazu gegeben, den SiVe-Demonstrator so zu gestalten, dass die Endnutzer aber bei der Bearbeitung selber die sicherheitskritischen Daten eingeben können. Aus diesem Grund blieben zwar dem Konsortium die Informationen vorenthalten, die sicherlich zu einigen interessanten und realitätsnäheren Ergebnissen geführt hätten, dennoch ist dieser Aspekt bedacht und im Demonstrator umgesetzt worden. Eine Liste der Kontakte, die über die Projektlaufzeit entstanden sind, wurde gesamtheitlich, inklusive der behandelten Thematiken, vom Partner Bauhaus Luftfahrt e.V. erfasst,

Literaturverzeichnis

[Chr08] Chraibi, M.: Systeme gewöhnlicher Differentialgleichungen zur Beschreibung von Fußgängerdynamik. Diplomarbeit, Hamburg, 2008.

[GMa85] Gipps, P. G. and Marksjö, B.: A micro-simulation model for pedestrian flows. In: Mathematics and Computers in Simulation, 95–105, 1985.

[Klü06] Klügl, F.: Multiagentensimulation, In: Informatik Spektrum, Band 29, 412 – 415, Würzburg, 2006.

[KRo03] Kinkeldey, C. und Rose, M.: Fußgängersimulation auf der Basis sechseckiger zellularer Automaten. Institut für Bauinformatik, Universität Hannover, 2003.

[Lew51] Kurt, L.: Field Theory in Social Science. Harper, New York, 1951.

[Hel94] Helbing, D.: A mathematical model for the behavior of individuals in a social field. Journal of Mathematical Sociology, 19(3):189-219, 1994.

[Hel97] Helbing, D.: Verkehrsdynamik. Springer, Berlin, 1997.

[Hel01] Helbing, D.: Traffic and related self-driven many-particle systems. In: Reviews of modern physics Vol. 73, 1067 – 1141, 2001.

„Verbundprojekt: Verbesserung der Sicherheit von Verkehrsinfrastrukturen (SiVe) – Teilvorhaben: Modellierung sicherheitsrelevanter Logistikprozesse am Flughafen

Abschlussbericht

Zuwendungsempfänger

Fraunhofer Anwendungszentrum für Logistiksytemplanung und Informationssysteme

Vorhabensbezeichnung

Verbesserung der Sicherheit von Verkehrsinfrastrukturen (SiVe) – Teilvorhaben: Modellierung sicherheitsrelevanter Logistikprozesse am Flughafen

Förderkennzeichen:	13N10028
Förderzeitraum:	01.07.2008 bis 30.09.2011
Fördervolumen:	1.425.597 EUR
Antragsteller:	Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik (IML) (bisher Fraunhofer ALI) Konrad-Wachsmann-Allee 1 03046 Cottbus Tel.: 0355 / 69-4590 Fax: 0355 / 69-4800

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 13N10028 gefördert.

Bundesministerium für Bildung und Forschung

Projektträger:

VDI Technologiezentrum GmbH
Postfach 10 11 39
40002 Düsseldorf

Inhaltsverzeichnis

1 Verwendung der Zuwendung und Darstellung der Ergebnisse im Einzelnen mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele 5

1.1 Arbeitspaket 1 Erfassung und Strukturierung aktueller Bedrohungslagen 6

1.2 Arbeitspaket 2 Schutzmechanismen 7

1.3 AP3 Risikoorientierte Systemanalyse – Simulation 8

1.3.1 Erarbeitung und Umsetzung eines Konzeptes für das agentenbasierte Simulationsmodell 8

1.3.1.1 Berechnung von Personenströmen 8

1.3.1.2 Agenten und Multiagenten 11

1.3.1.3 Agentenarchitektur - BDI Modell 15

1.3.1.4 Entwicklung einer Beschreibungssystematik BPMN 21

1.3.1.5 Agentenbewegung – Soziales Kräfte Modell (SFM) 25

1.3.2 Abbildung Flughafengebäude der gesamten Infrastruktur 27

1.3.3 Integration der Bedrohungsszenarien u. Schutzmechanismen aus AP 1 + AP 2 29

1.3.4 Definition und Parameter-Spezifizierung 34

1.3.4.1 Parameter Soziales Kräfte Modell 35

1.3.4.2 Parameter Agentenmodell 36

1.3.4.3 Parameter Risikoanalyse 38

1.3.5 Validierung der Modellansätze 40

1.4 AP 4 Modell- und Methodenintegration 43

1.5 AP 5 Szenarienbasierte Simulation und quantitative Risikobewertungen 46

1.5.1 Beschreibung und Darstellung eines Simulationsexperiments 47

1.5.2 Analyse und Auswertung der Ergebnisdaten 48

1.6 Visualisierungskonzept als Querschnittspaket aus AP1 bis AP4 51

1.6.1 Nutzermodell 52

1.6.2 Aufgabenmodell 53

1.6.3 Datenmodell 54

1.6.4 Anwendungsmodell 57

2 Zahlenmäßiger Nachweis – die wichtigsten Positionen 59

3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit 59

4 Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse im Verwertungsplan 60

5 Bekanntgewordene Fortschritte 64

6 Veröffentlichungen nach Nr. 11 65
6.1 Konferenzbeiträge 65
6.2 Zeitschriften-Artikel 65
6.3 Buch-Beiträge 65
6.4 Poster 65
Literaturverzeichnis 66
Anhang 70

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Hybrides Beschreibungsmodell von Fußgängerbewegung 10
Abbildung 2: Starke und Schwache Agentendefinition 12
Abbildung 3: Einteilung von Agentensystemen 12
Abbildung 4: Entwicklungsstufen des Agentenmodells 14
Abbildung 5: Schema eine BDI-Agneten 16
Abbildung 6: Beispiel für einen BDI-Entscheidungsgraphen 17
Abbildung 7: Gesamtarchitektur des logistischen Simulationsmodells 20
Abbildung 8: Bestandteile der modellierten BPMN-Prozesse 23
Abbildung 9: Passkontrolle beim Boarding 24
Abbildung 10: Soziales Kräfte Modell – Schematischer Aufbau eines Beispielmodells 25
Abbildung 11: An- und Abstoßkräfte eines Fußgängers 26
Abbildung 12: Beispiel Soziale Kräfte Modell mit visualisierter Trace and Bounce Funktion 26
Abbildung 13 Schematische Darstellung der Flughafenbereiche aus Prozesssicht (Auszug) 27
Abbildung 14: Architektur des integrierten Simulationsmodells 30
Abbildung 15 Metaebene mit referenzierten Prozessmodulen 31
Abbildung 16: Erstelltes Bewegungsmodell der Fußgänger mittels Pedestrian Libary 33
Abbildung 17: Simulationsrelevante Faktoren zur Attributierung des Graphenmodells 34
Abbildung 18: Parameter im logistischen Simulationsmodell 35
Abbildung 19: Gehgeschwindigkeiten in Abhängigkeit von Umwelteinflüssen 36
Abbildung 20: Agentenattribute und deren Einflussgrößen (Auszug) 38
Abbildung 21: Facharchitektur 43
Abbildung 22: Aufbau der Benutzerschnittstelle 44
Abbildung 23: Anordnung der Fluggastkontrolle an Flughäfen 46
Abbildung 24: Ermittelte Personenschäden infolge eines Sprengstoffattentats 48
Abbildung 25: Simulationsgestützte Ermittlung der Schadensverteilung 49
Abbildung 26: Screenshot der Simulation mit logistischen Kennzahlen 50
Abbildung 27: Struktur des Visualisierungskonzepts 52
Abbildung 28: Aufgabenmodell der Logistik 54
Abbildung 29: Integration der Informationsgewinnung in das Simulationsvorgehensmodell 56
Abbildung 30: Klassifizierung von Visualisierungsverfahren aus Informationssicht 57
Abbildung 31: Gesamtübersicht Visualisierungskonzept 58

1 Verwendung der Zuwendung und Darstellung der Ergebnisse im Einzelnen mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

Die Arbeitsziele des Teilvorhabens wurden in enger Kooperation mit den Anwendern und mit den Projektpartnern definiert. Die Arbeitsziele des Teilvorhabens leiten sich daher aus den Arbeitszielen des Gesamtvorhabens ab.

Ziel des Teilprojektes vom Fraunhofer ALI war die Abbildung des Flughafens mit seiner gesamten Struktur, der technischen Logistik und seiner begleitenden Prozesse im Rahmen einer Simulationsumgebung. Dazu zählen die modularen Einrichtungen sowie die relevanten Mechanismen, um mit den entstandenen Modellen und Simulationen einen Beitrag zum Schutz von Menschen bei der Nutzung moderner Verkehrsinfrastrukturen zu leisten. Ziel war die Entwicklung eines agentenbasierten Simulationsmodells als Entscheidungsgrundlage für die Planung von Sicherheitsprozessen bzw. das Aufzeigen von Sicherheitslücken.

Mit der agentenbasierten Simulation ist es möglich, komplexe Systeme, die aus mehreren miteinander und ihrer Umwelt interagierenden Objekten bestehen, als Multiagentensysteme abzubilden. Damit ist es möglich, den Flughafen in seiner gesamten Struktur mit seinen Passagieren, mit deren Verhalten sowie ihren Interaktionen untereinander, inklusive das durch ihre Umgebung entstehende Verhalten und Muster zu modellieren. Diese realitätsnahe Abbildung mittels der agentenbasierten Simulation macht es möglich, komplexe Systeme zu interpretieren und gemäß dieser Interpretation auch zu simulieren. Damit kann ein wichtiger Beitrag zur Analyse der Schutzmöglichkeiten von Passagieren bei der Nutzung der Infrastruktur Flughafen unter besonderer Berücksichtigung der Sicherheitskomponente geleistet werden. Die multiagentenbasierte Simulation als Methode dient als Planungs- und Entscheidungsinstrument und ist eine wesentliche Unterstützung in der Planung und Auslegung von Sicherheitskonzepten und Flughafenprozessen.

Die Auslegung von Sicherheitssystemen eines Großflughafens erfordert neben der Betrachtung der Bedrohungsszenarien/Risikofaktoren, den Sicherheitssystemen nachfolgend vier aufgeführte komplexitätssteigernde Aspekte:

- Die bedrohten und zu schützenden Menschen und Sachwerte.
- Die zeitlichen Dimensionen in den Phasen Prävention, Betrieb, Vorwarnung sowie Reaktion im akuten Krisen-/Schadenfall (Krisenmanagement) und Wiederherstellung des (Not-)Betriebs.
- Die komplexe Struktur des deutschen Sicherheitssektors an Großflughäfen bei Sicherheitsfragen sowie die vielen betroffenen bzw. zuständigen Hoheitsträger und Sicherheitsverantwortlichen.
- Die schiere Größe von Flughäfen und ihren Sicherheitssystemen stellt eine eigene Herausforderung dar.
- Diese Dimensionen sind in allen Arbeitspaketen zu beachten.

1.1 Arbeitspaket 1 Erfassung und Strukturierung aktueller Bedrohungslagen

Zu Beginn des Projektes stand wie für alle Partner, so auch für das Fraunhofer ALI die IST-Bestandsaufnahme hinsichtlich der Bedrohungsszenarien. Wichtige Faktoren für das ALI waren hier unter anderem die Infrastruktur des Flughafens mit seinen Objekten, Technologien und Informationsprozessen. Der Flughafen mit seiner gesamten Logistik (z.B. Grundrisse der Terminals als Grundlage), den dazugehörigen Abläufen (z.B. Check-In-Prozess), die Abläufe zwischen den verschiedenen Organisationseinheiten (z.B. Feuerwehr, Zoll, …), sowie die den Prozess unterstützenden Technologien und Informationsflüsse wurden aufgenommen.

Dies erforderte eine spezifische Vorbereitung. Dazu wurden Gesprächsleitfäden für die Workshops und Interviews erstellt. Die Erfassung und Strukturierung der aktuell bestehenden Bedrohungsszenarien erfolgte in Form von Workshops, Interviews und Lageanalysen mit Sicherheitsbeauftragten der beteiligten Akteure. Die Bedarfsermittlung des Fraunhofer ALI wurde bei den Interviews und Workshops unter den Gesichtspunkten der logistischen Abläufe und den damit verbundenen möglichen Sicherheitsrisiken aufgenommen.

Ausgehend von den relevanten Bedrohungen wurden Szenarien für neue Bedrohungen entwickelt, die zwar noch nicht aufgetreten sind, aber unter veränderten Rahmenbedingungen in Zukunft relevant werden können. Dabei werden abschließend dann die Szenarien ausgewählt, die nach Absprache mit den Anwendern die höchste Signifikanz für die Praxis der Flughafensicherheit aufweisen.

Ergebnisse des AP 1 sind eine detaillierte Definition der Prozesse und Abläufe am Flughafen, eine Liste der potenziellen Szenarien resultierend aus der Bedarfsermittlung der Anwender und erste Konzepte zur Abbildung der Bedrohungsszenarien. Des Weiteren wurden die Modell- und Simulationsparameter für die agentenbasierte Simulation festgelegt. So wurden z.B. bestimmte Fluggastgruppen, Zeitparameter der Simulation (eine Flugplanperiode, etc.) insbesondere in Absprache mit den Anwendern definiert.

Als Verantwortliche für die Erfassung und Strukturierung aktueller Bedrohungslagen kritischer Infrastrukturen sind detaillierte Ausführungen im Abschlussbericht der Bauhaus Luftfahrt (BHL) beschrieben.

1.2 Arbeitspaket 2 Schutzmechanismen

Die Bedrohungsszenarien wurden in Zusammenarbeit mit den Partnern des Konsortiums erarbeitet sowie verfügbare Schutzmechanismen erhoben und entsprechend den zu modellierenden Aspekten strukturiert. Betrachtet wurden hierbei insbesondere Personenkontrollen, Sicherheitstechnologien zur automatischen Erfassung von Risikoindikatoren (z.B. Alarmanlagen und Metalldetektionsportale), Risikomanagementmaßnahmen (administrative Prozesse, z.B. Flüssigkeitsbeschränkung) und bauliche Maßnahmen (Sicherheitsbereiche, Schutzräume).

Im AP 2 wurde die IST-Aufnahme aus AP 1 weitergeführt. Hier wurden aktuelle Schutzmechanismen, die Infrastruktur, Prozesse, Technologien und Organisationsabläufe in Hinblick auf die agentenbasierte Simulation betrachtet. Für das Fraunhofer ALI war hierbei wieder die Festlegung der Messgrößen und –parameter entscheidend, um später aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten. Demzufolge wurden aus Sicht der agentenbasierten Simulation folgende wichtige Punkte definiert:

- Agenten- und Objekttypen,
- Ereignis-, Wahrnehmungs- und Aktionstypen,
- auftretende Zwischen-Ereignisse (Szenarien),
- Reaktionsregeln für den Agenten,
- und Spezifizierung des Umgebungssimulators.

Diese Arbeit erforderte detaillierte Beschreibungen der Szenarien, einen Handlungsablauf und Reaktionskriterien. Im AP 2 wurde für die Schutzmechanismen der Punkt der baulichen Gegebenheiten in Hinblick auf die Sicherheit näher beleuchtet. Hier wurden die Restriktionen im Falle eines Risikos genauer spezifiziert und die Regeln für die baulichen Maßnahmen mit übernommen, z.B. Notfalltüren, Sensorik, Alarmanlagen, etc. Wie im AP 1 war die ständige Rückkopplung mit den Betreibern an dieser Stelle besonders wichtig. Der Flughafen prüfte die erarbeiteten Logistikaspekte der Bedrohungsszenarien und Schutzmechanismen auf ihre Plausibilität und Relevanz.

Maßgebend für AP 1 und AP 2 war, dass die Modellierungsmethodik den jeweiligen Sachverhalt so abbildet, dass die relevanten Fragestellungen richtig dargestellt und ausgewertet werden konnten. Dabei spielte der Punkt der Gefahrenfrüherkennung insbesondere in Verbindung des Verhaltens von einzelnen Personen und Personenströmen eine entscheidende Rolle.

Ergebnisse des AP 1 und AP 2 waren ein Systemmodell von Schutzmechanismen als gemeinsame Basis für den Methoden- und Modellverbund, Spezifikationen der beteiligten Schutzmechanismen in den Bedrohungsszenarien und Implementierung der Modellelemente.

Detaillierte Ausführungen dieses Arbeitspaketes sind im Abschlussbericht des Bauhaus Luftfahrt (BHL) beschrieben.

1.3 AP3 Risikoorientierte Systemanalyse – Simulation

Als Gesamtziel des Konsortiums wurden im AP 3 die Beiträge zur multidisziplinären Modellierung und Simulation von Infrastruktur, Bedrohungsszenarien und Sicherheitssystemen erstellt. Dabei handelt es sich um die für die Risikoanalyse wesentlichen Aspekte logistische (agentenbasierte) Modellierung, stochastische Risikomodellierung (ereignisorientiert), ökonomische Modellierung (nutzenorientiert) und entscheidungsbasierte Modellierung (fallorientiert). Die Ansätze sind einzeln zu validieren, bevor im AP 4 die Integration erfolgt.

Im AP 3 erfolgte vom Fraunhofer ALI einerseits die vollständige Erarbeitung des Konzeptes für das agentenbasierte Simulationsmodell und andererseits werden die in AP 1 und AP 2 erfassten Daten für das Modellierungskonzept durch Integration der Bedrohungsszenarien und Schutzmechanismen zusammengeführt. Ebenso beinhaltet AP 3 die Abbildung der Infrastruktur des Flughafens sowie die Definition und Spezifizierung simulationsrelevanter Parameter für die risikoorientierte Systemanalyse mit einer anschließenden Validierung des erarbeiteten Modellkonzepts. In den nachfolgend aufgeführten Punkten werden die einzelnen Arbeitsergebnisse detailliert beschrieben.

1.3.1 Erarbeitung und Umsetzung eines Konzeptes für das agentenbasierte Simulationsmodell

1.3.1.1 Berechnung von Personenströmen

Wie bewegen sich Menschen? Welche Einflüsse lassen sie nach rechts und welche nach links laufen? Wie reagiert ein Mensch bei Gefahr und wie verhält er sich in der Gruppe? Diese und weitere Fragen stellen sich Forscher der Verkehrsdynamik seit vier Jahrzehnten und versuchen Fußgängerbewegungen so realitätsgetreu wie möglich abzubilden. Aufgrund der Tatsache, dass bei den Bewegungen von Fußgängern Parallelen zur Natur mit Hilfe von Beobachtungen, Photographien oder Filmen festgestellt werden können, wird versucht, diese physikalischen Gegebenheiten in die einzelnen Simulationsmodelle zu integrieren. Genauso wie Teilchen, die sich in Flüssigkeiten bewegen, interagieren auch Menschen mit ihrer Umwelt. Sie werden von ihr beeinflusst und reagieren auf verschiedenste Einflüsse von außen. Das erste Modell, welches in der Literatur zu finden ist, stammt von Gipps und Marksjö aus dem Jahr 1985. In Abhängigkeit von der Fremdeinwirkung der Umgebung und des treibenden Wunsches nach Fortbewegung wurde eine Kostenfunktion eingeführt, welche die individuelle Bewegung bestimmt. Ausgehend von dieser ersten Idee wurden viele verschiedene Modelle und Varianten entwickelt, die auf verschiedene Situationen der Umwelt angepasst sind.

Durch meist irrationales Verhalten wie Schieben und Schubsen können gefährliche Situationen entstehen, die oft in Katastrophen endeten. Planung und Dimensionierung von Fußgängerzonen, Gebäuden, Kreuzfahrtschiffen, Bahnhöfen, Fußballstadien oder auch Flughäfen hängen nicht zuletzt von der Anzahl der Personen ab, die diese Einrichtung betreten. Modellrechnungen haben gezeigt, dass schon mit einfachsten Mitteln Gedränge und Panik verhindert werden kann. Als Beispiel könnte ein einfacher Pfeiler dienen, der eine Menschengruppierung in zwei Teile gliedert und so Druck aus dem Menschenstrom nimmt [Dam10]. Die Beantwortung vieler Fragen der Fußgängerdynamik ist von großer Bedeutung und oft sogar überlebenswichtig. Nach Chraibi [Chr08] kann folgende Aufzählung für die Einsatzmöglichkeiten vorgenommen werden:

- Wie lang ist die Evakuierungszeit für Gebäude, Stadien, Bahnhöfe?
- Wie ist der Fluchtweg für einen schnellen Fußgängerfluss zu gestalten?
- Wie sind Not- und Ausgangstüren zu dimensionieren?
- Können Staugefahren bei Menschenmassen frühzeitig erkannt werden?

Diese und weitere Fragen bilden das Kernstück für die Simulation von Fußgängerströmen. Flughafengebäude sind dabei besonders sensible Bereiche mit einem hohen Sicherheitsniveau. Rund um die Uhr müssen große Menschenmengen, in zum Teil sehr begrenzten Zeitspannen, zwischen den Flugzeugen und unterschiedlichen Terminalbereichen sicher an ihre Zielorte kommen. Man kann sich in diesen sozio-ökonomischen Systemen auf die Logistik konzentrieren und mithilfe von Computersimulationen verschiedene Problemstellungen abbilden bzw. beantworten.

In der Literatur werden die Modellierungsansätze und die Möglichkeiten der Simulation häufig in makroskopische und mikroskopische Modelle unterteilt [Hel97]. In der Literatur von [Hel01] wird von einer dritten Einteilung gesprochen, die Gesetze der Gaskinetik als Grundlage verwendet. Dabei handelt es sich um mesoskopische Modelle. Bei den makroskopischen Modellierungsansätzen werden die Bewegungen der Personen als Gesamtheit angesehen und modelliert. Bei hohen Dichten können Ähnlichkeiten zu Flüssigkeiten festgestellt werden. Für die Berechnung des Modells werden Kontinuitätsgleichungen aufgestellt und mit Beziehungen zwischen Dichte und Flussgeschwindigkeit ergänzt. Diese Modellvariante kann in zwei große Klassen der makroskopischen Verkehrsmodelle unterschieden werden. Dazu zählen die Modelle der Strömungsmechanik und die Umlegungsverfahren [Mol09]. Sie stehen im Gegensatz zu den mikroskopischen Modellansätzen. Bei ihnen werden den Individuen Charakteristika wie Ziel und Wunschgeschwindigkeit zugeordnet. Diese Modelle finden wesentlich häufiger Anwendung in der Praxis, da sie die Bewegungen jedes einzelnen Fußgängers sehr genau abbilden. Interaktionen der einzelnen Verkehrsteilnehmer und deren individuelles Verhalten können modelliert werden. Die Zusammensetzung der multikulturellen Besucherlandschaft am Flughafen macht eine mikroskopische Abbildung der Passagierströme nahezu erforderlich.

Weiterhin können Modelle nach dem Grad ihrer Raum- und Zeitgestaltung separiert werden. Dort gibt es zum einen die diskreten Modelle, in denen die einzelnen Situationen in Zeitschritten ablaufen, und zum anderen die kontinuierlichen Modelle. Zwar kann ein Computer eine kontinuierliche Betrachtung von Raum und Zeit nicht gewährleisten, jedoch gehen diese Modelle davon aus, dass die einzelnen Situationen fließend ineinander übergehen [Chr08]. Eine Kombination von diskreten und kontinuierlichen Modellen findet Gestaltung in hybriden Modellen, so wie sie im erstellten SiVe-Modell zum Einsatz kommen. Im SiVe-Modell wird eine über social force model gesteuerte, kontinuierliche Bewegung (siehe auch Abschnitt 2.3.1.5) mit dem diskreten Raum eines Multiagentensimulators (siehe auch Abschnitt 2.3.1.2) verbunden.

Die Abbildung 1 gibt einen Überblick über die notwendigen Bestandteile, die für eine agentenbasierte Berechnung von Fußgängerbewegungen/-strömen und deren Visualisierung notwendig sind und im SiVe-Projekt realisiert wurden. Das Agentenmodell setzt sich dabei im Wesentlichen aus Agentenarchitektur, Wissens- und Entscheidungsbasis zusammen und dient der Abbildung der Bewegung von Fußgängern. Zur Berechnung und Visualisierung der Route

eines Fußgängers ist ein Bewegungsalgorithmus erforderlich. Der im SiVe-Modell verwendete Algorithmus zur Berechnung der reinen Bewegung ist das Soziale Kräfte Modell (eng. Social Force Model). Die einzelnen Modellbestandteile werden im Abschnitt 2.3.1 bzw. in dessen Unterpunkten 2.3.1.3 bis 2.3.1.5 näher beschrieben.

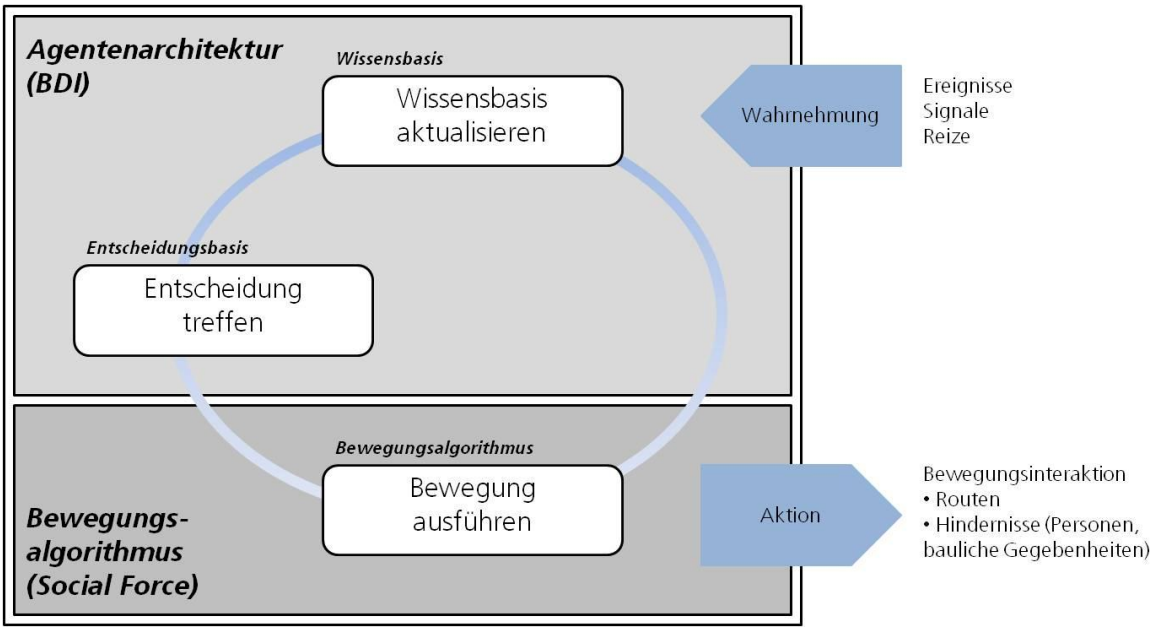


Abbildung 1: Hybrides Beschreibungsmodell von Fußgängerbewegung
(Quelle: eigene Darstellung)

Zusammenfassung des verwendeten Modellierungsansatzes in SiVe

- Betrachtung von der Masse zum Individuum und zurück
- das Gesamtsystem (Umwelt) beeinflusst das Individuum und das Individuum die Menschenmasse
- Früher: Bewegung durch mathematische Algorithmen
- Heute: Bewegungen sind individuelle Aktionen und werden bestimmt durch eigene Absichten und Entscheidungen
- im Fokus steht nicht mehr die Bewegung selbst, sondern das Erreichen von Zielen
- Ziele und die Erreichung dieser bestimmen die Bewegung
- individuelle Entscheidungen beeinflussen das Verhalten der Masse -> realitätsnähere Simulation
- erkennen und identifizieren charakteristischer Entscheidungsmuster in der Masse, visualisiert über Personenbewegungen -> Vorhersagen möglich

Fazit: Verwendung eines hybriden Modellansatzes -> Kopplung Multiagentensimulation mit Social Force Algorithmus.

Zusammenfassung der modellierten und simulierten Eigenschaften

- Aktive(!), individuelle Objekte (z.B. Passagiere, Gepäckstücke)
- Individuelle Verhaltensweisen und Ziele (z.B. Geschäftsreisende, Urlauber)
- Individuelle Termine und Zeitpläne
- Interaktionen zwischen Objekten und Umwelt (z.B. Passagiere treffen Entscheidungen)
- Interaktionen zwischen den Objekten selbst
- Definition neuralgischer Punkte (z.B. Security Check, Wartebereiche, Shops)

1.3.1.2 Agenten und Multiagenten

Die Multiagentensimulation gehört zur Familie der mikroskopischen Modelle. Sie ist eine relativ neue Form der Modellierung und besonders für komplexe und detaillierte Simulationen geeignet. Ein Multiagentenmodell besteht aus einer simulierten Umwelt, einer virtuellen Zeit und mehreren Agenten. Die Umwelt besteht dabei aus globalen Einflüssen wie dem Wetter und lokalen Einflüssen, die einzelne Agenten betreffen.

Bevor näher auf das Modell eingegangen werden kann, muss zunächst geklärt werden, was ein Agent ist. Er kann als Softwareeinheit gesehen werden, der die Ziele des Benutzers verfolgt. Dabei interagiert er jedoch autonom mit anderen Agenten unter Berücksichtigung seiner eigenen Interessen und Ziele [Wei01]. Einen Agenten machen nach Klügl [Klü06] vier verschiedene Faktoren aus:

- Er erhält Informationen aus seiner Umwelt.
- Er hat einen bestimmten Wahrnehmungs- und Aktionsradius.
- Er verfügt über ein bestimmtes Verhaltensrepertoire.
- Er verändert seinen eigenen Zustand und wirkt auf die Umwelt ein.

Agentendefinition

Ausgehend von der Agentendefinition (starke und schwache Definition) ist in der nachfolgenden Abbildung 2 unsere Sichtweise des Agenten definiert.

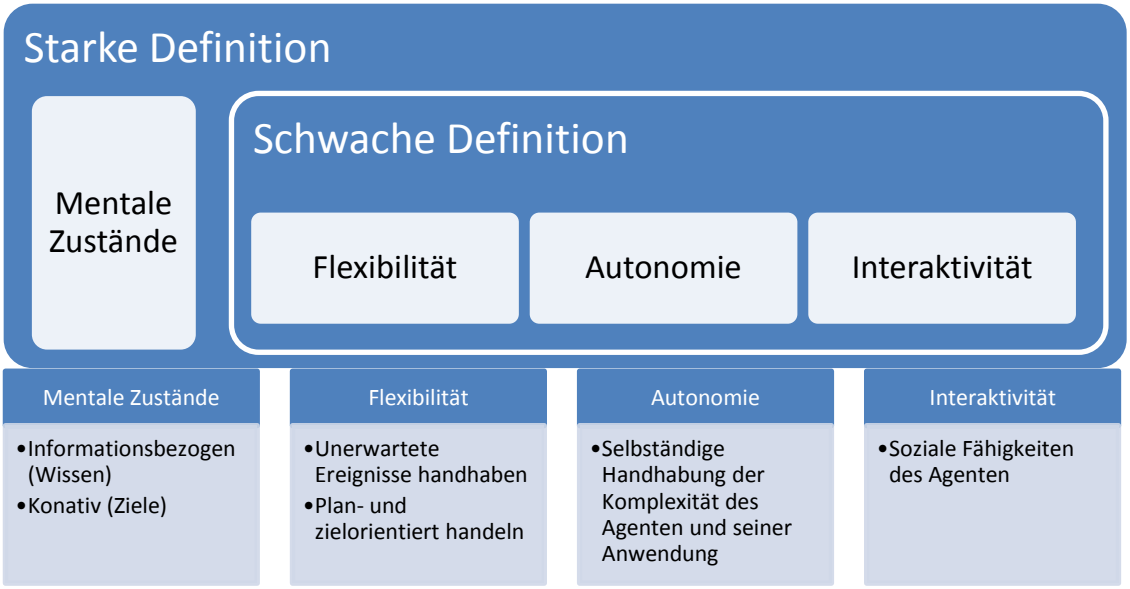


Abbildung 2: Starke und Schwache Agentendefinition
(Quelle: eigene Darstellung)

Die Abgrenzung von Agentensystemen kann nach drei Kriterien vonstattengehen. Hinsichtlich der Intelligenz kann zwischen einfachen und komplexen Agenten unterschieden werden. Die Mobilität der Agenten wird entweder als mobil oder stationär beschrieben und bei der Anzahl der Personen reicht das Spektrum von einem Agenten bis hin zu Multiagentensystemen, die bei der Fußgängersimulation Anwendung finden [Vet06]. Abbildung 3 veranschaulicht diese Einteilung, gibt aber auch den Ausblick auf mögliche Zwischenformen.

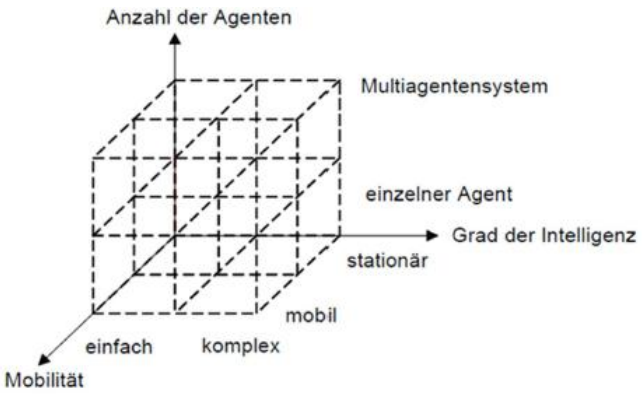


Abbildung 3: Einteilung von Agentensystemen
(Quelle: [Vet06] S.38)

Ein Agent kann allgemein als etwas bezeichnet werden, das wahrnimmt und handelt. Im SiVe-Modell wird somit jede unabhängige organisatorische Einheit als Agent realisiert, die unabhängig agieren kann. Der Ansatz, den das Fraunhofer ALI mit der modularen Entwicklung in der Modellierung verfolgt, ist adaptiv auch auf andere Infrastrukturen übertragbar.

Entsprechend den aufgeführten Abgrenzungskriterien erfolgt eine Einteilung der im Flughafenmodell wirkenden Agenten nach folgender Tabelle 1.

Agententyp	Wahrnehmungen	Aktionen	Ziele	Beispiele
Person	• lokale Umweltbedingungen • Personen in der Nähe • Signale • Informationen	• Bewegung • Kommunikation • Interaktion	• abhängig vom Personentyp z.B. Abflug, Sprengstoff entdecken • dynamisch	• Mitarbeiter • Passagier
stationäres techn. System	• Sensoreingaben • Signale • Informationen	Kommunikation	• Programmabhängig • starr	• Torbogensonde • Verbuchungsautomat
mobiles techn. System	• Sensoreingaben • Signale • Informationen	• Bewegung • Kommunikation	• Programmabhängig • starr	• Kamera • automatischer Staubsauger
Gekoppelter Agent (Einheit aus Person und techn. System)	• lokale Umweltbedingungen • Personen in der Nähe • Signale • Informationen • Sensoreingaben	• (Bewegung) • Kommunikation • Interaktion	• abhängig vom Personentyp z.B. Abflug, Sprengstoff entdecken • semi-dynamisch	• Gepäckscanner + Mitarbeiter • Pilot + Flugzeug

Tabelle 1: Beispiele für Agenten in Infrastruktursimulationen

Der im Projekt realisierte Simulationsansatz für die Agentenmodellierung wird nachfolgend am Beispiel der Passagiere dargestellt.

- MAB-Modellierung = dezentralisiert + individualzentriert zur Spezifikation individuellen Verhaltens
- Agenten sollen nicht bestmöglich ein Problem lösen
- Agenten sollen bei Simulationen menschliches Verhalten nachahmen
- realitätsnahe Abbildung des Menschenverhaltens inklusive der Interaktionen untereinander und mit anderen Personengruppen
- Multiagentensimulation

Grundlage für die Funktionsweise des Modells ist die Anziehung, die ein Ziel auf den Agenten ausübt. Es gibt zwei Möglichkeiten, wie diese Anziehung in Modellen umgesetzt werden kann. Einerseits das Potential Field Verfahren und andererseits das Verfahren des Graphen-Modells. Bei beiden Verfahren strahlt das Ziel eine gewisse Anziehungswirkung auf die Agenten aus, was sie dazu antreibt, dieses Ziel auf kürzestem Wege zu erreichen. Das Graphen-Modell (siehe näheres in Abschnitt 1.3.1.4), welches im Fraunhofer Flughafenmodell zum Einsatz kommt, ist für komplexe Simulationen besser geeignet. Dem Agenten werden auf dem Weg zum Ziel einzelne Knotenpunkte vorgegeben. Die Vorgabe bestimmter Knotenpunkte ergibt sich allein schon aus der teilweise strengen Reglementierung der Prozesse, die notwendig sind, um als Passagier abfliegen zu können. Der Agent ist in diesem Modell in der Lage, auf andere Agenten zu reagieren und sein Verhalten zu ändern. [SSc03] Abbildung 4 zeigt die drei Entwicklungsstufen des Fraunhofer Agentenmodells.

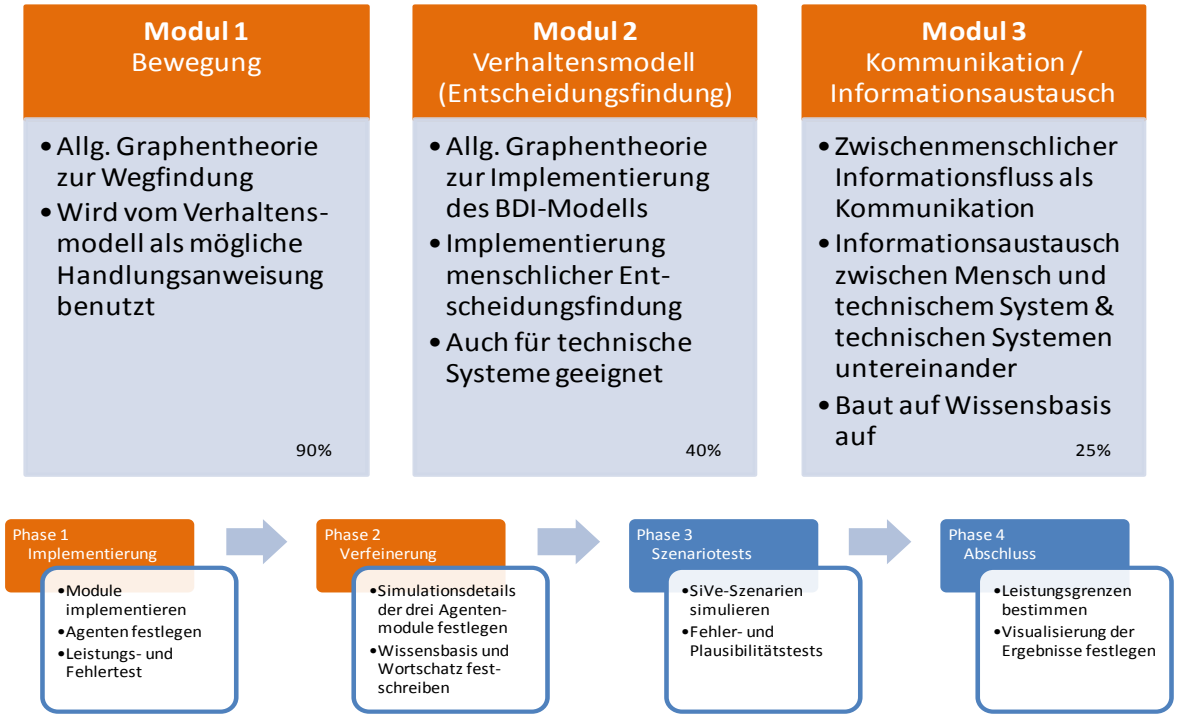


Abbildung 4: Entwicklungsstufen des Agentenmodells
(Quelle: eigene Darstellung)

Da dieser vorgestellte Modellierungsansatz die variable Interaktion und die Entscheidungsautonomie des Agenten unterstützt, ist es auf konzeptioneller Ebene flexibler. Der Detaillierungsgrad ist je Szenarioanforderung selbst zu bestimmen, genauso wie der Grad der Intelligenz der Agenten. Dieser Modellansatz besitzt deshalb größere Potentiale, um die Entscheidungen einzelner Menschen zu simulieren. Wenn sich in Situationen die Umweltzustände ändern und der Mensch in der Realität darauf reagiert, ist es möglich, dies mit dem vorgestellten Multiagentensystem realitätsgetreu abzubilden. Vergleiche dazu auch die Literatur von Stucki & Schmid [SSc03]. Im Gegensatz zu Zellularen Automaten können Agenten in Multiagentensystemen mit eigenen Eigenschaften modelliert werden und sind deshalb in ihren Bewegungen wesentlich flexibler. Dieser Aspekt entspricht der multikulturellen Besuchervielfalt eines Flughafens mit seinen vielseitigen und unterschiedlichen Nutzern, Mitarbeitern und Entscheidungsträgern. Phänomene, die nicht nach normalen Gesetzmäßigkeiten ablaufen, können individuell in jedes Modell eingebaut werden. Für Eigenschaften, welche die einzelnen Geschwindigkeiten der Agenten beeinflussen, besteht die Möglichkeit, sie separat für jeden Agenten zu bestimmen.

1.3.1.3 Agentenarchitektur - BDI Modell

Die Agentenarchitektur berücksichtigt den Einfluss des Individuums auf den Personenstrom sowie individuelles Verhalten bei der Durchführung von sicherheitskritischen Handlungen. Mittels dieses mikroskopischen Modellierungsansatzes wird versucht, das menschliche Verhalten auf der Grundlage kognitiver Prozesse innerhalb einer Simulation abzubilden. Diese Betrachtungsweise hat einige Vorteile gegenüber der Beschreibung von Personenbewegungen mittels makroskopischer Modelle. So sind detailliertere Modelle sowie die Berücksichtigung psychologischer und soziologischer Faktoren bei der Entscheidungsfindung und damit bei der Personenbewegung möglich. Auf Wegen und Plätzen sind die Personenbewegungen ungeordnet und keinen strukturellen Zwängen, wie etwa beim Autoverkehr, unterworfen. Vielmehr sind Bewegungsrichtungen in öffentlichen Infrastrukturen unstrukturiert und gegensätzlich. Die Bewegung innerhalb einer Verkehrsinfrastruktur ist aber nur ein Aspekt bei der Untersuchung menschlichen Verhaltens. Das Individuum beeinflusst mit all seinen Entscheidungen die Umwelt und andere Personen in seinem Umfeld. Um die Wirkmechanismen und Verhaltensweisen realitätsnah modellieren zu können, braucht man zwei wichtige Bestandteile. Das ist zum Ersten eine geeignete Architektur, um alle Aspekte des Personenverhaltens und der Interaktion in den richtigen Zusammenhang zu setzen. Zweitens müssen aussagekräftige Daten vorhanden sein, auf deren Grundlage das Modell entworfen und validiert werden kann. Der Zusammenhang zwischen Modell, Architektur und Daten ist konzeptionell denkbar einfach:

$$Modell = Architektur + Daten$$

Schwierig ist es, die Daten mit Hilfe einer geeigneten Agentenarchitektur zur Simulation und Analyse einer zu untersuchenden Verkehrsinfrastruktur aufzubereiten. Denn erst wenn ein brauchbares Modell bereit steht, kann eine Simulation durchgeführt werden. Es gibt zwei grundsätzliche Möglichkeiten, das Verhalten von Agenten innerhalb einer Simulationsumgebung zu bestimmen. Zum einen mit Hilfe von mathematischen Konzepten, streng logischen Reiz-Reaktions-Regeln folgend (reaktive Agenten) oder auf der Grundlage von Wissen, Zielen und kognitiven Fähigkeiten, die zu bewussten Entscheidungen führen (deliberative Agenten).

Kognitive Agentenarchitekturen sind Architekturen, welche die Ergebnisse der kognitiven Psychologie formalisieren und als Computermodell zur Verfügung stellen. Dieses Computermodell kann wiederum als Grundlage für eine computergestützte Simulation dienen. Mit Hilfe der kognitiven Architekturen lässt sich die menschliche Informationsverarbeitung computergestützt modellieren sowie zur Simulation von Personenbewegungen nutzen. BDI ist das Akronym für *Beliefs*, *Desires* und *Intentions*. BDI ist eine Architektur zur Abbildung vernunftgemäßem Handelns, auf der Grundlage von Wissen (*Beliefs*), zukunftsorientierten Absichten oder Zielen (*Desires*) und Plänen (*Intentions*). Die zu Grunde liegende Theorie wurde von Michael Bratman während der 1980-iger Jahre entwickelt [Bra99]. A. S. Rao und M. P. Georgeff [RGe95] adaptierten die Theorie für die Modellierung und Simulation mit Hilfe deliberativer Agenten.

Die Architektur der Agenten folgt dem allgemeinen Schema für deliberative Agenten, siehe Abbildung 5. Die Entscheidungen generiert der BDI-Interpreter. Er verarbeitet Sensordaten (Wahrnehmung), um das Wissen über den aktuellen Zustand der Umwelt und das Wissen über die Auswirkungen seiner Aktionen zu aktualisieren. Zuerst verwirft der BDI-Interpreter erfüllte und nicht mehr erfüllbare Pläne auf Grund neuen Wissens. Anschließend wählt er auf Basis der Ziele die Handlungsmöglichkeiten des Agenten aus. Die Handlungsmöglichkeiten werden auf Handlungspläne abgebildet. Ein Plan oder auch Teilplan beschreibt eine feste Folge von Aktionen. Bei Handlungsalternativen oder konkurrierenden Handlungen selektiert der Interpreter anhand der größten Erfolgsaussicht. Die einzelnen Pläne sind hierarchisch strukturiert und werden entsprechend ihrer Rangfolge ausgeführt.

Der gesamte Prozess des BDI-Interpreters, auf der Grundlage von Wissen und Ziele, Handlungspläne auszuwählen, wird als Reasoning bezeichnet. Das ist die menschliche Fähigkeit, auf Basis von Annahmen und Voraussetzungen nichtintuitiv zu Schlussfolgern. Ziele (Desires) und Teilziele oder Pläne (Intensions) lassen sich als hierarchisch strukturierte Teilgraphen beschreiben.

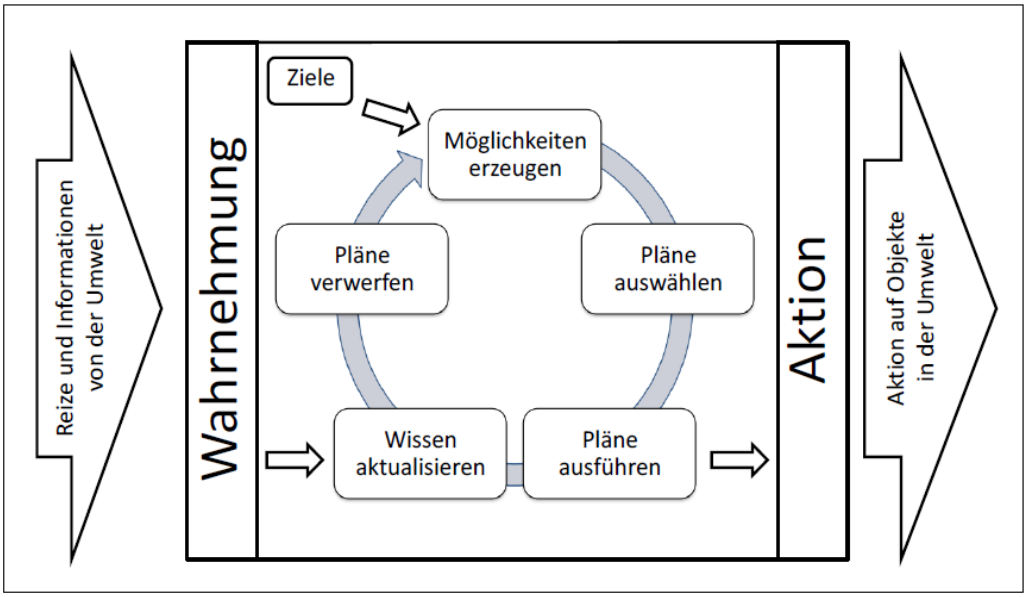


Abbildung 5: Schema eine BDI-Agenten
(Quelle: [RGe95] S. 316)

Je nach Zustand des Agenten und seiner Umwelt werden diese Teilgraphen zusammengesetzt. Die Wurzel des so entstehenden Graphen ist der aktuelle Zustand. Die Blätter beschreiben die gewünschten Zielzustände des Agenten. Die Pfade zwischen Wurzel und Blätter des Graphen bilden die Handlungsmöglichkeiten für den Agenten, um seine Ziele zu erreichen. Der Reasoning-Prozess ermittelt den bestmöglichen Pfad, den Pfad mit der größten Erfolgsaussicht, zwischen aktuellem und Zielzustand. Dieser Pfad entspricht einer Folge von Teilplänen, die jeweils eine feste Aktionsfolge vorgeben und nacheinander ausgeführt werden. Je nach Aktualisierungshäufigkeit der Umweltinformationen verwirft

der BDI-Interpreter einen oder mehrere Teilpläne und entscheidet sich für einen vormals als ineffizient oder unmöglich eingestuften Pfadabschnitt.

Während der Simulation durchläuft der BDI-Interpreter den Reasoning-Prozess als fortwährende Schleife. Alle ausgewählten Pläne führt der Agent geschlossen aus, bevor er erneut Sensordaten auswertet und über neue Pläne entscheidet. Das daraus resultierende Problem wird im Abschnitt über Vor- und Nachteile der BDI-Architektur erläutert.

In Abbildung 6 ist ein einfaches Beispiel für einen BDI-Entscheidungsgraphen dargestellt. A ist der aktuelle Zustand, e sind die beiden möglichen Ziele, die der Agent erreichen möchte und z sind Zwischenzustände. Vom aktuellen Zustand a entscheidet sich der Agent für die Teilpläne der gestrichelten Linie. Im Zustand zb reagiert der Agent auf die Veränderung der Umwelt und entscheidet sich für alternative Teilpläne, dargestellt mittels einer Strich-Punkt-Linie.

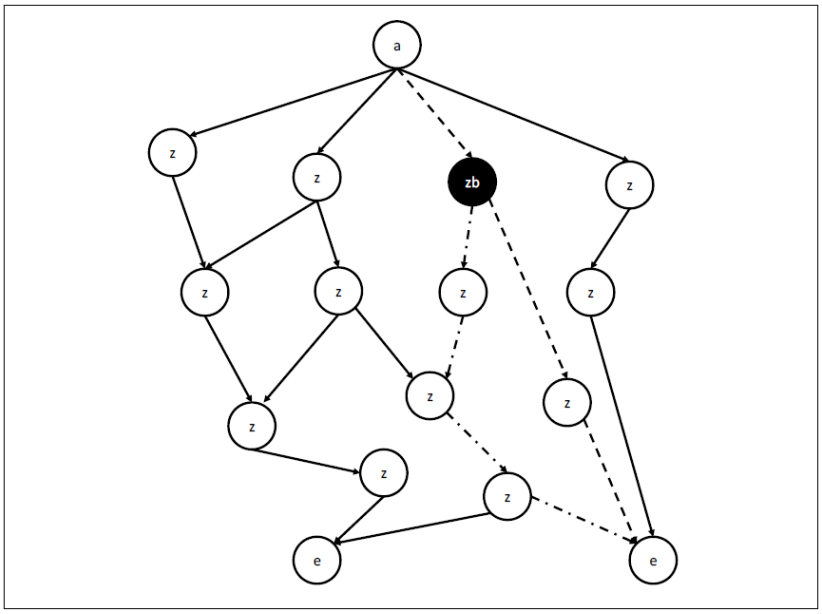


Abbildung 6: Beispiel für einen BDI-Entscheidungsgraphen
(Quelle: eigene Darstellung)

Im Rahmen des SiVe-Projektes wurden neben der verwendeten BDI-Architektur die Agentenarchitekturen PECS und SOAR hinsichtlich ihres Einsatzpotentials in Simulationen untersucht. Nachfolgend sollen PECS und SOAR mit ihren Vor- und Nachteilen nur kurz vorgestellt werden.

PECS versucht die komplexe Struktur menschlichen Verhaltens spezifizierbar und wirklichkeitsgetreu modellierbar zu machen. Das menschliche Verhalten wird von physischen, emotionalen, kognitiven und sozialen Faktoren bestimmt. Die menschliche Verhaltensweise ist somit das Ergebnis von psychischer und körperlicher Wechselwirkung sowie kognitiven Fähigkeiten innerhalb einer sozialen Umgebung. PECS steht für *P*hysical conditions, *E*motional state, *C*ognitive capabilities, *S*ozial status. Das PECS-Referenzmodell kombiniert die Grundform aller kognitiven Agentenarchitekturen, dem deliberativen Verhalten mit der einfachsten Form der Verhaltensbeschreibung von Agenten, dem reaktiven Verhalten.

Vor- und Nachteile PECS

PECS ist als allgemeingültiges und vollständiges Referenzmodell konzipiert. Es eignet sich vor allem zur humanwissenschaftlichen Forschung, insbesondere in der Psychologie und Soziologie. Ergebnisse der Psychologie und der Verhaltensforschung können in ein Modell zusammengestellt und mit allen Funktionen und Faktoren beschrieben werden. Ähnlich der SOAR -Architektur können Teilmodelle des menschlichen Verhaltens zu einem größeren Modell kombiniert werden.

Obwohl das PECS-Referenzmodell sehr gut für die Beschreibung menschlichen Verhaltens mit allen Faktoren und Funktionen geeignet ist, birgt es Probleme für die Modellierung von Personenverhalten in Verkehrsinfrastrukturen. Das Modell ist hauptsächlich auf die Beschreibung des menschlichen Verhaltens und der Entscheidungsfindung ausgerichtet. Zudem ist die Erforschung und Modellierung des menschlichen Verhaltens ein zeitaufwendiger und komplexer Prozess. Es gibt wenige Teilmodelle auf Basis von PECS, zum Beispiel für die Bewegung von Personen innerhalb von Gruppen oder Einzelbewegungen in entgegengesetzten Richtungen, die zudem noch frei zugänglich und verwertbar sind.

Für eine Simulation einer gesamten Infrastruktur mit Personen-, Logistik- und Informationsströmen müssen die gesamten Faktoren und Zusammenhänge in langwierigen Untersuchungen und Versuchsreihen erarbeitet werden. Ein ganzheitliches Modell wäre zudem sehr komplex. Denn neben reaktivem und deliberativem Verhalten müssen auch reflektives Verhalten und Emotionen berücksichtig werden. Im Vergleich zu SOAR oder BDI steigt bei gleichem Abstraktionslevel des Modells die Komplexität und erfordert Rechenzeit. Innerhalb einer Multiagentenumgebung vergrößert sich das Problem mit steigender Agentenzahl exponentiell. Je umfangreicher das Modell, desto mehr Rechenleistung wird benötigt. Für eine Simulation in Echtzeit oder im Zeitraffer sind Rechencluster notwendig. Man kommt so schnell in den Bereich des High-Performance-Computing, welches sehr kostspielig ist. Selbst wenn man keine Echtzeitdaten benötigt, muss man mit steigendem Modellumfang länger auf das Simulationsergebnis warten. Das Modell ist eher zur Untersuchung von Teilbereichen, ähnlich der SOAR -Architektur, geeignet.

Ein weiteres Problem ist die fehlende Referenzimplementierung, wie sie zum Beispiel SOAR bietet. Es gibt keine Simulationsumgebung, die PECS von vornherein unterstützt. Vielmehr muss jeder Anwender selbst implementieren. Dazu kann er aber auf bestehende Simulationsumgebungen zurückgreifen. Die Umgebung muss eigene Agentenarchitekturen, zum Beispiel als Java-Objekte, unterstützen. Die Implementierung selbst ist aber komplex und zeitaufwendig.

SOAR war zu Beginn noch ein Akronym für „State, Operator And Result". Mittlerweile ist SOAR zum Eigennamen geworden. Ziel war es, eine Methode zur maschinellen Problemlösung zu schaffen.

Vor- und Nachteile SOAR

SOAR wird vor allem in der Forschung eingesetzt, um grundlegende menschliche Fähigkeiten vollständig und korrekt zu modellieren. Die Universität Hertfordschire forscht an Aspekten der Mensch-Maschine-Interaktion, speziell dem Erfassen von Informationen mit den Augen, bei der Erkundung von Webseiten. Die Universität Michigan beschäftigt sich mit Lernprozessen durch Beobachtung, SOAR in Spielen und Modellierung von Emotionen. Die Universität Nottingham testet Lerntheorien und verbessert die Mensch-Maschine-Interaktion. Mit Agentenmodellierung für intelligente Kontrollen und der Robotersteuerung beschäftigt sich die Intelligent Agent Group der Universität von Portsmouth.

Die SOAR-Architektur hat unbestreitbare Vorteile bei der Modellierung menschlicher Verhaltensformen. Zum einen ist die Theorie hinter SOAR sehr mächtig und ausgereift. Denn schon jetzt ist es möglich, theoretisch alle menschlichen Verhaltensweisen zu modellieren. Zudem ist ein Softwareprodukt erhältlich, mit dessen Hilfe man beliebige Fragestellungen zum menschlichen Verhalten modellieren kann. Die Software wird ständig weiter entwickelt, ist sehr effizient und hat einen enormen Funktionsumfang.

Allerdings haben die SOAR-Architektur und die dazugehörige Software auch Nachteile. Die Modellierung menschlicher Verhaltensformen ist auch mit SOAR sehr komplex. Denn statt auf Reduzierung und Idealisierung liegt der Schwerpunkt von SOAR auf Funktionalität, nämlich der genauen Nachbildung von Verhaltensregeln. Wenn man versucht, menschliche Verhaltensformen exakt nachzubilden, werden die resultierenden Modelle sehr umfangreich. Will man diese zu einem Gesamtmodell zusammenfügen, vergrößert sich die Komplexität. Hinzu kommt die exponentiell steigende Rechenzeit für das Gesamtmodell innerhalb eines Simulationsszenarios. Aus diesem Grund beschränkt man sich bei der Modellierung meist auf einen speziellen Bereich des menschlichen Verhaltens, zum Beispiel der Sprachverarbeitung. Die Korrektheit der Modelle muss aufwendig durch empirische Versuche nachgewiesen werden.

Die SOAR -Architektur ist stark auf die eigene Simulationssoftware fokussiert. Das ist auf der einen Seite bei der Beschreibungsstärke und effizienten Ausführung der Modelle mit Hilfe der angebotenen Simulationssoftware von Vorteil. Zudem erleichtert es den Einstieg in die Modellierung und Simulation menschlichen Verhaltens mit SOAR. Allerdings ist eine Implementierung oder Nutzung der Architektur in einer anderen Simulationsumgebung sehr aufwendig. Es gibt kein Softwareframework für die einfache Einbindung der Architektur bei

eigenen Projekten. Gerade im Hinblick auf einfache Handhabung und Modellierung der gewünschten Simulation ist die komplexe Gesamtarchitektur schwer implementierbar.

Wenn auch SOAR nicht als Ganzes für die Simulation von Personenbewegungen in Verkehrsinfrastrukturen einsetzbar ist, lassen sich dennoch Teilbereiche der Theorie auf diese Problemstellung übertragen. Das sind zum Beispiel die Definition von Zuständen in denen sich ein Agent befindet und Regeln für die Zustandsübergänge. Ein anderes wichtiges Merkmal ist die symbolische Repräsentation von Wissen und deren Grundlage für alle Entscheidungen. Zuletzt sei noch die Entscheidungsschleife genannt, welche auf Grundlage des Wissens, des aktuellen Zustandes und aller Möglichkeiten die nächste Aktion auswählt.

Grundlage für die Agentenmodellierung sind Bewegungen als Resultate von Entscheidungen. Die Abbildung 7 zeigt den notwendigen Aufbau des logistischen Simulationsmodells.

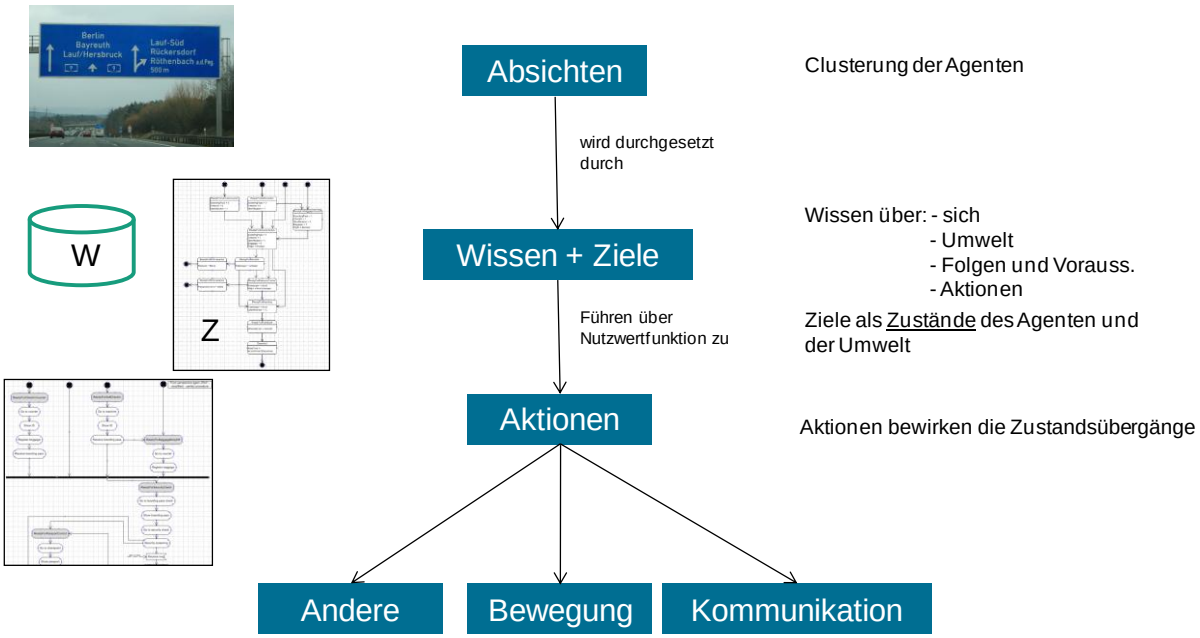


Abbildung 7: Gesamtarchitektur des logistischen Simulationsmodells
(Quelle: eigene Darstellung)

Bearbeitungsschritte bei der Modellierung

- einmal implementiertes Verhalten austauschbar – modulare Simulation
- Voraussetzungen:
    - Clusterung der Agenten
    - Infrastruktur (Lageplan, Geomodell/-koordinaten, bauliche Besonderheiten)
    - Wissensbasis (B)
    - Definition Umwelteigenschaften
    - Definition Ziele (D)
    - Definition der Menge der Aktionen, die möglich sind (I)

1.3.1.4 Entwicklung einer Beschreibungssystematik BPMN

Zur Modellierung kognitiver Fähigkeiten, menschlicher Verhaltensweisen und menschlicher Entscheidungsfindungen galt es, eine geeignete Beschreibungssystematik zu entwickeln. Gemäß der BDI-Architektur sind die nachfolgenden drei Module Inhalt der Beschreibungssystematik.

Wissen und Handlungspläne (Modul I)

Das Wissen eines Agenten unterteilt sich in internes und externes Wissen. Internes Wissen bezieht sich auf den Agenten selbst. Es beinhaltet zum Beispiel die Informationen zu seinem aktuellen Zustand, seinen Handlungsmöglichkeiten und deren Auswirkungen auf die Umwelt sowie die angestrebten Ziele. Externes Wissen beinhaltet alle Informationen über die Agentenumwelt, beispielsweise andere Agenten in seiner Nähe oder aktuelle Umweltbedingungen. Über Sensoren aktualisiert der Agent in regelmäßigen Abständen sein externes Wissen, damit alle Entscheidungen auf der Grundlage realer Umweltbedingungen getroffen werden können.

Verhalten und Entscheidungen (Modul II)

Das Verhalten eines Agenten ist das Ergebnis seiner getroffenen Entscheidungen. Die Entscheidungen bestimmen die auszuführenden Aktionen des Agenten. Die Entscheidungs-Engine ist somit zentraler Bestandteil der Agentenarchitektur. Der Agent trifft seine Entscheidungen immer auf der Grundlage seines Wissens. Dieses Wissen aktualisiert der Agent über Sensoren und der Kommunikation mit anderen Agenten.

Informationsflüsse und Kommunikation (Modul III)

Bei einer Multiagentensimulation, also der Simulation von Systemen mit mehr als einem beteiligten Akteur, hat die Kommunikation Einfluss auf individuelle Verhaltensweisen. Zudem dient sie dem Informationsaustausch und ist die Voraussetzung für kooperative Handlungsweisen. Aus diesem Grund ist die Kommunikation ein wesentlicher Bestandteil in der zu erarbeitenden Agentenarchitektur. Nachzubilden sind alle möglichen Kommunikationsformen, die bei der Personensimulation in Verkehrsinfrastrukturen auftreten können. Im Zusammenhang mit agentenbasierter Simulation bezeichnet Kommunikation den aktiven Informationsaustausch zwischen zwei Akteuren. Die Agenten können dabei Personen oder technische Systeme repräsentieren.

Entsprechend den definierten Inhalten und Anforderung an die Beschreibungssystematik in den drei Modulen erfolgt die Modellierung der kognitiven Fähigkeiten mittels Graphen. Als grafische Spezifikationssprachen standen dabei sowohl die ereignisbasierte Prozesskette (EPK) als auch die Business Process Modeling and Notation (BPMN) zur Auswahl.[1] Mit Hilfe des Graphen-Modells in Form von Prozessketten erfolgt die Abbildung eines Idealverhaltens. Die Prozesskette stellt somit die Grundlage des Verhaltensmodells.

[1] Im Rahmen des SiVe-Projektes wurden die Modellierungssprachen EPK und BPMN hinsichtlich ihrer Eignung unterschiedlichen Aspekten unterzogen. Die Ergebnisse der Gegenüberstellung befindet sich in Anhang 1: Vergleich der grafischen Spezifikationssprachen für Geschäftsprozesse: Ereignisgesteuerte Prozesskette (EPK) vs. Business Process Modeling and Notation (BPMN).

Unser Idealverhalten:

- Prozessschritt entspricht einem Zustand
- Zustand ist die Summe von Umwelt- und Agenteneigenschaften
- Ein Zustand repräsentiert ein Ziel, das erreicht werden muss/kann
- Zustände sind durch eine Menge von Aktionen verbunden
- Bestimmte Abfolge von Zuständen führt zum primären Ziel

Keine automatische Konvertierung von Prozessinformationen möglich!
Was uns die Prozesskette nicht liefert:

- Umwelt- und Agenteneigenschaften eines Zustandes
- Abweichendes Verhalten
- Verhalten in Ausnahmesituationen
- Örtlicher Bezug (Geokoordinaten)

Prozessrepräsentation

Ein Fokus bei der Entwicklung der Beschreibungssystematik lag auch in der Übertragung existierender formaler Repräsentationen zur Abbildung des Systems Flughafen. Dabei erfolgte die Entwicklung einer für den Simulationszweck angepassten Repräsentation mit der Orientierung vorhandener EPK-Workflows als Basis. Eine wesentliche Hilfestellung lieferte an dieser Stelle vorliegendes Datenmaterial des BBI-Flughafens. Zur Modellierung der Handlungsdirektiven der Agenten erfolgte eine Reduzierung der Komplexität bestehender Prozessketten hinsichtlich simulationsrelevanter Bestandteile. Aus Prozessmodellen ergeben sich anfallende Aufgaben für Funktionseinheiten sowie allgemeine Rahmenbedingungen.

Die Handlungspläne und Ziele der Agenten werden auf BPMN-Basis modelliert. BPMN ist das Akronym für Business Process Model and Notation, eine Standardnotation zur Modellierung von Geschäftsprozessen. Zur Modellierung der Prozessketten ist eine Vielfalt an Informationen notwendig, die in unterschiedlicher Form in verschiedenen Quellen verfügbar ist. Um dieser Informationsvielfalt Herr werden zu können, wurde die in Abbildung 8 dargestellte Struktur entwickelt.

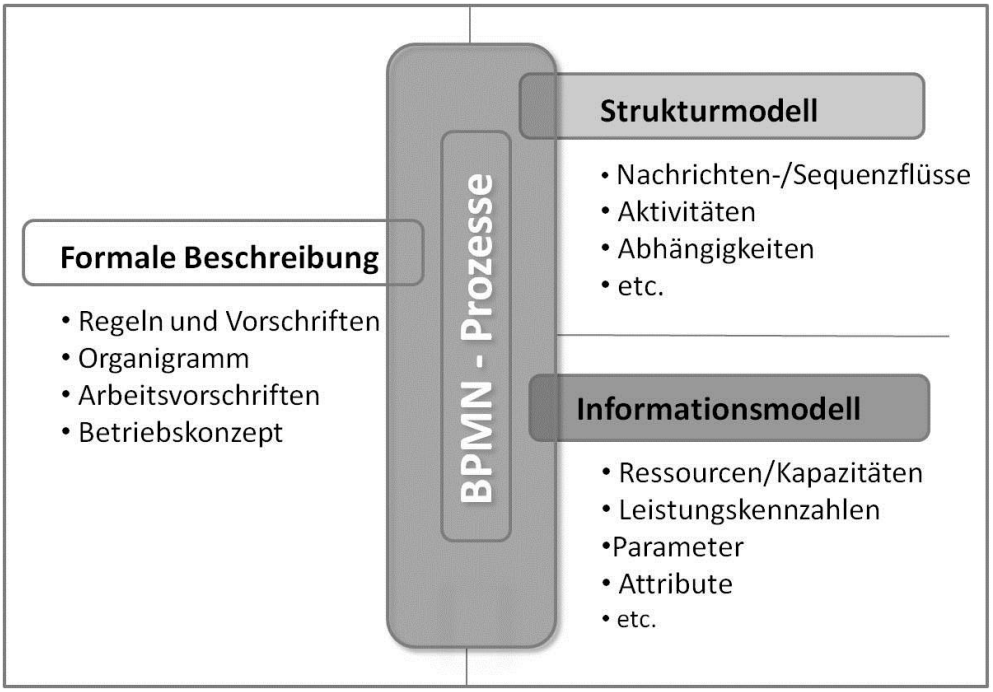


Abbildung 8: Bestandteile der modellierten BPMN-Prozesse
(Quelle: eigene Darstellung)

BPMN erlaubt die Modellierung von Handlungsabfolgen als aktivitätsorientierte Prozessschritte. Tasks definieren eine mögliche Aktion des Agenten. Für jede Task sind Vor- und Nachbedingungen als Menge von festen Eigenschaftswerten definiert. Die Vorbedingung definiert den Zustand des Agenten in dem er sich befinden muss, damit er diese Aktion ausführen kann. Nachbedingungen definieren den Zustand des Agenten nach der Ausführung der Aktion. Mit Hilfe einer Task wechselt der Agent seinen Zustand. Mit jeder Task und somit jedem Zustandswechsel nähert sich der Agent seinem Zielzustand. Ziele werden mit Hilfe von End Events festgelegt. Ein zusammenhängender Teilgraph besteht aus einem Start Event, einem oder mehreren End Events und beliebig vielen Tasks dazwischen. Die Gesamtmenge der Handlungsmöglichkeiten eines Agenten besteht somit aus mehreren BPMN-Diagrammen. BPMN-Modelle sind aktionsorientierte Graphen und bieten somit die Vorteile bei der Modellierung atomarer Handlungspläne. Die Verwendung des BPMN-Standards ist eine Notwendigkeit des SiVe-Projekts. Es dient als Austauschformat zwischen den Konsortialpartnern und soll den Modellierungsaufwand für die Geschäftsprozesse am Flughafen reduzieren.

Ziele werden nicht als Zustände und somit nicht als Nachbedingung einer bestimmten Aktion definiert. Ziele und Pläne sind in Primär- und Sekundärprozesse unterteilt. Primärprozesse sind vollständige mit BPMN modellierte Graphen. Sie geben die Hauptaktionen und –ziele für einen bestimmten Personentyp vor. Nach jeder Aktion kann sich ein Agent entscheiden, einen der möglichen Sekundärprozesse auszuführen oder mit dem Primärprozess fortzufahren. Sekundärprozesse sind in sich geschlossene und mit BPMN modellierte Graphen. Sie definieren alle Nebenhandlungen die ein Agent ausführen kann. Zur Erstellung von BPMN-Modellen stehen webbasierte Editoren, wie der in SiVe verwendete ORYX-Editor[2], zur Verfügung, mit deren Hilfe Prozessmodelle grafisch modelliert werden. Diese Modelle stellen im Rahmen der agentenbasierten Simulation die Handlungsabfolgen aller beteiligten Akteure dar.

[2] Erhältlich als Freeware-Editor unter: http://bpt.hpi.uni-potsdam.de/Oryx/Research

Agententypen oder Agentencluster bestimmen die zur Verfügung stehenden Primär- und Sekundärprozesse. Es gibt zum Beispiel Mitarbeiter am Check-In, Check-In-Automaten, Mitarbeiter an der Sicherheitskontrolle, Shop-Mitarbeiter, Vielflieger, Touristen, ankommende und abreisende Passagiere sowie Terroristen. Jedem Agent wird eine Rolle zugewiesen. Es werden auch technische Systeme als Agenten modelliert. In Abbildung 9 wird beispielhaft der Prozess der Passkontrolle beim Boarding in den Rollen der Passagiere und der Airline-Mitarbeiter dargestellt.

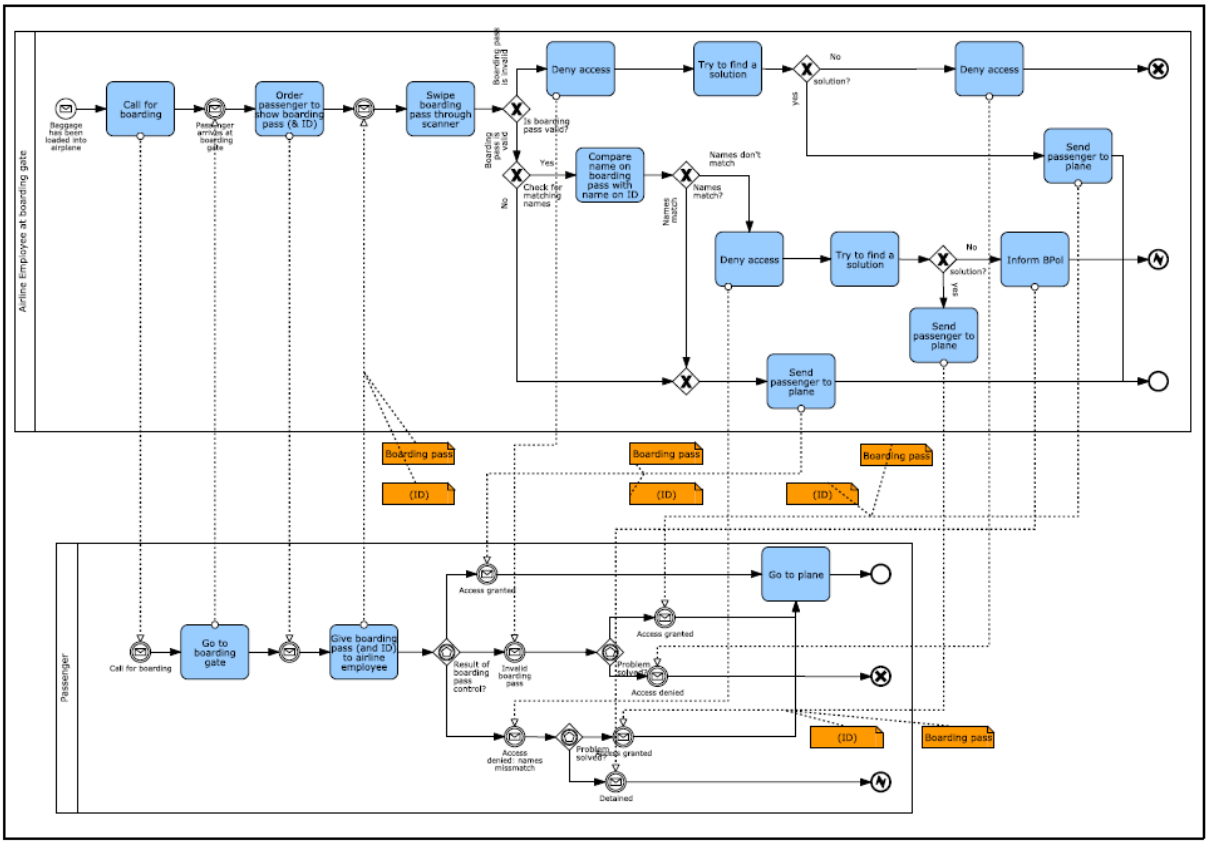


Abbildung 9: Passkontrolle beim Boarding
(Quelle: eigene Darstellung)

Betrachten wir beispielhaft einen abfliegenden Touristen. Als Primärprozesse sind alle wichtigen Zwischenziele am Flughafen bis zum Abflug der Maschine definiert. Das sind: Check-In, Gepäckabgabe, Sicherheitskontrolle, Aufenthalt im Wartebereich sowie das Boarding. Sekundärprozesse sind beispielsweise das Einkaufen oder auf die Toilette gehen. Abhängig vom Ort, der zur Verfügung stehenden Zeit und dem inneren Zustand des Agenten kann er sich zwischen den einzelnen Primärprozessen für beliebige Sekundärprozesse entscheiden. Bedingt durch die operativen Prozesse und Sicherheitsbestimmungen am Flughafen ist die Reihenfolge der Primärprozesse festgeschrieben.

Innerhalb des Konsortiums wurden in Zusammenarbeit mit der EADS Cassidian Modellierungskonvention[3] erarbeitet, die die Qualität und Durchgängigkeit der Prozessmodellierung gewährleisten.

[3] Siehe Anhang 2: Modellierungskonventionen für die Geschäftsprozessmodellierung mittels Business Process Modeling and Notation (BPMN)

1.3.1.5 Agentenbewegung – Soziales Kräfte Modell (SFM)

Das Soziale Kräfte Modell (engl.: Social Force Model) arbeitet auf der Grundlage einer Mikrosimulation und der Annahme, dass sich die Geschwindigkeits- und Wegänderungen mit Hilfe von verallgemeinerten Kräften darstellen lassen. Im Gegensatz zu den bisherigen vorgestellten Modellen ist dieses in der Lage, das gesamte Spektrum des Fußgängerverhaltens abzubilden. [Kir02] Basis für die erfolgreiche Simulation von Bewegungsmustern ist ein fiktiver kontinuierlicher Raum sowie eine kontinuierliche Zeit und eine sich nicht zu stark verändernde Umgebung. Diese Faktoren sind bei einer Fußgängersimulation gegeben, da die Individuen relativ automatische Handlungen durchführen, ohne größere Entscheidungen treffen zu müssen. [HFM+02] Wichtig für die Lenkung der Individuen durch Bewegungsgleichung ist die vektorielle Additivität der einzelnen Krafttherme. Krafttherme können durch Interaktion mit anderen Fußgängern oder durch Umwelteinflüsse hervorgerufen werden. Verhaltensänderungen entstehen demnach durch die Summation der sogenannten sozialen Kräfte, die auf jeden Fußgänger wirken. Den Ursprung dafür legte Kurt Lewin mit seiner Feldtheorie [Lew51]. Aufgrund dessen sind die Bewegungen der Fußgänger zu jedem Zeitpunkt als eine Funktion von verschiedenen Kräften anzusehen [Chr08]. Die mathematische Umsetzung des Modells nach Helbing und Molnar wird in Helbing [HMo95] vorgestellt. Der Modellaufbau sowie die wirkenden Kräfte eines Beispielmodells sind in den nachfolgenden Abbildung 10 bis Abbildung 12 dargestellt.

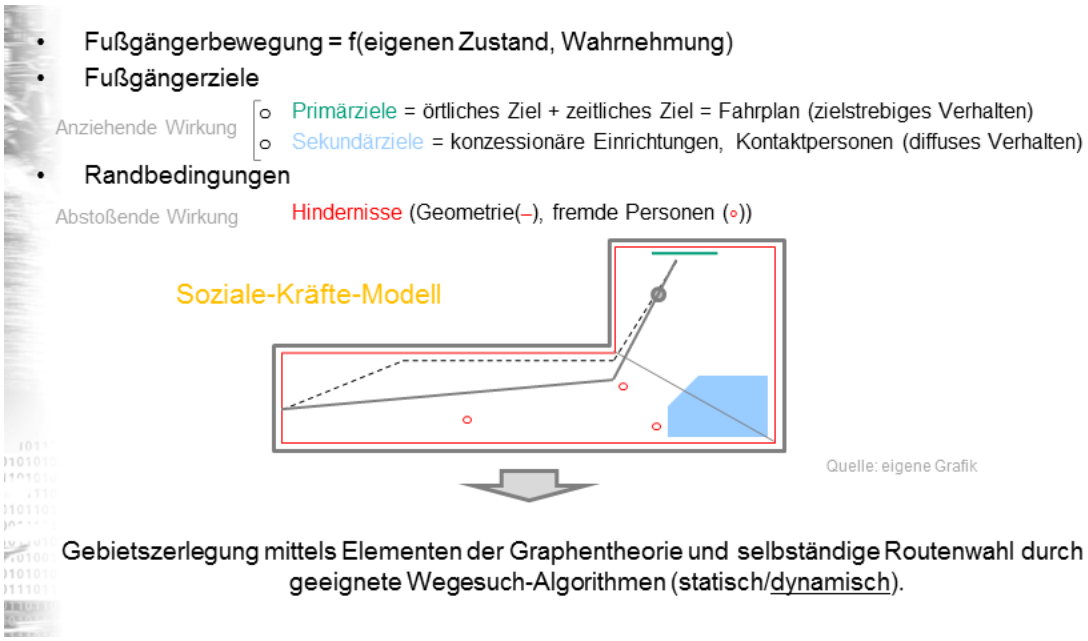


Abbildung 10: Soziales Kräfte Modell – Schematischer Aufbau eines Beispielmodells
(Quelle: eigene Darstellung)

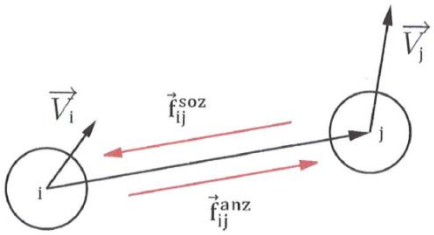


Abbildung 11: An- und Abstoßkräfte eines Fußgängers
(Quelle: [Chro8] S. 19)

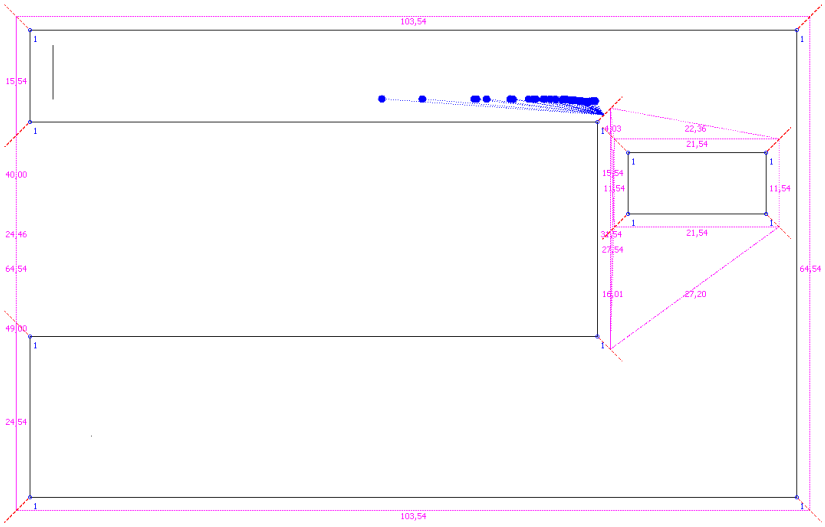


Abbildung 12: Beispiel Soziale Kräfte Modell mit visualisierter Trace and Bounce Funktion
(Quelle: eigene Darstellung)

Vorteile Soziales Kräfte Modell

Durch die einfache mathematische Beschreibung und der breiten Theorie der Differenzialgleichungen wird eine realistische Beschreibung der Fußgängerdynamik ermöglicht. Von der Analogie zu dem Newton´schen zweiten Axiom $\vec{f} = m * \vec{a}$ und dem resultierenden reichen Schatz numerischer Lösungen profitiert jedes dieser Modellarten. Jedoch birgt dieses Modell auch einige Probleme, die beachtet werden müssen.

Nachteile Soziales Kräfte Modell

Trotz der kontinuierlichen Aufbaustruktur dieses Modells müssen Raum und Zeit für eine Computersimulation diskretisiert werden. Um den kontinuierlichen Charakter des Modells zu erhalten, ist es nötig, die Raum- und Zeitschritte sehr klein zu halten, was sich jedoch auf die Komplexität der Berechnungen auswirkt. Weiterhin ist bei der Anzahl der Individuen i darauf zu achten, dass bei einer Anzahl von 0 Objekten eine Berechnung von $0(N^2)$ Wechselwirkungsthermen nötig ist [Kir02]. Darüber hinaus ist an dieser Stelle darauf hinzuweisen, dass weit entfernte Fußgänger keinen Einfluss auf andere Personen haben dürfen. Der Einfluss darf sich ebenfalls nicht durch Wände verbreiten. Durch den Aufbau der Differenzialgleichungen besteht die Möglichkeit einer negativen Bewegung der Personen, was jedoch mit dem Ziel der schnellstmöglichen Zielerreichung im Konflikt steht. Dieses und weitere Phänomene müssen demnach durch allgemeingültige Parameter im System angepasst werden.

Da diese Parameter situationsabhängig sind, müssen sie heuristisch erforscht werden, was dazu führt, dass das Gesamtsystem nicht ohne Aufwand universell einzusetzen ist. [Chr08]

1.3.2 Abbildung Flughafengebäude der gesamten Infrastruktur

Begonnen wurde ausgehend von den Arbeitsergebnissen in AP 1 und AP 2 durch Workshops am Flughafen München mit einer Aufnahme der Prozesse. Neben den üblichen Passagierprozessen wurde das System Flughafen unter verschiedenen Gesichtspunkten erfasst und schematisiert (Abbildung 13).

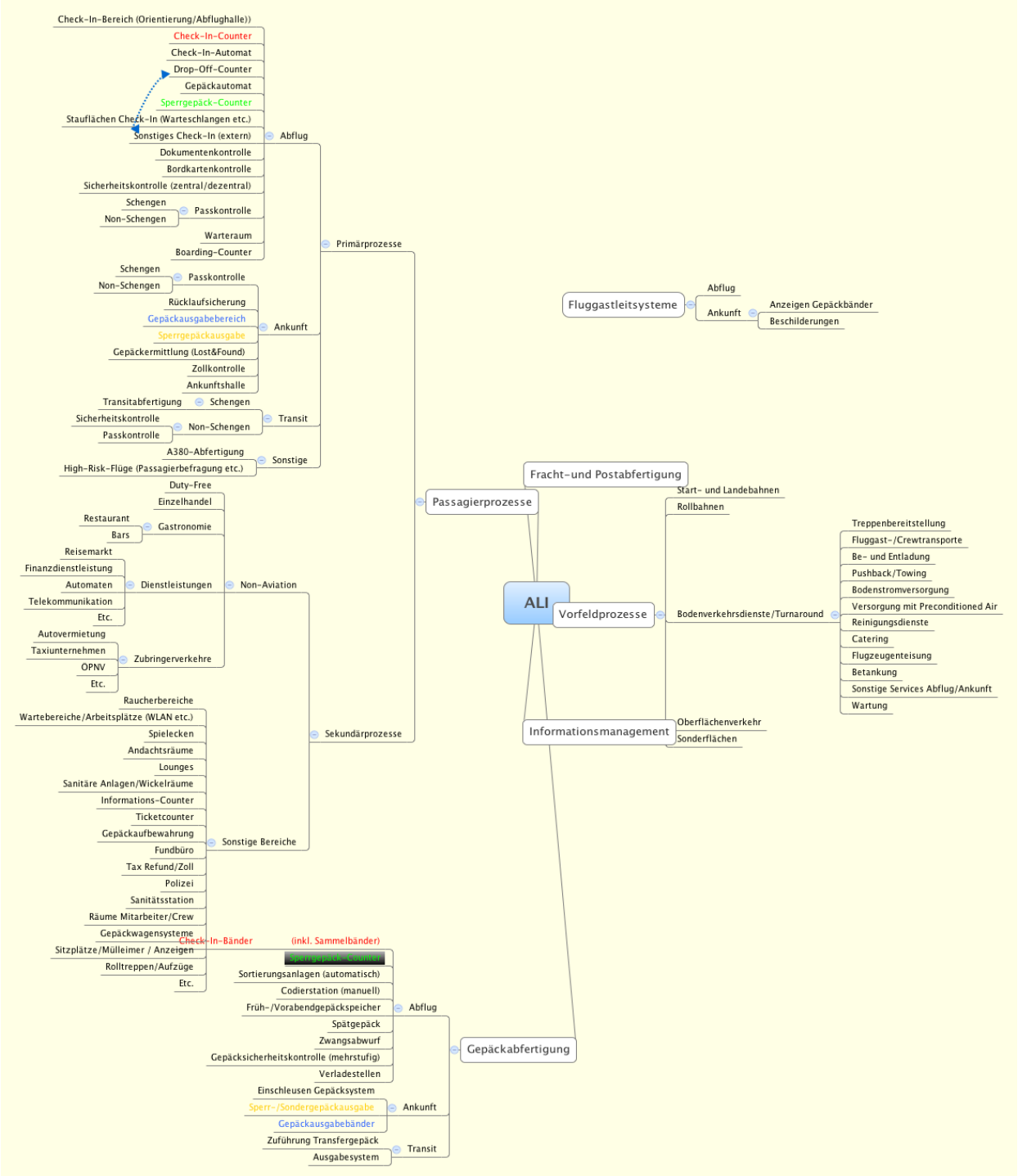


Abbildung 13 Schematische Darstellung der Flughafenbereiche aus Prozesssicht (Auszug)
(Quelle: eigene Darstellung)

Die nachfolgend aufgelisteten Punkte geben die modellierten Bestandteile des Flughafens im Simulationsmodell wieder:

- Flugpläne
- Allgemeine Gebäudeinfrastruktur (Auszug)
- Flughafeninfrastruktur – Flughafensicherheit (SM)
- Flughafeninfrastruktur – Gebäude
    - Allgemeine Gebäudeinfrastruktur (Auszug)
    - Funktionen primärer und sekundärer Einrichtungen/Bestandteile
    - Fahrzeuge
    - Bauliche Anlagen
    - Medien; Energie, …
    - Flucht- und Rettungswege, Personenleitsysteme

- Informations- und Kommunikationsinfrastruktur/-logistik
    - IT
    - Telekommunikation
    - Kommunikation
    - Informations- und Kommunikationssysteme
- Schutzmechanismen, Personal in seiner jeweiligen Funktion,
- Beteiligte, Passagierkonstellation und Verhaltensmuster
- Baggage Handling (Auszug)

Nicht Bestandteile des Simulationsmodells sind:

- Flughafeninfrastruktur – Flugsicherheit und Vorfeld
- Versorgungsinfrastruktur (Energie, Wasser, …)
- Verkehrsanbindung

1.3.3 Integration der Bedrohungsszenarien und Schutzmechanismen aus AP 1 + AP 2

Voraussetzung für die Verarbeitung der Modelle in der Simulationsumgebung[4] sind standardisierte maschinenlesbare Formate, die einen Austausch zwischen Modellierungs- und Simulationsumgebung erlauben. Editoren, wie ORYX stellen unterschiedliche Formate, wie XML und JSON zur Verfügung, die unabhängig von System und Programmiersprache sind. In unserem Anwendungsfall werden die BPMN-Modelle in ein JSON-Format exportiert, das anschließend in die Simulationsumgebung importiert wird.

Zum Einlesen der JSON-Dokumente wurde ein eigener JSON-Parser entwickelt. Er hat die Aufgabe, die in BPMN modellierte Prozesskette in eine Graphenstruktur zu überführen, wobei Fluss-Objekte in BPMN den Knoten und Sequenz- und Nachrichtenflüsse den Kanten eines Graphen entsprechen. Knoten stehen für Handlungen der Agenten, wie Bewegungen, Aktionen und Entscheidungen, die der Agent in Abhängigkeit von persönlichen Eigenschaften und Zuständen und von Ereignissen aus der Umwelt trifft. Aufgrund der Komplexität von BPMN wurden Konventionen definiert, die die Verwendung von BPMN auf die für die Simulation notwendigen Elemente und deren Attribute begrenzt. Darüber hinaus ist in den Konventionen festgehalten, in welchen Attributen der einzelnen BPMN-Elemente notwendige Informationen für die Simulation hinterlegt werden. Während BPMN mehrere Lanes in einem Pool erlaubt, lassen die eigens definierten Konventionen lediglich eine Lane pro Pool zu, damit Graphen innerhalb einer Lane komplett abgeschlossen sind und nicht laneübergreifend sind. Dadurch wird gewährleistet, dass ein Graph innerhalb einer Lane genau einer Agentenklasse zugeordnet werden kann und eine Kommunikation zwischen Agentenklassen stattfinden kann, die nur poolübergreifend, jedoch nicht laneübergreifend erlaubt ist und notwendig für das Agentenverhalten ist. Auf diese Weise wird ein generischer Ausleseprozess der JSON-Dokumente gewährleistet. Weitere Modellierungskonventionen sind im Anhang 1 nachzulesen.

Für jeden Knoten werden relevante Attribute, wie beispielsweise ID und Knotentyp, gespeichert sowie eine Liste seiner Nachfolger und seiner Empfänger beim Versenden von Nachrichten. Während die ID einen Knoten eindeutig identifizierbar macht, gibt der Knotentyp an, um welches BPMN-Element es sich handelt. Aktivitäten, die durch das BPMN-Element Task dargestellt sind, werden nochmals differenziert. Eine Aktivität kann einer Bewegung oder einer Aktion eines Agenten entsprechen oder aber einen Wechsel von einem Graphen in einen anderen Graphen hervorrufen. Gekennzeichnet werden die verschiedenen Typen von Aktivitäten, indem die vorgegebenen Properties des Task-Elements genutzt werden und entsprechende Werte ausgewählt werden. Welcher Wert für eine Bewegung, eine Aktion oder einen Graphenwechsel steht, ist in den Modellierungskonventionen festgelegt und spielt eine wesentliche Rolle bei der Verarbeitung der BPMN-Modelle durch den BPMN-Interpreter. Der Aufbau und die Funktionsweise des Simulationsmodells sind in der Abbildung 14 dargestellt.

[4] Eine Kurzzusammenfassung der Analyse der beiden zur Verfügung stehenden getesteten Simulationsumgebungen AnyLogic und ExtendSim enthält Anhang 3: Vergleichstest und Kurzvorstellung der Simulationsumgebungen AnyLogic und ExtendSim. Im Rahmen des SiVe-Projekt kommt als Simulationsumgebung für die Modellierung und Beschreibung von Personenströmen die Software AnyLogic 6.5 zum Einsatz.

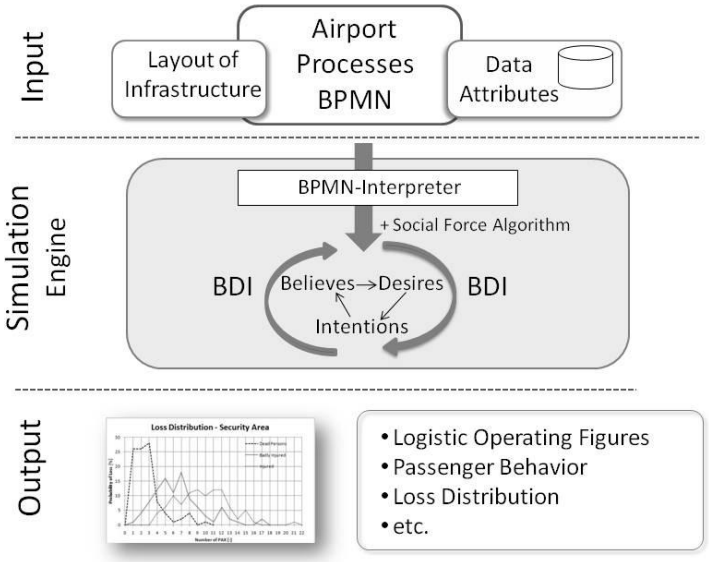


Abbildung 14: Architektur des integrierten Simulationsmodells
(Quelle: eigene Darstellung)

Für den Durchlauf der Graphen und die Verarbeitung der Knoten wurde ein BPMN-Interpreter entwickelt. In Abhängigkeit von den Eigenschaften werden für jeden Knoten entsprechende Funktionen aufgerufen, die das Verhalten der Agenten beeinflussen, indem Aktionen oder Bewegungen ausgeführt werden bzw. Entscheidungen getroffen werden. [WMS10] Für Bewegungen werden entsprechende Eigenschaften des Knoten, die für den Zielpunkt eines Agenten stehen, auf Koordinaten eines kartesischen Koordinatensystems der Simulationsumgebung abgebildet. Aktionen werden abstrahiert durch zeitliche Verzögerungen dargestellt. Entscheidungen werden datenbasiert in Abhängigkeit von Eigenschaften des Agenten bzw. der Umwelt oder ereignisbasiert in Abhängigkeit von eintreffenden Ereignissen oder Nachrichten getroffen. So durchschreitet ein Passagier in der Simulation erst die Torbogensonde, wenn er das Signal in Form eines eintreffenden Ereignisses vom Sicherheitspersonal erhält. Andererseits geht der Passagier nur zum Check-In, wenn er das Attribut „keine Bordkarte“ bzw. „Reisegepäck vorhanden“ besitzt. Zusätzlich enthaltene Metadaten ermöglichen die implizite Erweiterung der Graphen während des Parsens der BPMN-Modelle, um den Modellierungsaufwand zu reduzieren und wiederkehrende Modellierungsmuster automatisch zu generieren. Ein Graph entspricht einem Ablaufmodell einer Agentenklasse, das zur Laufzeit der Simulation durch Aufruf des BPMN-Interpreters abgearbeitet wird. Dieses Verfahren ermöglicht eine automatisierte Prozessausführung der BPMN-Modelle während der Simulation. Es besteht die Möglichkeit, den Durchlauf von Graphen während der Simulation mehrmals zu wiederholen. Darüber hinaus können Graphen hierarchisch verknüpft werden. Modelle auf oberster Ebene besitzen in der Regel einen geringeren Detaillierungsgrad im Vergleich zu Modellen der unteren Ebenen. Auf diese Weise können komplexe Prozessabläufe in übersichtliche Module strukturiert werden, so dass mehrere Modelle in Form von Modulen nacheinander durchlaufen werden oder aber einzelne Prozessschritte eines Graphen durch den Wechsel in einen anderen Graphen detailliert werden.

Die Passagierprozesse am Flughafen werden in zwei Ebenen gegliedert. Die oberste Ebene stellt die Metaebene dar. Sie legt die zeitliche Abfolge der Primär- und Sekundärprozesse fest, indem die einzelnen Prozesse als Task-Elemente miteinander verknüpft werden. Auf diese Weise entsteht eine Modularisierung der einzelnen Primär- und Sekundärprozesse, die auf oberster Ebene als Bausteine beliebig austauschbar sind. So können Änderungen der Regularien bei der Abfertigung von Passagieren ohne großen Aufwand vorgenommen werden, indem einzelne Prozesse in Form von Modulen hinzugefügt, getauscht bzw. entfernt werden können. Die einzelnen Primär- und Sekundärprozesse werden von der Metaebene aus nacheinander durchlaufen. Primärprozesse sind Prozesse, die Passagiere durchlaufen müssen, wie Check-In, Security Check, Boarding etc. Bei Sekundärprozessen handelt es sich um begleitende Prozesse, die Passagiere durchlaufen können, wie beispielsweise Shopping, Imbiss, Warten etc. Diese werden in Abhängigkeit von Zeit, Dauer, eigenen Bedürfnisse etc. vor, zwischen oder nach den Primärprozessen ausgeführt. Jeder Agent beginnt seinen Prozess mit einem Startknoten auf der Metaebene. Mehrere Task-Elemente miteinander verknüpft bilden auf der Metaebene eine Referenz zu den einzelnen Prozessmodulen. Beim Durchlaufen einer Task wird automatisch in das referenzierte Modul gewechselt. Dieses Modul entspricht einem Primär- oder Sekundärprozess, ist im Detail mit Bewegungen, Aktionen und Entscheidungen modelliert und wird vom Start- bis zum Endknoten komplett durchlaufen. Anschließend kehrt der Agent zur Metaebene zurück, um in das nächste Prozessmodul eine Ebene tiefer zu wechseln.

Ein Prozessmodul setzt sich aus folgenden Bestandteilen zusammen (Abbildung 15; siehe auch Anlage 1):

- Pool
- Lane/Rolle
- Prozesskette bestehend aus Knoten (Start- und Endknoten, Task, Entscheidungsknoten, Ereignissen) und Kanten (Sequenz- und Nachrichtenflüsse)

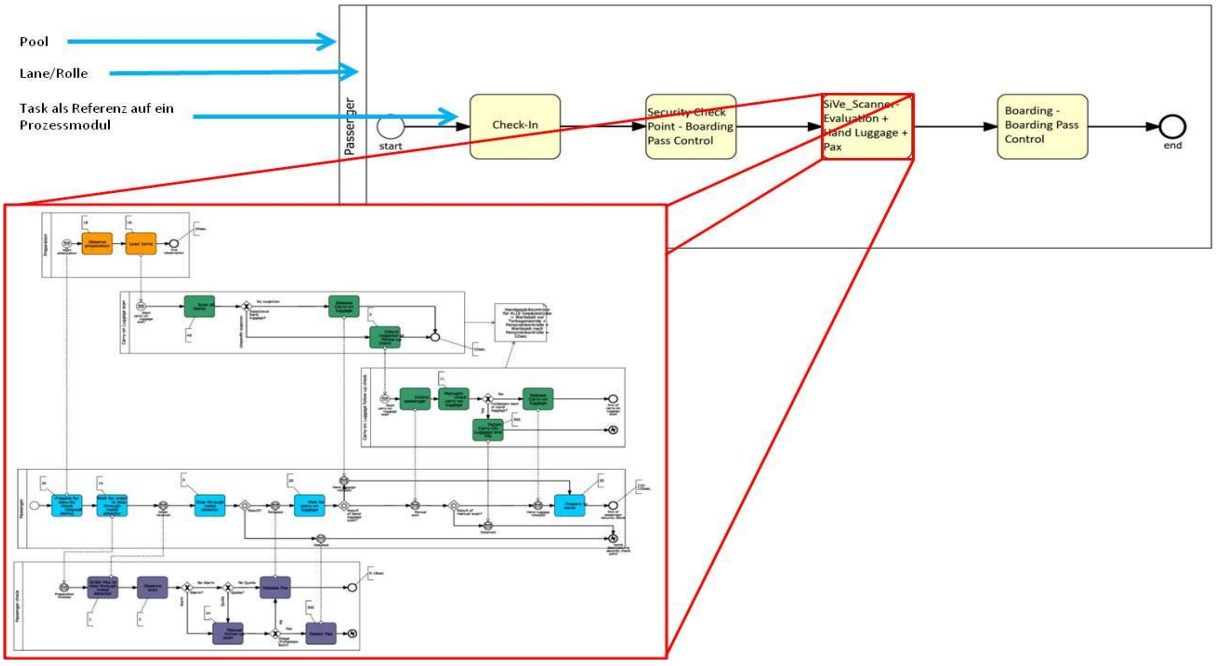


Abbildung 15 Metaebene mit referenzierten Prozessmodulen
(Quelle: eigene Darstellung)

Ein Prozessmodul kann ein oder mehrere Pools mit jeweils einer Lane und einer Prozesskette enthalten. Jede Lane steht für eine Rolle. Eine Rolle stellt im Simulationsmodell eine Agentenklasse dar, wobei es sich sowohl um menschliche Akteure, wie Passagiere oder Flughafenpersonal als auch um technische Akteure, wie Check-In Automaten, Scanner, handeln kann. Zwischen den Akteuren, sowohl menschlich als auch technisch, findet eine Interaktion zum Austausch von Informationen statt, wie beispielsweise zwischen einem Passagier und dem Airline-Buchungssystem am Check-In Automaten oder zwischen einem Passagier und einem Flughafenmitarbeiter am Check-In Schalter. Weitere technische Akteure, die vor allem im Rahmen der Flughafensicherheit eine tragende Rolle spielen, stellen Schutzmechanismen wie Torbogensonde und Handgepäckscanner dar. Bedrohungen sind das Einbringen von illegalen Gegenständen, wie beispielsweise Messer oder Flüssigsprengstoff, die versteckt am Körper des Passagiers durch die Torbogensonde oder im Handgepäck durch den Handgepäckscanner entdeckt werden sollen. Daten für die Detektionsrate werden entsprechend den Konventionen in den dafür vorgesehenen Properties der einzelnen BPMN-Elemente hinterlegt, so dass sie während der Simulation zur Berechnung der Detektionswahrscheinlichkeit zur Verfügung stehen.

BDI-Interpreter

Grundlage für die Implementierung einer agentenbasierten Simulation bildet der abstrakte BDI-Interpreter von Rao und Georgeff [RGe95], der in das Simulationsmodell integriert wird. Der BDI-Interpreter setzt sich aus Datenstrukturen für die Beliefs, Desires und Intentions des Agenten sowie einer Kollektion von internen und externen Ereignissen zusammen. Diese Kollektion wird in Form einer Liste zyklisch durchlaufen und auf eintreffende Ereignisse überprüft. Für das erste Ereignis der Liste wird eine weitere Liste mit möglichen Aktionen als Reaktion auf dieses Ereignis erstellt. Anschließend findet eine Auswahl von Aktionen aus dieser Liste statt, die den Intentions hinzugefügt und in Form von atomaren Aktionen ausgeführt werden. Desires repräsentieren die Hauptziele eines Agenten in der BDI-Architektur. Das Hauptziel eines Agenten, der einen Passagier am Flughafen darstellt, ist beispielsweise der Abflug. Vom Betreten des Flughafens bis zum Abflug wird eine Reihe von Aktionen ausgeführt, die den Intentions des Passagiers entsprechen. Anschließend erfolgt die Aktualisierung der Desires und Intentions, indem überprüft wird, welche Ziele erreicht wurden und welche nicht mehr erreichbar sind. Während des gesamten Zyklus findet eine permanente Überwachung eintreffender Ereignisse statt, die in die Liste aufgenommen werden [BCK]. Hierzu werden die Prozessketten, bestehend aus Entscheidungsknoten, Aktionen und eintreffenden Ereignissen, der einzelnen Prozessmodule zur Laufzeit der Simulation durchlaufen und abgearbeitet, um die gewünschten Ziele zu erreichen. Für den Durchlauf der Prozessmodule und die Verarbeitung der Knoten wird der BPMN-Interpreter im Zuge des BDI-Interpreters aufgerufen.

Zur Visualisierung des Agentenverhaltens kommt die in der Simulationsumgebung AnyLogic zur Verfügung stehende Pedestrian Library zum Einsatz. Die Pedestrian Library ist eine Bibliothek, die vorgefertigte Bausteine für Fußgängerbewegungen bereithält und die Schnittstelle zwischen BDI-Interpreter und Visualisierung darstellt. Verwendet werden Bausteine für Bewegungen, Wartezustände und Wartenschlangenprozesse (Abbildung 16). Diese Bausteine werden miteinander verknüpft und im Rahmen des BDI-Interpreters immer wieder durchlaufen. Die Parameter der Bausteine werden dynamisch zur Laufzeit an die Ziele und Absichten des Agenten

und an Änderungen der Umwelt angepasst. Die Bausteine sind an geometrische Objekte gekoppelt, deren Werte durch den BDI-Interpreter ermittelt werden, indem er den BPMN-Interpreter aufruft. Für Bewegungen benötigt die Pedestrian Library beispielsweise physische Koordinaten als Zielpunkte, die mittels BPMN-Interpreter beim Graphendurchlauf dem aktuellen Knoten entnommen werden und mittels Mapping auf geometrische Daten abgebildet werden.

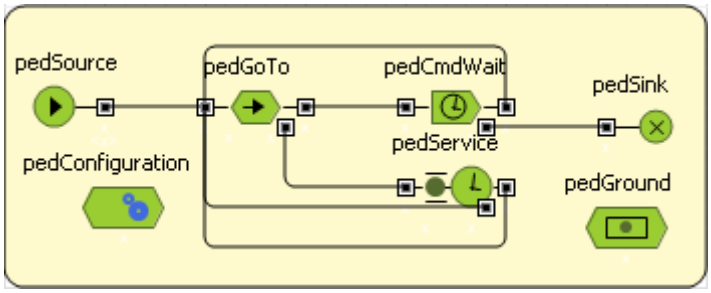


Abbildung 16: Erstelltes Bewegungsmodell der Fußgänger mittels Pedestrian Libary
(Quelle: eigene Darstellung)

1.3.4 Definition und Parameter-Spezifizierung

Da sich Menschen und Umgebungen von Situation zu Situation voneinander unterscheiden, muss dies im Simulationsmodell berücksichtigt werden. Grundlegend für jede erfolgreiche Simulationsstudie ist, dass ein Teil der Realität in einem Maße abgebildet wird, um eine genaue Berechnung der Fußgängerbewegung zu ermöglichen. Bei der Modellierung von Menschen und deren Umwelt ist auf Aspekte zu achten, die sich durch verschiedenste Interaktionen von Menschen und deren Umgebung ergeben und über bestimmte Parameter beeinflusst werden. Im AP4 erfolgt die Definition und Spezifizierung simulationsrelevanter Parameter sowie derer, die als Input bzw. Output für ein nach- bzw. vorgeschaltetes Modell verwendet werden.

Eine allgemeine Übersicht über die externen und individuellen entscheidungsrelevanten Faktoren liefert die Abbildung 17.

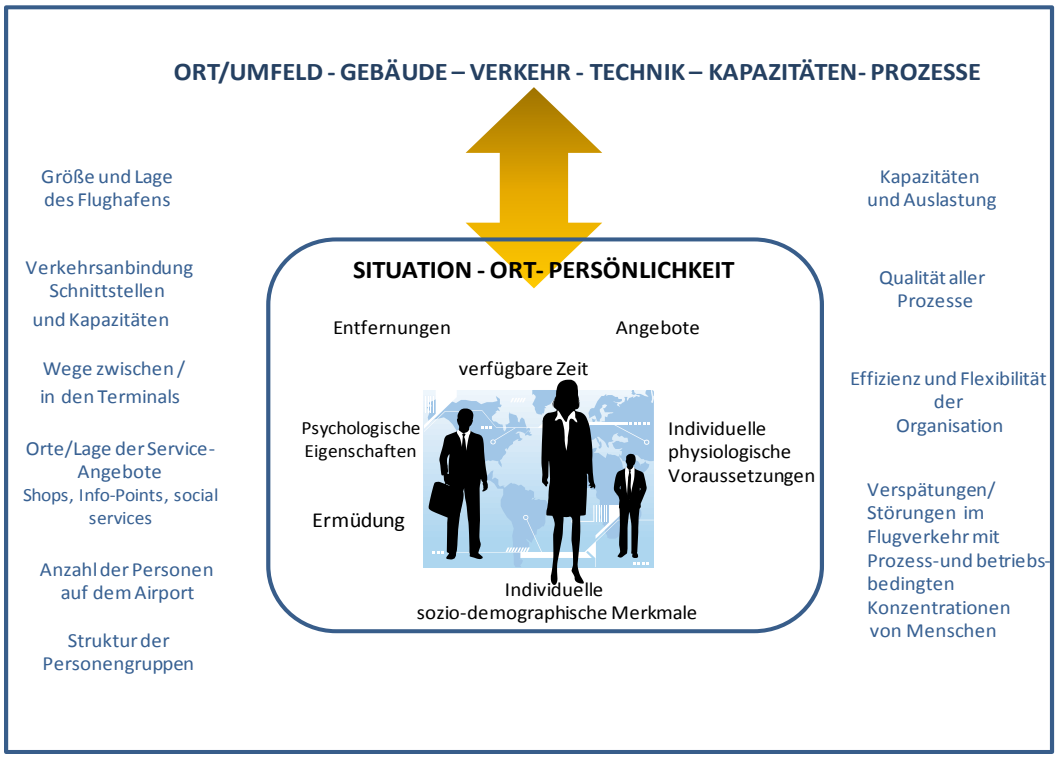


Abbildung 17: Simulationsrelevante Faktoren zur Attributierung des Graphenmodells
(Quelle: eigene Darstellung)

Aufgrund des hybriden SiVe-Modellansatzes mit seiner einhergehenden Komplexität erfolgt zum besseren Verständnis eine systematische Dreiteilung des gesamten Simulationsmodells für die Logistik nach folgendem Prinzip:

- Parameter Soziales Kräfte Modell,
- Parameter Agentenmodell und
- Parameter Risikoanalyse.

Die Abbildung 18 gibt einen grafischen Auszug über die Aufteilung der Parameter entsprechend ihrer Verwendung im Simulationsmodell. Daten, wie Gehgeschwindigkeiten und bauliche Gegebenheiten, sind notwendige Parameter für das soziale Kräftemodell. Die Umfragedaten, Agentenprofile und Prozessmodelle gehen in das Agentenmodell und in die Risikoanalyse ein.

Die Kombination aus Agentenmodell, welche Entscheidungen der Agent trifft und welche physischen Ziele er verfolgt, und sozialem Kräftemodell, der Berechnung zum Erreichen physischer Ziele, ergeben die Visualisierung der Personenströme. Die Ermittlung der Verteilungen an den Entscheidungsknoten und die Schadensverteilung sind ein Resultat der Entscheidungen basierend auf dem Agentenmodell und relevanter Betrachtungsaspekte für die Risikoanalyse.

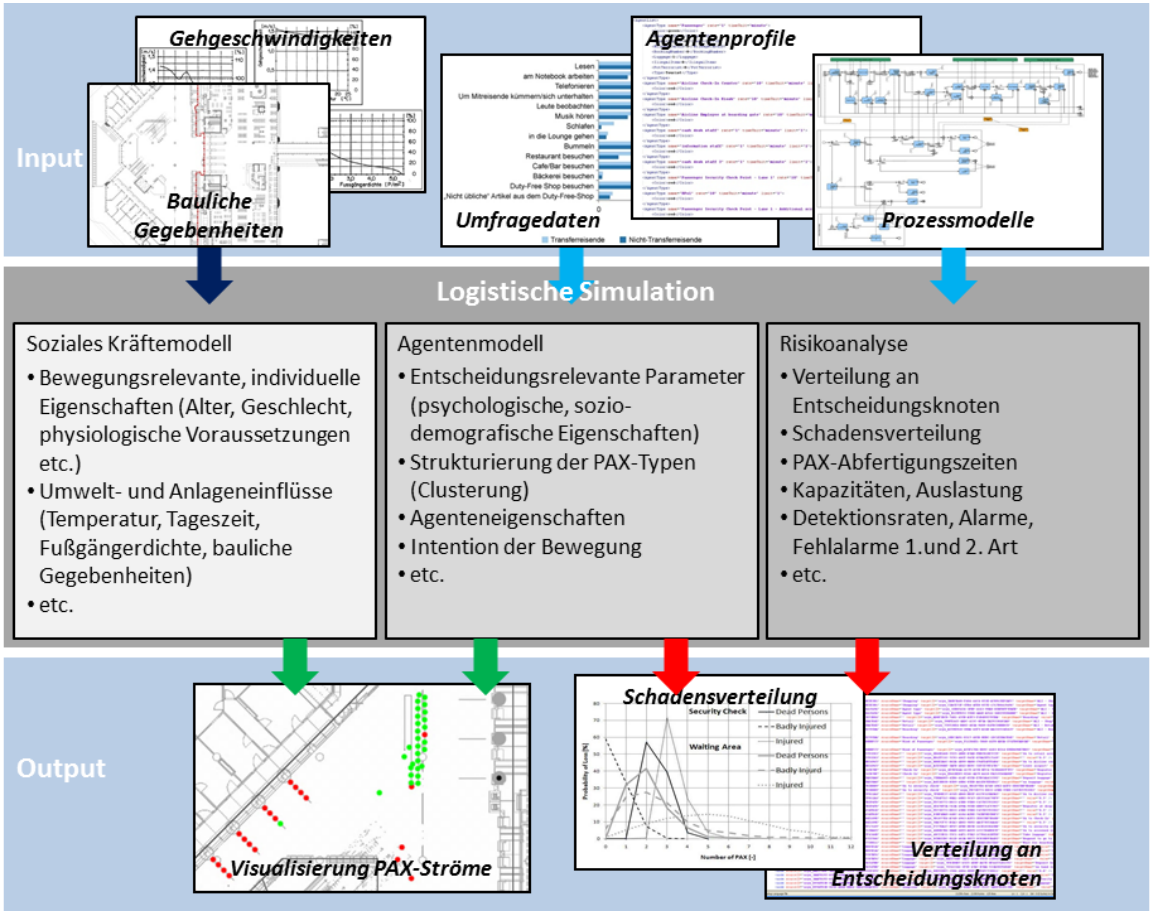


Abbildung 18: Parameter im logistischen Simulationsmodell
(Quelle: eigene Darstellung)

1.3.4.1 Parameter Soziales Kräfte Modell

Für die Berechnung der Bewegung mittels des Social Force-Algorithmus können drei Hauptaspekte voneinander abgegrenzt werden. Das sind zum einen die Unterschiede zwischen den Personen (z.B. Geschlecht, Alter etc.) selbst und deren Bewegungszweck (z.B. Tourist, Einkaufsverkehr etc.) und zum anderen deren Verhältnis zu unterschiedlichen Umwelt- und Anlageneinflüsse. Als Umwelteinflüsse gelten beispielsweise unterschiedliche Gehgeschwindigkeiten von Fußgängern in Abhängigkeit von der Tageszeit, der Umgebungstemperatur oder der Fußgängerdichte (Abbildung 19). Hierzu gibt es ausreichend validiertes Datenmaterial, welches vorrangig durch die Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (Schweiz) erarbeitet und in einschlägiger Fachliteratur publiziert wurde.

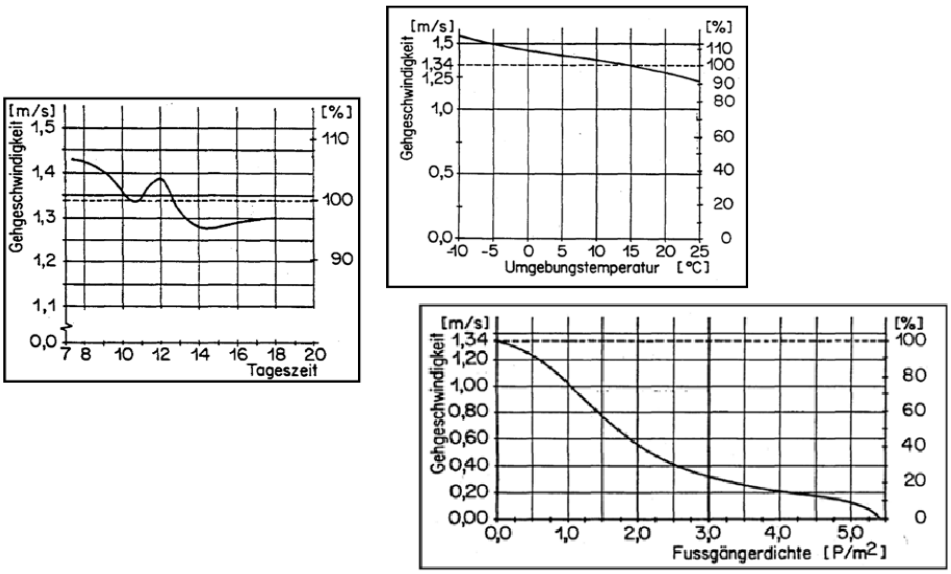


Abbildung 19: Gehgeschwindigkeiten in Abhängigkeit von Umwelteinflüssen
(Quelle: Weidmann, 1993, S. 48ff)

Der Abschnitt der Anlageneinflüsse befasst sich mit den örtlichen Gegebenheiten der zu simulierenden Infrastruktur. Hier werden Beschränkungen der Fußgängergeschwindigkeiten beschrieben und der Einfluss von baulichen Objekten und Anlagen auf die Fußgängerdichte der Bewegungsströme. Bei der Festlegung der einzelnen Geschwindigkeiten der Personen oder des Personenstroms ist zu unterscheiden, ob es sich um eine ebene Fläche handelt oder um eine Rampe bzw. eine Treppe. Der Literatur [Wei93] nach kann auf die folgende Tabelle 2 für die Berechnung der Geschwindigkeit in horizontaler Richtung verwiesen werden.

Neigung	Aufwärts	Abwärts
0%	1,34 m/s	1,34 m/s
5%	1,29 m/s	1,38 m/s
10%	1,19 m/s	1,40 m/s
15%	1,07 m/s	1,40 m/s
Treppe	0,61 m/s	0,69 m/s

Tabelle 2: Horizontale Geschwindigkeit auf Rampen und Treppen
(Quelle: [Wei93] S. 51)

Des Weiteren müssen bauliche Objekte in einer Simulation korrekt modelliert werden, da sie auf Menschen einen Einfluss nehmen, der zu einer Beschränkung des Bewegungsraumes führt. Da sich somit der Bewegungsraum der Menschen einschränkt, vergrößert sich die Personendichte und diese wiederum vermindert die Bewegungsgeschwindigkeit. Eine Hauswand ist demnach mit einem Personenabstand von 25 – 45 cm zu modellieren, ein Hindernis hingegen mit 30 – 43 cm. Unter Einhaltung und Modellierung aller wirkenden Einschränkungen der Bewegungsgeschwindigkeit für Personen durch Gebäudeteile ist eine validierte Simulation von einzelnen Individuen in Menschenströmen möglich.

1.3.4.2 Parameter Agentenmodell

Für die Anwendungen der Graphen ist es nötig, neben der reinen Graphenstruktur noch zusätzliche Daten an Knoten oder Kanten zu verwalten. Sollen Knoten oder Kanten mit Daten versehen werden, spricht man von einer Attributierung des Graphen. Häufig reicht zur Abbildung eines Realitätsausschnitts auf einen Graphen die Unterscheidung von Knoten- oder

Kantenarten mittels Typisierung nicht aus. Vielmehr sind für einige (oder alle) Knoten und Kanten zusätzliche Information zu speichern. Die Art der Information hängt dabei in der Regel vom Typ des Knotens oder der Kante ab. Somit ist es beispielsweise notwendig, für die Versorgungseinrichtungen des Flughafens die Namen der Ressourcen mit den jeweiligen Kapazitäten zu speichern. Die Bedatung und Attributierung der Agenten ergibt sich aus einem breiten Datenspektrum. Dabei kommt teilweise Datenmaterial des Flughafens München zum Einsatz, auf welches aus Verschwiegenheitsgründen an dieser Stelle nicht näher eingegangen werden kann. Bei diesem Datenmaterial handelt es sich beispielsweise um intern ermittelte Bearbeitungszeiten entlang der Abfertigungskette von Passagieren bzw. deren Gepäckstücke oder statistisch erhobene Kennzahlen an der Sicherheitskontrolle. Im Rahmen des Projektes erfolgte eine Analyse der Besucherzusammensetzung im Flughafen. Zur besseren Spezifizierung der Passagiervielfalt wurden die Reisenden in vier Agentencluster aufgeteilt: Business-Reisender; Ferien-Reisender, „Normal"-Reisender und Täter. Das Zahlenmaterial zur Attributierung der Passagieragenten betrifft die u.a. nachfolgend aufgeführten Faktoren, die flughafenrelevant bzw. für die Logistikprozesse von wesentlicher Bedeutung sind und dabei Einfluss auf die Bewegungsgeschwindigkeit (siehe Abbildung 20) und Bewegungsrichtung der Passagiere haben.

- Faktor Gepäck (Anzahl der Gepäckstücke, Handgepäck)
- Ergebnisse aus Messungen an Sicherheitskontrollen für Passagiere und Handgepäck (z.B. Faktor der unerlaubten und verbotenen Gegenstände wie Übermengen an Flüssigkeiten, Feuerzeuge etc.)
- Eincheck-Verhalten (Check-in Schalter, Self-Service Check-In, Online-Check-In)
- Tagesganglinie des Besucheraufkommens (Passagierdichte) am Flughafen in den einzelnen Clustern
- Verweilverhalten der Passagiere zwischen den Abfertigungsprozessen
- Anreiseverhalten (Verkehrsmittel, Pufferzeiten etc.)

Einen wesentlichen Beitrag zur Attributierung der Passagieragenten liefert die im Auftrag des Fraunhofer ALI durchgeführte Umfrage[5] am Flughafen München. Diese lieferte einen Großteil agentenrelevanter Parameter.

[5] Siehe Anhang 4: Umfrageergebnisse der Passagierbefragung am Flughafen MUC

		Agentenattribut		Einflussfaktor	Kommentar	Einheit	Wert
Laufgeschwindigkeit/ Platzbedarf	Attributierter Input	Eigenschaften des Fussgängers	Geschlecht	Gehgeschwindigkeit		a	Angaben
			Alter	Gehgeschwindigkeit u. Platzbedarf		m/s	
			Grösse	Gehgeschwindigkeit		-	n/V
			Interessenvetretung	Gehgeschwindigkeit	PAX, Security, Besucher, Beschäftigter		
	Attributierter Input	Begleitumstände der Bewegung	Tageszeit	Gehgeschwindigkeit u. Platzbedarf	Hypothese zum Geschwindigkeitsverlauf im Tagesgang Tageszeit und Temp. => Kleidung	m/s	
			Temperatur	Gehgeschwindigkeit u. Platzbedarf	Witterung/Klima Tageszeit und Temp. => Kleidung	m/s	
			Gepäck - Leer - Klein - Mittel - Kind - Kinderwagen - Stock - Hund	Gehgeschwindigkeit u. Platzbedarf	Laufgeschwindigkeiten in Abhängigkeit der Gepäckbeförderg. Fussgängerbreiten in Abhängigkeit der Gepäckbeförderung	cm	
	Anpassung mittels Echtzeit-werten aus AnyLogic	Charakteristiken der Anlage	Länge des Weges	Gehgeschwindigkeit	gilt nur für Treppen	Steps per s m/s	
			Gehwegneigung	Gehgeschwindigkeit			
			Fußgängerdichte ...	Gehgeschwindigkeit	... in der Ebene	m/s	
					... auf Treppen	m/s	

Abbildung 20: Agentenattribute und deren Einflussgrößen (Auszug)
(Quelle: eigene Darstellung)

1.3.4.3 Parameter Risikoanalyse

Die Logistische Simulation ist ein Bestandteil der Risikoanalyse. Sie liefert unter Einbindung zusätzlicher Simulationsmethoden entsprechende Schadensverteilungen bestimmter Schadenskategorien. Den unterschiedlichen Agentenclustern lassen sich über eine Vielzahl von Attributen heterogene Eigenschaften aufzwingen, deren unterschiedliche Ausprägungen das Verhalten charakterisiert. Die Attributierung sowie die Modellierung des Personenverhaltens und damit die Charakterisierung der Agentencluster basiert größtenteils auf die in Abschnitt 2.3.4. und Abschnitt 2.3.4.2 beschriebenen Parameter.

Das Ergebnis der logistischen Simulation sind detaillierte sowie quantitative Erkenntnisse von hoher Qualität über das Verhalten von Personen im System Flughafen, wie zum Beispiel die Identifizierung wiederkehrender Verhaltensmuster, Aufenthaltsdauern etc. Somit sind aussagekräftige Bewertungen etwaiger leistungs- und/oder sicherheitssteigernder Optimierungsmaßnahmen unter Kosten-Nutzen-Aspekten realisierbar. Entsprechend dem Gesamtergebnis der logistischen Simulation ergeben sich zusammengefasst vorgelagerte, logistikrelevante Parameter (Auszug):

- Kapazitätsangaben der Ressourcen
- Passagierkennzahlen
- Technische Parameter der Schutzmechanismen, (Detektionswahrscheinlich-keiten, Fehlalarme, falsche Fehler etc.)
- Prozess-, Abfertigungs-, Betriebszeiten
- Flugpläne

Bei den Output-Parametern zur Quantifizierung der Risikoanalyse handelt es sich im Wesentlichen um zwei Parametersätze.

Der Parametersatz eins beinhaltet die simulationsgestützte Ermittlung von Schadensverteilungen entsprechend eines szenariospezifischen Schadensereignisses. Im Rahmen der Szenarienerstellung wird die zu bewertende Schadenskategorie festgelegt. Dabei kann es sich beispielsweise um die Schadenskategorie verletzte/tote Menschen infolge eines Sprengstoffattentats handeln. Zur abstrahierten Ermittlung der Schadensverteilung sind durch terroristische Anschläge infolge von Sprengmittel zusätzliche, validierte Ansätze in das Modell der Logistiksimulation implementiert worden. Weitere Informationen dazu sind im Abschnitt 2.5 des vorliegenden Berichts aufgeführt.

Bei dem zweiten Parametersatz handelt es sich um die Ermittlung der Agentenentscheidung an den jeweiligen Entscheidungsknoten innerhalb der Prozesskette. Das heißt konkret, dass alle abflugrelevanten Entscheidungen, die eine repräsentative Passagieranzahl während des Flughafenaufenthaltes trifft, berechnet und aufgezeichnet werden. Auf diese Art und Weise wird simulationsgestützt ermittelt, wie oft eine bestimmte Anzahl an Passagieren an einer bestimmten Stelle im Flughafenprozess welche Entscheidung trifft.

Die ermittelten Verteilungen der Schäden sowie der Passagierentscheidungen in der Prozesslandschaft sind Ausgangspunkt der nachgelagerten stochastischen Simulation zur weiteren Risikoanalyse.

Außerdem soll an dieser Stelle angemerkt werden, dass für die Risikobewertung ein Großteil der erforderlichen sensiblen Daten im Rahmen des Projektes nicht beschafft werden konnte. Die Gründe für das Fehlen der Daten liegen nicht an den fehlenden Kompetenzen der kontaktierten Ansprechpartner. Die Gründe sind überwiegend in der auferlegten Branchen-Verschwiegenheit zu finden. Diesem Umstand geschuldet wurden bei fehlenden Informationen und Daten entsprechende Annahmen getroffen.

1.3.5 Validierung der Modellansätze

Die Validierung komplexer Fußgängersimulationswerkzeuge stellt sich insgesamt als eine schwierige Aufgabe heraus. Generelle Probleme, die bei Multiagentensystemen auftreten, lassen sich in drei grobe Teilbereiche einteilen [Klü06]:

- Schwierigkeiten bei der Verbindung der Mikro- mit der Makroebene
- Detaillierungsgrad auf der Mikroebene
- Komplexität der Simulation

Bei der Mikroebene handelt es sich um das simultane Verhalten des Agenten, unabhängig von anderen Personen und Umwelteigenschaften. Jedoch muss bei einer Multiagentensimulation auch die Makroebene, also die realistische Darstellung des Agenten in einer Gruppe, passend zur Realität dargestellt werden. Dabei ist zu beachten, dass bei Phänomenen der Gruppendynamik nicht auf der Makroebene im Top-Down-Verfahren modelliert wird, sondern ein Bottom-Up-Vorgehen notwendig ist. Die Bewegungsmuster sollten demnach von alleine entstehen und nicht extra eingefügt werden müssen. Im Einzelnen ist der Erfolg von der Kreativität des Programmierers abhängig und die Phänomene auf der Makroebene sollten durch die erfolgreiche Modellierung der Agenten auf der Mikroebene erkennbar sein. Der Detaillierungsgrad ist zwar ein wichtiges Argument für die Wahl eines Multiagentensystems, jedoch ist er auch eine wichtige Stellgröße für ein solches Modell. Ein optimales Verhältnis zwischen eingebrachten Details und Komplexitätsminimierung garantiert eine gute Verständlichkeit und Analysierbarkeit. Ein effizienter Detailierungsgrad gewährleistet auch eine praktische Simulierbarkeit des Gesamtsystems, da der Rechenaufwand nicht zu hoch wird. Dieser Aspekt spielt auch für die Simulationsfähigkeit eine entscheidende Rolle. Da jeder Agent aktualisiert und im Speicher gehalten werden muss, ist eine Berechnung der Bewegungen bei höheren Detaillierungsgraden aufwendiger, weil mehr Daten gepflegt werden müssen. Aufgrund dessen hat sich die Multiagentensimulation erst durch die wachsende Leistungsfähigkeit der Rechner in den letzten Jahren in Hinblick auf die Fußgängersimulation verbreitet.

Nach Chraibi [Chr08] kann nach zwei Gütekriterien der qualitativen und quantitativen Beschreibung der Realität unterschieden werden. Phänomene wie Bildung von Trampelpfaden oder Oszillationen an Engstellen sollten sich, ohne weiteres Einfügen von Parameter, von selbst einstellen. Wenn diese unüblichen Personenbewegungen von einem Modell autonom rekonstruiert werden, ist von einer qualitativ guten Beschreibung der Realität auszugehen. Dies allein ist jedoch nicht ausreichend für ein zweckerfüllendes Modell. Für eine universelle Anwendung des Modells ist es von Vorteil, wenn Parameter einfach auf verschiedene Umwelten angepasst werden können. Dass dies für eine gute Beschreibung der Bewegungsgeschwindigkeit wichtig ist, wurde im Abschnitt 2.3.4.1 schon näher thematisiert. Ein weiteres Kriterium ist die Glätte der Bewegungssimulation, da Personen ihre Richtung nicht abrupt oder in großen Winkeln ändern. Eine flüssige Darstellung der Bewegungen hat bei der Visualisierung des Modells einen entscheidenden Einfluss für die Auswahlentscheidung. Auch die Fähigkeit, Personenbewegungen in Paniksituationen zu rekonstruieren, ist ein wesentliches Gütekriterium, das beachtet werden muss und im nachfolgenden Abschnitt „Modellvalidierung in Krisenfallsituationen“ betrachtet wurde.

Im Grundsatz erfolgte die detaillierte Validierung des entwickelten Modellansatzes über zwei unterschiedliche Verfahren. Das erste Verfahren ist ein Vergleich simulationsgestützter Kennzahlen mit bereits vorliegendem Datenmaterial des Flughafens. Dabei erfolgte die simulationsgestützte Ermittlung klassischer Logistikkennzahlen und statistischer Querschnittswerte im Modell entlang der gesamten Passagier-Abfertigungskette.

Vorab wurden mittels eines zweiten Verfahrens einfache, validierte Referenzszenarien betrachtet und mit den in der Literatur veröffentlichten Ergebnissen verglichen. Verglichen wurden dabei vorrangig die Leistungsfähigkeiten der entsprechenden Modelle mit empirisch validierten Referenzszenarien. Die Referenzszenarien sind dabei sowohl mikroskopischer als auch makroskopischer Natur. Die Durchführung der Simulationsstudien erfolgte dabei sowohl für gewöhnliche Fußgängerszenarien als auch für Situationen im Krisenfall.

Die gewöhnlichen Fußgängerszenarien zur Validierung des logistischen Simulationsmodells waren:

- Staubildungen an Engstellen (Einbahnverkehr)
- Staubildungen an Engstellen mit gegenläufigem Fußgängerverkehr
- Oszillierende Fußgängerströme
- Pfadbildung
- Selbstorganisationseffekte an Begegnungsstellen (z.B. Türen)

Modellvalidierung in Krisenfallsituationen

Nur selten kommt es zu gefährlichen Situationen in Flughäfen. Aber gerade diese Fälle sind für eine Fußgängersimulation von größter Bedeutung. Durch Präventivmaßnahmen können Katastrophen im Vorfeld verhindert und die Gesundheit der Menschen geschützt werden. Die größte Gefahr an solchen Situationen ist das panische Verhalten der Personen selbst. Der Umschwung von rationalen zu irrationalen Verhalten wird nur durch einen Parameter der Nervosität hervorgerufen. Dabei zeigen sich Verhaltensänderungen wie veränderte Fluktuationsstärke, höhere Wunschgeschwindigkeit oder verstärkter Herdentrieb. Durch dieses teils irrationale Verhalten treten in der Realität Phänomene wie „Freezing by Heating“ oder der „Schneller-ist-langsamer-Effekt“ auf. Eine besonders auffällige Erscheinung ist die Nichtbeachtung von verfügbaren Ausgängen durch den sogenannten „Tunnelblick“. Panikverhalten wird oft durch das Schwinden von Ressourcen begründet, die überlebensnotwendig oder zumindest sehr begehrt bzw. knapp sind [Min51]. Bei Fußgängern kann es sich dabei beispielsweise um einen Stehplatz oder freie Bewegungsmöglichkeit handeln.

Eine Massenpanik kann dabei als das tragischste aller kollektiven Verhalten angesehen werden. Auch hier streben die einzelnen Personen nach der knappen Ressource Platz, was bis zu einem Zertrampeln oder Zerquetschen von Menschen führen kann. Trotz des Mangels an systematischen Studien des Panikverhaltens können folgende Merkmale nach Helbing et al. [HFM+02a] als typisch erachtet werden:

1. Die Menschen werden unruhig und nervös
2. Die Bewegungsgeschwindigkeit erhöht sich
3. Es kommt zu einem Gedränge und die Menschen berühren einander

4. Die Fortbewegung wird immer unkoordinierter
5. Es kann zu Stau- und Pfropfenbildung an Engpässen kommen
6. Menschendrücke können sich bis zu 4500N/m aufbauen
7. Gestürzte und verletze Personen verlangsamen die Flucht
8. Es tritt verstärkter Herdentrieb auf
9. Alternative Ausgänge werden nicht erkannt

Dass sich diese Merkmale auch auf normale Modelle der Fußgängersimulation übertragen lassen, hat Helbing et al. [HFM+02] mit dem im SiVe-Projekt zum Einsatz kommenden social force model bereits gezeigt. Zu diesem Modell, das im Abschnitt 1.3.1.5 schon genauer beschrieben wurde, ergänzte er einige Details, um es auf panische Menschen anwenden zu können. Dazu zählen physische Interaktionskräfte, die entstehen, wenn der Abstand zwischen den Fußgängern 0 beträgt und es zu Körperkontakt kommt. Diese Interaktionskräfte zwischen den Fußgängern entstehen durch die Körperkraft, die der Körperkompression entgegenwirkt, und eine Gleitreibungskraft, welche die Tangentialbewegung hemmt. Dadurch entsteht für die Personen im Modell eine entsprechende Interaktionskraft. Durch diese Interaktionskräfte ist es dem Modellierer nun möglich, in dem social force model Paniksituationen besser zu gestalten und die Personenbewegungsanomalitäten wie verstärkter Herdentrieb oder erhöhte Wunschgeschwindigkeit realitätsgetreu zu simulieren.

Analog der Vorgehensweise zur Validierung des Simulationsmodells für gewöhnliche Fußgängersituationen erfolgte die Validierung kritischer Fußgängerbewegungssituationen. Untersucht wurden dabei die Situationen:

- Blockadezustand entgegengesetzter Fußgängerströme („Freezing by Heating“)
- Traubenbildung an Engstellen („Schneller ist langsamer Effekt“)

Insgesamt zeigen die durchgeführten Vergleichssimulationen gute Ergebnisse. Allerdings kann innerhalb der verwendeten Simulationsumgebung AnyLogic nur bedingt auf die physischen Interaktionskräfte zur Modellierung von Krisenfällen Einfluss genommen werden, da der Social Force-Algorithmus sehr tief in der Software verankert ist und ein direkter Zugriff auf die Parameter der Kräfte bedauerlicherweise nicht gegeben ist.

Es kann abschließend festgestellt werden, dass eine getestete und validierte Simulationsumgebung zur Abbildung der agentenbasierten, logistischen Modellierung als Ergebnis vorliegt.

1.4 AP 4 Modell- und Methodenintegration

Im AP 4 werden die vorhandenen Modelle integriert. Dabei arbeitete das Fraunhofer ALI an der Erweiterung des agentenbasierten Modells hinsichtlich eines integrierten Ansatzes, welches die Schnittstellendefinition beinhaltete. Des Weiteren wurden Erfahrungen bei der Entwicklung der Benutzerschnittstelle, insbesondere für die agentenbasierte Modellierung mit eingebracht. Diesbezüglich mussten einheitliche Zielgrößen und Variationsparameter geschaffen werden. Dies war bereits in der Anfangsphase des Projektes mitentscheidend für den Erfolg der Zusammenführung. Aufgrund der divergenten Modellierungsansätze war allerdings damit zu rechnen, dass die Überlappung eines lokalen Ansatzes mit der Gesamtarchitektur zunächst keine ausreichende Integration ermöglicht. Folgend wurden erforderliche Änderungen und Erweiterungen am agentenbasierten, logistischen Modellierungsansatz vorgenommen, um die Austauschbarkeit von Teilergebnissen zu erreichen. Zum Abschluss der Modellintegration fand eine gemeinsame Validierung der Gesamtmethodik statt.

Ergebnisse des AP 4 sind ein Vorgehensmodell zur Integration, Schnittstellendefinition, Modulkonzept und Fertigstellung des Demonstrators. Die im Konsortium entwickelte Systemarchitektur beschreibt ein Gesamtmodell und seine Einbettung in die zukünftige Systemlandschaft. Bei der Systemarchitektur sind zwei Zielarchitekturen zu unterscheiden: einerseits die IT-offene Fach- und Informationsarchitektur (Abbildung 21), andererseits die IT-bezogene Anwendungsarchitektur, die unter anderem die offenen Fragen aus der Facharchitektur regelt und sich in Form eines Demonstrators wiederspiegelt. Während der Konsortialpartner EADS für die Fach- und Informationsarchitektur verantwortlich ist, bearbeitet die ckc AG das Feld der IT-bezogenen Anwendungsarchitektur. Detaillierte Ausführungen zur Systemarchitektur und Integration sind dementsprechend in den Abschlussberichten der Konsortialpartner EADS und ckc AG beschrieben.

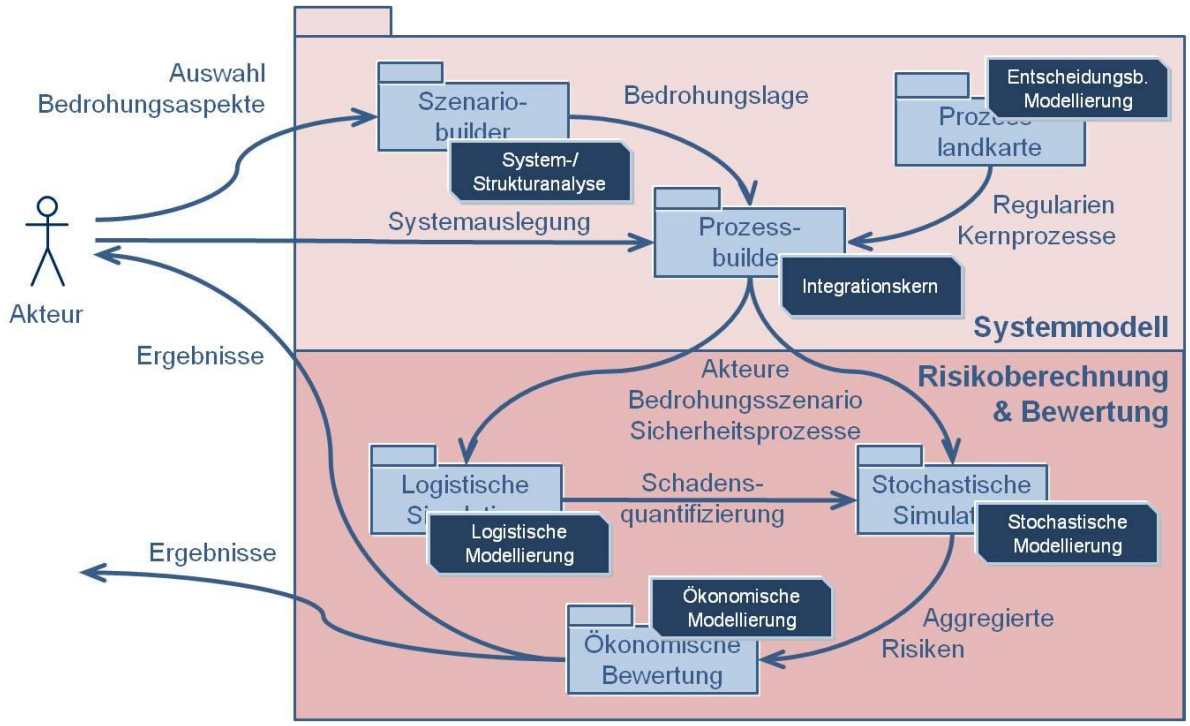


Abbildung 21: Facharchitektur
(Quelle: SiVe-Projektkonsortium)

Erweiterung der einzelnen Modellansätze/ des agentenbasierten Modellansatzes

Die Modellansätze stellen eine Kombination aus Geschäftsprozess- und agentenbasierter Modellierung dar. Während sich der Konsortialpartner EADS mit der Geschäftsprozessmodellierung auseinandergesetzt hat, war das Fraunhofer ALI für die agentenbasierte Modellierung verantwortlich. Im Rahmen der Erweiterung der Modellansätze hat das Fraunhofer ALI den agentenbasierten Modellansatz um die Bedrohung durch terroristische Anschläge ergänzt. Angenommen sei ein Terrorist, der eine Bombe im Flughafenterminal zündet. Im Zuge dessen ist die Schadensverteilung anhand der Schadenskategorie Personenschäden zu ermitteln. Eine ausführliche Beschreibung hierzu befindet sich bereits im Abschnitt 2.5.

Entwicklung einer gemeinsamen Datenschnittstelle

Die Entwicklung einer gemeinsamen Datenschnittstelle soll eine kompatible Datenbasis aller Systemkomponenten des Demonstrators gewährleisten, um einen kontinuierlichen Durchlauf entlang aller Systemkomponenten des Demonstrators ohne Medienbrüche zu ermöglichen.

Der Aufbau des Demonstrators ist in Abbildung 22 dargestellt. Dabei stellt der Prozessbuilder die Schnittstelle zwischen logistischer und stochastischer Simulation und den vorgelagerten Teilprojekten dar (siehe Facharchitektur Abbildung 21). Er stellt die notwendigen Prozessmodule für die Metaebene zusammen, die bereits in Abschnitt 1.3.3 beschrieben wurde. Sämtliche Prozessmodule sind als BPMN-Modelle in der Datenbank hinterlegt, so dass sowohl die logistische als auch die stochastische Simulation darauf zugreifen können. Die Metaebene stellt eine Prozesskette dar, die definiert, welche Prozessmodule für die Simulation notwendig sind und in welcher zeitlichen Abfolge die Module ausgeführt werden. Anhand der Metaebene erfolgt ein Mapping auf die für das Szenario notwendigen fein detaillierten Prozesse, die aus der Datenbank geladen und für die logistische Simulation geparst und in eine Graphenstruktur überführt werden, damit sie zur Laufzeit der Simulation von den Agenten durchlaufen werden können.

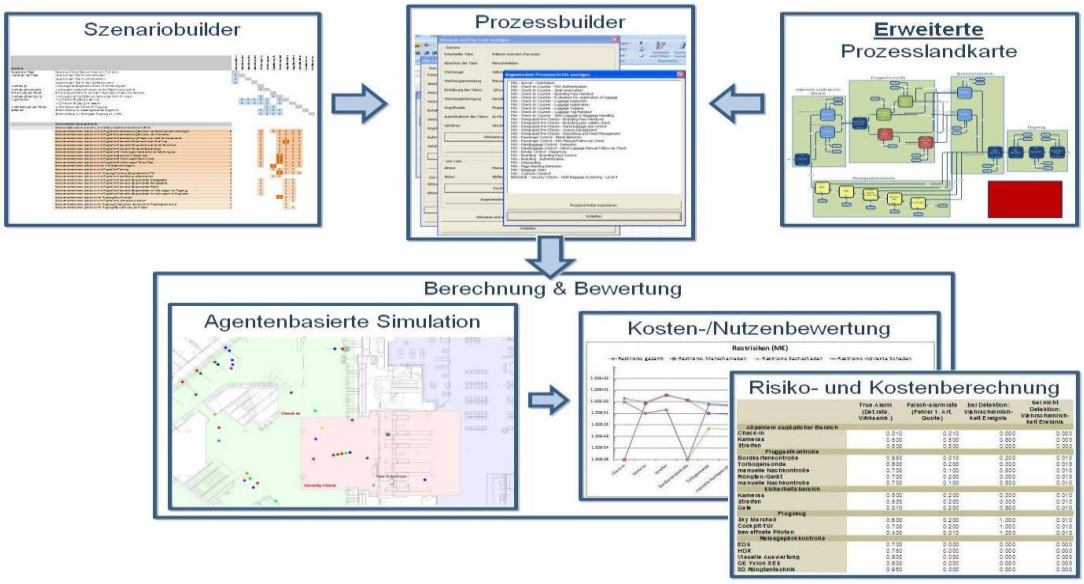


Abbildung 22: Aufbau der Benutzerschnittstelle
(Quelle: SiVe-Projektkonsortium)

Die der logistischen Simulation nachgelagerte Schnittstelle stellt die Anbindung an die stochastische Simulation dar (siehe Facharchitektur Abbildung 21). Die stochastische Simulation erhält als Input ebenfalls die Prozesse aus dem Prozessbuilder. Diese Prozesse enthalten für die stochastische Simulation allerdings unvollständige Daten. Diese werden im Zuge der logistischen Simulation berechnet und für die stochastische Simulation aufbereitet zur Verfügung gestellt. Die in den Prozessen enthaltenen Werte für die Dauer jedes einzelnen Prozessschrittes werden in der logistischen Simulation genutzt, um minimale, maximale und durchschnittliche Abfertigungszeiten zu ermitteln. Darüber hinaus erlaubt die logistische Simulation die Quantifizierung der Schadensverteilung. Sie ist in der Lage die Schadensverteilung einer Schadenskategorie, wie beispielsweise Personenschäden oder bauliche Schäden zu ermitteln. Das bedeutet, es können Aussagen getroffen werden, wie viel Tote, Schwer- und Leichtverletzte bei der Explosion einer Bombe im Flughafenterminal in Abhängigkeit von Sprengstoffart und –menge und der Entfernung vom Explosionsursprung zu verzeichnen sind. Weiterhin erfolgt durch die logistische Simulation die Erfassung der Entscheidungen einer bestimmten Anzahl an Passagieren an den Entscheidungsknoten. Für jeden Entscheidungsknoten wird die Verteilung ermittelt, d.h. wie viel Prozent der Passagiere, die diesen Knoten durchlaufen haben, sich für welchen Nachfolgerknoten entscheiden. Sowohl die Werte für die Schadensverteilung als auch die Werte für die Verteilung an den Entscheidungsknoten, die während der Simulation permanent aufgezeichnet werden, werden nach Beendigung der logistischen Simulation in ein XML-Format exportiert und stehen in maschinenlesbarer Form für die weitere Verarbeitung der stochastischen Simulation zur Verfügung. Für den Export der Daten erfolgt ein Mapping der ermittelten Verteilung auf die ID des Entscheidungsknotens. Die ID-Kennungen der Knoten sind in den Prozessen als Metadaten hinterlegt auf die sowohl logistische als auch stochastische Simulation zugreifen können. Auf diese Weise bleibt der Austausch von Daten zwischen beiden Systemkomponenten ohne Informationsverlust und mit eindeutiger Zuweisung gewährleistet.

Eine ausführliche Beschreibung zur Validierung des logistischen Teilmodells und zur Gesamtmethodik sind in den Abschnitten 2.3.5 sowie 2.5 beschrieben.

1.5 AP 5 Szenarienbasierte Simulation und quantitative Risikobewertungen

Die logistische Simulation liefert einen wesentlichen Beitrag zur Bewertung neuer Logistikkonzepte. Mittels simulationsgestützter Daten lassen sich die neu entworfenen Abfertigungs- und Sicherheitskonzepte auf ihre betriebswirtschaftliche Realisierbar- und praxistaugliche Brauchbarkeit untersuchen und bewerten. Durch Experimentieren mit unterschiedlichen Szenarien und technischen/operativen Sicherheitslösungen können unter gegebenen Rahmenbedingungen (verfügbare finanzielle Mittel, aktuell oder künftig verfügbare Technologien, spezielle Systemeigenschaften des Großflughafens München usw.) Kosten-Nutzen-optimale Leistungen des Sicherheitsmanagements systematisch bestimmt werden.

Im Fokus der nachfolgend beschriebenen Untersuchung steht die Passagierkontrollstelle an Flughäfen. Die Kontrollstelle trennt die Landseite, also den öffentlich zugänglichen Bereich, von der Luftseite, dem Sicherheitsbereich, in dem sich die Abflug-Gates und die Wartebereiche für die Passagiere befinden. Das Ziel der Kontrollstelle ist es, die Einbringung von verbotenen Gegenständen durch Passagiere in den Sicherheitsbereich zu verhindern. Hierzu werden die Fluggäste und deren Handgepäck auf verbotene Gegenstände hin überprüft. Die Ausprägung des Kontrollprozesses kann je nach Flughafen leicht variieren, ist jedoch in der Grundstruktur überall identisch. Möchte ein Passagier den Sicherheitsbereich betreten, so muss er zunächst die Passagierkontrollstelle passieren. Hierzu reiht er sich in eine der meist mehreren Kontrollspuren ein. Eine Kontrollspur ist in der Regel von vier Mitarbeitern des Sicherheitsdienstes besetzt und besteht aus dem Bereich der Handgepäckkontrolle und der Fluggastkontrolle. Die Handgepäckkontrolle wird i.d.R. von drei Mitarbeitern durchgeführt: dem Einleger, der GPA-Kraft und dem Nachkontrolleur. Alternativ hierzu kann zusätzlich noch eine separate, weitergehende Untersuchung von Handgepäckgegenständen auf Sprengstoff hin existieren. Diese wird vom Sprengstoffkontrolleur durchgeführt. Die Fluggastkontrolle erfolgt durch eine Kontrollperson pro Geschlecht: dem Personenkontrolleur. Die Fluggastkontrolle und die Kontrolle dessen Handgepäcks erfolgt unabhängig voneinander und meist nahezu zeitgleich. Eine mögliche Anordnung der Passagierkontrollstelle ist in Abbildung 23 zu sehen.

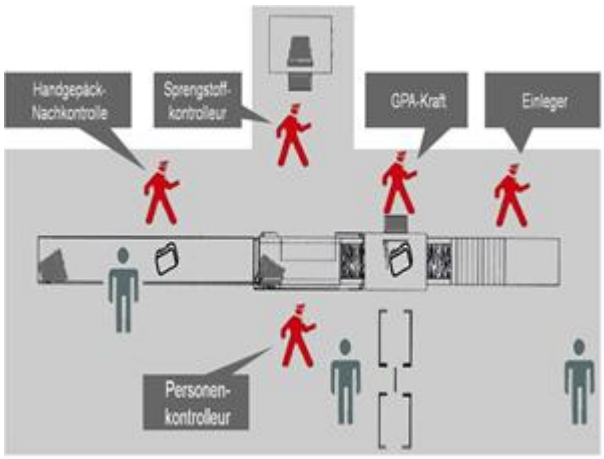


Abbildung 23: Anordnung der Fluggastkontrolle an Flughäfen
(Quelle: SiVe-Projektkonsortium)

Die konkreten Parameterwerte im nachfolgenden Szenario sind frei erdacht und erheben keinen Anspruch auf Korrektheit. Anhand des gewählten Szenarios soll lediglich der Ansatz der geleisteten Arbeiten veranschaulicht werden.

1.5.1 Beschreibung und Darstellung eines Simulationsexperiments

Der operationelle Ablauf im vorliegenden Beispielszenario ist wie folgt. Der Angreifer tarnt sich als regulärer Fluggast und beabsichtigt einen selbstgebauten, zündbereiten Sprengsatz, den er im Handgepäck verstaut hat, im Wartebereich eines Flughafens zur Detonation zu bringen. Die Komponenten des Sprengsatzes sind allesamt flüssig und ergeben insgesamt eine Menge von 1 Liter, der auf je 10 Behältnisse mit 100 ml aufgeteilt ist. Der Täter ist bereits in Besitz einer Bordkarte und begibt sich nach Betreten des öffentlichen Bereichs des Terminalgebäudes direkt zur Passagierkontrollstelle. Dort reiht er sich in die Warteschlange einer Kontrollspur ein. Anschließend legt er seine Handgepäcksgegenstände in die entsprechenden Behälter für die Handgepäckkontrolle. Wird bei der Kontrolle seines Handgepäcks Verdacht geschöpft, erfolgt im Status-Quo eine manuelle Nachkontrolle und im Alternativzustand eine zusätzliche Sprengstoffkontrolle. Wird kein Verdacht geschöpft, gilt das Handgepäck als sicher. Nach Aufforderung durch das Sicherheitspersonal durchschreitet er die Metalldetektorschleuse. Wird hierbei kein Alarmsignal ausgelöst, nimmt der Täter sein Handgepäck an sich und setzt seinen Weg in den Wartebereich fort. Dort angekommen zündet er die Bombe. Gibt die Metalldetektorschleuse ein Signal ab, erfolgt die Durchsuchung des Täters von Hand. Es gilt die Annahme, dass der Täter bei Entdeckung des Sprengsatzes im Handgepäck diesen noch an Ort und Stelle zur Detonation bringen kann.

In dem Beispiel-Szenario soll aus logistischer Sicht untersucht werden, wie sich der Einsatz eines Flüssigkeits-Scanners zur Detektion von Flüssigsprengstoffen bei der Handgepäckkontrolle im Hinblick auf die zeitliche Passagierabfertigung mit deren Abläufen und den dazugehörigen Warteschlangen auswirkt. Darüber hinaus wird die Ermittlung der Schäden berechnet, die sich sowohl im Status-quo als auch infolge der eingeführten Maßnahme (Alternativzustand) ergeben. Hierzu werden zwei Ausprägungen der Personenkontrolle miteinander verglichen. Der Status-Quo beschreibt die Konfiguration einer Personenkontrolle, so wie sie derzeit an den meisten Flughäfen vorzufinden ist, d.h. ohne zusätzlichen Flüssigkeits-Scanner. Der Alternativzustand der Personenkontrollen enthält bei der Handgepäckkontrolle einen Flüssigkeits-Scanner. Jede der beiden Konfigurationen der Personenkontrolle, also Status-Quo und Alternativzustand, werden mittels der agentenbasierten Simulation hinsichtlich ihrer logistischen Aspekte der erreichten Schäden analysiert. Zur Ermittlung der Schadensverteilungen werden für die 3 Szenarien jeweils 1000 Simulationsdurchläufe ausgeführt, in denen der Täter jeweils die Bombe zündet.

I. Sicherheitskontrolle Status-quo Bombe: Täter zündet an der Sicherheitskontrolle

II. Sicherheitskontrolle Status-quo Bombe Täter zündet im Sicherheitsbereich

III. Sicherheitskontrolle Alternativzustand Täter zündet an der Sicherheitskontrolle

Zur Ermittlung der Schadensgrößen ist es erforderlich, dass das Schadensereignis in jedem Simulationslauf eintritt. Dementsprechend betragen die Detektionsraten sämtlicher Kontrollmechanismen an der Sicherheitskontrolle im Szenario I und III 100 % bzw. im Szenario II 0 %.

1.5.2 Analyse und Auswertung der Ergebnisdaten

Neben der Abbildung des Passagierverhaltens sowie der Generierung von Messwerten und Kennzahlen für die Bedatung der stochastischen Simulation auf Mikrosimulationsebene wird im Rahmen der logistischen Simulation der Schaden infolge eines Sprengstoffattentats in der Schadenskategorie Personenschäden ermittelt. Zur Bewertung wird eine Unterscheidung der Personenschäden in Tote, Schwerverletzte und leicht Verletzte vorgenommen. Der Täter hat entsprechend der Szenariobeschreibung die Absicht, einen größtmöglichen Personenschaden in Form von Toten zu erzielen. Die simulationsgestützte Ermittlung der Personenschäden basiert auf den Forschungsergebnissen der George Mason University (GMU) Center of Air Transportation System Research, Virginia/USA [CGH+07]. Demnach erfolgt die Ermittlung eines tödlichen Radius in Abhängigkeit der Sprengstoffart und Sprengstoffmenge. Alle innerhalb des tödlichen Wirkungsradius befindlichen Personen unterliegen im Falle der Detonation des Sprengsatzes einer extrem hohen Sterbewahrscheinlichkeit und werden infolge dessen als tot angenommen (Abbildung 24). Zur Ermittlung von Verletzten und Schwerverletzten erfolgte in Abstimmung mit verschieden Experten eine Erweiterung des GMU-Modellansatzes nach dem gleichen Prinzip durch die Einführung zweier zusätzlicher Wirkungsradien. Mit der Einführung der zusätzlichen Wirkradien der Sprengwirkung kann eine Unterteilung der Personenschäden in schwer- und leichtverletzte Personen unternommen werden. Mittels des erweiterten GMU-Modells lassen sich die Personenschäden für die Bewertung der Schäden feindetaillierter und realistischer quantifizieren.

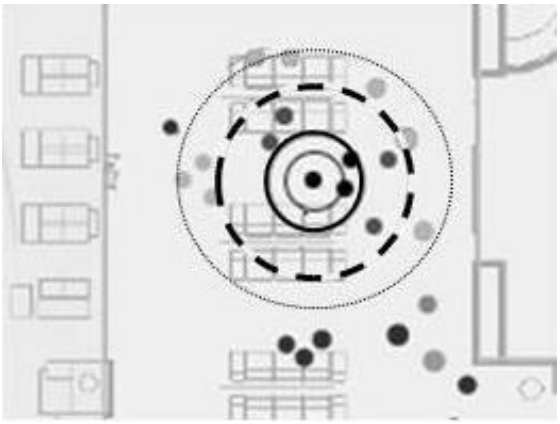


Abbildung 24: Ermittelte Personenschäden infolge eines Sprengstoffattentats
(Quelle: Screenshot logistische Simulation)

Die Abbildung 25 stellt die Schadensverteilung infolge eines detonierenden 1000 ml Flüssigsprengstoffes (DEGDN, Ethylenglykoldinitrat) aus 1000 Simulationsläufen sowohl an der Passagierkontrolle/Sicherheitskontrolle als auch im nicht-öffentlichen Sicherheitsbereich dar.

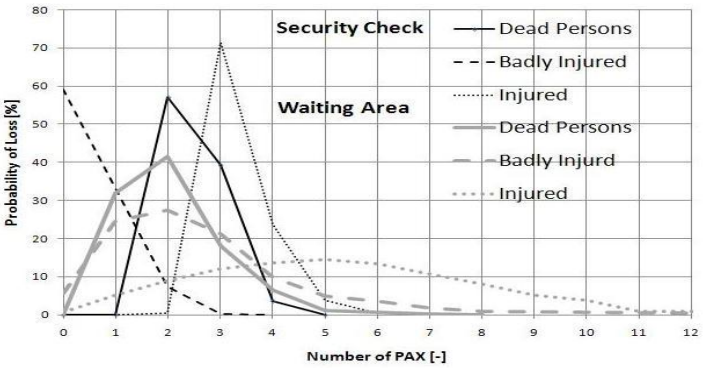


Abbildung 25: Simulationsgestützte Ermittlung der Schadensverteilung
(Quelle: eigene Darstellung)

Voraussetzung für die Ermittlung der Schadensverteilung ist ein realitätsnahes Flughafengeschehen insbesondere in Bezug auf die quantitative Verteilung der Passagiere/das Passagieraufkommen am Flughafen. Hierzu findet nach dem Start der Simulation eine Initialisierung des Simulationsmodells statt. Die gewählte Tageszeit, der zugehörige Flugplan und die zur Verfügung stehenden Kapazitäten der Maschinen und deren durchschnittliche Auslastung geben Aufschluss über das aktuelle Passagieraufkommen. Infolge des ermittelten Passagieraufkommens und dem typischen Ankunftsverhalten der verschiedenen Passagiertypen erfolgt die Initialisierung des Simulationsmodells. Das Ankunftsverhalten leitet sich aus Beobachtung von Passagieren ab und beschreibt die Art des Check-In, die Mitnahme von Gepäck sowie die zeitliche Differenz zwischen Ankunft des Passagiers am Flughafen und dem Abflug. Im Rahmen der Initialisierung werden die Passagiere zu unterschiedlichen Teilen auf den Terminalbereichen, wie Check-In, Security Check, Wartebereich etc. verteilt. Passagiere beginnen den Graphendurchlauf nicht immer mit dem Startknoten, d.h. der Ankunft am Terminal.

Neben risikorelevanten Parametern wurden im Rahmen der Simulation auch nachfolgende Aspekte der Logistik erfasst (Abbildung 26).

- Durchschnitt der einzelnen Benutzergruppen / Agententypen pro Zeit und Ort
- Durchlaufgewichtung an definierten Punkten
  - Wichtig für Werbewirkung von Orten (auch in Verbindung mit Sonderaktionen von ansässigen Ladenbetreibern)
  - Gesamt (Alle Agenten)
  - Eindeutige Zählung von Agenten
- Ermittlung „persönlicher Freiraum“ pro Agent
  - Aufzeigen von engen Stellen und hoher Verkehrsdichte (Relevant für Störfälle) / zusätzliche „Aufheizung“ der Lage durch Panik / Enge / Bedrängnis

- im Laufe der Zeit
- an festgelegten Orten

- Altersschnitt an vordefinierten Orten (Marketingzwecke)

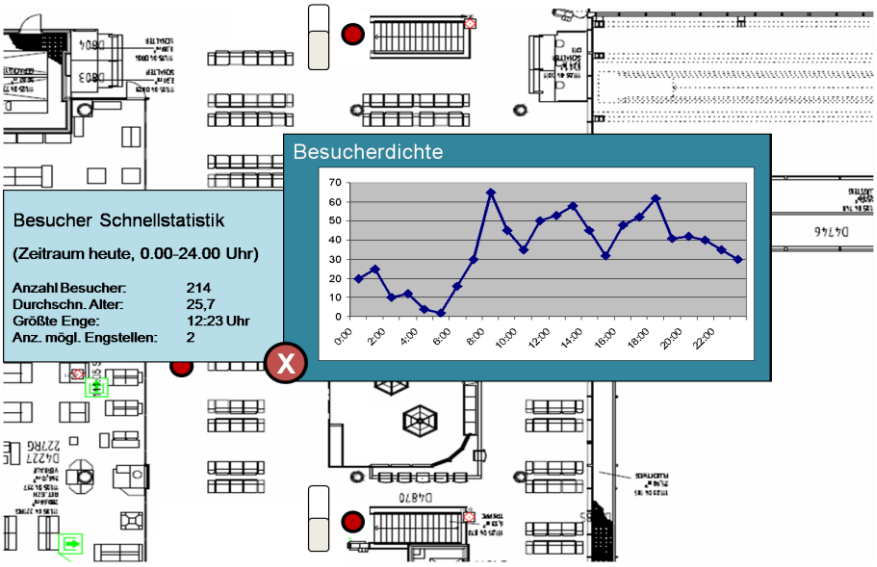


Abbildung 26: Screenshot der Simulation mit logistischen Kennzahlen
(Quelle: eigene Darstellung)

1.6 Visualisierungskonzept als Querschnittspaket aus AP1 bis AP4

Die Entwicklung eines Visualisierungskonzeptes zog sich über mehrere Arbeitspakete. Für das Paket „Entwurf eines Visualisierungskonzeptes“ (AP 1) erfolgten der Entwurf eines relationalen Datenmodells sowie ein umfassendes, wohlstrukturiertes Visualisierungskonzept. Die erste Ausbaustufe des Konzeptes stellt somit die minimalen Grundfunktionalitäten dar: Datenimport, Wertstromdiagramm erstellen, Navigation und automatische Hierarchiebildung. Im Aufgabenteil der Erweiterung der Visualisierungskomponente (AP 2) wurde das Datenmodell um mögliche Schnittstellen im Kontext eines Flughafensystems analysiert und erweitert. Des Weiteren wurden in der dritten Ausbaustufe des Visualisierungskonzeptes (AP 4) die individuelle Navigation durch den Nutzer sowie die intuitive, expressive Visualisierung (optimierte Symbolik, 3D Visualisierung) fertiggestellt. Die Ergebnisse der Forschungsarbeit werden nachfolgend vorgestellt.

Einleitung

Das Ziel des Visualisierungskonzeptes (VK) ist es, eine Entscheidungsgrundlage (*decision support system (DSS)*) für Akteure eines Flughafens zu schaffen, um auf deren Basis Prozessoptimierungen vornehmen zu können. Hintergrund der Überlegung ist, dass durch technische Fortschritte größere Datenmengen entstehen. Die im gleichen Umfang steigende Menge an Informationen führt zu einer größeren Komplexität in der Entscheidungsfindung. Werden diese Daten für Entscheidungsträger nicht in angemessener Weise dargestellt bzw. visualisiert, können Prozessverbesserungen nicht in ausreichendem Maße realisiert werden. Daher bestand der Anspruch an das VK, dass für Entscheidungsträger neue Informationen aus einer großen Datenmenge nutzbar gemacht werden.

Metainformationen sind beschreibende Informationen über Informationen, um diese einfacher und effektiver zugänglich zu machen und in ihnen gezielt zu navigieren. Metainformationen enthalten typischerweise Angaben zur Datenquelle, zur Erhebungs- und Auswertungsmethode, zur Informations- und Datenqualität sowie Regeln zu ihrer Verwendung. Sie dienen generell der Interpretation der Originärdaten und damit der besseren Datennutzung oder auch der Qualitätskontrolle. Die Metainformationsschicht verbindet den gesamten Prozess von der Zieldefinition über die Erhebung und statistische Datenanalyse bis hin zur Bereitstellung der Eingangsdaten für die Modellierung von Prozessen, so dass der Prozess für den Anwender transparent und auch zu einem späteren Zeitpunkt nachvollziehbar ist. Wichtige Bewertungskriterien wie Qualität, Gültigkeit, Aktualität, Verantwortlichkeit und Quellen der Daten werden erfasst und über den gesamten Prozess der Informationsgewinnung fortgeschrieben [JKW09]. Ziel der wissenschaftlichen Visualisierung ist es, abstrakte Daten graphisch so zu repräsentieren, dass ihre relevanten Eigenschaften intuitiv erfasst, verstanden und bewertet werden können. Ziel hierbei ist es, die enormen Leistungsfähigkeiten des menschlichen visuellen Systems für die Exploration sehr großer Datenmengen auszunutzen. Damit soll einerseits der Austausch von Arbeitsergebnissen unterstützt werden und andererseits ein geeignetes Hilfsmittel in die Hand gegeben werden, um innere, sonst verborgene Zusammenhänge aufzudecken [Schu04]. Auf diese Weise kommt es zur Informationsgewinnung aus der Vielzahl vorhandener Daten.

Zur Kontrolle des Visualisierungsprozesses wird mit verschiedenen Modellen gearbeitet, die die Einflussfaktoren auf den Visualisierungsprozess beschreiben. Hierzu gehören insbesondere die in

Abbildung 27 dargestellten Modelle, wobei das Ressourcenmodell vor dem Hintergrund des Untersuchungszweckes des Visualisierungskonzeptes nicht weiter berücksichtigt wird:

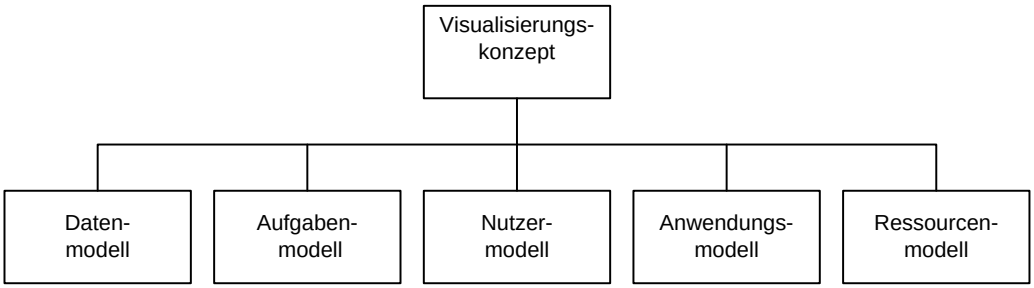


Abbildung 27: Struktur des Visualisierungskonzepts

(Quelle: eigene Darstellung)

1. **Datenmodell:** Das Datenmodell definiert Semantik und die Struktur der Daten. Ebenso werden hier die notwendigen Schnittstellen und eventuell notwendige Datentransformationen beschrieben.

2. **Aufgabenmodell:** Das Aufgabenmodell spezifiziert die im virtuellen Informationsraum notwendigen Funktionen, welche der Nutzer zum Erreichen seiner pragmatischen Ziele benötigt.

3. **Nutzermodell**: Im Nutzermodell werden sog. Profile (Rollen) definiert, um einerseits die Funktionalitäten sinnvoll gruppieren zu können und andererseits, um kontextspezifische Gegebenheiten besser berücksichtigen zu können.

4. **Anwendungsmodell:** Die jeweiligen Anwendungsmodelle bilden den Kernpunkt des Visualisierungsmodells. In ihnen finden sich die erarbeiteten Visualisierungsdesigns, d.h. konkrete Layouts, Metaphern und Farbkodierungen, welche letztendlich die Wertschöpfungsnetzanalyse, d.h. die Abhängigkeiten und Zusammenhänge darstellen sollen.

5. **Ressourcenmodell:** Hier werden die notwendigen Hardware- und Softwareressourcen der Infrastruktur spezifiziert.

1.6.1 Nutzermodell

Wie eingangs erwähnt, ist die Vision der Flughafen-Logistik, ein vollständiges Bild aller Prozesse und Aktivitäten auf dem Flughafen zu erhalten, um operative Prozesse analysieren und optimieren zu können. Dies ist auch die grundlegende Basis für ein Decision Support System mit strategischen, taktischen und operativen Komponenten [LAV+07]. Diese Komponenten wurden daher in das VK integriert, so dass die verschiedenen Planungs- und Organisationsebenen bzw. Hierarchien eines Flughafens berücksichtigt werden können.

In dem Nutzermodell wird daher für den Anwender eine Eingruppierung entsprechend der Art der von ihm durchgeführten Aufgaben (strategisch, taktisch oder operativ) vorgenommen. Entsprechend dieser ersten Einordnung, die den Profilen der Modelle des VK (Abbildung 27) entsprechen, erfolgt im weiteren Verlauf die Datenverarbeitung und –aufbereitung sowie letztendlich die Informationsgewinnung. An dieser Stelle wird folglich die Basis dafür gelegt,

dass der Nutzer durch eine angepasste Visualisierung die für ihn relevanten Informationen erhält. Entscheidungen im Prozessalltag gehören zu einer der drei folgenden Kategorien:

- Strategisch (Entscheidungen mit langfristigem Horizont),
- Taktisch (Entscheidungen mit mittelfristigem Horizont),
- Operativ (Entscheidungen mit kurzfristigem Horizont).

Da die Grenze zwischen den verschiedenen Klassifikationen vage ist, bleibt es umstritten, welcher Ebene der Entscheidungsfindung welche Entscheidung zugewiesen werden sollte.

1.6.2 Aufgabenmodell

Das Aufgabenmodell spezifiziert die Klassifizierung des Nutzermodells und beschreibt detailliert die Aufgaben bzw. Funktionen der Nutzerprofile der übergeordneten Ebene. Dabei wird die Frage geklärt, welche Funktionen/Aufgaben zum Erreichen von Zielen notwendig sind vor dem Hintergrund der Charaktere der zu treffenden Entscheidungen (strategisch, taktisch, operativ)? Entsprechend des Aufgabenmodells der Logistik gliedert sich das Aufgabenspektrum dieses Modells in drei Aufgabenbereiche [HHN03]:

- *Gestaltung (Strategic Network Design)*
  - kommt eine besondere Bedeutung zu, da hier bereits die Effektivität und die Effizienz des Netzwerks und damit z.B. die Kosten während des operativen Betriebs sowie die Reaktionsfähigkeit festgelegt werden
  - Supply Chain Design hat strategischen Charakter und somit langfristigen Zeithorizont
  - Auswahl typischer Aufgaben, die in der Phase des Supply Chain Design behandelt werden, z.B.: Festlegung und Optimierung von Standorten (Produktion, Distribution), Dimensionierung der langfristigen Kapazitätsentwicklung mit entsprechenden Investitionsplänen, Definition von Relationen zwischen einzelnen Standorten

- *Planung (Supply Chain Planning)*

  Wesentliche kurz- und mittelfristige Planungsaktivitäten des Flughafens:

  - Verkehrs- und Luftraumplanung,
  - Erarbeitung der Flughafenressourcen,
  - Abgleich zwischen Bedarf und verfügbarer Kapazitäten, sowie
  - Unterstützung der Leistungsträger beim Turnaround.

- *Ausführung (Supply Chain Execution)*

  Bezeichnet das sogenannte Supply Chain Event Management

  - Monitoring,
  - Track&Trace,
  - Alert Management.

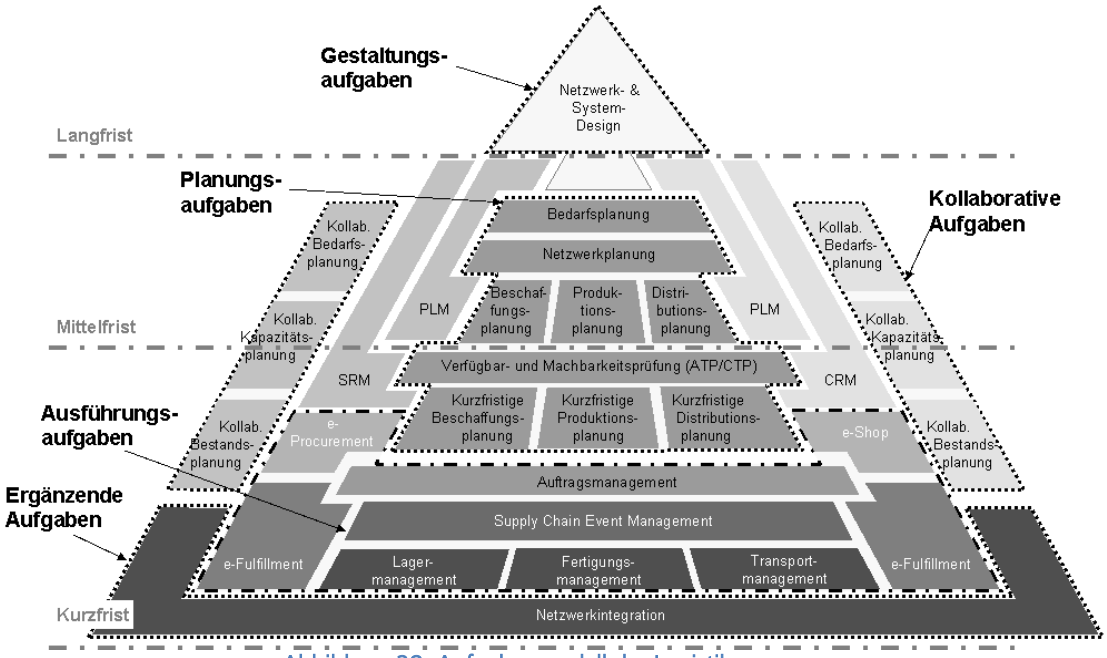


Abbildung 28: Aufgabenmodell der Logistik

(Quelle: [HHN08], S. 459ff)

Die grundlegenden Aufgaben, die sich für eine Visualisierung der einzelnen Aufgabenbereiche des Aufgabenmodells ableiten, sind:

1. *Direkte Suche,*
2. *Vergleich und*
3. *Exploration.*

Diese drei Aufgaben adressieren die drei Stufen der Informationsvermittlung beim Betrachten einer Visualisierung. Die Aufgaben lassen sich durch konkrete Analyseziele untersetzen, wie Identifikation, Lokalisation, Korrelation, Gruppierung oder Häufigkeiten [Sch04]. Das heißt, hierbei werden Analyseziele festgelegt und später im Anwendungsmodell entsprechend umgesetzt bzw. angemessen visualisiert!

1.6.3 Datenmodell

Das Vorgehensmodell zur Informationsgewinnung beinhaltet im Gegensatz zum heute üblichen Vorgehen der Datenbeschaffung und -aufbereitung eine veränderte Sichtweise. Im Fokus steht die notwendige, richtige und gültige *Information* bezüglich einer Aufgabenstellung. Der gedankliche Ansatz liegt in der Erweiterung des Aufgabenspektrums der Datenbeschaffung und -aufbereitung durch die Aufgaben der Informationsbeschaffung und -bewertung. Nicht mehr die Frage: „Welche Daten werden benötigt?“ wird formuliert, sondern es wird primär abgefragt, wie sich der Informationsbedarf für die Aufgabenstellung unter Berücksichtigung der gewählten Modellierungsmethode darstellt [JKW09]. Mit dem Datenmodell werden so bezeichnete Metadaten erfasst. Dies sind Daten über Daten, die wesentliche Eigenschaften einer Datenmenge charakterisieren, wie z.B. Wertebereichseigenschaften oder statistische Kenngrößen.

Um ein Bild der Leistungsfähigkeit eines Flughafens oder von Teilen des Flughafens zu bekommen, muss dieser messbar gemacht werden, indem angemessene Kennzahlen installiert werden. Die Frage, welche Kennzahlen dabei von Relevanz sind, lässt sich aus der übergeordneten Zielstellung des Nutzer- und Aufgabenmodells ableiten. Die ausgewählten Indikatoren spiegeln die Ziele wieder, d.h. werden vor dem Hintergrund ausgewählt, welche Informationen für den jeweiligen Entscheidungsträger wichtig sind, denn Kennzahlen bilden die Basis zur Informationsgewinnung. Sie sind als Dateninput für die Informationsgewinnung zu betrachten. Im Datenmodell werden zunächst der Datentyp, die Datenform und die Datenstruktur definiert.

- *Datentypen*
  - Ökonomisch (monetär)
  - Leistungskennzahlen (Durchsatz,…)
  - Informatik
  - Service (nicht-monetär)
  - …

- *Datenform*
  - Qualitativ (Dimensionen)
  - Quantitativ (Maßzahlen)

- *Datenstruktur*
  - Strukturiert
  - Semistrukturiert
  - Unstrukturiert

Im zweiten Schritt werden relevante Dimensionen bzw. ein Definitionsbereich festgelegt. Das heißt, dass eine endliche Menge von n ($n \geq 2$) Dimensionselementen (Hierarchieobjekten), die eine semantische (hinsichtlich Eigenschaften/Klassifikation) Beziehung aufweisen, definiert wird. Diese beschreibt die Sicht auf eine oder mehrere assoziierte Kennzahlen. Beispiele einer solchen semantischen Klassifizierung wären „Flughafen“, „Passagier“, „Mitarbeiter“, „Prozessmodul“ etc. Auch hierbei werden Hierarchien in Abhängigkeit der Bedeutungen der Daten (z.B. ein LKW ist ein Auto, aber weder PKW noch Geländewagen) definiert.

Im nächsten Schritt erfolgt die eigentliche Datenanalyse mittels Standardoperationen, wie Pivotierung, Roll-Up, Drill-Down, Slice, Dice oder Drill-Across. Über diesen Weg wird die Informationsgewinnung im Kontext der agentenbasierten Simulation vollzogen.

Basis der Informationsgewinnung ist das entwickelte Vorgehensmodell von Jodin, Kuhnt & Wenzel [JKW09], das sich in seinen Grundzügen an das Simulationsvorgehensmodell der VDI 3633 [VDI08] anlehnt.

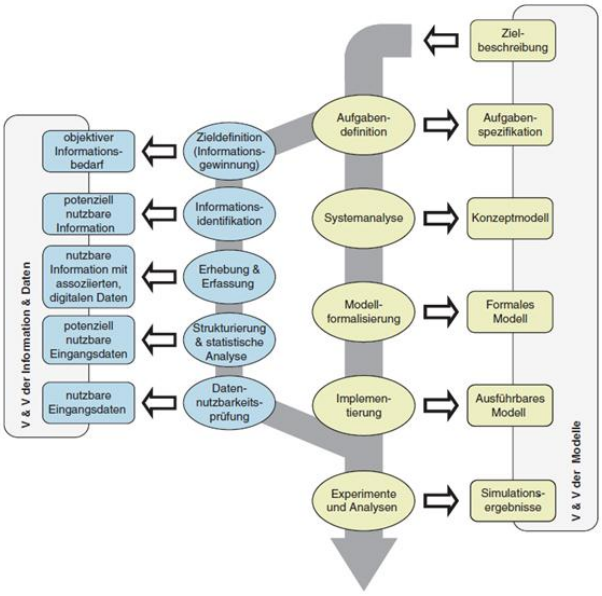


Abbildung 29: Integration der Informationsgewinnung in das Simulationsvorgehensmodell

(Quelle: BHK+07)

Die Abbildung 29 stellt das erweiterte Simulationsvorgehensmodell vor, in dem die Informationsgewinnung mit ihren Prozessschritten im Anschluss an die Aufgabendefinition zeitlich und organisatorisch parallel zur Modellbildung integriert ist. Die Phasenergebnisse stehen in engem Zusammenhang, da die verfügbaren Informationen und Daten das Modell beeinflussen und umgekehrt. Phasen der Informationsgewinnung sind:

- Zieldefinition
- Informationsdefinition
- Erhebung & Erfassung
- Strukturierung & statistische Analyse
- Datennutzbarkeitsprüfung

Ein wichtiges Merkmal des Vorgehensmodells ist die durchgängige Verifikation und Validierung (V&V) aller Zwischenergebnisse am Ende jedes einzelnen Prozessschrittes. Basierend auf den V&V-Ergebnissen lassen sich dann Kriterien zur Bewertung der Güte der erzielten Information ableiten [BWW07]. Als Qualitätskriterien werden üblicherweise z. B. Zugänglichkeit, Bedeutsamkeit, Objektivität und Korrektheit der Informationen herangezogen. [KSW02][Epp06]

Ein weiterer Aspekt, der im Datenmodell beantwortet wird, sind die Daten- und Systemabhängigkeiten. Es werden Schnittstellen zwischen internen Bereichen oder zu externen Partnern (airside, terminal, air traffic control etc.), also In-/Output-Parameter betrachtet. Schnittstellen stellen somit auch Beziehungen von Daten und deren Bedeutungen, Systemen (Welche bedingen einander?) und Systempartnern (Einbindung Externe in Hierarchie) dar.

1.6.4 Anwendungsmodell

Die Methodenebene als unterste und letzte Ebene des Visualisierungsmodells dient dazu, die für die Informationsgewinnung einsetzbaren Methoden abzulegen. Hierzu zählen insbesondere Methoden:

- des Informations- und Datenmanagements [Epp06, Kro06, Kuc05],
- der Statistik und [Har05, FHT96]
- der Visualisierung [FDF+94, Har99, SMü00].

Dabei wird nicht nur eine Methode angesprochen, sondern es wird eine Kategorie von Methoden bestimmt. Die Taxonomien- und Methodenebenen unterstützen somit die Methodenauswahl, indem über sie eine geeignete Methodenkategorie bestimmt wird. Sie befreien letztendlich aber nicht davon, die individuelle Entscheidung selbst treffen zu müssen. So kann z. B. eine bestimmte Visualisierungsmethode dazu geeignet sein, sowohl Informationen im Schritt der Erhebungsplanung als auch im Schritt der statistischen Datenanalyse darzustellen.

Im Rahmen des Anwendungsmodells werden Taxonomien als klassifizierende Systematiken verstanden. Die Taxonomieebene dient der zielorientierten Auswahl von Methoden und Werkzeugen zur Informationsgewinnung bzw. -visualisierung. Die Taxonomien selber setzen sich aus Klassifikationskriterien für die Kategorisierung von Methoden zusammen. Die *Taxonomie für Erhebungsmethoden* dient zur kontextorientierten Auswahl einer oder mehrerer geeigneter Erhebungsmethoden (zur Erhebung von Daten). Zur *Einordnung von Visualisierungsverfahren* steht eine zweistufige Taxonomie zur Verfügung. In Ergänzung zu den Kriterien aus grafischer Sicht vervollständigen die Kriterien aus Informationssicht die Taxonomie für Visualisierungsverfahren. Die Taxonomie aus Informationssicht ist in Abbildung 30 dargestellt.

Kriterium		Ausprägung							
Primäre Funktion		Identifikation	Lokalisierung	Korrelation	Assoziation	Vergleich	Struktur und Muster	Gruppierung	Klassifikation
Art der darzustellenden Information		qualitativ	quantitativ	qualitativ und quantitativ					
Informationsstruktur		unabhängig	relational	kreisförmig	hierarchisch	netzwerkartig			
Informations-kodierung	Messniveau	kein	nominal diskret	ordinal diskret	ordinal kontinuierlich	intervall-skaliert diskret	intervall-skaliert kontinuierlich	verhältnis-skaliert diskret	verhältnis-skaliert kontinuierlich
	Dimension der ab-hängigen Variablen	keine	1-D	2-D	3-D	n-D			

Abbildung 30: Klassifizierung von Visualisierungsverfahren aus Informationssicht
(Quelle: [JKW09])

Somit wird im Anwendungsmodell des VK ein für den Untersuchungszweck passendes Visualisierungsverfahren gewählt, um eine angemessene Darstellungsform der kontextbezogenen, geforderten (Prozess-)Informationen zu erhalten. Allgemeine Regeln hinsichtlich eines adäquaten Visualisierungsdesigns im Prozess der Informationsgewinnung seien auf weitergehende Ausführungen in [Sch09] verwiesen. Generell ist bei der Visualisierung relevanter Informationen im Anwendungsmodell die im Aufgabenmodell definierte Zielsetzung

einer System-/ Wertschöpfungsnetzanalyse zu berücksichtigen, wie die gewünschte Darstellung von Abhängigkeiten, Zusammenhängen, Engpässen, Kosten, Zeiten, Tendenzen oder auch Flüssen (Daten, Personen, Objekte). Klassifikationskriterien greifen insofern ineinander, dass die Aufgabe, Informationen zu gewinnen, eine übergeordnete Position einnimmt. Anforderungen an die Visualisierung leiten sich aus den übergeordneten Zielen ab. Nicht jede grafische Darstellung einer abstrakten Datenmenge ist geeignet, wichtige Eigenschaften und Zusammenhänge intuitiv zu repräsentieren.

Abbildung 31 zeigt zusammenfassend den Aufbau und das Funktionsprinzip des hierbei entwickelten Visualisierungskonzeptes, welches auf die Anforderungen der Simulation und Visualisierung von Passagierströmen an Flughäfen ausgerichtet ist.

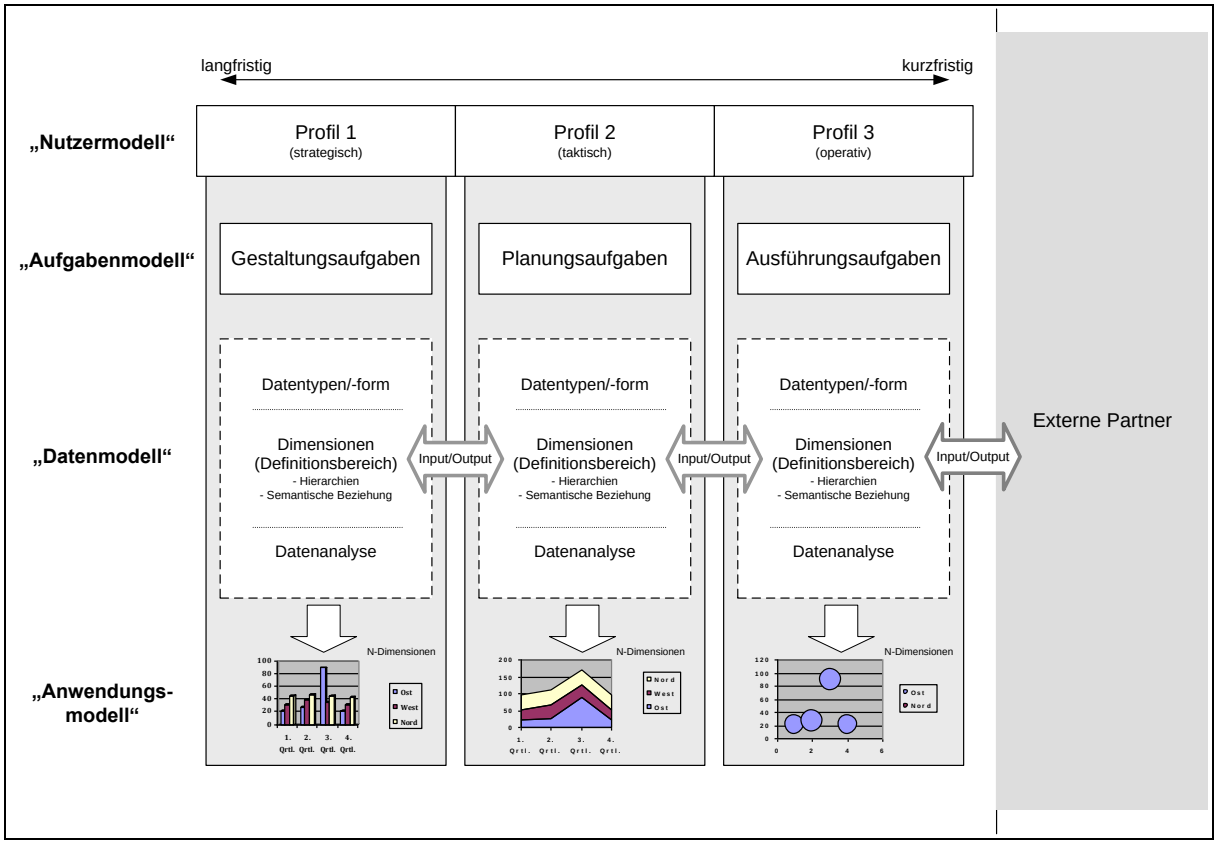


Abbildung 31: Gesamtübersicht Visualisierungskonzept
(Quelle: eigene Darstellung)

Entsprechend dem voran beschriebenen Visualisierungskonzept erfolgte die Entwicklung und Umsetzung einer Beispielanwendung entsprechend den nachfolgend genannten Kriterien in Form eines Pflichtenheftes[6].

[6] Siehe Anhang 5: Pflichtenheft SimVRML

2 Zahlenmäßiger Nachweis – die wichtigsten Positionen

Die kalkulierten Kosten und Aufwendungen wurden wie im Antrag beschrieben eingehalten. Es wurden nach Beginn des Projektes ein Teil der Personalkosten in vorhabenspezifische Abschreibungen umgewidmet.

3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die vorliegenden Projektergebnisse konnten nur in der vorhandenen Zusammensetzung, den sechs Partnern (Industrie- und Forschungspartner plus Endanwender Flughafen) im SiVe Projektkonsortium erreicht werden.

Mit dem Gesamtziel des Vorhabens SiVe, die Förderung der Sicherheit der deutschen Verkehrsinfrastruktur Flughafen, wurde ein Forschungsaufwand geleistet, der nur durch die Förderung des Mittelgebers bestritten werden konnte und nicht aus Eigenmitteln hätte finanziert werden können.

In der Infrastruktur Flughafen wirken unterschiedliche Sicherheitssysteme zusammen, die sowohl präventive, permanente und auch reaktive Maßnahmen beinhalten und die durch unterschiedliche Institutionen bereitgestellt werden. Diese Thematik stellt ein innovatives Forschungsgebiet dar, die das zusammengestellte Konsortium aus Industrie- und Wissenschaftspartnern nur zusammen mit dem Endanwender Flughafen durchführen konnte und die Förderung notwendig machte.

4 Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse im Verwertungsplan

Die wichtigsten Ergebnisse des Teilvorhabens des Fraunhofer ALI im SiVe-Projekt sind:

- *Ein generisches Agentenmodell zu Berechnung und Visualisierung von Personenströmen.*

  Dahinter verbirgt sich ein komplett entwickeltes, hybrides Simulationsmodell, das in jeder Java-basierten Open Source Simulationsumgebung (z.B. Repast Suite) integrierbar ist (Hybrid = Agentenmodell + Bewegungsalgorithmus). Das Agentenmodell ist adaptierbar auf nahezu alle Bereiche der zivilen Anwendungen und kann deren Fragestellungen beantworten.

- *Ein Qualitätsmanagementwerkzeug für die Modellierung von BPMN-Prozessen.*

  Bei dem Werkzeug handelt es sich um eine Anwendung zur Validierung der Syntax modellierter BPMN-Modelle. Die Anwendung ist in der Lage, BPMN-Modelle auf ihre Durchlaufähigkeit zu überprüfen. Die Prüfanwendung dient der Lokalisierung und der Identifizierung von Sackgassen oder toten Knotenpunkten innerhalb der Prozesslandkarte und leistet somit einen wesentlichen Beitrag zur Qualitätssicherung der modellierten Prozesse.

Die Methode bzw. die Ergebnisse des Teilvorhabens können sowohl in weiteren Projekten zum Thema der Sicherheitsforschung als auch auf andere Bereiche adaptiert werden. Neben praktischen Anwendungen in der deutschen Sicherheitspolitik ist es möglich, Fragestellungen anderer Branchen zu beantworten. Der entwickelte Multiagenten-Simulationsansatz kann in den nachfolgend aufgeführten Bereichen (Abbildung 32) angewendet werden.

Abbildung 32: Weitere mögliche Einsatzsysteme des Agentenmodells

Bei den Zielsystemen kann zwischen geschlossen und offenen Systemen unterschieden werden. Geschlossene Systeme können dabei z.B. Konferenzen oder Verkehrsinfrastrukturen sein. Offene Systeme sind Tourismusregionen oder städtische Verkehrsräume, deren Systemgrenzen und Inputparameter fließend sind. Mit dem Simulationsmodell steht ein Planungsinstrument zur Bewertung neuer Service- und Bedienkonzepte durch die Anwendung von Simulation, Visualisierung und Analyse von Personenströmen in den unterschiedlichen Zielsystemen zur Verfügung und kann beispielsweise Fragen des Konsumgüter- /Gebrauchs- und Dienstleistungsmarketings hinsichtlich der Marktforschung beantworten oder für private Infrastrukturbetreiber zur Analyse und Mustererkennung profilbezogener Besucherströme dienen.

Neben dem Einsatz des entwickelten Multiagenten-Simulationsmodells in weiteren Zielsystemen kann der im SiVe-Projekt entwickelte Modellansatz im Rahmen eines simulationsbasierten Frühwarnsystems zum Einsatz kommen.

Simulationsbasierte Frühwarnsysteme sind ein wichtiges Instrument für eine kurzfristige Entscheidungsfindung im Umgang mit großen Personenströmen in öffentlichen Gebäuden oder Verkehrsinfrastruktursystemen. Das Ziel von Frühwarnsystemen ist eine prognostizierte Lokalisierung und Identifizierung kritischer Personenstromzustände innerhalb infrastruktureller baulicher Einrichtungen. Die Vorhersage kritischer Zustände durch die Online-Simulation dient der frühzeitigen Erkennung und Einleitung reaktiver Maßnahmen. Durch vorgegebene Handlungsempfehlungen des Frühwarnsystems werden über operative Entscheidungen die Konstellationen kritischer Personenströme harmonisiert. Die operativen Eingriffe zur Steuerung und Lenkung von Personenflüssen in Gebäuden dienen zur Effizienzsteigerung der

Prozessabläufe sowie zur Erhöhung der Servicequalität ihrer Nutzer. Betreiber von Verkehrsinfrastruktursystemen haben neben einer effizienten Abfertigung von Passagieren in den letzten Jahren eine weitere zunehmend wachsende wirtschaftliche Säule durch das Konzessionsgeschäft mit Shop-Betreibern zu tragen. Ein hoher Nutzerkomfort durch intelligente und komfortable Personenstromführung dient der Akzeptanz komplexer baulicher Einrichtungen und Verkehrsinfrastruktursysteme und stellt die Grundlage für eine erfolgreiche Betreibung dieser Systeme dar. Simulationsbasierte Frühwarnsysteme (Simulation-based Early Warning Systems (SEWS)) in Verkehrseinrichtungen können einen wichtigen Beitrag zum operativen Management von Personenströmen leisten und tragen damit sowohl zur Erhöhung des Servicekomforts als auch zur Effizienzsteigerung der Abläufe bei. Mit Hilfe eines Frühwarnsystems werden Handlungsempfehlungen bzgl. personenlenkender Maßnahmen abgeleitet, da die Simulation in der Lage ist, die Personenbewegungen für das Frühwarnsystem vorausschauend zu beschreiben. Der Vorteil des SEWS besteht aus der Kombination der Simulation für das Personenverhalten mit datenerfassenden und –verarbeitenden Technologien, die die Eingabewerte und damit die Ausgangssituation für die Simulation ermitteln. Während klassische Frühwarnsysteme ausschließlich auf historischen Daten und aktuellen Messparametern eines Realsystems basieren, stützen sich simulationsbasierte Frühwarnsysteme auf die Prognose des zukünftigen Zustandes von Personenströmen in einem realen System. Dadurch ist man in der Lage, unerwünschten Fehlentwicklungen mit Hilfe geeigneter Maßnahmen frühzeitig entgegenzuwirken und eine Harmonisierung der Personenflüsse zu erzielen. Mittels Online-Simulation wird ein zeitlicher Entscheidungsspielraum gewonnen, der es erlaubt, aus Handlungsempfehlungen des Frühwarnsystems gezielte und geeignete Maßnahmen gegen die Fehlentwicklung abzuleiten. Das Ziel ist eine optimierte Steuerung der Personenströme verbunden mit einer einhergehenden Erhöhung der Servicequalität für Fußgänger und Nutzer infrastruktureller Verkehrsknoten.

Ein weiteres Anwendungsfeld des in SiVe entwickelten Agentenansatzes ist die Visualisierung von Informationen, die bei der Interaktion zwischen intelligenten Objekten ausgetauscht werden.

Intelligente Objekte zeichnen sich durch intelligentes, autonomes Verhalten aus, die eigenständig Entscheidungen treffen und Aktionen auslösen. Sie sind in der Lage, mit ihrer Umwelt in Interaktion zu treten, Daten anderer Objekte aufzunehmen, basierend auf diesen Daten Entscheidungen zu treffen und Daten an Objekte zurückzugeben. Entsprechend kompliziert gestaltet sich die Visualisierung des Zusammenspiels der Objekte. Infolge der Kommunikationsmöglichkeiten und der Vernetzung nehmen die Datenflüsse völlig neue Dimensionen an. Daten werden nicht mehr ausschließlich zwischen Objekten einer Netzstruktur, sondern zwischen Objekten verschiedener Netze ausgetauscht. Bedingt durch die eigene Intelligenz, die Autonomie sowie die dezentrale Datenhaltung sind Entscheidungen und Aktionen nicht eindeutig definierbar. Dies hat zur Folge, dass der Austausch von Daten zwischen Objekten und weitere Faktoren, wie Datenqualität oder -quantität, nicht explizit beschrieben werden können.

Große Datenmengen mit einer Vielzahl an Relationen kennzeichnen die heutige IT-Landschaft. Entsprechend aufwendig gestaltet sich deren Analyse und Interpretation. Um den Umgang mit sehr großen und scheinbar unstrukturierten Datenmengen zu unterstützen, ist die

wissenschaftliche Visualisierung von Datenflüssen in Informationssystemen bereits Gegenstand zahlreicher Untersuchungen. Die Erweiterung der Betrachtung um intelligente Objekte und deren Interaktion in Netzstrukturen stellt die Visualisierung vor ganz neue Herausforderungen.

Möglicher Gegenstand weiterer Arbeiten ist die Weiterentwicklung von Methoden und Werkzeugen zur Schaffung eines interaktiven virtuellen Informationsraumes. Schwerpunkt kann die Kopplung des virtuellen Raums mit agentenbasierten Simulationssystemen bilden, in denen die Interaktion der Objekte und deren Auswirkung auf ihre Prozesse und Zustände simuliert werden. Ein weiterer Schwerpunkt kann die zusätzliche Integration von Interaktionstechniken sein. Sie stellen Funktionalitäten zur Veränderung des Raums zur Verfügung, die sich unmittelbar auf die Abläufe der Simulation und damit auf die Performanz auswirken.

Mit diesem Ansatz können innovative Methoden und Werkzeuge erarbeitet werden, die Techniken der Simulation, der dreidimensionalen Visualisierung und der Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle zusammenführen und eine Visualisierung der Interaktion intelligenter Objekte in Netzstrukturen ganz neuer Qualität ermöglichen.

5 Bekanntgewordene Fortschritte

Zum sehr weit gefächerten Themengebiet der Simulation und deren Optimierungspotenziale sind weitere Veröffentlichungen unterschiedlichster Forschungsarbeiten und wissenschaftlicher Studien während des Vorhabens publiziert worden. Das selbige gilt für die agentenbasierte Simulation.

Die Verbindung der Vorteile der agentenbasierten Simulation, vor dem Hintergrund der Modellierung und Simulation von individuellen Objekteigenschaften von Personenmengen, wurde hinsichtlich der Sicherheitsrelevanten Fragestellungen die das Projekt als Grundlage hat, nach unserem Kenntnisstand auch während der Durchführung des Vorhabens bei anderen Stellen so noch nicht erfasst.

6 Veröffentlichungen nach Nr. 11

6.1 Konferenzbeiträge

- **Breiing, M., Cole, M., d'Avanzo, J., Geiger, G., Goldner, S., Kuhlmann, A., Lorenz, C., Papproth, A., Petzel. E., and Schwetje, O.** (2009), "Optimization of Critical Infrastructure Protection: The SiVe Project on Airport Security", CRITIS '09, Bonn, Germany (September/October 2009).

- **Huber, L., Hyka, R., Lorenz, C., Papproth and Stegner, C.** (2010), "Agent-based Simulation of Security Related Logistic Processes on Airports", World Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics, Orlando, Florida, USA (June/July 2010).

- **Goldner, S., Huber, L., Papproth and Stegner, C.** (2011), "Using Agent-based Simulation and Business Process Modeling to evaluate the performance of airport security systems – A conjoint approach", Air Transport Research Society World Conference, Sydney, Australia (June 2011), Paper No. 89.

- **Geiger, G., Goldner, S., Huber, L., Papproth and Petzel, E.** (2011), "Improving the Security of Critical Transport Infrastructures - New Methods and Results", Future Security – Security Research Conference, Berlin, Germany (September 2011)

- **Goldner, S. and Papproth, A.** (2011), "Extending the BPMN Syntax for Requirements Management", International Workshop on the Business Process Model and Notation, Lucerne, Switzerland (November 2011)

6.2 Zeitschriften-Artikel

- **Breiing, M., Cole, M., d'Avanzo, J., Geiger, G., Goldner, S., Kuhlmann, A., Lorenz, C., Papproth, A., Petzel. E., and Schwetje, O.** (2010), "Optimization of Critical Infrastructure Protection: The SiVe Project on Airport Security", Lecture Notes in Computer Sciences, 6027:73-84.

6.3 Buch-Beiträge

- **Goldner, S. and Papproth** (2011), "Extending the BPMN Syntax for Requirements Management", Business Process Model and Notation, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2011, ISBN 978-3-64225159-7, pp. 142-147

6.4 Poster

- **Lorenz, C.** (2009), "Verbesserung der Sicherheit von Verkehrsinfrastrukturen", Innovationsplattform - Schutz von Verkehrsinfrastrukturen, Bonn, Germany (February 2009).

- **Huber, L., Hyka, R., Kisialeuskaya, T., Meinberg, U. and Papproth** (2011), "Main components of the simulation-based early warning systems in traffic facilities", Telematics, Logistics & Transport Safety 2011, Zakopane, Poland (June 2011).

Literaturverzeichnis

[Bec10] Becker, H.: Realisierung eines metamodellbasierten Entwurfswerkzeuges für BDI-Agentensysteme. http://vsis-www.informatik.uni-hamburg.de/getDoc.php/thesis/160/becker_da.pdf, thesis, 2010 eingesehen am 17.01.2010

[BHK+07] Bernhard, J., Hömberg, K., Jodin et al.: Vorgehensmodell zur Informationsgewinnung – Prozessschritte und Methodennutzung. Technical Report 06008 – Sonderforschungsbereich 559 „Modellierung großer Netze in der Logistik", ISSN 1612-1376, Dortmund, 2007

[Bra99] Bratman, M. E.: Intentions, plans and practical reason. (Neuauflage, illustriert Ausg.). Stanford: Center for the Study of Language and Information, 1999.

[BWW+07] Bockel, B., Wenzel, S., Wannagat, A. et al.: Development and application of visualisation techniques for logistics systems. IFAC Workshop on Manufacturing, Modelling, Management and Control, 14.–16. November 2007, pp 14–16, Budapest, 2007.

[CGH+07] Castaneda, E., Gonzalez, J., Harris S. et al.: Optimized Airport Security Infrastructure System (OASIS). IEEE Systems and Information Engineering Design Symposium, Charlottesville, VA/USA, 2007.

[Chr08] Chraibi, M.: Systeme gewöhnlicher Differentialgleichungen zur Beschreibung von Fußgängerdynamik. Diplomarbeit, Hamburg, 2008.

[Dam10] Dambeck, H.: Fußgängersimulation: Warum die Wege des Menschen unberechenbar sind, Spiegel Online: http://www.spiegel.de/wissenschaft/mensch/0,1518,699080,00.html eingesehen am 13.12.2011,2010.

[Epp06] Eppler, M.J.: Managing information quality. Springer, Berlin, 2006.

[FDF+94] Foley, J.D., van Dam, A., Feiner, S.K. et al.: Grundlagen der Computergraphik – Einführung, Konzepte, Methoden. Addison-Wesley, Bonn, 1994.

[FHT96] Fahrmeir, L., Hamerle, A. und Tutz, G.: Multivariate statistische Verfahren, 2. Aufl. de Gruyter, Berlin, 1996.

[GPT09] Graham, R., Pilon, N. and Tabernier, L.: Performance Framework and Influence Model in ATM. European Organisation for the Safety of Air, EUROCONTROL, Brétigny/Orge, France, 2009.

[Har99] Harris, R.L.: Information graphics. A comprehensive illustrated reference. Visual tools for analyzing, managing, and communicating. University Press, Oxford, UK, 1999.

[Har05] Hartung, J.: Statistik, Lehrbuch-Handbuch der angewandten Statistik, 14. Aufl. R. Oldenburger Verlag, München, 2005.

[Hel97] Helbing, D.: Verkehrsdynamik. Springer, Berlin, 1997.

[Hel01] Helbing, D.: Traffic and related self-driven many-particle systems. In: Reviews of modern physics Vol. 73, 1067 – 1141, 2001a.

[Hel08] Hellingrath, B.: Prozesse in Logistiknetzwerken – Supply Chain Management. In: Arnold, D.; Isermann, H.; Kuhn, A. et al.: Handbuch Logistik. 3. Auflage,: Springer, S. 459-486, Berlin, 2008.

[HFM+02] Helbing, D., Farkas, I., Molnár, P. et al.: Simulation of Pedestrian Crowds in Normal and Evacuation Situations. In: Schreckenberg, M., Sharma, S. (Hrsg): Pedestrian and Evacuation Dynamics, 2002.

[HFM+02a] Helbing, D., Farkas, I. J. ,Molnàr, P. et al.: Simulation von Fußgängermengen in normalen Situationen und im Evakuierungsfall. In: Freyer, W., Groß, S.: Tourismus und Sport – Events, 205 – 248, Dresden, 2002a.

[HHL10] Huber, L., Lorenz, C., Papproth et al.:Agent-based Simulation of Security Related Logistic Processes on Airports. World Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics, Orlando, Florida, USA, 2010.

[HHN03] Hellingrath, B., Hieber, R., Nayabi, K.: Market Survey 2003 - Supply Chain Management Software : Detailed investigation of supply chain planning systems., Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2003.

[HMo95] Helbing, D. ,Molnár P.: Social force model for pedestrian dynamics. In: Physical Review E, 4282 – 4286, Stuttgart, 1995.

[JKW09] Jodin, D., Kuhnt, S., Wenzel, S.: Kapitel 1 - Methodennutzungsmodell zur Informationsgewinnung in großen Netzen der Logistik. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2009.

[Kir02] Kirchner, A.: Modellierung und statistische Physik biologischer und sozialer Systeme. Universität zu Köln, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät, Dissertation, Köln, 2002.

[Klü06] Klügl, F.: Multiagentensimulation, In: Informatik Spektrum, Band 29, 412 – 415, Würzburg, 2006.

[Kro06] Kromrey, H.: Empirische Sozialforschung – Modelle und Methoden der standardisierten Datenerhebung und Datenauswertung. Bd. 1040, 11. Aufl. UTB, Stuttgart, 2006.

[KSW02] Kahn, B., Strong, D., Wang, R.: Information quality benchmarks. Communications of teh ACM 45(4):184–192, Boston, USA, 2002.

[Kuc05] Kuckartz, U.,: Einführung in die computergestützte Analyse qualitativer Daten. Lehrbuch VS Verlag für Sozialwiss., Wiesbaden, 2005.

[LAV+07] Lindh, A., Andersson, T., Värbrand, P. et al.: Intelligent Air Transportation– Aresource Management Perspective, Department of Science and Technology, New Delhi, Inden, 2007.

[Lew51] Lewin, K.: Field Theory in Social Science. Harper & Brothers, New York, USA, 1951.

[Min51] Mintz, A.: Non-adaptive group behavior. The Journal of Abnormal and Normal Social Psychology, Vol. 46 (2), 150-159, 1951.

[Mol09] Moltenbrey, M.: Multimodale parallele Simulation des Verkehrsflusses in großen Netzen. Technischen Universität München, Dissertation, 2009.

[RGe95] Rao, A. S. and Georgeff, M. P. : BDI-Agents: From Theorie to Practice. Proceedings of the First International Conference on Multiagent Systems (S. 312-319). San Francisco: The MIT Press, 1995.

[Sch04] Schumann, H.: Konzepte und Methoden der wissenschaftlichen Visualisierung. Kartographische Bausteine, Band 26, S.20-28, TU Dresden, 2004.

[SMü00] Schumann, H., Müller, W.; Visualisierung – Grundlagen und allgemeine Methoden. Springer, Berlin, 2000.

[SSc03] Stucki, P. und Schmid, A.: Fußgängersimulation für Evakuierungsprozesse, Technische Rundschau 2004, 2003.

[Wei93] Weidmann, U.: Transporttechnik der Fußgänger: Transporttechnische Eigenschaften des Fußgängerverkehrs. 2. Auflage, Zürich, 1993.

[Wei01] Weiß, G.: Agentenorientiertes Software-Engineering, In: Informatik-Spektrum 2, 98-101, München, 2001.

[VDI08] VDI 3633 Blatt 1: Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen. Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf, Beuth Verlag, Berlin, 2008.

[Vet06] Vetter, M.: Ein Multiagentensystem zur Verhandlungsautomatisierung in elektronischen Märkten, Jost-Jetter Verlag, Dissertation, Stuttgart, 2006.

Anhang

Anhangsverzeichnis

Anhang 1:	Vergleich der grafischen Spezifikationssprachen für Geschäftsprozesse: Ereignisgesteuerte Prozesskette (EPK) vs. Business Process Modeling and Notation (BPMN).....	A1
Anhang 2:	Modellierungskonventionen für die Geschäftsprozessmodellierung mittels Business Process Modeling and Notation (BPMN).....	A3
Anhang 3:	Vergleichstest und Kurzvorstellung der Simulationsumgebungen AnyLogic und ExtendSim.....	A11
Anhang 4:	Umfrageergebnisse der Passagierbefragung am Flughafen MUC....	A14
Anhang 5:	Pflichtenheft SimVRML.....	A31
Anhang 6:	Zwischenbericht 085-185038 (Zeitraum 01.01.2011 – 30.09.2011)	A43

Anhang 1: Vergleich Prozessmodellierung in ORYX - Editor 2.0 (Beta) der Notation EPK vs. BPMN 1.2

Vergleichskriterium	*EPK*	*BPMN 1.2*	*Fazit/Kommentare/Anmerkungen*
Modellierung individuellen Verhaltens durch verschiedene Rollen	nein	ja (Pools)	1 Agentenklasse = 1 Rolle Abbildung von unterschiedlichem Verhalten mit unterschiedlicher Belegung von Attributen
Modellierung von Kommunikation/Interaktion	nein	ja	Modellierung des Zusammenspiels autonomer Agenten
Notationsumfang	gering	hoch	In BPMN können einzelne Prozesse/Rollen/… weniger aufwendig/präziser nachmodelliert werden
Unterscheidung der Ereignisse in Daten und Nachrichten	nein	ja	vereinfachte Modelierung von Interaktion/Verhalten des Agenten mit seiner Umwelt
Unterscheidung der Ereignisse in Start, Zwischen- und Endereignisse	nein	ja	Voraussetzung und damit unabdingbare Elemente zur Integration
Berücksichtigung von Typen wie Zeit und Nachrichten	nein	ja	BPMN liefert umfangreichere Notation, d.h. aussagekräftigere Modelle bei geringerer Komplexität gegenüber EPK möglich
Unterscheidung von Verzweigungen in daten- und ereignisbasiert	nein	ja	
Möglichkeit des Anheftens von Ereignissen	nein	ja	
Modellierung von Überwachungsfunktionen, Fehlerbehandlungen und Eskalation	ja	ja	**EPK:** aufwendig, stark zunehmende Komplexität **BPMN:** unkompliziert, ohne stark zunehmende Komplexität
Exportmöglichkeiten	ja (RDF)	ja (XPDL)	
Möglichkeit der direkten Verarbeitung für die Simulation	ja	ja (unkompliziert, ohne Anpassungen)	**EPK:** generell ja , es wird aber nur Sollverhalten dargestellt Modellierung von Täter- bzw. vom Idealfall abweichendes Verhalten sehr aufwendig Modellierung von zusätzlichen/weiteren Teilnehmern/Agenten sehr aufwendig Modellierung der zusätzlichen/weiteren Teilnehmer/Agenten erfolgt im eigenständigen Modell/in separater Datei (daher auch keine Modellierung der Kommunikation/Interaktion möglich) **BPMN:** Modellierung vom Idealfall abweichendes Verhalten sowie von weiteren Teilnehmern/Agenten unkompliziert bzw. ohne großen Aufwand möglich Modellierung aller Teilnehmer/Agenten in einem Modell/einer Datei **inklusive** deren Kommunikation möglich hinsichtlich der Performance die leistungsfähigere Variante, da nur eine Datei zu integrieren ist

Vergleichskriterium	*EPK*	*BPMN 1.2*	*Fazit/Kommentare/Anmerkungen*
Modellmodifizierungen	n/v	ja	**EPK:** keine Erfahrungswerte **BPMN:** schnell und unkompliziert ohne Auswirkungen auf Programmierung möglich

Fazit:

BPMN bietet höhere Präzision, insbesondere im Umgang mit Ereignissen (mehr Spielraum bei der Modellierung).
BPMN eignet sich im Vergleich zur EPK besser für Prozessmodellierung im Hinblick auf Prozessautomatisierung.

Anhang 2: Konventionen zur Modellierung von Prozessen mit der Business Process Modelling Notation (BPMN) im Projekt SiVe

Stand: 11.Oktober 2010

1. Modellierungswerkzeug

Als Werkzeug zur Erzeugung der BPMN-Diagramme wird Oryx verwendet. Quelle: http://bpt.hpi.uni-potsdam.de/Oryx

2. BPMN 1.2 als Notations-Version

BPMN wird in der Version 1.2 verwendet. Gründe hierfür sind, dass Oryx derzeit in der Version 2.0 keinen schrittweisen Durchlauf durch die Modell ermöglicht, dass diese Version noch nicht offiziell verabschiedet ist und dass keine wesentlichen Vorteile für das Projekt erkennbar sind.

3. Keine Kompensationsereignisse oder Sprünge

Beim schrittweisen Durchlaufen der BPMN-Modelle wurde bei der Verwendung von Kompensationen und Sprüngen nicht nur das Star-Ereignis als Startpunkt aktiviert, sondern auch die Sprungstellen. Darüber hinaus verkomplizieren die Sprünge die Modelle unnötig. Bei der Verwendung von Kompensationsereignissen konnten ähnliche Effekte festgestellt werden.

4. Kommunikationsflüsse enden immer an Nachrichten-Ereignissen

Der Inhalt von Kommunikationsflüssen wird durch den Namen des empfangenden Ereignisses definiert.

5. Syntaktische Korrektheit

Die Modelle dürfen beim automatischen Syntax-Check des Oryx-Editors keine Fehler aufweisen.

6. Ausführbarkeit

Die Modelle müssen im Oryx-Editor schrittweise ausgeführt werden können. Hierbei ist besonders auf eine korrekte Aktivierung der Ereignisse bei Kommunikationsflüssen zwischen Pools / Lanes zu achten.

7. Schreibweise

Für sämtliche Bezeichner gelten die Rechtschreibregeln.

8. Sprache

Die zu verwendende Sprache in den Modellen ist Englisch.

9. Keine Text-Annotationen

In den Modellen sind keine Text-Annotationen zu verwenden.

10. Start-Event

Werden mehrere unterschiedliche Events als mögliche Startpunkte eines Prozesses in einer Lane oder einem Pool verwendet, müssen diese durch ein Event-Based Gateway verbunden werden. Dies ist notwendig, da für die Simulation in AnyLogic nur ein einziger Startpunkt pro Lane/Pool existieren darf.

Somit fasst das Event-Based Gatway alle möglichen unterschiedlichen Start-Events zu einem Startpunkt zusammen.

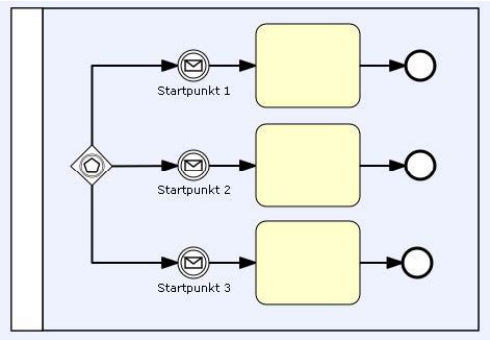


Abbildung 1: Abbildung 1 ¬Event-Based Gateway als singulärer Startpunkt

11. Beschriftungen von Gateways

Bei der Beschriftung von Gateways ist zu unterscheiden, ob die Ergebnisse Tasks oder Events sind. Bei Events gilt, dass das Gateways mit einer entsprechenden Fragestellung und dessen Ergebnisse mit den jeweiligen möglichen Antworten zu beschriften ist.

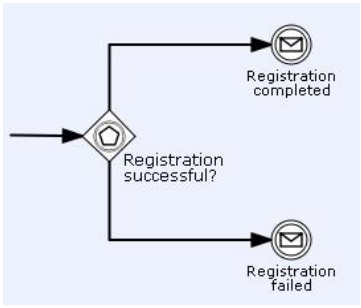


Abbildung 2: Beschriftung von Gateways mit Events als Ergebnisse

Sind Tasks das Resultat eines Gateways, so sind die Sequenzflüsse vom Gateway zu den Tasks entsprechend zu beschriften.

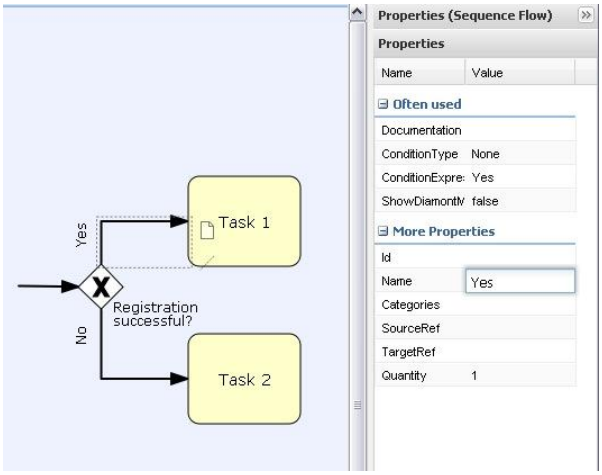


Abbildung 3:Beschriftung von Gateways mit Tasks als Ergebnis

Bei Gateways, die in Tasks enden, werden die Ergebnisse direkt an die Sequenzflüsse geschrieben. In den Attributen der Sequenzflüsse wird das Feld "Name" mit dem Wert des jeweiligen Ergebnisses belegt.

12. Platzierung von Gateways

Bei Verwendung von Modellen mit mehreren Lanes in einem Pool sind Verzweigungen immer direkt nach dem auslösenden Task zu platzieren. Für zusammenführende Gateways gilt diese Regelung nicht.

13. Kein bidirektionalen Kommunikationsflüsse (optional)

Ein-und ausgehende Kommunikationsflüsse bei Tasks sollen vermieden werden.

14. Modellierung externen Systeme / Prozesse

Externe Elemente (Informationssysteme, IT-Systeme, Prozesse) OHNE modelliertes Verhalten, erhalten den Wert "Ext" im Attribut "Categories" und werden als "Collapsed Pool" abgebildet (nicht mehr als Datenobjekt, da zu/von diesen keine Message-Flows fließen können).

15. Task-Parametrisierung

TaskTyp-Bezeichnung

Um eine Verarbeitung der BPMN-Modelle in der logistischen Modellierung durch AnyLogic zu gewährleisten, müssen die Tasks je nach ihrem Typ unterschiedlich behandelt werden. BPMN bietet Möglichkeiten den Typ eines Tasks zu definieren. Folgende Konventionen werden getroffen (AnyLogic Task Type ¬BPMN Task Type):

- **Do – Manual**: die Aufgabe durch einen Mitarbeiter mit oder ohne technische Hilfsmittel durchgeführt
- **Do – Service**: die Aufgabe wird rein maschinell durchgeführt
- **Move – User**: Repräsentiert eine Bewegung von einem Punkt A zu einem Punkt B, wie z.B. "Go to Check-In"
- **Service – Script**: Ausführung eines Warteschlangenprozesses, wie z.B. "Register at Check-In counter" (Start: Anstellen in Warteschlange, Ende: Erreichen des Servicepunktes, wie z.B. der Schalter am Check-In)
- **Modul – Reference**: Wechsel des PASSAGIERS von einem Modul in ein anderes Modul, z.B. vom Check-In zur Sicherheitskontrolle Die Kennzeichnung erfolgt im Task-Attribut „Task Type“.

TaskDauer

Die Ausführungsdauer einer Aufgabe bzw. eines Tasks kann ebenfalls direkt in den Attributen der jeweiligen Aufgabe hinterlegt werden. Hierzu wird in der Eigenschaft „Properties“ ein neues Attribut „duration“ mit Typ „sec“ angelegt und mit dem entsprechenden Zeitwert versehen (siehe Abbildung 4).

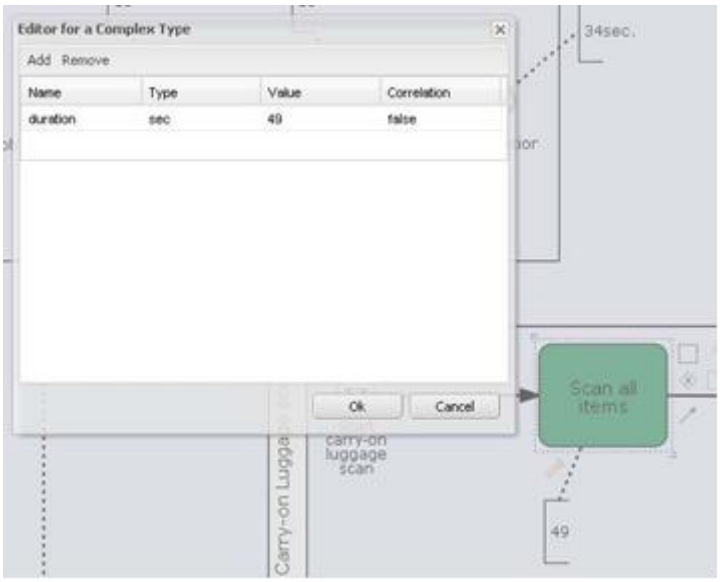


Abbildung 4: Parametrisierung der Task-Dauer

16. Event-Parametrisierung

Analog zur Kennzeichnung der Tasks werden Events, die direkt über einen Message-Flow mit einem Task verbunden sind, gekennzeichnet. Allerdings nur, wenn

- der ursprüngliche Task vom Typ „Service ¬Script“ ist UND
- sich der Task in einem anderen Pool als das verknüpfte Ereignis befindet. Als Bezeichner wird der Wert „Other“ des Event-Attributs „Implementation“ verwendet.

17. Gateway-Parametrisierung

Folgende Parametrisierung trifft nur zu, wenn Events eines Event-Based Gateways Nachrichten aus einem Collapsed Pool erhalten. In einem Collapsed Pool, der einer Blackbox entspricht, kann nicht bestimmt werden, was die Quelle der Nachricht ist. Somit muss im Zielmodell festgelegt werden, welches Ereignis angestoßen wird. Dies wird über Wahrscheinlichkeiten gemacht. Die Regelung ist notwendig, um den Durchlauf in AnyLogic sicherzustellen. Hierzu werden bei den betroffenen Event-based Gateways im Attribut-Feld „Assignment“ unter „More Properties“ Einträge erstellt, welche pro Zeile den Namen eines Nachfolgeknotens und die Wahrscheinlichkeit, dass dieser Prozesspfad eingeschlagen wird, enthalten. Die Dezimalstellen werden bei der Angabe der Wahrscheinlichkeit mit einem Punkt und nicht per Komma getrennt (z.B. 99.9). Im untenstehenden Prozess-Modell ist somit nur eine Attributierung des ersten Event-based Gatways mit den Nachfolgeknoten „Msg1“ und „Msg2“ notwendig.

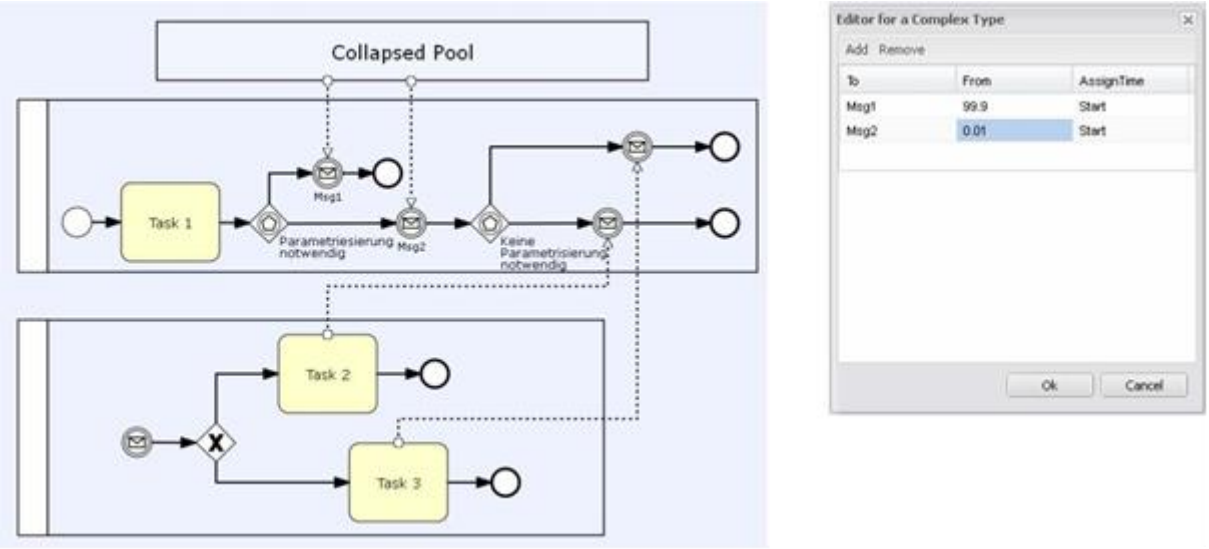


Abbildung 5: Parametrisierung Event-Based Gateway

18. Gateway-Typen

Das Simulations-Framework jPass unterstützt keine parallele Abarbeitung von Prozesspfaden. Dies bedeutet, dass kein AND-Gateway verwendet werden kann. Als Work-Around kann der Pool/Lane aufgeteilt werden und das AND-Gateway über Nachrichtenflüsse in den anderen Pool/Lane dargestellt werden.

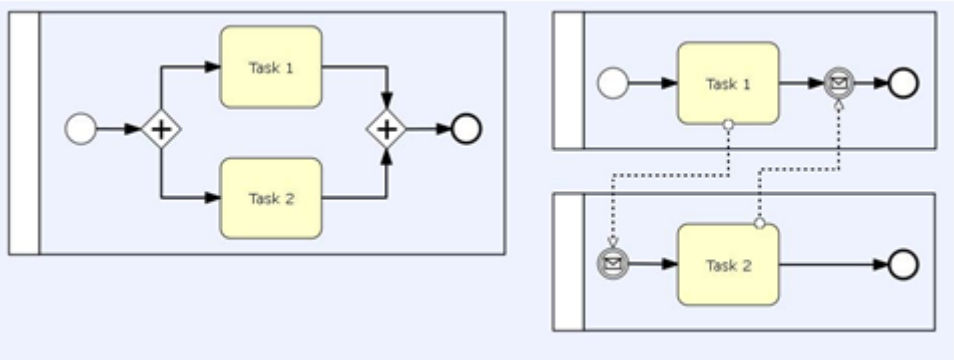


Abbildung 6: Modellierung mit AND¬Gateways (Links) - Alternative Modellierung (Rechts)

19. Modell-Hierarchien

Die Prozessmodelle werden in 4 Hierarchien unterteilt (siehe Abbildung 7)

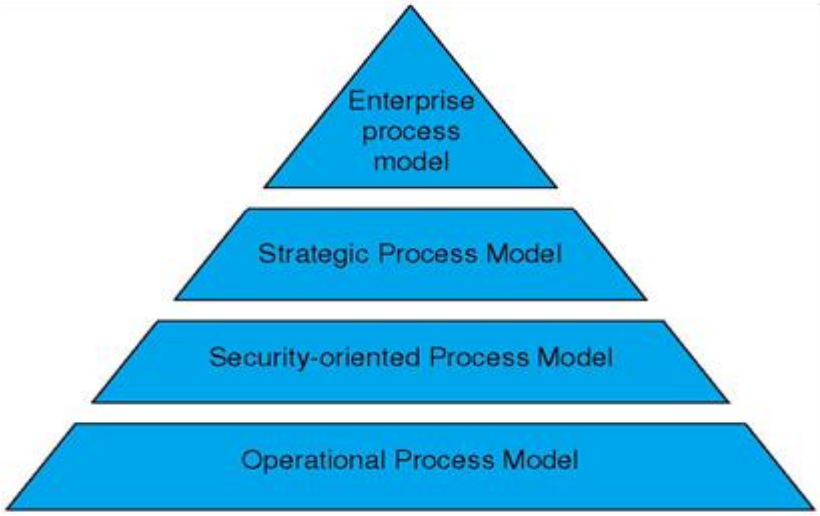


Abbildung 7: Prozesshierarchie

Hierbei gelten folgende Konventionen:

Level 1 – Enterprise Process Model (Prozesslandkarte):

Diese Ebene vereint alle Prozesse von Level 2 zu einem Gesamtbild. Der Betrachter soll somit eine allumfassende Sicht auf die Prozesse und deren Korrelation erhalten. Da auf dieser Ebene die Modelle der zweiten Ebene aggregiert werden, stehen als syntaktische Modellierungsmöglichkeiten lediglich Sequence-und Message¬Flows zur Verfügung. Die Message-Flows, wenn Pool-übergreifend, werden an den Pool-Grenzen und nicht an den Tasks verankert.

Level 2 – Strategic Process Model:

Auf dieser Ebene wird nur der Soll-Prozess ("Happy Path") betrachtet. Das Prozessmodell soll einen Überblick über einen komplexen Prozess gegeben werden. Ziel dieser Ebene ist es, ein schnelles Verständnis für den Prozess zu bewirken.

- Generelle Rahmenbedingungen: -das Modell muss im Querformat auf 1 DinA4¬Seite passen -max. 20 Prozesselemente (Tasks, Events) -max. 8 Artefakte -max. 5 Lanes -1 Pool -Keine Message-Flows -Korrekte Syntax, aber nicht zwangsweise korrekte Semantik

- Tasks: -Verwendung von Tasks für "einfache" Tätigkeiten -Verwendung von zugeklappten Prozessen bei zusammengefassten Prozess-Schritten -Keine Modellierung der zugeklappten Prozesse

- Events: -Start-und End-Events müssen verwendet werden -nur Blank¬, Message-oder Timer-Events, d.h. keine Kompensations-, Signal-, Mehrfach-, Timer oder Link-Events

- Gateways nur AND und XOR-Gateways:
  - XOR: Verzweigung, aber keine Zusammenführung
  - AND: Verzweigung, Zusammenführung optional
- Artefakte: -Nur Text-Annotationen und Datenobjekte -Verwendung eigener Artefakte erlaubt -Keine Gruppierungen

Level 3 – Security¬based Process Model

Zielgruppe: Business Analyst, Process Engineer, Domain Expert Im Projekt SiVe dient diese Modellierungsebene zur Zusammenführung der Prozesse mit der Strukturanalyse des Flughafens. Die Prozessmodellierung auf dieser Ebene hat den Fokus auf den Sicherheitsmechanismen am Flughafen und betrachtet diese entsprechend detaillierter. Die Granularität der Darstellung der Schutzmechanismen in der Strukturanalyse soll der Prozessmodellierung entsprechen, damit eine Zuordnung der jeweiligen Schutzmechanismen möglich ist (Mapping). Auf dieser Ebene kann der Process Engineer und der Domain Expert zusammen arbeiten. Hier findet hauptsächlich der Wissenstransfer des Domain Experts in das Prozessmodell statt. Die Detaillierung der Prozessmodelle geschieht über die genauere Darstellung der Subprozesse aus Level 2, d.h. ein Subprozess aus Level 2 wird in eine separate Lane in Level 3 umgewandelt und durch entsprechende Tasks beschrieben (max. 10 Prozesselemente, siehe unten).

- Generelle Rahmenbedingungen: -Fokus der Modellierung auf sicherheitsrelevante Aspekte der Prozesse -Korrekte Syntax, aber nicht zwangsweise korrekte Semantik -Modellierung der Subprozesse, ABER ebenfalls Beschränkung der Elementanzahl -Keine Message-Flows und damit keine Auftrennung der Lanes in entsprechende Pools

- Subprozess-Darstellung: -pro Subprozess max. 10 Prozesselemente (Tasks, Events), max. 8 Artefakte

- Events: -Start-und End-Events müssen verwendet werden -nur Blank¬, Message-oder Timer-Events, d.h. keine Kompensations¬, Signal¬, Mehrfach-, Timer oder Link-Events

- Gateways: -nur AND und XOR-Gateways:

  - XOR: Verzweigung, aber keine Zusammenführung

  - AND: Verzweigung, Zusammenführung optional

- Artefakte: -Nur Text-Annotationen und Datenobjekte -Verwendung eigener Artefakte erlaubt -Keine Gruppierungen

Level 4 – Operational Process Model

Die dritte Ebene stellt die Schnittstelle zur IT-technischen Umsetzung dar und muss dementsprechend detailliert ausgearbeitet sein. Zielgruppe der Prozess-Modelle dieser Ebene sind primär die Prozess-Ausführenden. Sie sollen durch die Prozessbeschreibung eine Orientierungshilfe für ihre tägliche Arbeit erhalten und ein klares Verständnis entwickeln können, wie sie zu arbeiten haben. Die Modelle müssen neben der syntaktischen Korrektheit auch semantisch richtig sein, da sie beschreiben, wie tatsächlich gearbeitet wird. Spezifikation der Attribute der einzelnen Elemente. Auf dieser Ebene steht die gesamte Modellierungssyntax zur Verfügung.

Abbildungen

Abbildung 1: Abbildung 1 ¬Event¬Based Gateway als singulärer Startpunkt 4
Abbildung 2: Beschriftung von Gateways mit Events als Ergebnisse 4
Abbildung 3:Beschriftung von Gateways mit Tasks als Ergebnis 4
Abbildung 4: Parametrisierung der Task-Dauer 6
Abbildung 5: Parametrisierung Event¬Based Gateway 7
Abbildung 6: Modellierung mit AND¬Gateways (Links) - Alternative Modellierung (Rechts) 7
Abbildung 7: Prozesshierarchie 8

Anhang 3: Vergleichstest und Kurzvorstellung der Simulationsumgebungen AnyLogic und ExtendSim

Nachfolgend ist eine Kurzzusammenfassung der Analyse der beiden getesteten Simulationsumgebungen AnyLogic und Extendsim aufgeführt.

AnyLogic

Die von AnyLogic unterstützen Modellierungsansätze sind discrete event (ereignisorientierte), agent based (agentenbasierte) sowie die system dynamics (dynamische Systeme). Die drei Methoden sind derart implementiert, das eine Kombination sämtlicher Verfahren in einem Modell möglich sind (Multi-Method).

AnyLogic ist eine auf Java basierende Software, wodurch der Modellierung im Grunde keine Grenzen gesetzt sind. Funktionen und Objekte, die nicht in den Objektbibliotheken enthalten sind, lassen sich über selbst definierte Objekte erzeugen und frei konfigurieren. Java bietet weiterhin den Vorteil, komplette Modelle als Applets zu speichern oder über einen Web-Browser zu öffnen.

Die AnyLogic Professional Version erlaubt das importieren von CAD-Daten in das Modell.

Vorhandene Bibliotheken in der Professional Edition:

- Enterprise Library - Die Enterprise Library basiert auf der ereignisorientierten Modellierung und enthält Objekte, mit der sich einfach und schnell komplexe Systeme abbilden lassen. Beispiele hierfür sind Produktionsprozesse, Dienstleistungen (Banken, Flughäfen, Krankenhäuser etc.), Geschäftsprozesse sowie logistische oder Supply Chain Modelle.
- Pedestrian Library - Die Pedestrian Library ermöglicht die Simulation von Systemen mit dem Schwerpunkt der Bewegung von Passagier- bzw. Personenströmen in Kombination mit der klassischen ereignisorientierten Simulation (wie etwa Flughäfen, Bahnhöfen, U-Bahn- oder S-Bahn-Stationen etc.). Dabei interagieren die Fußgänger untereinander sowie mit ihrer Umgebung (Hindernisse wie Wände, Treppen, Warteschlangen). Die Modellierung erfolgt ähnlich eines Flowcharts und ist in die Enterprise Library integrierbar. Somit lassen sich Teile des Modells, in denen es nicht primär auf die physische Interaktion ankommt, mithilfe der Enterprise Library beschreiben und das Modell erheblich vereinfachen.
- Custom Libraries Development – erlaubt das Implementieren von eigenentwickelten Simulationsklassen.

AnyLogic ermöglicht die Entwicklung eigener, wieder verwendbarer Objekte und Java Klassen für spezielle Anwendungsbereiche, die sich zu Paketen zusammenfassen lassen, um diese als eigene Library in AnyLogic einzubinden. Diese selbsterstellten Bibliotheken lassen sich auch auf andere Nutzer übertragen.

Die Datenauswertung wird mittels der Analysis Library ermöglicht, die verschiedene Charts bzw. Histogramme beinhaltet.

Die Visualisierung von Modellen erfolgt über die Zuweisung von einfachen geometrischen Objekten aus der Presentation Library und beschränkt sich auf die zweidimensionale Ebene.

Schnittstellen zur Datenein- und Datenausgabe werden entweder direkt über den Java-Code implementiert oder über die Anbindung von Datenbanken (Excel/Acces/SQL oder über entsprechende Plug-Ins auch andere).

ExtendSim

ExtendSim beinhaltet ebenfalls wie AnyLogic die Option, mehrere Modellierungsansätze miteinander zu verbinden. Modellierungsansätze in ExtendSim sind:

- *Kontinuierliche Simulation (continous)* - Die Zeitschritte im Modell sind fixe Werte, die zu Beginn der Simulation festgelegt werden. Die Zeit läuft in gleichgroßen Schritten und Werte im Modell ändern sich dementsprechend auf Basis dieser Zeitwerte. In diesem Typ von Modell geben die Werte den Zustand des Systems zu jedem Zeitpunkt an und berechnen die Werte Schritt für Schritt. Beispiel für ein solches System ist zum einen ein Flugzeug mit aktiviertem Autopilot. Es ist ein kontinuierliches System, dessen Zustand (wie etwa Position oder Geschwindigkeit) sich kontinuierlich mit der Zeit ändert.
- *Diskrete Simulation (discrete event)* - Das System verändert seinen Zustand, wenn Ereignisse eintreten. Der zeitliche Verlauf hat keinen direkten Einfluss auf das Modell. Im Gegensatz zum kontinuierlichen Modell werden hier die Zeitschritte in Abhängigkeit von den Ereignissen berechnet. Damit ist ein Zeitabschnitt zwischen Ereignissen nicht zwangsläufig gleich. Beispiel hierfür wäre die Fabrikation von Bauteilen, die erst dann gefertigt werden, wenn sie beispielsweise angefordert werden.
- *Hybrider Simulationsansatz* - Kombination aus kontinuierlicher und diskreter Simulation (auch discrete rate genannt). Der hybride Ansatz kombiniert Aspekte beider Arten Simulationsarten. Wie bei der kontinuierlichen Modellierung werden eher Materialflüsse als individuelle Objekte betrachtet. Dennoch werden bei plötzlich eintretenden Ereignissen Werte neu berechnet, wie bei der diskreten Simulation.
- *Agentenbasierte Simulation*,
- *Lineare und nicht-lineare Systeme*

ExtendSim beinhaltet sogenannte Blöcke, die in Bibliotheken zusammengefasst sind, die ein schnelles und unkompliziertes Modellieren ermöglichen. Die GUI ist frei konfigurierbar und an die Modellieraufgabe anpassbar. Selbst erstellte Blöcke können in Libraries zusammengefasst werden und in andere Modelle eingebunden werden.

Die Modellierung erfolgt auf zweidimensionaler Basis, im Anschluss ist eine Umsetzung in 3D möglich.

Eine freie Programmierung im Sinne von AnyLogic ist in Extendsim nicht möglich. Durch entsprechende Kombination von Blöcken und Equations lässt sich dennoch eine Vielzahl nicht integrierter Funktionen erzeugen. Allerdings besitzt ExtendSim Schnittstellen, mit denen Code aus Programmiersprachen wie Delphi, C++ oder Visual Basic zugänglich wird.

Die Datenauswertung ist ebenfalls vielfältig durch verschiedene Datenplotter gestaltet und erlaubt die einfache Präsentation der Ergebnisse, als auch tiefergehende Analysen durch Berechnung benötigter Daten aus Simulationsergebnissen.

ExtendSim beeinhaltet keine Pedestrian Library, die eine Darstellung von Fußgängern ohne großen Aufwand ermöglicht bzw. überhaupt erst möglich macht.

ExtenSim Libraries

- *Animation 2D-3D Library* - Die *Animation 2D-3D Library* ermöglicht das Einfügen von Animationen im 2D- und 3D-Format.
- *Electronics Library* - Blocks in dieser Bibliothek ermöglichen die Simulation von analogen und digitalen Systemen, Signalverarbeitung und Kontrollsystemen.
- *Item Library* – Hauptsächlicher Einsatz für *discretes event modelling*, ist aber auch für *discrete rate* Modelle geeignet. Sobald ein Block aus dieser Bibliothek in einer kontinuierlichen Simulation verwendet wird, wird das Modell automatisch in ein *discrete event* Modell umgewandelt. Die *discrete event* Modelle betrachten Mengen und Objekte mit bestimmten, vordefinierten Charakteristika.
- *Plotter Library* - Beinhaltet Blöcke zur Darstellung von Output-Daten.
- *Rate Library* - Die Rate Library wird ausschließlich für *discrete rate* Simulationen verwendet, in denen Materialflüsse betrachtet werden.
- *Utilities Library* – Hält verschiedene Blöcke zur Konfiguration des Simulationsmodells zur Verfügung.
- *Value Library* - Hauptsächlich eingesetzt für die kontinuierliche Modellierung.

Fazit: Die vorliegend dokumentierte Analyse hat zum Ergebnis, dass im Rahmen des SiVe-Projekt als Simulationsumgebung für die Modellierung und Beschreibung von Personenströmen die Software AnyLogic 6.5 zum Einsatz kommt.

Anhang 4: Umfrage des Deutschen Wirtschaftswissenschaftlichen Instituts für Fremdenverkehr e.V. (dwif)

Die dwif-Consulting GmbH hat im Rahmen des SiVe-Projektes und im Auftrag des Fraunhofer ALI eine Umfrage am Flughafen München durchgeführt, um quantitatives Passagierverhalten zu ermitteln, die durch Datenaufbereitung im Rahmen der logistischen Simulation verwertet werden können.

Die dwif-Consulting GmbH ist ein Beratungsunternehmen für die Tourismus- und Freizeitbranche. Das Unternehmen beschäftigt sich mit der Datenanalyse, Szenariotechnik, Monitoringsystemen (Tourismusbarometer) und Benchmarkingsystemen, um deutsche Destinationen im „Europa der Regionen" besser vorzubereiten, wettbewerbsfähiger zu machen. Es ist bereits seit vielen Jahren mit Fragestellungen der Zielgruppenforschung, des Aufbaus von Monitoringsystemen, Trendanalysen und Prognosetools vertraut. [1]

Die Befragung am Flughafen München wurde Ende April/Anfang Mai durchgeführt. Befragt wurden rund 600 nationale und internationale Passagiere im Sicherheitsbereich des Flughafens. Die repräsentative Befragung wurde von Sicherheitsgeprüften, erfahrenen Interviewern durchgeführt, indem sie Passagiere ansprachen und den folgend vorgestellten Fragenbogen abfragten.

Die Eingabe und Auswertung der beantworteten Fragebögen wurde mittels SPSS durchgeführt. Die Ergebnisse und Auswertungen der Befragung sind im Anschluss an den Fragebogen aufgeführt.

Für weitere Fragen steht Herr Thomas Feil, Prokurist der dwif-Consulting GmbH, zur Verfügung:

Thomas Feil
dwif - Consulting GmbH
Marienstr. 19/20
10117 Berlin
Tel.: 030 / 757 949-0
Fax: 030 / 751 65 10
Email: th.feil@dwif.de

[1] Quelle: www.dwif.de

Wir befragen hier im Auftrag des Fraunhofer-Institutes zum Thema Sicherheit an Flughäfen. Hätten Sie 5 Min. Zeit?

Interviewer: _____; Fragebogennummer: _____; Datum:_____; Uhrzeit: ____

Flughafen: _____ Terminal: _____;

Gate/Flugsteignr.: _____ Flug nach: _____;

Transfer/Umsteiger: Von _____ nach _____ über _____

1. Sind Sie das **erste Mal am Flughafen München**? Ja ❑ Nein ❑

2. **Wie** sind Sie **angereist**?

Transfer/Umsteiger	❑	PKW: Familie/Freund/Bekannter hat mich hergefahren	❑
Taxi	❑	PKW Selbstanreise mit Parken:	
Sammeltaxi/Flughafentransfer: Hotel-Shuttle, Transferdienste, Shuttledienst Umlandparker	❑	• terminalnah	❑
S-Bahn/Bahn	❑	• Urlauberparkplatz auf dem Flughafengelände	❑
Bus, Linienbus	❑	• im Umland durch Parkanbieter	❑
Mietwagen	❑	Sonstiges und zwar: _____	

3. **Wie oft** sind Sie (Hin- und Rückflug) in den vergangenen 12 Monaten (ohne heutige Reise) geflogen? ___ (Mal)

4. **Anlass** Ihrer heutigen Flugreise? Geschäftlich ❑**;** Privat ❑**;**

Falls Geschäftlich: In welcher Konstellation reisen Sie?		Falls Privat: In welcher Konstellation reisen Sie?	
Alleine	❑	Alleine	❑
Mit Kollegen	❑	Mit Familie/Freunden	❑
Rückkehr am selben Tag	❑	Gruppenreise	❑
Rückkehr am Folgetag	❑	Rückkehr am Folgetag	❑
Längerer Aufenthalt	❑	Längerer Aufenthalt	❑
Sonstiges, und zwar: _____		Sonstiges, und zwar: _____	

5. Ihr **Gepäck**? Nur Handgepäck ❑**;** Einen (mehrere) Koffer/Taschen zum Aufgeben ❑**;** Sperrgepäck ❑

6. Wieviel **Zeit** verbringen Sie **im Flughafengebäude bevor Sie in das Flugzeug einsteigen**? ***(Ausgehend von der heutigen Flugreise)*** Bis 30 min ❑; 30 – 60 min ❑; 60 – 90 min ❑; 90 – 120 min ❑; mehr ❑

7. Haben Sie heute die u. g. Aktivitäten/ Aufenthalte am Flughafen vor der Kontrolle durch das Sicherheitspersonal (Handgepäck-, Personenkontrolle) genutzt? *(Mehrfachantworten möglich)*	
Vorabend Check-in (Abgabe Gepäck, Erhalt Boardkarte)	❑
Online Check-in (von Zuhause/Firma)	❑
Persönlicher Check-in beim Personal der Fluggesellschaft	❑

Elektronischer Check-in/E-Ticket ohne Personal am Airport	❑
Keine Zeit für weitere Aktivitäten vor der Handgepäckkontrolle	❑
Aufenthalt WC/Waschraum	❑
Besuch einer Kapelle, eines Gebetsraumes/-platzes	❑
Besuch Restaurant	❑
Besuch Cafe/Bar	❑
Besuch Bäckerei	❑
Besuch eines Dienstleisters (z. B. Friseur)	❑
Besuch Zeitungsladen/Büchershop	❑
Besuch Tabakladen/Kiosk	❑
Besuch eines Bekleidungsfachgeschäftes	❑
Besuch Apotheke/Drogeriemarkt	❑
Aufsuchen einer stillen Ecke /Sitzgelegenheit zum Telefonieren, Lesen …	❑
Aufsuchen einer Möglichkeit im freien für eine Zigarette/Zigarre	❑
Sonstiges und zwar: _____	❑

8. Die (Handgepäck) Kontrolle des **Sicherheitsdienstes;**

a.) Gab es Probleme / einen Zeitverlust bei der Sicherheitskontrolle? Ja ❑ Nein ❑

Wenn, ja was war der Grund (z. B. nicht abgelegte Gegenstände wie. z.B. Uhr, Gürtel)?

_____

_____

b.) Fühlen Sie sich nach der Sicherheitskontrolle sicherer? Ja ❑ Nein ❑

Wenn ja warum:

_____

_____

Wenn nein, warum nicht:

_____

c.) Wie bewerten Sie die Sicherheitsmaßnahmen / was könnte man aus Ihrer Sicht als Passagier verbessern?

_____

_____

9. Ihre **Aktivitäten** am Flughafen **<u>nach</u> der Handgepäckkontrolle** des Sicherheitspersonals (*Mehrfachantworten möglich*)	
Aufenthalt WC/Waschraum	❑
Ich habe vor dem Boarding etwas **weniger Zeit** (Wieviel Minuten: _____) und warte deshalb **direkt beim Gate,** während dessen:	❑
• Lese ich	❑
• Arbeite ich am Notebook	❑

• Telefoniere ich	❑
• Kümmere/unterhalte ich mich um/mit meinen Mitreisenden (Familie, Verwandte, Bekannte)	❑
• Beobachte ich Leute	❑
• Höre ich Musik	❑
• Schlafe ich	❑
Ich habe vor dem Boarding etwas **mehr Zeit** (Wieviel Minuten: _____) während dessen	❑
• Gehe ich in die Lounge	
• Gehe ich bummeln	❑
• Besuche ich ein Restaurant	❑
• Besuche ich ein Cafe/Bar	❑
• Besuche ich eine Bäckerei	❑
• Besuche ich einen duty-free-shop	❑
• Ich suche im duty-free-shop gezielt nach Artikeln, (z. B. ipod, Uhren, die über das sonst „übliche Angebot" (Spirituosen, Parfum) hinausgehen	❑
Sonstiges und zwar: _____	❑

10. Informationen zum Abflug: Fliegen Sie heute pünktlich/planmäßig ab? Ja ❑; Nein ❑; Wenn nein, was hat sich geändert:? Der Gate ❑; Die Abflugzeit (Verspätung) ❑; Sonstiges und zwar: _____

11. Geschlecht: Weiblich ❑ Männlich ❑ *(Ohne dies zu fragen!)*

Wo wohnen Sie? Ort: _____; PLZ: _____; Land: _____

Welcher Altersklasse darf ich Sie zuordnen

0–15 ❑; 15–21 ❑; 21–40 ❑; 40–60 ❑; 60–65 ❑; 65 u. m. ❑; k.A. ❑

Nationalität: _____; k. A. ❑

Vielen Dank für Ihre Mitarbeit ***(Alle Angaben werden streng vertraulich behandelt!)***

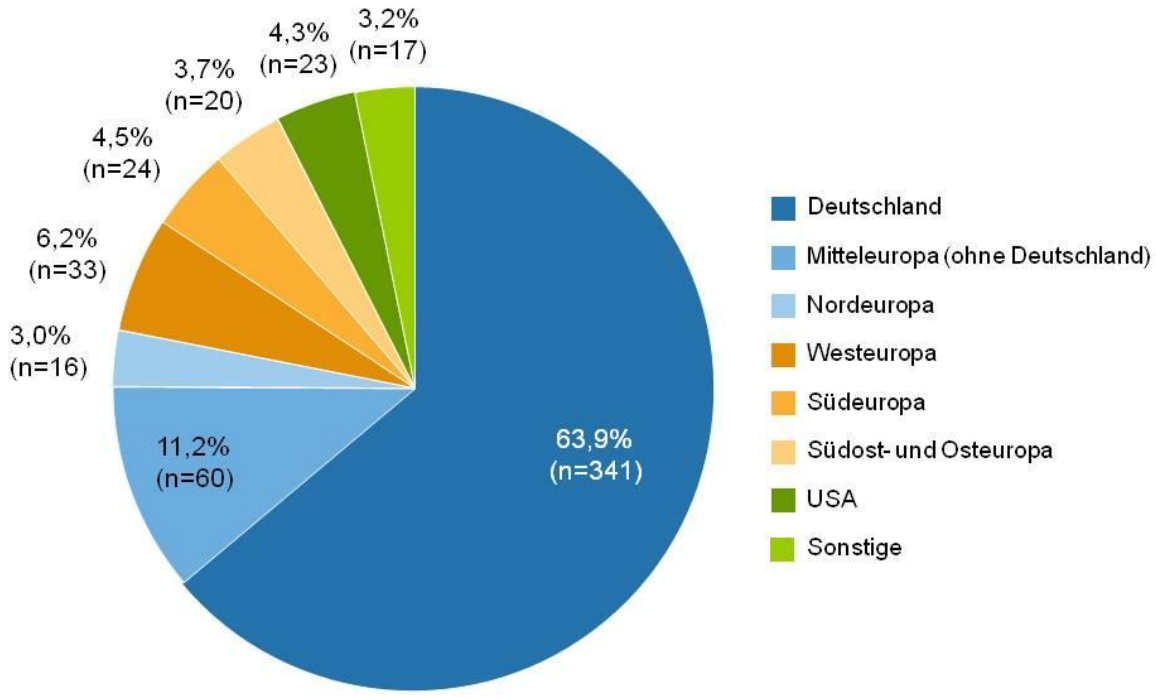
Aktivitäten nach der Handgepäckkontrolle IV

Transferreisende (in %)

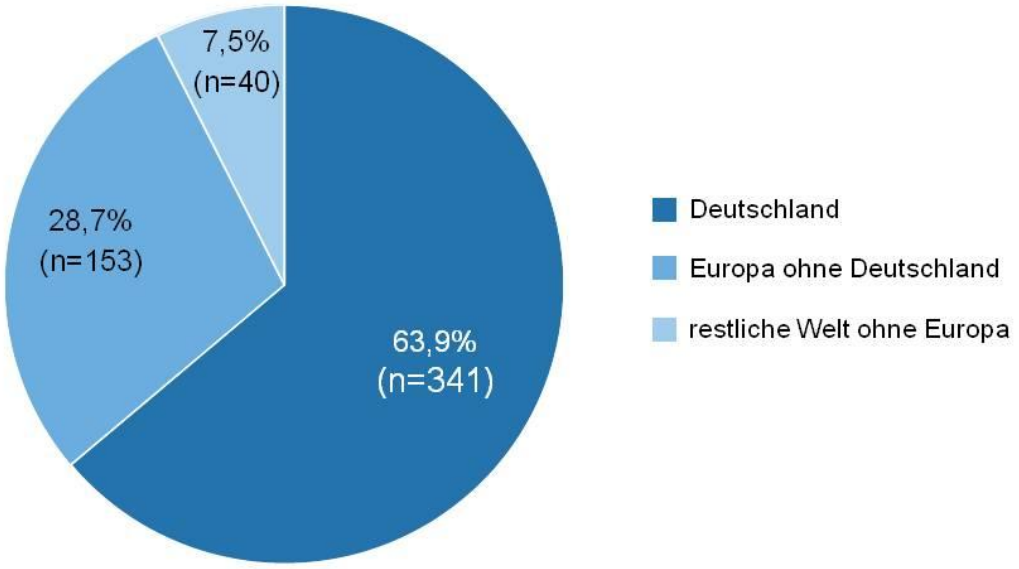
Mehrfachantwort möglich

	bis 30 min	30 bis 60 min	60 bis 90 min	90 bis 120 min	mehr als 120 min
Lesen	66,7	50,0	57,1	63,3	60,3
am Notebook arbeiten	16,7	13,6	21,4	26,7	17,5
Telefonieren	33,3	36,4	21,4	36,7	23,8
Um Mitreisende kümmern/sich unterhalten	-	22,7	-	23,3	14,3
Leute beobachten	16,7	40,9	14,3	40,0	36,5
Musik hören	-	27,3	21,4	16,7	27,0
Schlafen	-	18,2	7,1	3,3	7,9
in die Lounge gehen	-	-	7,1	6,7	4,8
Bummeln	16,7	27,3	35,7	43,3	49,2
Restaurant besuchen	-	9,1	7,1	26,7	44,4
Café/Bar besuchen	33,3	27,3	28,6	30,0	34,9
Bäckerei besuchen	-	4,5	-	6,7	-
Duty-Free Shop besuchen	-	31,8	42,9	40,0	31,7
gezielte Artikel aus dem Duty-Free-Shop, die über das sonst "übliche Angebot" hinausgehen	-	-	-	3,3	14,3

Herkunft der Befragten nach Ländergruppen

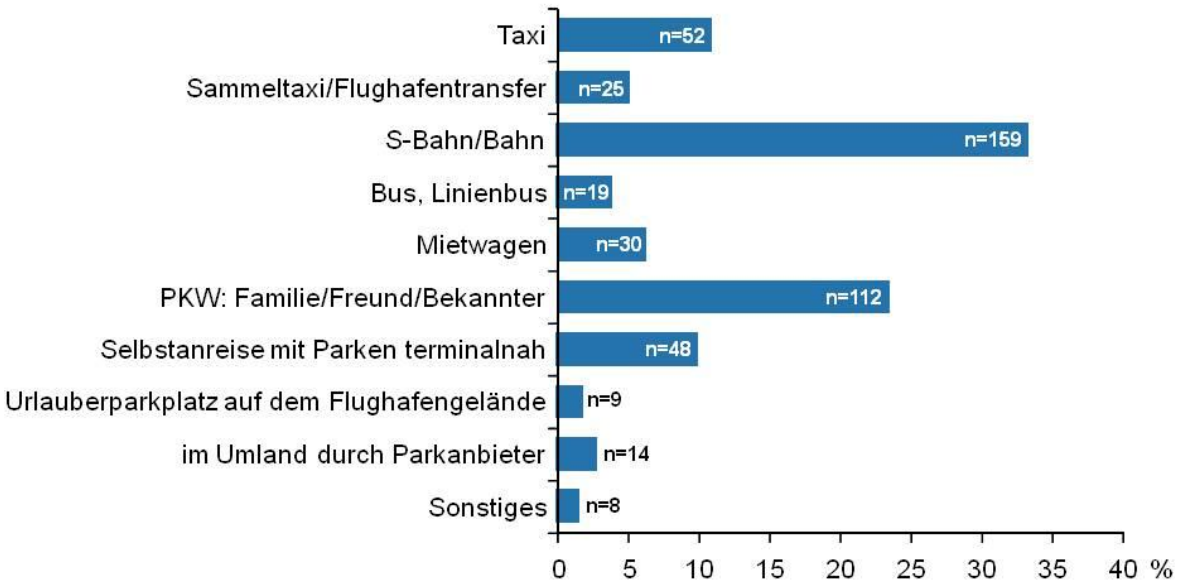


Herkunft der Befragten nach Ländergruppen (zusammengefasst)

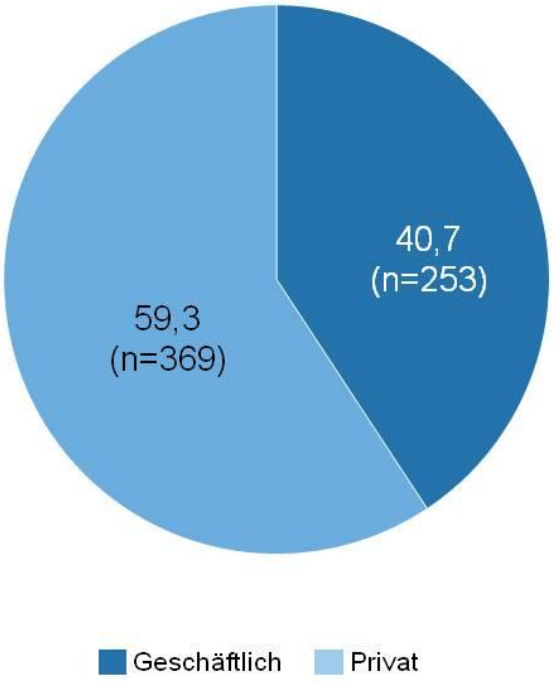


Wie sind Sie angereist?

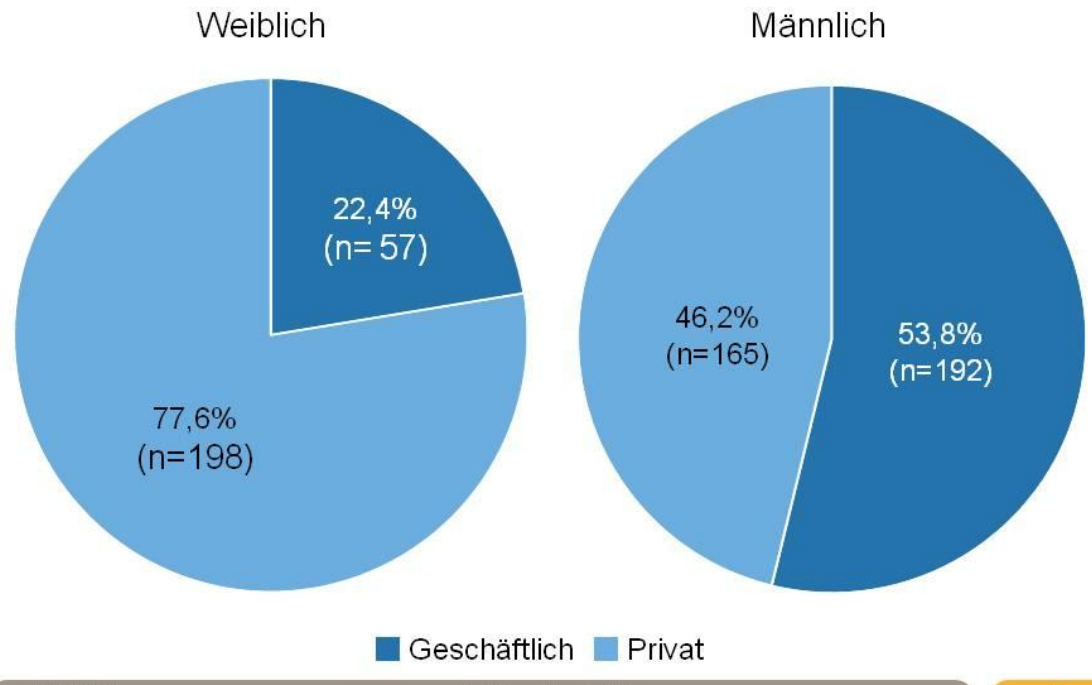
Nicht-Transferreisende



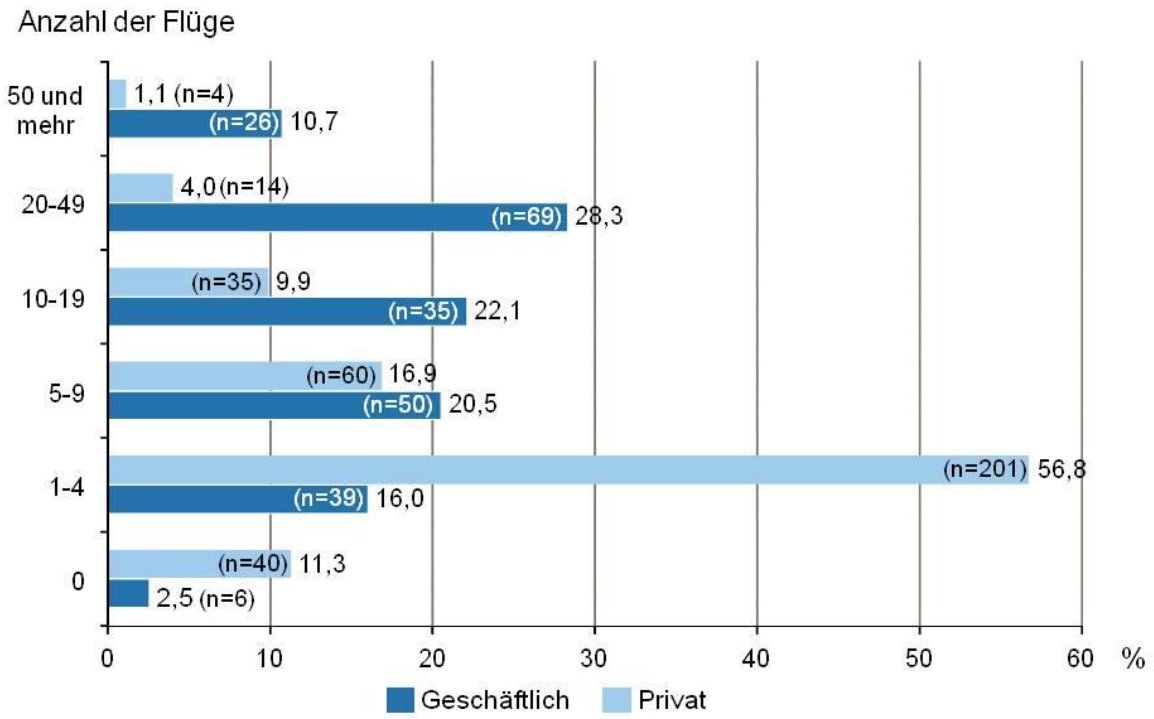
Anlass Ihrer heutigen Flugreise?



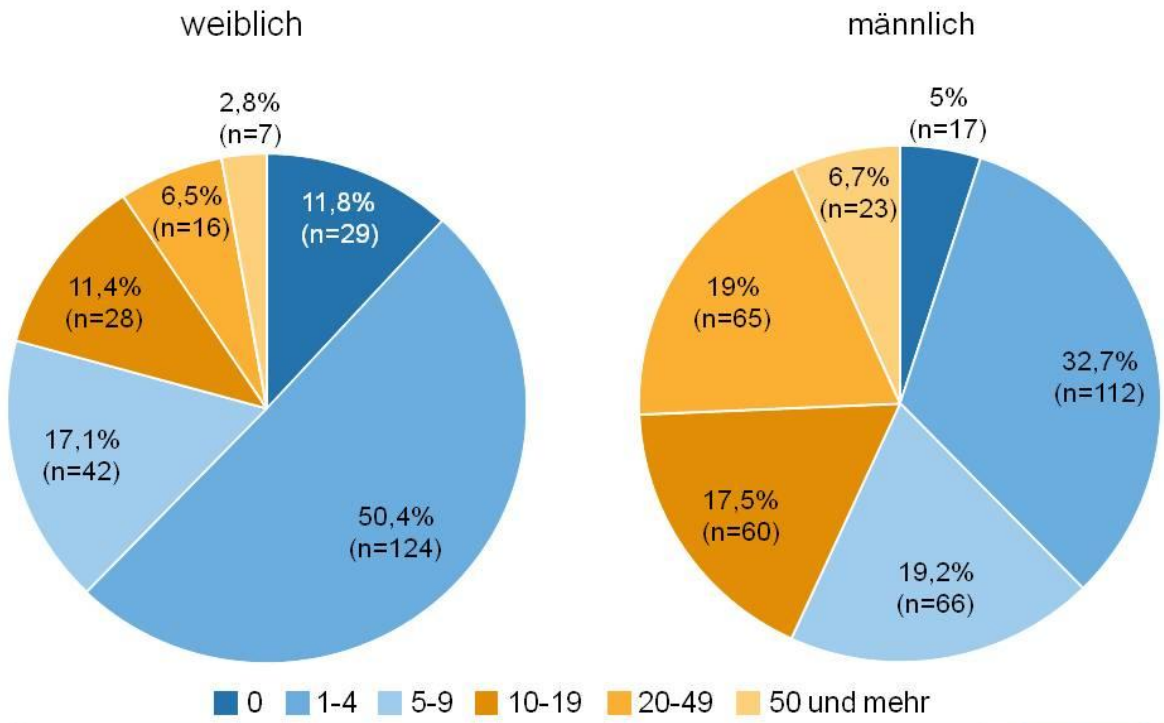
Anlass Ihrer heutigen Flugreise? Weiblich/Männlich



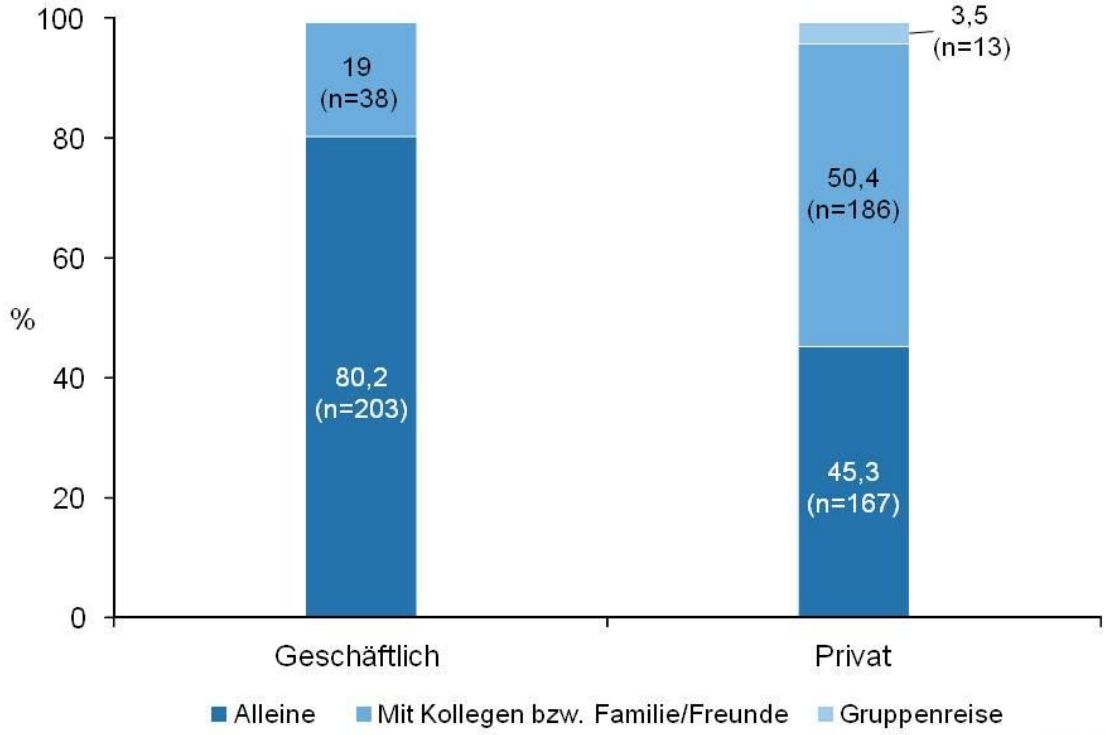
Wie oft sind Sie in den vergangenen 12 Monaten geflogen? – Privat/Geschäftlich



Wie oft sind Sie in den vergangenen 12 Monaten geflogen? – Weiblich/Männlich



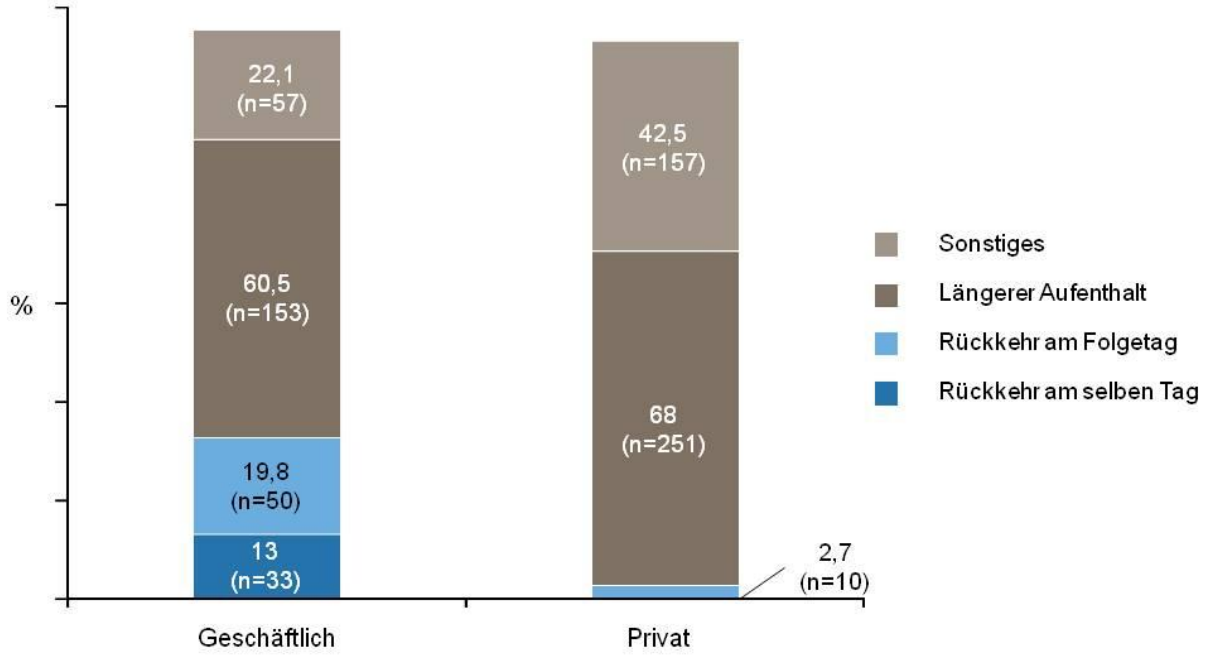
In welcher Konstellation reisen Sie? I



19.03.2012 dwif-Consulting GmbH 9

In welcher Konstellation reisen Sie? II

Mehrfachantwort möglich



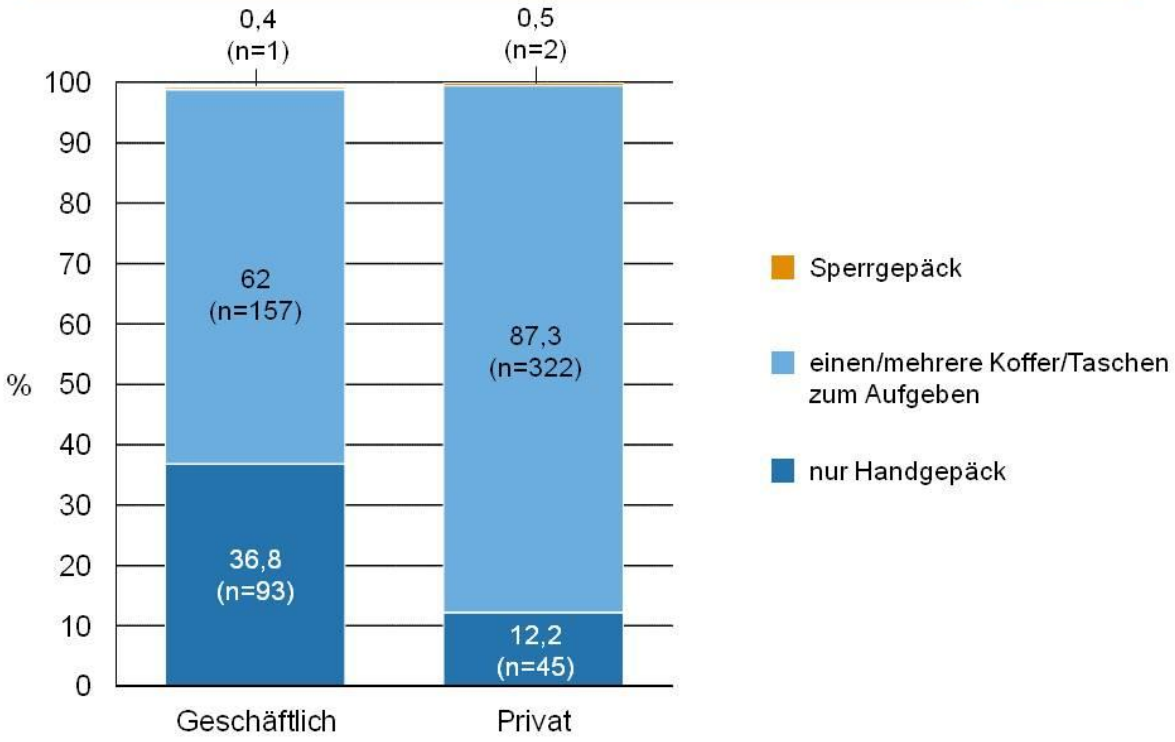
19.03.2012 dwif-Consulting GmbH 10

In welcher Konstellation reisen Sie? III

Von denjenigen, die **Sonstiges** angegeben haben, reisen geschäftlich bzw. privat Reisende in folgender Konstellation:

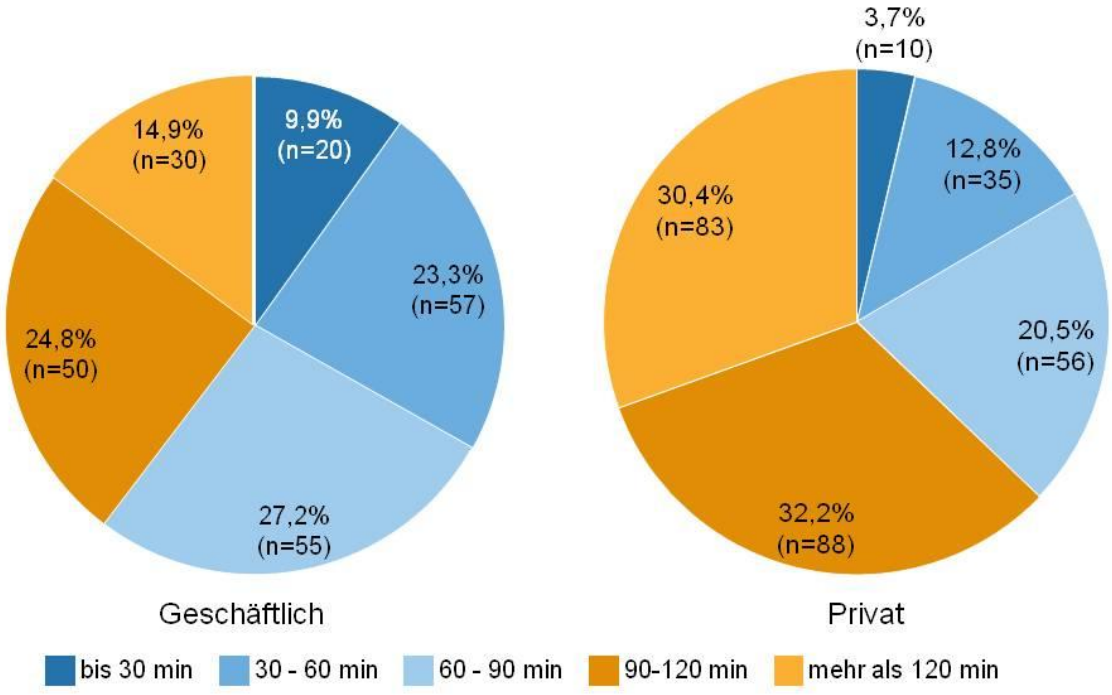
Geschäftlich	Privat
2-5 Tage (28,6%; n=16)	**2-6 Tage** (18,5%; n=29)
7-10 Tage (25%; n=14)	**1 Woche** (17,8%; n=28)
Rückflug (19,6%; n=11)	**Rückflug** (15,9%; n=25)
Flug nach Hause (10,7%; n=6)	**Flug nach Hause** (10,8%; n=17)
Mehrere Monate (5,4%; n=3)	**8-12 Tage** (9,6%; n=15)
	2 Wochen (8,9%; n=14)
	3-4 Wochen (5,7%; n=9)
	Wochenende (5,7%; n=9)
	Rückflug gleicher Tag (3,8%; n=6)
	Mehrere Monate (2,5%; n=4)

Mit welchem Gepäck reisen Sie?



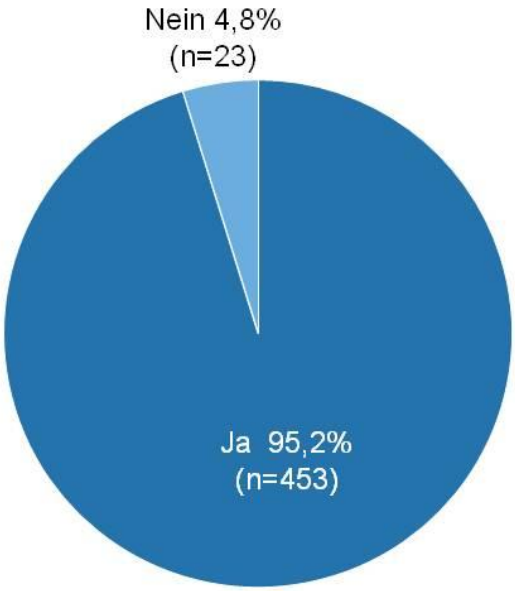
Wie viel Zeit verbringen Sie im Flughafengebäude bevor Sie in das Flugzeug einsteigen?

Nicht-Transferreisende

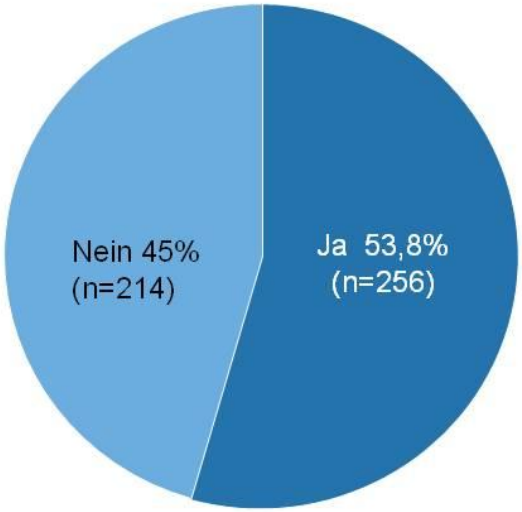


Die (Handgepäck)Kontrolle des Sicherheitsdienstes I

Gab es Probleme/einen Zeitverlust bei der Sicherheitskontrolle?



Fühlen Sie sich nach der Sicherheitskontrolle sicherer?

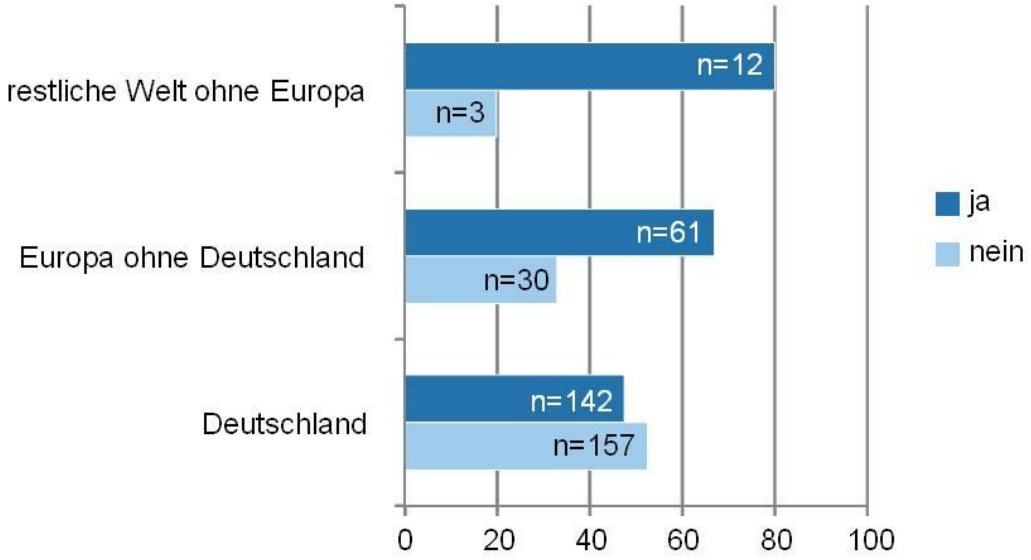


Nicht-Transferreisende

Die (Handgepäck)Kontrolle des Sicherheitsdienstes II

Fühlen Sie sich nach der Sicherheitskontrolle sicherer?

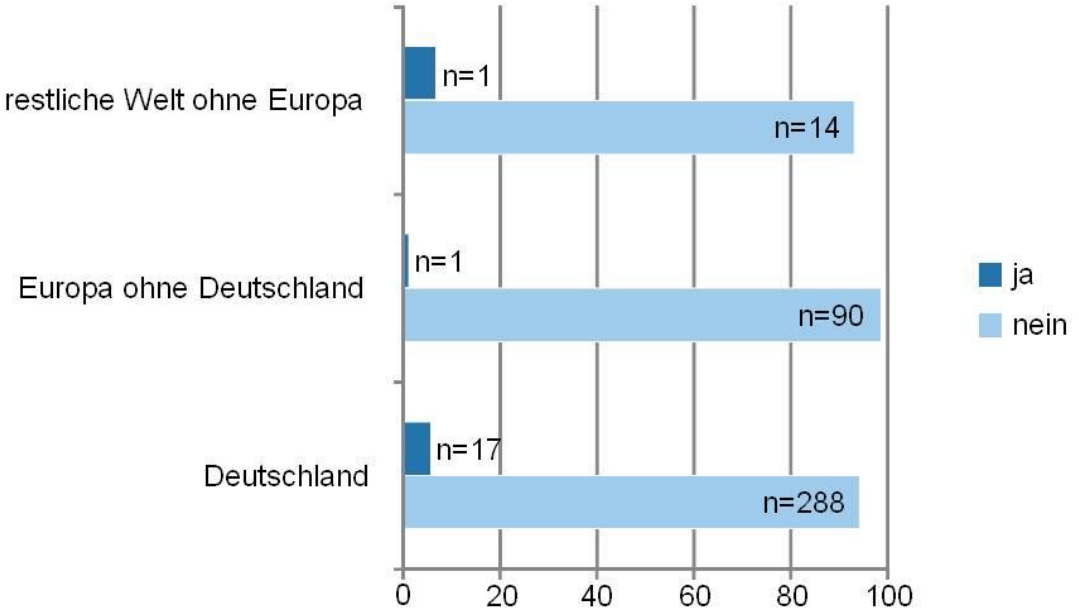
- Nicht-Transferreisende -



Die (Handgepäck)Kontrolle des Sicherheitsdienstes III

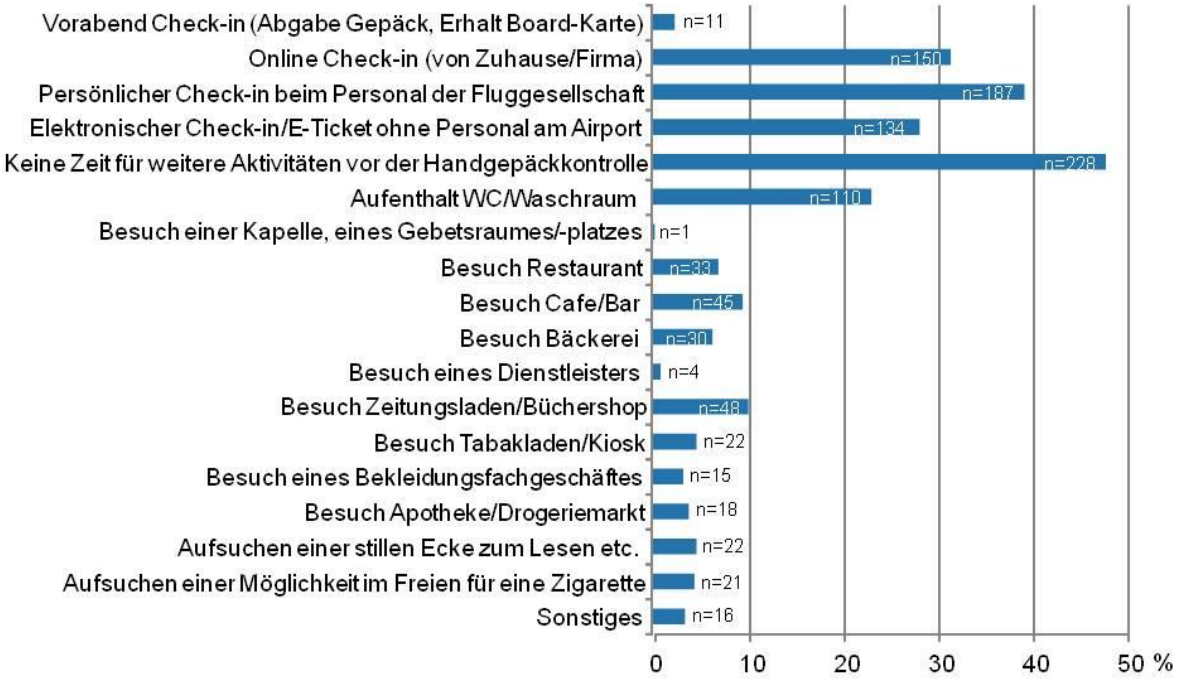
Gab es Probleme/einen Zeitverlust bei der Sicherheitskontrolle?

- Nicht-Transferreisende -



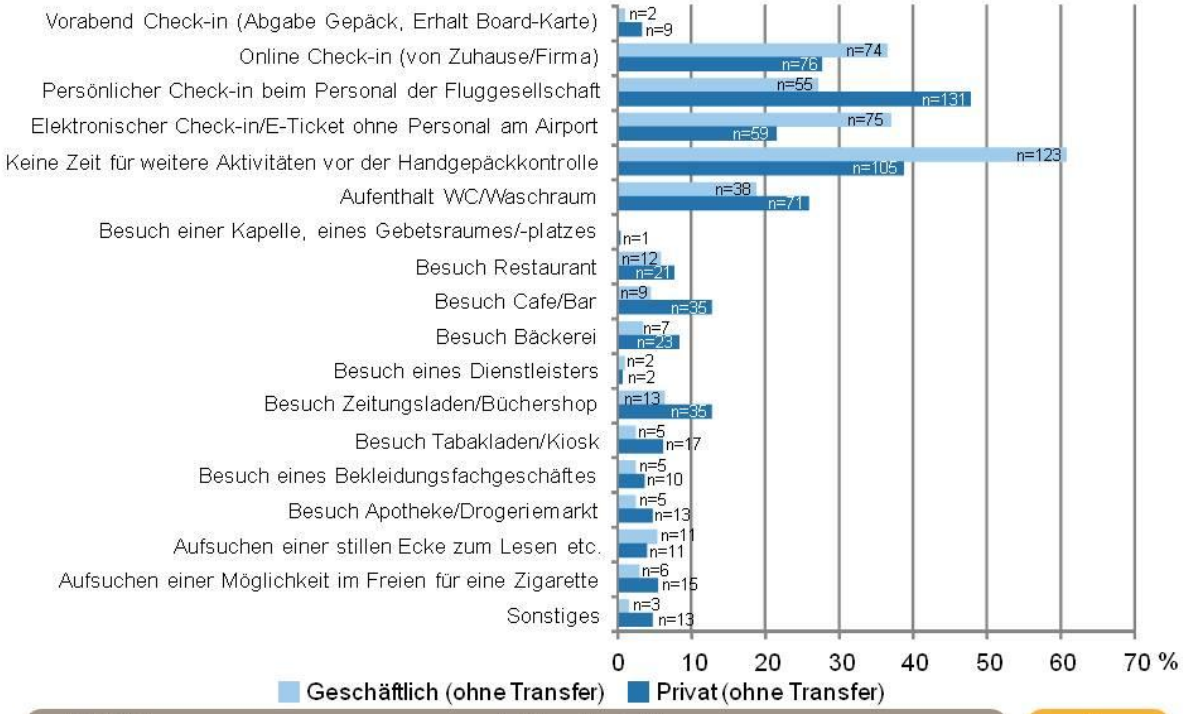
Aktivitäten/Aufenthalte, die am Flughafen vor der Kontrolle durch das Sicherheitspersonal genutzt wurden I

Nicht-Transferreisende — Mehrfachantwort möglich



Aktivitäten/Aufenthalte, die am Flughafen vor der Kontrolle durch das Sicherheitspersonal genutzt wurden II

Nicht-Transferreisende — Mehrfachantwort möglich



Aktivitäten/Aufenthalte, die am Flughafen vor der Kontrolle durch das Sicherheitspersonal genutzt wurden III

dwif consulting

Nicht-Transferreisende (in %)

Mehrfachantwort möglich

	bis 30 min	30 bis 60 min	60 bis 90 min	90 bis 120 min	mehr als 120 min
Vorabend Check-in (Abgabe Gepäck, Erhalt Board-Karte)	-	4,9	1,8	1,4	2,6
Online Check-in (von Zuhause/Firma)	□53,3	39	31,5	32,6	18,4
Persönlicher Check-in beim Personal der Fluggesellschaft	□16,7	26,8	29,7	44,2	57,9
Elektronischer Check-in/E-Ticket ohne Personal am Airport	□30,0	29,3	37,8	23,9	22,8
Keine Zeit für weitere Aktivitäten vor der Handgepäckkontrolle	□90,0	59,8	49,5	39,9	36,8
Aufenthalt WC/Waschraum	□10,0	22	22,5	26,1	23,7
Besuch einer Kapelle, eines Gebetsraumes/-platzes	-	1,2	-	-	-
Besuch Restaurant	-	1,2	4,5	8,0	14,0
Besuch Café/Bar	-	11,0	10,8	7,2	12,3
Besuch Bäckerei	3,3	0,1	3,6	8,7	7,0
Besuch eines Dienstleisters	6,6	-	-	0,7	0,9
Besuch Zeitungsladen/Büchershop	-	8,5	9,9	12,3	11,4
Besuch Tabakladen/Kiosk	-	2,4	5,4	3,6	7,9
Besuch eines Bekleidungsfachgeschäftes	-	2,4	4,5	2,2	4,4
Besuch Apotheke/Drogeriemarkt	-	2,4	2,7	5,1	5,3
Aufsuchen einer stillen Ecke/Sitzgelegenheit zum Telefonieren, Lesen…	-	3,7	6,3	6,5	2,6
Aufsuchen einer Möglichkeit im Freien für eine Zigarette/Zigarre	3,3	1,2	6,3	3,6	6,1
Sonstiges	-	2,4	1,8	5,1	4,4

Aktivitäten/Aufenthalte, die am Flughafen vor der Kontrolle durch das Sicherheitspersonal genutzt wurden IV

dwif consulting

Nicht-Transferreisende – Geschäftlich (in %)

Mehrfachantwort möglich

	bis 30 min	30 bis 60 min	60 bis 90 min	90 bis 120 min	mehr als 120 min
Vorabend Check-in (Abgabe Gepäck, Erhalt Board-Karte)	-	2,1	-	-	3,3
Online Check-in (von Zuhause/Firma)	□60,0	42,6	29,1	40,0	20,0
Persönlicher Check-in beim Personal der Fluggesellschaft	□5,0	23,4	25,5	32,0	43,3
Elektronischer Check-in/E-Ticket ohne Personal am Airport	□35,0	31,9	47,3	34,0	□33,3
Keine Zeit für weitere Aktivitäten vor der Handgepäckkontrolle	□90,0	63,8	61,8	50,0	53,3
Aufenthalt WC/Waschraum	□5,0	19,1	14,5	24,0	26,7
Besuch einer Kapelle, eines Gebetsraumes/-platzes	-	-	-	-	
Besuch Restaurant	-	-	5,5	8,0	16,7
Besuch Café/Bar	-	8,5	-	6,0	6,7
Besuch Bäckerei	-	□2,1	3,6	6,0	3,3
Besuch eines Dienstleisters	□5,0	-	-	2,0	-
Besuch Zeitungsladen/Büchershop		4,3	7,3	10,0	□6,7
Besuch Tabakladen/Kiosk	-	-	-	2,0	13,3
Besuch eines Bekleidungsfachgeschäftes	-	□2,1	3,6	2,0	3,3
Besuch Apotheke/Drogeriemarkt	-	2,1	1,8	2,0	6,7
Aufsuchen einer stillen Ecke/Sitzgelegenheit zum Telefonieren, Lesen…	-	-	7,3	10,0	□6,7
Aufsuchen einer Möglichkeit im Freien für eine Zigarette/Zigarre	□5,0	-	3,6	4,0	3,3
Sonstiges	-	2,1	1,8	2,0	-

Aktivitäten/Aufenthalte, die am Flughafen vor der Kontrolle durch das Sicherheitspersonal genutzt wurden V

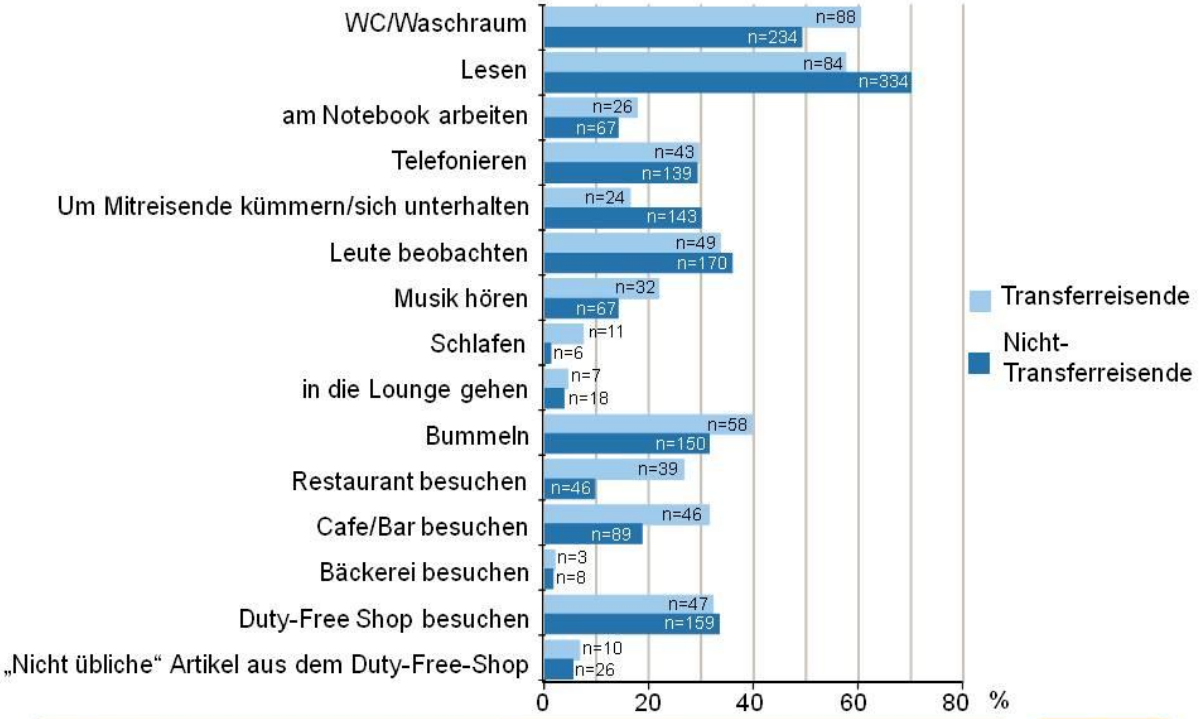
Nicht-Transferreisende – Privat (in %)

Mehrfachantwort möglich

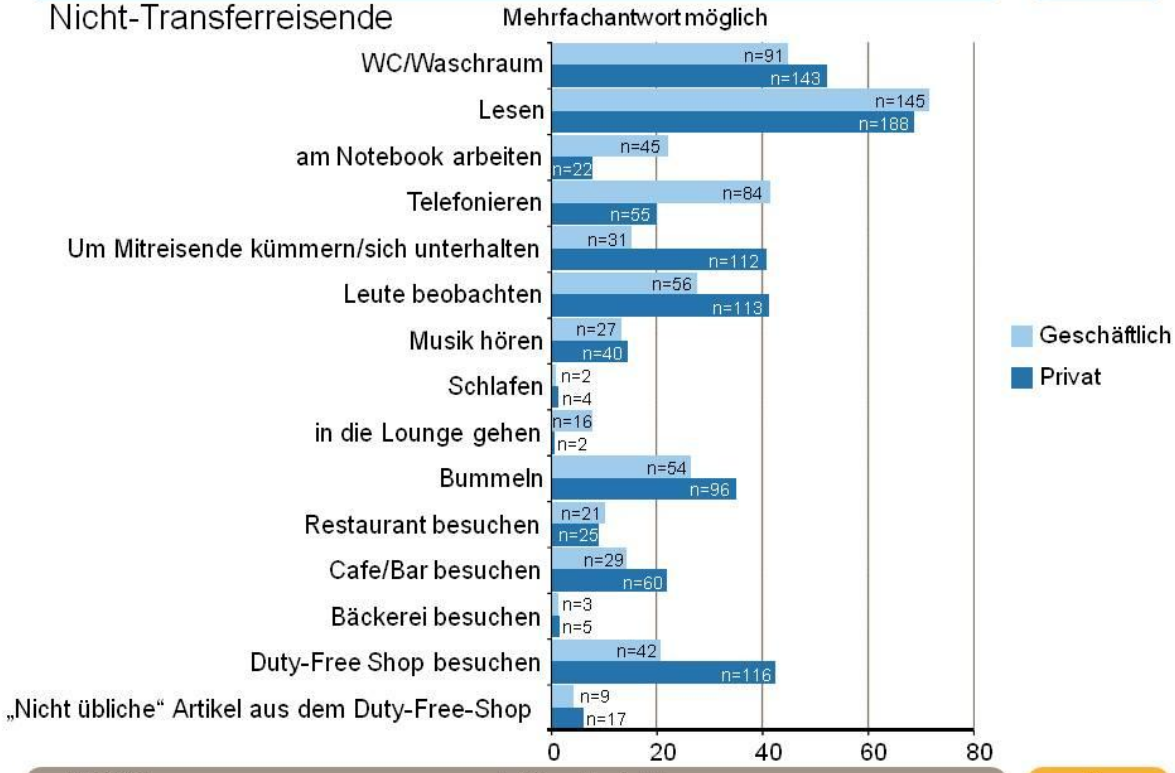
	bis 30 min	30 bis 60 min	60 bis 90 min	90 bis 120 min	mehr als 120 min
Vorabend Check-in (Abgabe Gepäck, Erhalt Board-Karte)	□-	8,6	3,6	2,3	□2,4
Online Check-in (von Zuhause/Firma)	□40,0	34,3	33,9	28,4	□18,1
Persönlicher Check-in beim Personal der Fluggesellschaft	□40,0	31,4	33,9	51,1	□62,7
Elektronischer Check-in/E-Ticket ohne Personal am Airport	□20,0	25,7	28,6	18,2	□19,3
Keine Zeit für weitere Aktivitäten vor der Handgepäckkontrolle	□90,0	54,3	37,5	34,1	□31,3
Aufenthalt WC/Waschraum	□20,0	25,7	30,4	27,3	21,7
Besuch einer Kapelle, eines Gebetsraumes/-platzes	-	2,9	-	-	
Besuch Restaurant	-	2,9	3,6	8	13,3
Besuch Café/Bar	-	14,3	21,4	8	13,3
Besuch Bäckerei	□10,0	11,4	3,6	10,2	8,4
Besuch eines Dienstleisters	□10,0	-	-	-	1,2
Besuch Zeitungsladen/Büchershop	-	14,3	12,5	13,6	□13,3
Besuch Tabakladen/Kiosk	-	5,7	10,7	4,5	□6,0
Besuch eines Bekleidungsfachgeschäftes	-	2,9	5,4	2,3	□4,8
Besuch Apotheke/Drogeriemarkt	-	2,9	3,6	6,8	□4,8
Aufsuchen einer stillen Ecke/Sitzgelegenheit zum Telefonieren, Lesen...	-	8,6	5,4	4,5	1,2
Aufsuchen einer Möglichkeit im Freien für eine Zigarette/Zigarre	-	2,9	8,9	3,4	□7,2
Sonstiges	-	2,9	1,8	6,8	□6,0

Aktivitäten nach der Handgepäckkontrolle I

Mehrfachantwort möglich



Aktivitäten nach der Handgepäckkontrolle II



Sonstige Aktivitäten nach der Handgepäckkontrolle III

Von denjenigen, die **Sonstiges** angegeben haben, nutzen Nicht-Transferreisende (20,8%; n=99) und Transferreisende (23,3%; n=34) folgende Aktivitäten:

Nicht-Transferreisende	Transferreisende
Kaffee, Tee und Zeitschrift (18,7%; n=20)	**Geschäfte besucht (Bekleidung, Geschenke etc.)** (30%, n=9)
LH-Automat/Bar (17,8%; n=19)	**Selbstständige Aktivitäten am Platz** (30%, n=9)
Im Kiosk Zeitung gekauft (15,9%; n=17)	**LH-Automat/Bar** (16,7%; n=5)
Im Kiosk sonstiges (Getränke, Schokolade etc.) gekauft (14,0%; n=15)	**Apotheke besucht** (13,3%; n=4)
Aktivitäten durch Flughafen angeboten (versch. Shops besuchen) (12,1%; n=13)	**Etwas gekauft (Essen, Souvenirs etc.)** (10%; n=3)
Sonstige selbstständige Aktivitäten am Platz (6,5%; n=7)	
Etwas gekauft (Essen, Souvenirs etc.) (5,6%; n=6)	
Nach Preisen/best. Produkten geguckt (5,6%; n=6)	
Geraucht (3,7%; n=4)	

Sonstige Aktivitäten nach der Handgepäckkontrolle III

(in %)

Mehrfachantwort möglich

	Deutschland	Europa ohne Deutschland	restliche Welt ohne Europa
WC	54,1	54,2	52,5
Lesen	72,1	59,5	50
am Notebook arbeiten	14,4	16,3	15
Telefonieren	30,5	27,5	22,5
Um Mitreisende kümmern/sich unterhalten	29,9	24,8	25
Leute beobachten	34,9	43,1	35
Musik hören	11,4	26,1	25
Schlafen	0,9	5,9	7,5
in die Lounge gehen	5	1,3	2,5
Bummeln	31,1	38,6	40
Restaurant besuchen	8,5	21,6	27,5
Cafe/Bar besuchen	18,2	28,1	20
Bäckerei besuchen	1,2	3,3	2,5
Duty-Free Shop besuchen	27,9	45,1	35
gezielte Artikel aus dem Duty-Free-Shop, die über das sonst "übliche Angebot" hinausgehen	5,3	6,5	7,5
Sonstiges	22	19,6	20

Aktivitäten nach der Handgepäckkontrolle IV

Nicht-Transferreisende (in %)

Mehrfachantwort möglich

	bis 30 min	30 bis 60 min	60 bis 90 min	90 bis 120 min	mehr als 120 min
Lesen	83,3	65,9	70,8	74,0	65,6
am Notebook arbeiten	10,6	15,6	15,6	9,0	18,8
Telefonieren	40,9	29,9	24,0	25,0	28,1
Um Mitreisende kümmern/sich unterhalten	18,2	25,1	31,3	42,0	31,3
Leute beobachten	33,3	31,1	35,4	42,0	43,8
Musik hören	18,2	14,4	12,5	15,0	12,5
Schlafen	-	0,6	1,0	4,0	-
in die Lounge gehen	6,1	4,8	2,1	2,0	3,1
Bummeln	21,2	26,9	30,2	41,0	50,0
Restaurant besuchen	3,0	6,6	9,4	16,0	21,9
Café/Bar besuchen	9,1	18,6	20,8	23,0	0,2
Bäckerei besuchen	3,0	1,8	2,1	-	3,1
Duty-Free Shop besuchen	28,8	31,7	29,2	38,0	37,5
gezielte Artikel aus dem Duty-Free-Shop, die über das sonst "übliche Angebot" hinausgehen	4,5	6,0	6,3	5,0	6,3

Anhang 5: Pflichtenheft – SimVRML

Version: 4.0
Datum: 04.11.2010

Inhalt

1 Zielbestimmung 32
1.1 Musskriterien 32
1.2 Wunschkriterien 33
1.3 Abgrenzungskriterien 33
2 Produkteinsatz 33
2.1 Anwendungsbereiche 33
2.2 Zielgruppen 33
2.3 Betriebsbedingungen 33
3 Produktumgebung 34
3.1 Software 34
3.2 Hardware 34
3.3 Orgware 34
4 Produktfunktionen 35
5 Produktdaten 37
6 Produktleistungen 37
7 Benutzungsoberfläche 37
8 Qualitätszielbestimmungen 38
9 Globale Testszenarien / Testfälle 38
10 Entwicklungsumgebung 41
10.1 Software 41
10.2 Hardware 41
10.3 Orgware 41
11 Ergänzungen 41
11.1 Lizenzen für AnyLogic 41
Abbildungsverzeichnis 42

1 Zielbestimmung

SimVRML ist ein Konvertierungsprogramm. Ausgehend von zweidimensionalen Raum- und Bewegungsdaten, die aus einer Simulation mittels des Programms AnyLogic erzeugt werden, wird ein VRML-Projekt erzeugt, in welchem die Umgebung und die simulierten Personenbewegungen dreidimensional visualisiert werden. Die Steuerung erfolgt über eine GUI.

1.1 Musskriterien

- Graphical User Interface (GUI)
  - Es gibt die Möglichkeit des Auswählens einer alp-Datei aus AnyLogic für statische Geometriedaten.
  - Es gibt die Möglichkeit des Auswählens einer Datei, welche die extrahierten dynamischen Bewegungsdaten enthält.
  - Es gibt die Möglichkeit des Auswählens der zu erstellenden VRML-Zieldatei (wrl).
  - Warnungen und Fehlern der Konvertierung werden in einem Textfeld angezeigt.
- Statische Umgebungsdaten
  - Die statischen Umgebungsdaten liegen in einer alp-Datei vor.
  - Die darin enthaltenen zweidimensionalen geometrischen Objekte werden ausgelesen und in dreidimensionale formähnliche Objekte in VRML (Version 2.0) übersetzt.
  - Die virtuelle Welt ist beschränkt auf eine räumliche Ebene.
- Dynamische Bewegungsdaten
  - Die Bewegungsdaten entstehen durch Bewegungssimulation von Objekten der Klasse Ped ("Pedestrian") der Pedestrian Library, die in AnyLogic Professional enthalten ist. Die Quelle der Personen ist eine Instanz der ebenfalls in dieser Bibliothek enthaltenen Klasse pedSource.
  - Die Personen werden in Gruppen zusammengefasst, die sich jeweils um ein Attribut unterscheiden. Jede Gruppe wird durch eine Instanz der Klasse pedSource generiert. In der Visualisierung werden Mitglieder verschiedener Gruppen optisch voneinander abgegrenzt.
  - Die Bewegungsdaten werden mit einer in AnyLogic zu integrierenden Funktion extrahiert. Dies geschieht während eines Simulationsdurchlaufes, in welchem die Daten aufgezeichnet werden. Die Bewegungsabläufe sind also für einen gegebenen Simulationsdurchlauf fest und können in der resultierenden VRML-Darstellung nicht mehr verändert werden.
  - Die dynamischen Daten werden ebenfalls in dreidimensionale Objekte übersetzt, zu denen zusätzlich die zeitlich veränderlichen Positionsdaten gespeichert werden.
  - Die Darstellung der Personen erfolgt zunächst in Form vereinfachter geometrischer Körper (z.B. Zylinder).
  - Die Bewegungsdaten werden in einer Datei gespeichert (z.B. csv).
- Generieren und Speichern von VRML-Code

- Aus den statischen und dynamischen Daten wird ein räumlich adäquates Modell im VRML-Code generiert.
- Das Resultat ist eine VRML-Projektdatei (wrl), welche den Standards der Sprache entspricht und von gängigen Wiedergabeprogrammen ausgeführt werden kann.

- Anzeige

  - Das Anzeigeprogramm für VRML-Daten (z.B. Browserplugin) wird mit einem Button in der GUI verknüpft.

1.2 Wunschkriterien

(absteigend nach Priorität)

- Personen sollen detaillierter dargestellt werden.
- Das Programm einschließlich der GUI soll vollständig in AnyLogic integriert werden.
- Es soll sichergestellt werden, dass eine Übertragung der VRML-Datei für die vom Auftraggeber verwendete Projektionssoftware möglich ist.
- Texturen für Boden oder Wände sollen verfügbar sein.
- Die Konvertierung soll auch ohne GUI möglich, sondern optional durch einen Konsolenbefehl durchführbar sein, um die Integration des Programms in andere Systeme zu ermöglichen. In diesem Fall werden auch die statischen Umgebungsdaten direkt aus der Simulation extrahiert. Das Einlesen der Dateien (alp, csv) entfällt in diesem Falle.

1.3 Abgrenzungskriterien

- Es wird kein eigener Renderer für VRML-Daten entwickelt.
- Ein direkter Live-Stream der Daten in die VRML-Simulation wird ausgeschlossen.

2 Produkteinsatz

2.1 Anwendungsbereiche

Die durch das Programm erzeugte Visualisierung kann zur Analyse von Personenbewegungen verwendet werden, um beispielsweise Raum- oder Sicherheitskonzepte zu erstellen oder zu verbessern.

2.2 Zielgruppen

Das Programm ist für ein breites Anwendungsfeld auf dem Gebiet der Simulation im Zusammenhang mit 3D-Visualisierungen, vorrangig von Personenströmen geeignet, wie z.B. für Planer/Konzeptdesigner von Personensystemen.

2.3 Betriebsbedingungen

Das Programm hat eine Betriebsdauer von 24 Stunden am Tag und soll wartungsfrei laufen.

3 Produktumgebung

3.1 Software

- Empfohlene Betriebssysteme: Windows XP, Windows 7, Debian Linux
- Java 6 (Update 22)
- AnyLogic (Version 6.5)
- Browser-Plugin zur Darstellung von VRML-Daten, z.B. Cortona-3D

3.2 Hardware

- Ein PC mit üblicher Ausstattung, insbesondere üblicher Eingabegeräte (Keyboard, Maus) ist ausreichend.
- Hinreichend schnelle Grafikkarte zur Darstellung von VRML-Daten.

3.3 Orgware

Es existieren keine zusätzlichen Anforderungen.

4 Produktfunktionen

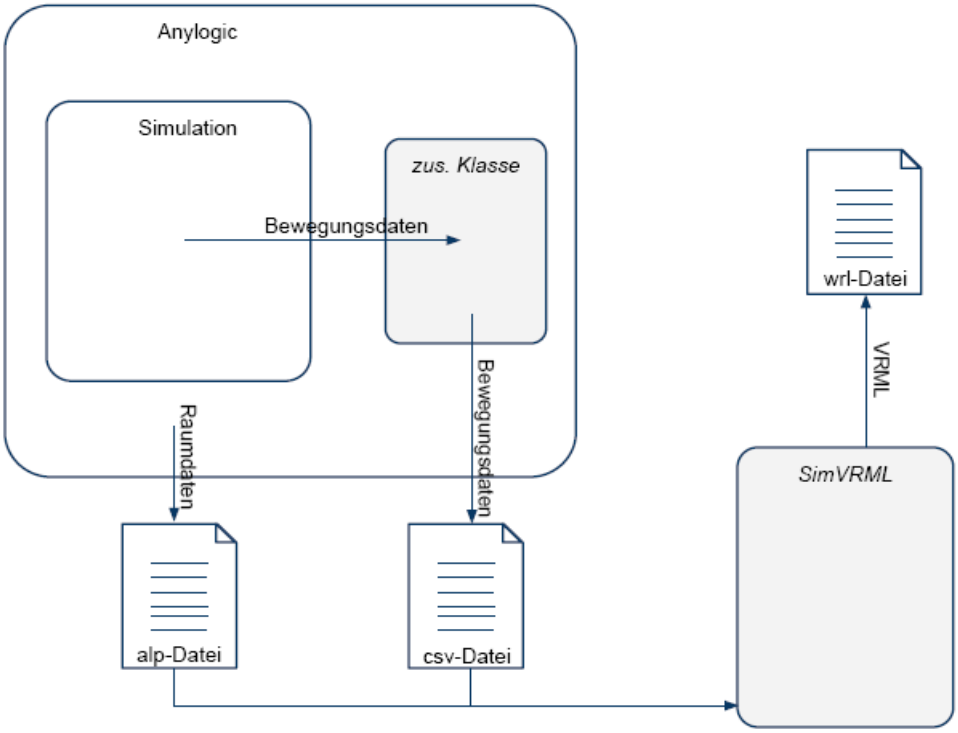


Abbildung 1: Schematischer Aufbau des Programms / Integration mit Any- Logic

/F010/Bewegungsdaten aufzeichnen

Diese Funktion ist für die Extraktion und Speicherung der Bewegungsdaten zuständig. Sie ist Bestandteil einer separaten Klasse, die vom Benutzer in das AnyLogic-Projekt importiert werden muss. Während eines Simulationsdurchlaufes übernimmt die Funktion die Positionsdaten der sich bewegenden Personen und speichert sie in einer csv-Datei.

/F011/Daten auslesen

Die Bewegungsdaten werden an einer geeigneten Schnittstelle von der Simulation abgegriffen. Dazu ist ein geeignetes Zeitintervall zu definieren, das die Abstände zwischen den einzelnen Aufnahmen des Systemzustands bestimmt.

/F012/Daten speichern:

Die Daten werden in geeigneter Weise formatiert und in einer csv- Datei gespeichert.

/F020/alp-Datei auswählen:

Es wird ein Auswahldialog angezeigt, durch welchen die gewünschte Datei bestimmt werden kann.

/F030/csv-Datei auswählen:

Es wird ein Auswahldialog angezeigt, durch welchen die gewünschte Datei bestimmt werden kann.

/F040/Zieldatei auswählen:

Es wird ein Auswahldialog angezeigt, durch welchen die gewünschte Datei bestimmt werden kann.

/F050/Konvertieren und Speichern:

Diese Funktion ist das zentrale Element des Programms. Sie ist zuständig für den Umwandlungsprozess sowohl der statischen als auch der dynamischen Daten aus AnyLogic in VRML-Code.

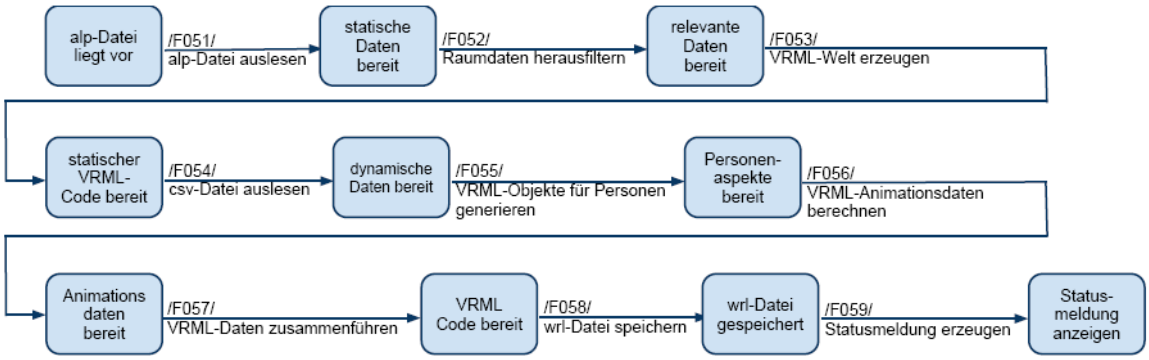


Abbildung 2: Sequenzieller Ablauf der Konvertierungsfunktion

/F051/alp-Datei auslesen:

Die alp-Datei mit den statischen Raumdaten wird lesend geöffnet und die Daten zur weiteren Verarbeitung gespeichert.

/F052/Raumdaten herausfiltern:

Die Daten werden weiter verarbeitet, indem nur die für die Erzeugung des Raumes benötigten Informationen herausgeschrieben und neu gespeichert werden.

/F053/VRML-Welt erzeugen:

Aus den zuvor herausgeschriebenen Daten werden nun die geometrischen Objekte als VRML-Code erzeugt. Dabei wird zunächst die Form der Objekte analysiert und danach formgleiche Körper in VRML berechnet.

/F054/csv-Datei auslesen:

Die csv-Datei mit den Bewegungsdaten wird lesend geöffnet und die Daten zur weiteren Verarbeitung gespeichert.

/F055/VRML-Objekte für Personen generieren:

Für jede Person wird ein Objekt inklusive seiner zugehörigen geometrischen Form angelegt. Die Personen verschiedener Gruppen werden durch geeignete optische Merkmale voneinander abgegrenzt.

/F056/VRML-Animationsdaten berechnen:

Für jedes Personenobjekt wird der Bewegungsablauf aus den geladenen AnyLogic-Daten in VRML-Daten umgerechnet, sodass eine fließende Darstellung der Bewegung erfolgt.

/F057/VRML-Daten zusammenführen:

Die erzeugten Raum- und Bewegungsdaten werden in ein gemeinsames VRML-Projekt integriert.

/F058/wrl-Datei speichern:

Das endgültige VRML-Projekt wird in der angegebenen Datei gespeichert.

/F059/Statusmeldung erzeugen:

Es wird eine kurze Statusmeldung in einem Fenster angezeigt, die den Erfolg bzw. Misserfolg der Konvertierung angibt.

/F060/Hilfe anzeigen:

Es wird ein Informationsfeld angezeigt, in dem der Konvertierungsablauf kurz beschrieben wird.

/F070/Anzeigen im Browser:

Die fertige VRML-Datei wird im Standardbrowser des Systems geöffnet. (Dazu muss ein geeignetes Browser-Plugin installiert sein).

5 Produktdaten

Folgende Daten müssen gespeichert werden:

/D01/Logdatei: In der Logdatei werden Statistiken und ggf. Warnungen oder Fehlermeldungen gespeichert, die bei der Konvertierung entstehen.

- Warnungen der Konvertierung
- Fehlermeldungen der Konvertierung
- Statistische Informationen der Simulation, z.B.
    - Dauer der Animation
    - Anzahl der Frames
    - Anzahl der bewegten Objekte
    - Größe der virtuellen Welt

6 Produktleistungen

Das Programm beschränkt sich auf die oben definierten Anforderungen und soll bestmöglich funktionieren.

7 Benutzungsoberfläche

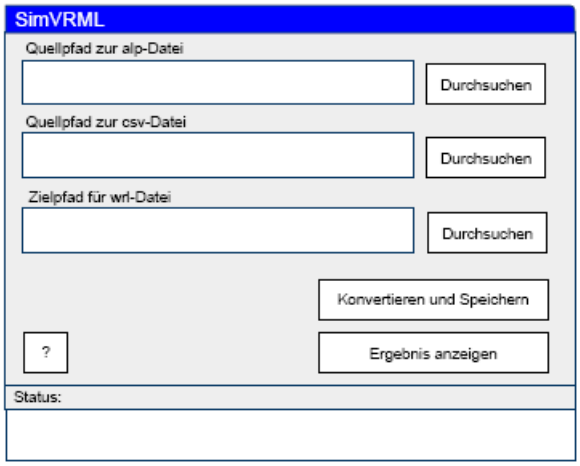


Abbildung 3: Schematischer Aufbau der GUI

- Teilbildmodus
- Auswahl der Dateipfade mittels Maus und Auswahldialogen
- Button zum Anzeigen einer Hilfe

8 Qualitätszielbestimmungen

	Sehr wichtig	Wichtig	Weniger Wichtig	Unwichtig
Funktionalität	✓			
Zuverlässigkeit	✓			
Benutzbarkeit	✓			
Effizienz			✓	
Änderbarkeit			✓	
Übertragbarkeit				✓
Erweiterbarkeit			✓	

9 Globale Testszenarien / Testfälle

/F059/Statusmeldung erzeugen:

Es wird eine kurze Statusmeldung in einem Fenster angezeigt, die den Erfolg bzw. Misserfolg der Konvertierung angibt.

/F060/Hilfe anzeigen:

/T010/Bewegungsdaten aufzeichnen:

Das Programm soll die Positionsdaten der sich bewegenden Personen aufzeichnen und speichern.

/T011/Daten auslesen:

Das Programm liest die Bewegungsdaten aus.

/T012/Daten speichern:

Das Programm speichert die Bewegungsdaten.

/T020/alp-Datei auswählen:

/T021/Auswahldialog:

Ein Benutzer drückt den Button "Durchsuche" und wählt den gewünschten Pfad zur alp-Datei und die Datei selbst aus.

/T022/Direkte Eingabe:

Ein Benutzer gibt den direkten Pfad zu der alp-Datei im Edit ein.

/T023/Pfadvalidierung:

Ein Benutzer gibt einen nicht existierenden Pfad ein. Das Programm gibt eine Fehlermeldung aus.

/T024/Dateiformatprüfung:

Ein Benutzer wählt eine Datei vom falschen Dateiformat aus. Das Programm gibt eine Fehlermeldung aus.

/T030/csv-Datei auswählen:

/T031/Auswahldialog:

Ein Benutzer drückt den Button "Durchsuchen" und wählt den gewünschten Pfad zur csv-Datei und die Datei selbst aus.

/T032/Direkte Eingabe:

Ein Benutzer gibt den direkten Pfad zu der csv-Datei im Edit ein.

/T033/Pfadvalidierung:

Ein Benutzer gibt einen nicht existierenden Pfad ein. Das Programm gibt eine Fehlermeldung aus.

/T034/Dateiformatprüfung:

Ein Benutzer wählt eine Datei vom falschen Dateiformat aus. Das Programm gibt eine Fehlermeldung aus.

/T040/Zieldatei auswählen:

/T041/Auswahldialog:

Ein Benutzer drückt den Button "Durchsuchen" und wählt den gewünschten Pfad um die erzeugte wrl-Datei zu speichern. Der zu speichernden Datei gibt er den bevorzugten Namen.

/T042/Direkte Eingabe:

Ein Benutzer gibt den direkten Pfad und den Namen der zu speichernden wrl-Datei im Edit ein.

/T043/Pfadvalidierung:

Ein Benutzer gibt einen nicht existierenden Pfad ein. Das Programm gibt eine Fehlermeldung aus.

/T050/Konvertieren und Speichern:

Ein Benutzer drückt den "Konvertieren und Speichern"-Button. Das Programm generiert den VRML-Code für die statischen und dynamischen Daten.

/T051/alp-Datei auslesen:

Das Programm öffnet die vom Benutzer gewünschte alp-Datei, liest die statischen Daten ein und speichert diese.

/T052/Raumdaten herausfiltern:

Das Programm filtert die relevanten statischen Daten aus zur weiteren Verarbeitung.

/T053/VRML-Welt erzeugen:

Das Programm analysiert die Form der Objekte und generiert den VRML-Code.

/T054/csv-Datei auslesen:

Das Programm öffnet die vom Benutzer gewünschte csv-Datei, liest die dynamischen Daten ein und speichert diese.

/T055/VRML-Objekte für Personen generieren:

Das Programm bildet die Personen in einheitlichen, geometrischen Objekten ab

/T056/VRML-Animationsdaten berechnen:

Das Programm rechnet die Daten für den Bewegungsablauf in VRML um.

/T057/VRML-Daten zusammenführen:

Das Programm fügt die erzeugten VRML-Daten für die statischen und dynamischen Informationen zusammen.

/T058/wrl-Datei speichern:

Das Programm speichert den erzeugten VRML-Code unter den korrekten Pfad, der vom Benutzer eingegeben wurde.

/T059/Statusmeldung erzeugen:

Das Programm informiert über den Erfolg/Misserfolg der Konvertierung

/T0591/Statusmeldung Erfolg:

Die Konvertierung und Speicherung ist erfolgreich. Das Programm zeigt ein entsprechendes Informationsfenster an.

/T0592/Statusmeldung Fehlschlag:

Die Konvertierung und Speicherung schlägt fehl. Das Programm zeigt ein entsprechendes Informationsfenster an.

/T060/Hilfe anzeigen:

Ein Benutzer weiß nicht wie er mit dem Programm umgehen soll und drückt den Hilfe-Button, um sich Informationen über den Programmablauf anzueignen. Ein Hilfefenster wird angezeigt.

/F070/Anzeigen im Browser:

Der Benutzer drückt den Button zur Anzeige der VRML-Datei im Browser.

/F071/Anzeige möglich:

Der Browser startet und stellt die gewählte VRML-Datei mittels des installierten Browser-Plugins korrekt dar.

/F072/Anzeigen nicht möglich:

Der Browser kann nicht gestartet werden bzw. die VRML-Datei existiert nicht. Eine entsprechende Fehlermeldung wird angezeigt.

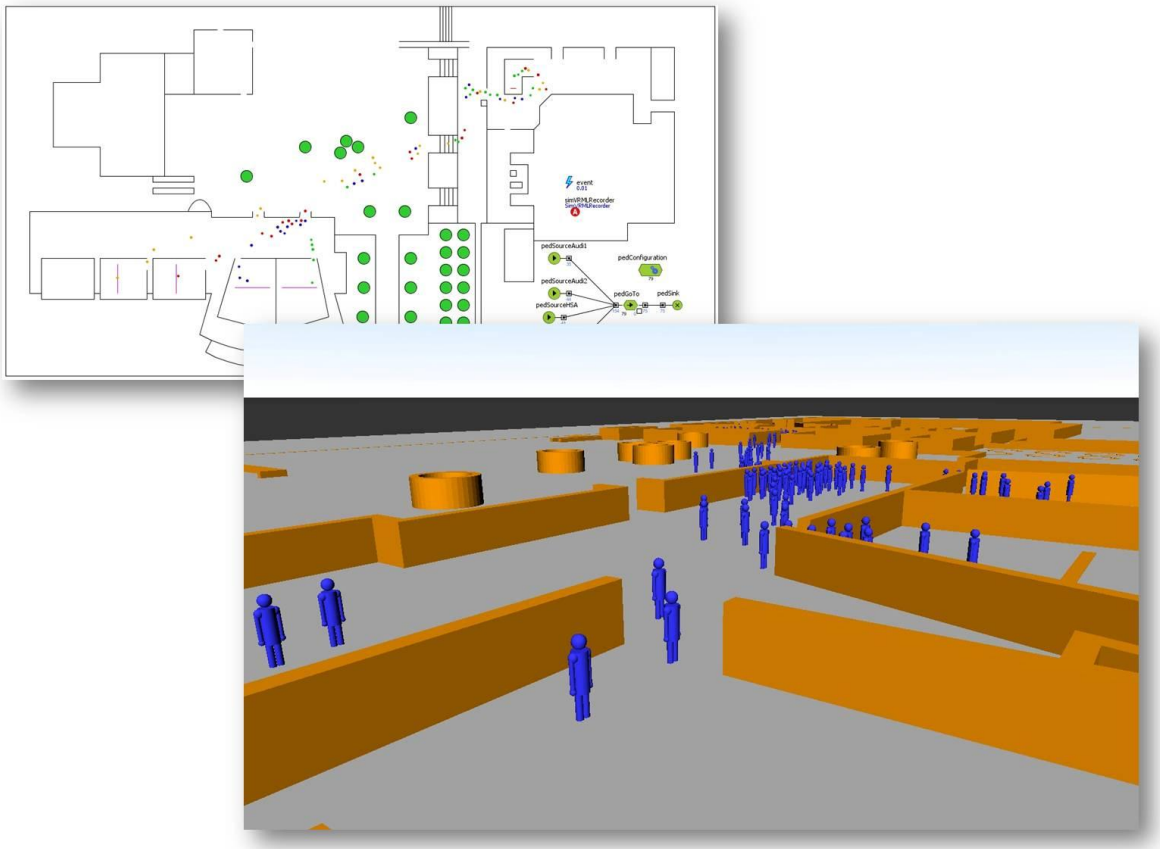


Abbildung 4: Konvertierung der 2D-Visualisierung in 3D

10 Entwicklungsumgebung

10.1 Software

- Eclipse 3.5.2
- Java 6 (Update 22)
- AnyLogic 6.5 Advanced / Professional
- Browser: Mozilla Firefox 3.6
- Browser-Plugin: Cortona-3D
- Betriebssystem: Windows 7, Windows XP, Ubuntu Linux 10.04 / 10.10

10.2 Hardware

PC, Notebook, Netbook, Ein- und Ausgabegeräte

10.3 Orgware

- Versionsverwaltung: Subversion-System
- Eigener File-Server
- Internetzugang

11 Ergänzungen

11.1 Lizenzen für AnyLogic

Zur Generierung von Testobjekten ist eine Lizenz für die Software AnyLogic Professional notwendig.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematischer Aufbau des Programms / Integration mit Any- Logic 35
Abbildung 2: Sequenzieller Ablauf der Konvertierungsfunktion 36
Abbildung 3: Schematischer Aufbau der GUI 37
Abbildung 4: Konvertierung der 2D-Visualisierung in 3D 40

Anhang 6: Zwischenbericht zu Nr. 8.1

ZE: Fraunhofer Anwendungszentrum für Logistiksystemplanung und Informationssysteme	Förderkennzeichen: 13N10028
Vorhabenbezeichnung: Modellierung sicherheitsrelevanter Logistikprozesse am Flughafen	
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2008 – 30.06.2011	
Berichtszeitraum: 01.01.2011– 30.09.2011	

1. Aufzählung der wichtigsten wissenschaftlich-technischen Ergebnisse und anderer wesentlicher Ereignisse.

- regelmäßige Projekttreffen, ca. alle 4 Wochen im gesamten Verbund haben weiterhin Bestand Arbeitstreffen in den unterschiedlichen Arbeitsgruppen finden ebenfalls regelmäßig statt, eine enge Kommunikation insbesondere mit den Partnern der Prozess- sowie der probabilistischen Modellierung

- Erweiterungen auf Prozessmodellierungsebene
  - Erweiterung der BPMN-Konventionen
  - Erweiterung bereits vorhandener Primär- und Sekundärprozesse, Modellierung ergänzender Sekundärprozesse
  - Integration von Prozesszeiten als Metadaten für jeden einzelnen Prozessschritt
  - Attributierung der Entscheidungsknoten
- Erweiterungen auf Prozessverarbeitungsebene im Simulationsmodell
  - Anpassung/Optimierung des Parsers
  - Anpassung/Optimierung des BPMN-Interpreters
  - Anpassung/Optimierung des BDI-Interpreters, insbesondere zur Optimierung der Kommunikation zwischen Agenten
  - Verarbeitung ineinander verschachtelter Prozessmodule
- Entwicklung einer GUI-Oberfläche zur Parameterkonfiguration vor dem Start der Simulation mit folgenden Auswahlkriterien:
  - Anzahl Simulationswiederholungen für Simulationsstudien
  - Simulation mit/ohne Terrorist für Schadensverteilung
  - Sprengstoffart/-menge
  - Verteilung an Entscheidungsknoten
- Entwicklung einer GUI-Oberfläche für Parameterveränderungen während der Simulation
  - Schließen/Öffnen von Kontroll-/Abfertigungsprozessen/Schaltern zur Betrachtung von Kapazitäts-/Ressourcenauslastungen
  - Visualisierung der PAX-Clusterung (Typ, Gepäck, Check-In-Art)
  - Variierung der Anzahl ankommender/abfliegender PAX
  - Diagramme
  - Anzeigen der Personendichte auf ausgewählten Flächen
- Visualisierung von Daten für Auswertungen (PAX-Aufkommen, Passagierdichten etc.)

- Initialisierung der Simulation direkt nach dem Start, um innerhalb kürzester Zeit ein reales Flughafengeschehen zu generieren: große Anzahl PAX wird zu unterschiedlichen Teilen in einzelnen Prozessmodule verteilt und setzen dort ihre Prozesskette fort

- Erweiterung des Simulationsmodells zur Ermittlung der Schadensverteilung
- Umsetzung einer Schnittstelle zwischen Prozessmodellierung und logistischer Modellierung für eine gemeinsame Datenbasis
    - Erstellen einer Datenbankanbindung, um die für die Simulation notwendigen BPMN-Modelle aus der Datenbank zu importieren
- Umsetzung einer Schnittstelle zwischen logistischer und stochastischer Simulation für eine gemeinsame Datenbasis
    - Export der Schadensverteilung und der Verteilung an den Entscheidungsknoten in XML-Format auch für Applet-Version der Simulation im Demonstrator
    - Ermittlung der Verteilung an Entscheidungsknoten: ein Simulationsdurchlauf mit mindestens 1000 PAX-Abfertigungen
    - zur Ermittlung der Schadensverteilung mehrere Simulationsdurchläufe erforderlich
- Datenaufbereitung und –integration von Umfragedaten am Flughafen Berlin Schönefeld
    - Integration eines Flugplans
    - Verteilung der unterschiedlichen PAX-Typen in Abhängigkeit von der Tageszeit
    - etc.
- Performance-Steigerung der Simulation
- Definition von Szenarios für Simulationsstudien

- Paper und Poster „Main components of the simulation-based early warning systems in traffic facilities“, X. Conference Telematics, Logistics and Transport Safety (TL&TS'11) (Juni 2011),Zakopane, Poland
- Paper und Konferenzbeitrag „An Agent-Based Approach for the Simulation of Passenger handling processes at airports“, 15th Annual Air Transport Research Society (ATRS) World Conferenc (Juni 2011), Sydney, Australien
- Paper und Konferenzbeitrag „Improving the Security of Critical Transport Infrastructures - New Methods and Results“, Future Security (September 2011), Berlin, Germany
- Buch- und Konfernzbeitrag Titel "Extending the BPMN Syntax for Requirements Management", International Workshop on the Business Process Model and Notation, Lucerne, Switzerland (November 2011)

2. Vergleich des Stands des Vorhabens mit der ursprünglichen (bzw. mit Zustimmung des ZG geänderten) Arbeits-, Zeit- und Kostenplanung.

   Die im Antrag definierten Vorgaben bzgl. der Arbeits-, Zeit und Kostenplanung werden eingehalten.

3. Haben sich die Aussichten für die Erreichung der Ziele des Vorhabens innerhalb des angegebenen Berichtszeitraums gegenüber dem ursprünglichen Antrag geändert (Begründung)?

   Aus unserer Sicht und auch für unser Teilprojekt haben sich die Aussichten für die Erreichung der Ziele des Vorhabens nicht geändert.

4. Sind inzwischen von dritter Seite FE-Ergebnisse bekannt geworden, die für die Durchführung des Vorhabens relevant sind (auch Darstellung der aktuellen Informationsrecherchen nach Nr. 6.1 NKBF 98)?

   Nein, für unser Teilprojekt nicht.

5. Sind oder werden Änderungen in der Zielsetzung notwendig?

   Nein, es sind keine Änderungen in der Zielsetzung notwendig.

6. Jährliche Fortschreibung des Verwertungsplans. Diese soll, soweit im Einzelfall zutreffend, Angaben zu folgenden Punkten enthalten (Geschäftsgeheimnisse des ZE brauchen nicht offenbart zu werden):

   Der im Konsortium entwickelte Methodenverbund ist sehr stark auf Daten und Informationen angewiesen, die aus verschiedensten Gründen von entsprechenden Behörden/Partnern nicht geliefert werden dürfen/können. Die gewonnenen Erkenntnisse, entwickelten Ergebnisse und geknüpften Kontakte erlauben einen Anschluss zur ökonomischen Betrachtung auf abstrakterer Ebene. Diesbezüglich ist jedoch vom Konsortium unterer eventueller Beibehaltung der Methodenarchitektur weitere Entwicklungsarbeit zu leisten.

Optimisation of Critical Infrastructure Protection
The SiVe Project on Airport Security

Marcus Breiing[1], Mara Cole[2], John D'Avanzo[3], Gebhard Geiger[4], Sascha Goldner[5], Andreas Kuhlmann[2], Claudia Lorenz[6], Alf Papproth[6], Erhard Petzel[1], Oliver Schwetje[2]

[1]ckc AG, Am Alten Bahnhof 13, 38122 Braunschweig, Germany
[2]Bauhaus Luftfahrt, Boltzmannstrasse 15, 85748 Garching b. München, Germany
[3]EADS Deutschland GmbH, EADS Innovation Works, 81663 München, Germany
[4]Technische Universität München, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Institut für Finanzmanagement und Kapitalmärkte, Arcisstrasse 21, 80333 München, Germany
[5]EADS Deutschland GmbH, Defence & Security, System Design Centre Germany, 85716 Unterschleißheim, Germany
[6]Fraunhofer-Anwendungszentrum für Logistiksystemplanung und Informationssysteme, Konrad-Wachsmann-Allee 1, 03046 Cottbus, Germany

Abstract. This paper outlines the scientific goals, ongoing work and first results of the SiVe research project on critical infrastructure security. The methodology is generic while pilot studies are chosen from airport security. The outline proceeds in three major steps, (1) building a threat scenario, (2) development of simulation models as scenario refinements, and (3) assessment of alternatives. Advanced techniques of systems analysis and simulation are employed to model relevant airport structures and processes as well as offences. Computer experiments are carried out to compare and optimise alternative solutions. The optimality analyses draw on approaches to quantitative risk assessment recently developed in the operational sciences. To exploit the advantages of the various techniques, an integrated simulation workbench is build up in the project.

Keywords: critical infrastructure protection, airport security, risk analysis, risk assessment, return on security investments, threat scenarios.

1 Introduction

To improve airport security is the primary task of SiVe, a research project co-funded by the German Federal Ministry of Education and Research since 2008 (SiVe = Verbesserung der **Si**cherheit von **Ve**rkehrsinfrastukturen). SiVe aims to develop an innovative methodology of risk management suitable to optimise critical infrastructure protection. Starting point is the fact that the management of airports is increasingly forced to combine high security standards and cost-efficiency in a more closely-knit and systematic way, but the measurements of the effectiveness and efficiency of risk reduction provisions poses methodological problems that, thus far, remain largely unresolved.

The objective of this paper is to present the SiVe methodology. The next chapter describes the general approach including an example. In chapter 3, the models and methods we use are described in more detail. The integration of these methods into an overall IT architecture is indicated in chapter 4. A brief outlook on further development and research concludes the paper.

2 Approach

In order to tackle basic problems of quantitative risk assessment in a systematic way, innovative methods and models for secure infrastructure design and operation will be developed and tested in two distinct phases of SiVe. The two phases are:

- *Analysis, modelling and simulation of threat scenarios, their circumstantial constraints and likely consequences.* This part of the project is designed to specify and assess security risks systematically and in quantitative terms to optimise relevant parameters under cost/benefit constraints.
- *Integration of these approaches into a joint methodology and workbench which leads to an expert system for the risk management of critical infrastructures.* The integration allows the combined analysis and optimisation of all relevant security systems inherent in an infrastructure.

2.1 Elements and Steps

The approach draws upon a structural analysis of an airport. A tool, called *Scenario Builder,* was developed to generate scenarios, including all relevant elements of the airport (see section 3.1 for more details). The building and selecting of a certain scenario is the first step of the SiVe-procedure (see Figure 1). In the next step the selected scenario is modelled in greater detail (scenario refinement).

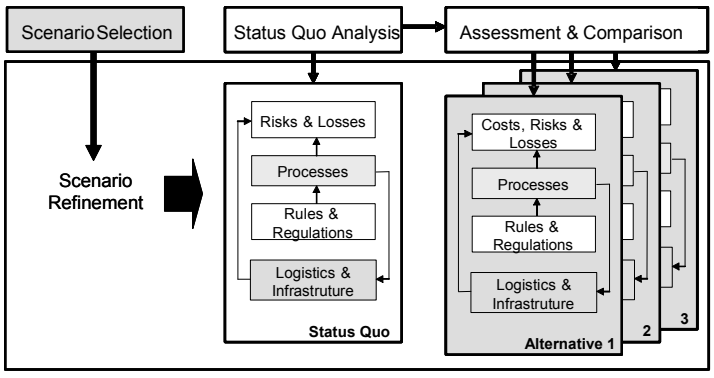


Fig. 1. Elements and steps of the SiVe approach.

Figure 2 shows a seven-step model of a terrorist attack as an example of a specific scenario. All potential terrorists have to decide on practical means, an appropriate access path and how and where to enter this path. They consider alternatives and para-

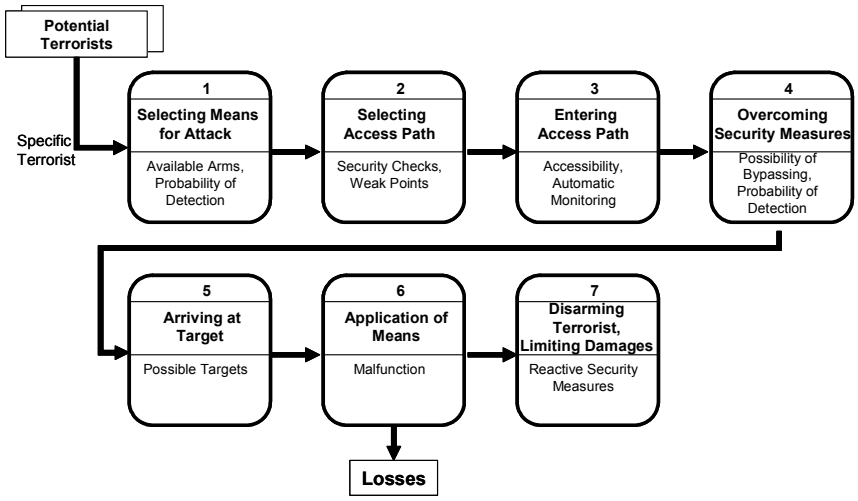


Fig. 2. A generic process model for a terrorist attack.

meters in these decisions such as available weapons, known weak points and existing monitoring systems. The possibility of bypassing and the probability of being detected are also relevant factors for the attacker. In critical infrastructure systems, terrorists are forced to overcome existing security measures before they can reach their targets. If a terrorist is able to overcome the security measures, he will apply the means he has selected. Depending on the destructiveness of the means, the losses incurred will differ. After the attack, the focus is on disarming the terrorist and limiting the damage.

Step	Parameters/Actions
1	Goal: to kill a maximum number of passengers in the security section Means: a bomb, not detectable by metal scanners, fixed to the body.
2	Passenger handling
3	National flights, security check
4	Metal detector, security officer, quota
5	Security section, number of people
6	Ignite bomb

Tab. 1. Creating a specific scenario using the generic process model.

Because of limited space, we will use a simplified, but realistic scenario to illustrate the SiVe procedure. Table 1 shows parameters and actions for our scenario. There are two alternative cases. If a terrorist (a suicide bomber) has to pass only the metal detector gate, he can enter the security section unnoticed and ignite the bomb at a suitable moment. Alternatively, a manual check will be made, the bomb will be detected and the terrorist will ignite it directly at the security checkpoint. Because of the different conditions (number of people in the area, equipment, space) the expected loss of life will differ significantly between these two cases.

Typically metal detector gates have the function of indicating whether supplementary manual checks are necessary to ensure there is a certain quota of manual control,

defined as a specific percentage of the whole flow rate of passengers. The implementation of manual controls has differing negative effects on the cost-efficiency of security checks. The higher the quota, the more personnel will be needed to conduct such controls if the flow rate is to be maintained. If new checkpoint lines have to be opened to guarantee a certain flow rate, the airport operators will be confronted with large investments in equipment and infrastructure. The adjustment of the quota is therefore a critical decision, and the optimum quota, balancing potential losses on the one hand and the cost of operations and investments on the other hand, needs to be calculated.

2.2 Refinement of scenarios

The second step of the SiVe procedure is to refine a specific scenario by applying different models and methods. In our example, there should be rules in place to ensure a certain quota. In more complex scenarios, rules and regulations build a complex knowledge model which tells us how the system should work on a regular basis (see section 3.2).

We use such decisions as a direct input for modelling *processes* (see section 3.3). These processes take place within a certain *infrastructure*. An agent-based approach is used for the detailed modelling of logistics relevant to security (see section 3.4). In the case of a bomb attack, the modelling of the infrastructure and the dynamic of waiting queues is crucial. How many passengers will be affected by such an attack at different times of the day and in different locations?

Risks and losses depend on particular actions. Examples are the ignition of a bomb or the breakdown of security measures. Two concurrent risk events can be neutral (no cause and effect relationship) or build a cause and effect chain as risks can reinforce or weaken one another. These complex risk relationships can be modelled as a Bayesian network in order to analyse the cause and effect relationships of risks as a high-level description of the system. The main goal is to identify the most critical events which are the risk drivers. In a complex system such as an airport, there are numerous factors which influence the losses that may arise from an incident. In this case it is useful to represent risks as the probability distributions of losses (see section 3.5).

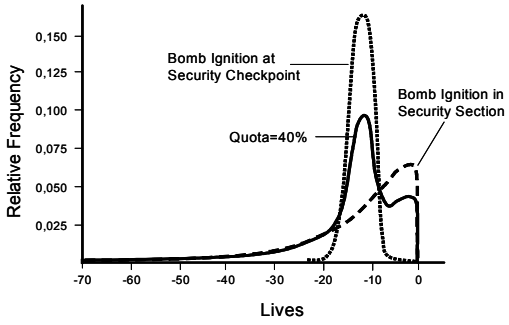


Fig. 3. Loss distributions (lives) for different cases and for a quota of 40%.

For our simple example, we have computed two distributions. The first represents the relative frequency of deaths in case the terrorist ignites his bomb at the security checkpoint, the second if this happens in the security area. If the quota is zero, the

second distribution will apply, if the quota is 100% the first distribution will. Quotas q between 0% and 100% are q:(1-q)-combinations of both distributions (see Figure 3).

2.3 Assessments and comparisons

The final step in the SiVe approach is *assessing and comparing* the status quo and different alternatives while considering the costs of setting up and operating the alternatives (Figure 1). The probability distributions of losses are the input for quantitative risk assessment. This quantitative approach to risk assessment has been developed only recently in econometrics and the operational sciences and is applied in SiVe for the first time to critical infrastructure protection (see section 3.6). Figure 4 shows the results of our example. The number of lives saved, calculated as a certainty equivalent, rises with the amount of money invested. With regard to cost-efficiency, we find the maximum at a quota of approximately 46%.

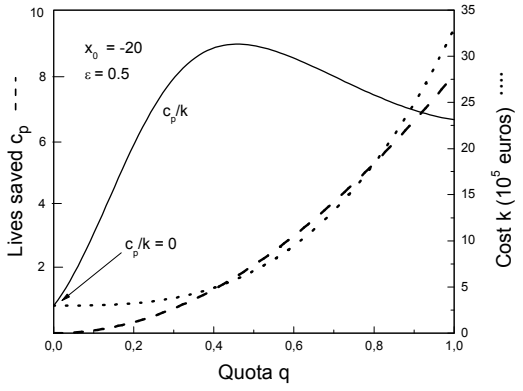


Fig. 4. Certainty equivalent c_p and cost-efficiency c_p/k as functions of the quota q, the cost k being raised to reduce the *status quo* risk p_0 to p, with k being assumed a cubic function of q as a (realistic) example. The parameter ε discounts p against p_0, as explained in [6].

3 Methods and Models

3.1 System analysis of airport security

To analyse airport security systems, we have adapted a method that was originally developed to handle complexity in the field of product design [1] and for the first time used for critical infrastructure analysis. This allows us to understand the functionality of this system and to compile a systematic and exhaustive catalogue of the relevant elements.

At the beginning, a wide variety of elements concerning airport security and threats were assembled by an interdisciplinary team of scientists and practitioners (data gathering phase). These items were arranged in hierarchical order and organised in so called "domains" representing the highest hierarchy level[1]. Subsequently, the interconnection of the specified domains was characterised, the direction and quality of

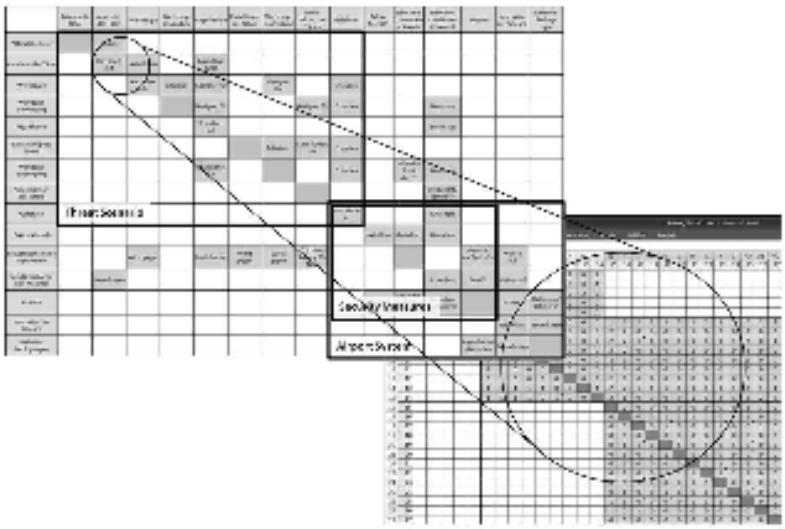


Fig. 5. Breakdown from domains to elements.

each connection discussed and named. The data were transferred to a matrix (Dependency Structure Matrix), where each matrix cell represents the influence of one domain on another and the labelling specifies the kind of dependency that applied. The diagonal matrix cells indicate self-reflexive dependencies.

The next step and main part of the data gathering was to break down the domains into the lowest hierarchy, the element level. Each filled matrix cell of the domain matrix stands for a discrete sub-matrix on the element level (element matrix) (see Figure 5). Dependencies between system elements were specified. In most cases, simple binary decisions (no influence or influence) could be made that were recorded in the element matrix by filling the cells with a "0" or "1". In more complex cases, the relationship between the elements was refined by adding a weighting with a maximum of "+2" and a minimum of "-2" indicating (strong) positive or (strong) negative influences respectively. In the final step our resulting matrix was validated by representing various historical and fictional scenarios.

This approach allows us to build consistent threat scenarios based on equivalent, invariable categories. Taking the complexity of the system into account, this can be a rather complicated process. Therefore a MS Excel-based software (Scenario Builder)

[1] The domains are the following: Potential Attacker, Intention of Attacker, Tool/Weapon, Use of Tool/Weapon, Target, Approach of Attacker, Insertion of Tool/Weapon, Location of Attacker, Threat, Human Factor, Security Measure (Preventive), Security Measure (in Case of Emergency), Stakeholder, Stakeholder's Interests, General Framework.

was developed. As soon as a complete scenario is assembled, the Scenario Builder automatically lists all the elements of the airport system that are connected to the threat scenario through at least one element.

3.2 Rules and regulations modelling

Today rules and regulations are the basis for implementing security measures and processes in critical infrastructures. For the many different authorities who are involved (i.e. airport operators, local and federal police, different fire departments, etc.), they provide guidelines for decision making. Thereby the complexity of the system is very high. We decided to use a specific case-oriented rule-based expert system, the Erudine Behaviour Engine [2].

Rules and regulations are gathered as requirements and are modelled as a so-called *knowledge model*, which is developed by using training data, so-called *situations*. Each situation defines rules or behaviours, which can be correlated to requirements in order to track down which security requirements have been implemented and which will not. As a result, we can check the consistency of (applied) rules during the implementation. The behaviour of the overall system is obtained by gathering all the single elements. The resulting knowledge model then defines the overall behaviour of the system. In a further step, actual data can be used to validate the overall behaviour. For details see [2].

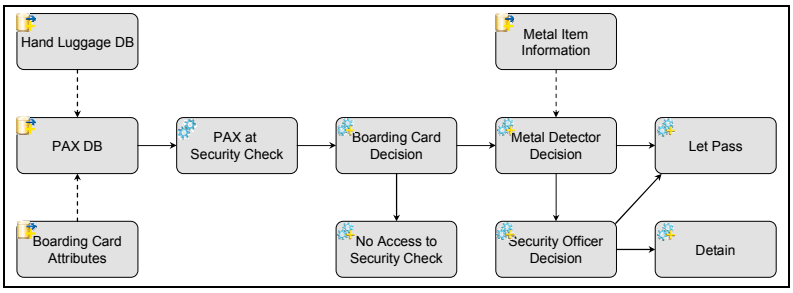


Fig. 6. Passenger screening knowledge model in the attack scenario.

Within this approach, we can identify all the "rule-based" decisions that provide the framework for the scenario-based process models in the SiVe simulation framework. Figure 6 shows this in our example.

3.3 Stochastic and process modelling

Essential elements of critical infrastructures can be viewed as different, concurrent processes, which take place in part independently of each other. A lot of process modelling languages is available, but very few incorporate all the techniques necessary for the efficient modelling and simulation of complex systems. Important techniques are structured analysis methods for the decomposition of complex systems into process clusters, communication methods for concurrent processes such as me-

sages between processes, shared data and objects and synchronisation methods such as synchronous and asynchronous message exchange.

The Parallel Activities Specification Scheme (PASS) integrates such techniques in an orthogonal way [3]. The specification is done in three steps: (1) decomposition into process clusters, (2) decomposition of process clusters into processes, (3) description of these processes. Figure 7 shows the PASS model for our example. The terrorist process is visualised at the left hand side, which is a refinement of the generic attack process (see chapter 2). A fully specified model is directly executable with a BPEL[2] compatible workflow engine [4].

A workflow system expects inputs from users or connected systems and produces outputs to other users and systems controlled by the model process logic. These users and systems are simulated by a stochastic simulation engine as part of the SiVe engine core which will be developed during the SiVe project (see also chapter 4 for the SiVe architecture). This simulation engine will also provide all the necessary stochastic functions and generators for instances which represent the objects processed during simulation. Risk events, like the "ignition of a bomb", are modelled as special actions, which can interact with other risk events to represent the cause and effect relationships between risks. Central outputs are distributions of possible losses, which can be generated at different aggregation levels.

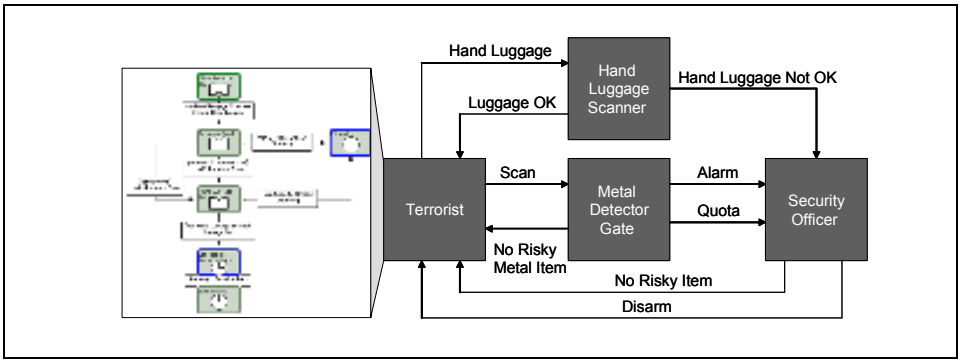


Fig. 7. PASS Model of the attack scenario.

3.4 Logistic and agent-based modelling

The influence of logistics and of stakeholder communication and interactions is treated in SiVe, with the use of a multi-paradigm simulation model, which combines process oriented/discrete event and agent-oriented simulation (Figure 8). The agents are represented as intelligent acting objects in a process-oriented simulation. For our scenario, the attacker movements and actions are described in a highly detailed way (e.g. walking path, running speed, destination route).

[2] Business Process Execution Language (BPEL), is an OASIS [5] standard executable language.

As a first example in our reference scenario, we focussed on the question of how strong the effect of a bomb explosion may be on persons present in the security section or in the queue close to the security checkpoint. In a simplified approach, the agents are modelled assuming a maximum quantity of explosive of 3 kg. The agents involve a logic which triggers both the scanning process at the metal detector gate and the event „ignite bomb“. This event has a substantial influence on the nearby passengers' movement behaviour.

In addition to chronological and geometrical parameters, the event-based simulation relies on theories, methods and functions to describe the passengers' behaviour. Security clearance processes are defined in the process model (see section 3.3), while decision nodes representing rules and regulations are supported by Erudine (see section 3.2).

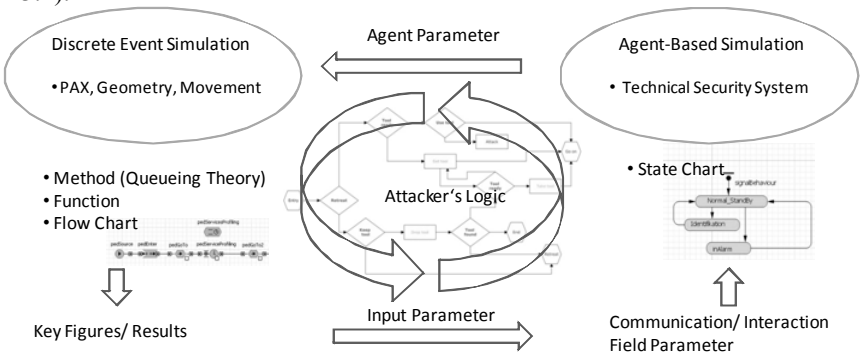


Fig. 8. Multi-paradigm approach for passenger logistics.

Our process-based simulation allows us to identify bottlenecks and to meet quantitative statements in order to handle time, queue length or passage size at these bottlenecks. Defining appropriate attacker profiles and a corresponding agent logic as well as considering logistic aspects of an airport infrastructure (building aspects, number of people at different times of the day, etc.), we can calculate realistic loss distributions for quantitative risk assessments on the basis of our simulation experiments.

3.5 Quantitative risk assessment

Existing methods to assess risks and risk reduction measures tend to be ambiguous and controversial since they are either *ad hoc* rather than systematic or hard to operationalise. In either case, they may not provide the reliable information needed for risk-oriented decision making.

Advance has been made on the basis of recently developed econometric approaches to non-expected utility theory and the statistical foundations of quantitative risk assessment [6], [7], [8]. Within these approaches, risks have been described as random variables X with real values x and probability density functions f that are assessed by a suitable probability-dependent utility function $u(f, x)$ and the generalised utility average (or "non-expected utility")

$$U(f) = \int u(f, x) f(x)\, \mathrm{d}x.^{3}$$

Risks can be assumed to involve arbitrary kinds of loss or damage such as monetary loss, numbers of persons injured, infected or killed in an incident. Loss means $x < x_0 = 0$, where x_0 is the "aspiration level" or "neutral point of reference" which can always be normalised to zero. Suitable utility functions $u(f, x)$ have been shown to exist and are explicitly represented in terms of elementary algebraic functions under many realistic conditions [6], [7], [8]. The explicit representations of $u(f, x)$ and $U(f)$ render the present concept of risk assessment operational in each particular application. This was not possible in previous approaches to expected and non-expected utility, which often did not admit explicit algebraic representations.

A real number $c(f)$ is called the *certainty equivalent of the risk* $f(x)$ if $f(x)$ and the sure amount $c(f)$ of money (number of injured or deaths, etc) are indifferent in utility terms, that is,

$$U(f) = \int u(f, x) f(x) \mathrm{d}x = u(c(f), c(f)) = U(c(f)).$$

The certainty equivalent of a given risk can therefore be viewed as the fair price of that risk, considering that f and $c(f)$ are equal in utility. Since $u(f, x)$ is well-defined, strictly increasing in x [6], [8], and can be explicitly calculated for every probability density function f, the price c of f is determined by $c(f) = u^{-1}(f, U(f))$ where u^{-1} is the inverse function of u. In practical applications, $c(f)$ will generally have to be determined numerically for given f [6], [7], [8]. In the special case $u(f, x) \equiv x$, one has $c(f) = \mu(f)$, or "risk neutrality". However, one usually has $c(f) < \mu(f)$, meaning that the risk of large damage (negative tail of the distribution f) is felt more strongly ("risk aversion") (Figure 9).

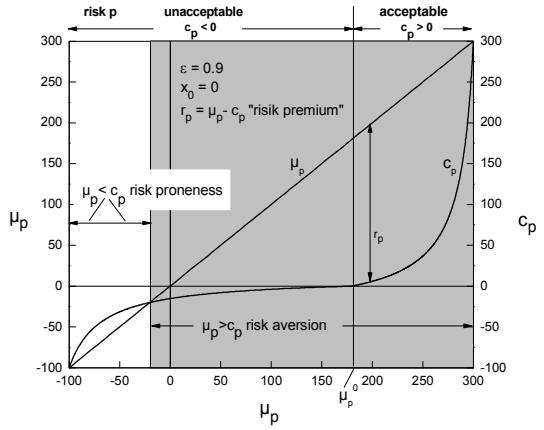


Fig. 9. Example of certainty equivalent c_p as a function of mean μ_p of a two-point distribution p according to [8]. The parameter ε is defined as in Figure 4, but different by numerical value**.**

---

[3] We here use continuous probability distributions $f(x)$ to characterise risks, but our formalism also applies to discrete distributions $p(x)$. [7] The examples represented in Figures 4 and 9 are two-point distributions $p(x)$.

In infrastructure security analysis, systems can be assumed to be operated with or without sufficient risk management effort. The risks f and f^* respectively attached to their operation can be estimated, considering the likely consequences of security incidents affecting any such system considered. Furthermore, the utilities $U(f)$ and $U(f^*)$ of the risks with and without risk management arrangements, respectively, can be calculated and compared. The comparison gives the effectiveness of the measures planned or taken since $U(f) \geq U(f^*)$ exactly if $c(f) \geq c(f^*)$.

Once a limit of acceptable risk f_0 has been determined [7], investments in risk management can be assessed as to whether they will reduce a given risk f^* to some residual risk f below the level of marginal acceptability f_0. However, if the limit of acceptable risk f_0 is normalised to $U(f_0) = 0$ and f^* is unacceptable $U(f^*) < 0$, one may still have $U(f^*) < U(f) < 0$. In this case, the risk management proves ineffective.

Let $k(f^*, f)$ be the cost incurred by risk managers to reduce f^* to f. The ratio $(c(f) - c(f^*))/k(f^*, f)$ gives the amount of risk reduction per euro invested. It measures the cost-efficiency of the risk reduction achieved. The price difference $c(f) - c(f^*)$ is known as the return on security investment. Risk management is optimal if f is chosen so that the cost-efficiency ratio is maximum within a given set of alternative risk mitigation choices. A numerical example is shown in Figure 4 above.

4 System architecture of an integrated simulation workbench

A challenge facing SiVe is to use the advantages of all the above-mentioned methods to build up an *integrated simulation workbench*. Integration is necessary to create a simulation model that mirrors the full complexity of critical infrastructures and presupposes specific and comprehensive system architecture.

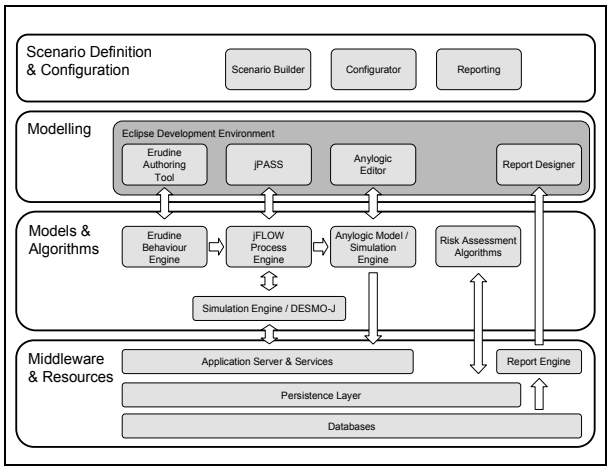


Fig. 10. SiVe high level technical architecture.

Integration includes the development of software as well as the incorporation of existing software tools. The future architecture of SiVe will be component-based. On

the basis of functional architecture, a technical architecture can be specified (Figure 10). The various components can be abstracted at the highest level into four categories or layers: (1) Scenario Definition & Configuration (the end-user interface); (2) Modelling (for risk and business analysts, modellers), (3) Models & Algorithms (the SiVe engine core) and (4) Middleware & Resources (the infrastructure layer).

5 Outlook

The results we presented in this paper are based on work in progress. Further activities include

- development and simulation of more complex scenarios including future security technologies such as new camera and scanner technologies to evaluate if the investment in such technologies is efficient under cost/benefit constraints;
- validation of data and estimation of the relevance of the chosen scenarios through interviews with experts;
- development of an integrated expert system based on our simulation models;
- monitoring of future and/or not yet implemented security technologies;
- ethical evaluation of security mechanisms in addition to the risk assessments.

The SiVe project will end in June 2011.

Acknowledgements

We would like to thank the Munich airport for support and the many interviews and workshops held in the course of the SiVe project. The authors are particularly grateful to the German Federal Ministry of Education and Research (BMBF) for substantial financial support to SiVe as part of the Ministry's Hightech Strategy and Security Research Programme.

References

1. Lindemann, U., Maurer, M., Braun, T.: Structural Complexity Management. An Approach for the Field of Product Design, Springer Berlin (2009).
2. http://www.erudine.com
3. Fleischmann, A.: Distributed Systems – Software Design and Implementation, Springer Berlin 1994, pp. 201-213.
4. http://www.jcom1.com
5. http://www.oasis-open.org
6. Geiger, G.: On the statistical foundations of non-linear utility theory. In: European Journal of Operational Research 136, pp. 449-465 (2002).
7. Geiger, G.: Risk acceptance from non-linear utility theory. In: Journal of Risk Research 8, pp. 225-252 (2005).
8. Geiger, G.: An axiomatic account of *status quo*-dependent non-expected utility: pragmatic constraints on rational choice under risk. In: Mathematical Social Sciences 55, pp. 116-142 (2008).

Agent-based Simulation of Security Related Logistic Processes on Airports

Prof. Dr.-Ing. Uwe Meinberg
Fraunhofer Application Centre for Logistics System Planning
and Information Systems (ALI)
Cottbus, Brandenburg, Germany

and

Claudia Lorenz, Linda Huber, Alf Papproth,
Christian Stegner, Rüdiger Hyka
Fraunofer ALI, Konrad-Wachsmann-Allee 1
03046 Cottbus, Brandenburg, Germany

ABSTRACT

With the growth of air traffic, as well as the changing business models, technological developments and new service models at airports, the passenger volume rises constantly in German airports. Thus the security of the airport infrastructure and its passengers is given special priority. The airport infrastructure represents a particularly critical element of the national economy. We must take the necessary precautions against potential threats, because the infrastructure is connected directly with the development of the national security situation. Therefore the airport is tasked with harmonizing the constantly growing safety requirements with a justifiable expenditure for the passengers. This paper describes the scientific goals, ongoing work and initial results of a research project on critical infrastructure security.

Keywords: agent-based, infrastructure, logistics, security, simulation

INTRODUCTION

Based on past security incidents on airports during the last years it is the primary task of airports and of a joint research project to improve airport security. The Fraunhofer Application Centre Cottbus and five other partners are involved in the project "SiVe[1]". The joint project aims at developing an innovative methodology of a risk management suitable to optimize critical infrastructure protection [1]. The part to be dealt with by the group in Cottbus is the modeling of the airport with its entire structure, technical logistics and its accompanying processes in the context of a simulation environment. The modular facilities and mechanisms are modeled in order to contribute to developing models and simulations for the protection of humans during the use of modern traffic infrastructures. The simulation provides an important contribution, which is the analysis of the protection possibilities for passengers during the use of the airport infrastructure; the simulation also gives special consideration to the security component. In addition, the developed simulation can be used as planning and decision making instrument.

The focus of such a simulation is the realistic representation of social behavior of passengers and airport employees in a complex airport infrastructure. This requires an agent-based simulation. This simulation makes it possible to model and interpret complex systems, which consist of several objects that interact with each other and their environment as a multi-agent system. Therefore the agents are implemented with a realistic behavior model, to demonstrate the decisions of human individuals in social structures. It is thereby possible to model the airport in its entire structure with its passengers, their behavior and its interaction among themselves; as well as the behavior demonstrated by the passengers resulting from an interaction with their environment.

AGENT-BASED SIMULATION

The agent-based simulation is intended to show the influence of an individual to his environment and the emergent phenomena within social groups in which the social interaction plays an important role. The agent-based approach is called micro-simulation. Heterogeneous properties for different individuals can be enforced by personal attributes. In a macro model, the

[1] This article has been developed in course of the research project „SiVe", which is funded by the Federal Ministry for Education and Research as part of the German research program for civil security, which in turn is part of the high-tech-strategy of the Federal Government of Germany.

heterogeneity of the agents should be modeled by complex procedures. In addition to the microscopic and macroscopic simulation there is the mesoscopic approach. Rather than single individuals, heterogeneous agents with similar characteristics are combined into homogeneous groups. This approach is suitable when focusing on people flows. In the present project, however, pedestrian flows are only one aspect of the simulated environment.

The micro-model is most appropriate, in terms of security critical events in transport infrastructures and terrorist threats posed by single perpetrators or groups of heterogeneous individuals because the effect of individual behavior on the environment is to be investigated which is different from that of the mass. The environment or simulation environment includes the traffic infrastructure, people and technical systems. Another point of consideration is the interaction between the agents. These include social interactions (between people), human-machine communication and the interaction of technical systems.

In an agent-based simulation with several different types of agents, interaction and communication partners the simulation scenario must be aligned to the quantity of all agents. As environmental influences, the knowledge base and the behavior must be calculated separately for each agent, the simulation environment quickly reaches its limits. Therefore it is important to model only the relevant agent objects for the simulation and analysis.

Agent Architecture

To simulate human behaviour an agent architecture which imitates the human decision making is required. The most suitable is the BDI-Architecture [2], which can model deliberative agents. Agents sense their environment and interact with it and other agents. This function is given by sensors and actuators, which are connected by an interpreter. The decisive element of this agent model is the data structure on which the interpreter works. The agents posses beliefs, desires and intentions.

In addition to the human agent types, the BDI model is also suitable for technical systems, see [3]. For this reason, all agents within the simulation are based on the BDI agent architecture. An agent has beliefs about its environment and detects the relevant events by sensors. With the help of sensor data, the world's knowledge is updated. On the basis of the world knowledge and the function of the agent main objectives are established. The agent interacts with his environment until he/she has reached his/her main objectives. The targeted behavior allows pursuing the intentions after an action has failed or alternative solutions and desires have been selected. The intentions describe hierarchically organized instructions including the partial objectives. To achieve partial intentions the agent can access the plan data base which contains the detailed instructions.

This ranking is made up to the level of atomic actions, for example, the movement to a certain point.

Agent Communication and –interaction

A major criticism of the BDI-model is that the interaction with other agents is not explicitly described. Therefore an appropriate interaction and communication model for a multi-agent environment is being ~~re~~searched for within the project. This includes point-to-point, collective (multicast and broadcast), one-sided, passive and active communication, rules for information transfer between individuals and groups of people as well as the exchange of information between people and technical systems.

Social and Psychological Aspects

Another important point is the interconnection between communication and interaction regarding environmental conditions and the knowledge base of a person. Furthermore the influence of social and psychological aspects on the agent behavior is dealt with in another study. Thus the social and emotional characteristics are added to the physical and cognitive skills of the agent.

Visual Representation and Modeling Language

A general graphical representation of the agent concepts, goals and characteristics enables unambiguous communication between the research group. In addition to that there is a uniform development process from the conception through modeling and implementation to the evaluation of the simulation.

Initially, UML, action and state diagrams were used as modeling language for the intentions of our agents. Meanwhile BPMN, a more powerful specification language, is used. Especially the combination of communication and rules within one chart is superior to the individual types of UML charts.

PROCESS VIEW

At the beginning, important elements of the airport system need to be modeled for simulation experiments. This includes the mapping of its infrastructure with existing objects, separate technical units and spatial distributions. This is the basis for a realistic description of

possible scenarios of investigation. Another important aspect in the context of modeling and simulation of airport processes is the consideration of regulatory framework requirements because the processes in a terminal are significantly determined by statutory regulations.

The technical and conceptual representation of certain reality details will be displayed in the process modeling, see [4]. For the purposes of a business process modeling, a number of operations (activities, tasks) need to be defined that can be executed by both human and technical agents and reflect statutory target processes. This linking of operations can also be used for the purpose of achieving main objectives ("Departure") and secondary objectives ("Check-In") of an agent during the simulation, see [5]. In this context, a decision has to be made regarding a process modeling notation that is suitable for the present application. This must permit an extension of the modeled business process by specifications for the automated process execution, cf.[4].

In the project the Business Process Modeling Notation (BPMN) has proved to be very powerful and useful. The BPMN standard provides a graphical notation which combines important advantages compared to other representations. A major strength of the BPMN compared to other notations is the ability to model the interaction of autonomously acting agents. Furthermore, a higher precision could be achieved in dealing with events, without causing an excessive increase in the complexity of path models of the process model. It outclasses especially the modeling of events such as the Event-Driven Process Chain (EPC), which does not make a distinction between start, end and interim events. EPC also does not have types such as news or time, see[5].

However, symbols of communication in particular have proved essential for mapping the interaction between agents in the simulation. Messages of different agents are mutually dependent on each other in a path model and are therefore a prerequisite for triggering follow-up actions. For example, an agent "passenger“ executes the next activity (Task) only after having received the message "Security Check successful” from an agent "employee”. In this way, all statutory measures are to be considered in the process model as well as the specific arrangement of individual tasks using BPMN.

At this, the modeler can model the requested behavior of an agent, as well as various special cases at the passenger control without any problems. To cover a variety of possible individual situations at an aiport, local and global abort criteria can be integrated through the use of the business process modeling during the path construction.

Those specific cases are e.g.:

- Forgotten passport,
- Flight delayed or cancelled,
- Security check failed,
- Evacuation as a result of a bomb threat or explosion.

All path models are used as an input for the BPMN-Interpreter developed in this project, see part "Integration and implementation". In order that the interpreter can use the path models for automatic process execution, specific information need to be saved in the particular BPMN-symbols of a path. The BPMN-standard provides a basis for this by defining precise properties for each symbol. Information which are read after the modeling by an XML-Parser and processed through the BPMN-Interpreter are data like the kind of symbol (Task, Gateway, Message etc.), naming convention and properties. Therefore care must be taken in the path modeling that all conventions are continuously observed and met because they are the requirement for an executable simulation.

This problem will be explained in detail in the following section. The business process model is stored as XML-file to enable a standardized data exchange. Therefore the XML structure is defined in the BPMN 2.0 specification. This offers a free selection of modeling tools.

SIMULATION MODEL

The social force model developed by Helbig and Molnar is used in the simulation model. The principle of this model is based on the Newtonian dynamics, whereby the movements of persons are modeled through different forces and thus different phenomena of the pedestrian movement are described. Goal-oriented movements are described by a driving force, interaction between pedestrians by a repulsion force – consisting of a psychological (social force) and physical component. The mapping of the interaction with barriers is displayed analog to the interaction with pedestrians. Attractions occurring in transport systems are modeled in the social force model as the forces between pedestrians with an increased interaction length and a negative fortitude (attractive force). Group interactions and fluctuations are mapped by the effect of forces. Thereby the movement of

pedestrians can be described by a variety of individual forces.

The mathematical description of the movement of the multi-agent-based simulation developed by Fraunhofer ALI uses the differential equations of the social force model. But not all available forces are used. Because of the agent-based approach the fluctuation therm for describing the individual behavior of pedestrians as well as the attractive forces from attractions are used. The behavior of terrorists is specific, highly individual and subject to a varying degree of strong determination.

The modeling of this specific behavior requires an agent-based simulation approach, because the description of individuality by the fluctuation therm in the social force is not sufficient for the specific simulation demand.

It is possible to represent both specific and individual patterns. The forced influencing parameters can only partially be modified, which requires an extending of the social force regarding an agent model.

INTEGRATION AND IMPLEMENTATION

Simulation Framework

The simulation environment contains functions, element libraries and developing tools to control the movement of objects and their interactions with each other and the environment. The geometric information and boundary conditions of infrastructure are set in the graphical user interface which is directly connected with the simulation logic. Event-discrete process chains can be modeled by the use of element libraries which are run through by objects within the system. In conjunction with described BDI architecture an agent based model evolves from event-based modeling. In an agent-based model an intelligent object is called an agent and it is characterized by autonomous behavior. The linear process chain is altered into a process loop which is periodically run through and the parameters of which change dynamically due to agent intensions and environment modifications. Agent movement is ruled by the Social Force Model.

Integration of BDI-Interpreter and BPMN-Model

All agents within the simulation are based on the abstract BDI-Interpreter from Rao and Georgeff [6]. An overview of the architecture of comprehensive model is shown in illustration1 below.

BDI-Interpreter: The BDI-Interpreter is composed of data structures for believes, desires and intentions of the agent combined with internal and external event queues. New incoming events are mapped periodically to possible actions. Added to the list of intentions they will be processed as atomic tasks. Afterwards the desires and intentions are validated to drop achieved and non-reachable goals [6].

The business process modeling is used to generate a process chain of possible tasks and events for an agent. This process chain is periodically run through to obtain the desired goals. The BMPN-based process chain is stored as XML file to enable a machine readable specification. A XML-Parser and a BPMN-Interpreter were developed for integration purposes.

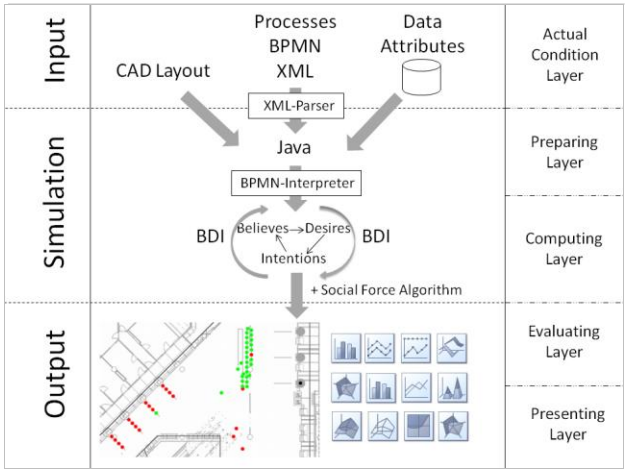


Illustration 1: architecture of comprehensive model

XML-Parser: The XML-Parser is intended for importing and translating BPMN charts into a graph structure composed of nodes and edges. Sequence and communication flows within BPMN are translated to edges and BPMN tasks are translated to nodes of the new graph structure. A chronological order of all tasks is specified by sequence flows whereas the interaction between agents is specified by communication flows [5].

Significant data for every node will be extracted from the XML import file, prepared and stored within the particular node to allow access at simulation. To avoid malfunction and unintentional behavior we have defined a naming convention for business process modeling. This ensures a directed and error free access to all XML elements.

Every node contains its ID and type. The node type indicates the former BPMN symbol and is important for

future processing because every type determines different functions for computing. For several nodes additional symbol properties will be extracted due to the relevance for the simulation. Furthermore, every node stores a list of its successors and recipients dependent on the ingoing and outgoing sequence and communication flows.

BPMN-Interpreter: The internal graph will be computed during the runtime of the simulation by means of a BPMN-Interpreter. The internal graph controls the agent behavior during the simulation until the agent has reached his main goals which are the desires in the BDI architecture. Due to the node type every node and its data are processed by a specific function. Those data provide information on movement, information on decisions and instructions on how to act. If the current node contains a target for movement, which is represented as an abstract concept, then it is mapped on physical coordinates within the simulation.

The node types of the internal graph are derived from symbols of the BPMN specification. These types are start, nodes, tasks, decision nodes and events. Tasks are understood as atomic actions like physical movement of an agent. They provide parameters for the intentions of the BDI-Interpreter. Decision nodes allow alternative or concurrent tasks. The decisions are based on parameters or incoming events. Events characterize the interaction between agents by sharing information or triggering events. In addition to that there are unpredictable events for canceling a running task.

The BPMN-Interpreter is part of the BDI-Interpreter loop and provides necessary data like internal or external events, decision criteria and possible tasks that depend on the current node type. Task nodes embody data for the intensions of the BDI-Interpreter. The data structure of the intentions is a list of atomic actions, which are processed by the interpreter loop during the simulation runtime. This procedure enables an autonomous process execution by responding dynamically on environment modifications and the current state of the agent.

CONCLUSION

At present, the Fraunhofer Application Centre for Logistics System Planning and Information Systems (ALI) is developing methods for multi-agent simulation based on the social force algorithm. The simulation model aims at describing streams of passengers and persons at traffic infrastructures completely. However, the current agent model does not only involve aspects of communication, interaction and spatial mobility but also considers organizational and institutional dimensions of the traffic system "airport". By using this integrative approach, security incidents and their cascade effects can be simulated for large traffic infrastructure systems which tend to reveal significant process disruption in case of incomplete and inaccurate information and communication.

The integration of socio-psychological parameters into the model enables the reproduction of spatiotemporal movement patterns of individual passenger groups in a better way compared to established methods. Besides, the microscopic model developed by ALI includes a generic approach that makes it possible to investigate various problems concerning public places and traffic systems. It provides operators, planners and engineers of traffic systems with useful planning and decision-making aids in order to answer demanding questions relating to the passenger logistics at complex infrastructures.

FUTURE WORK

Further steps of scientific work will focus on the linking of an agent-based simulation with numeric methods as well as on the extension of the agent’s behavior in terms of socio-scientific and psychological parameters.

Embedding methods of numeric simulation may help to answer questions concerning the movement behavior of agents in general, and of pedestrians in gas dynamic conditions in particular. This may include fluid dynamics problems like toxic gas propagation as it can be seen during explosions at public places or during deflagration at public utilities in consequence of terrorist attacks. In this context, the different discretisation approach to describe fluid mechanics phenomena can be considered as very problematic.

To join both simulation approaches in one space-time continuum, the Smoothed Particle Hydrodynamic (SPH) method is presently said to be the most capable numeric technique. This Lagrange method that is easy to implement and robust has a crucial advantage over others. It offers a mesh-free method to solve standard differential equations of hydrodynamic. Thus, a mesh-based transmission of fluid mechanics node results in terms of the classic Euler’s and Lagrange methods is not necessary. All SPH results are transmitted to the pedestrian model to simulate impacts on agents. This also works the other way around. As the influence of pedestrian streams on physical characteristics of gases is

not insignificant, calculated agent movements – due to their autonomous behavior – have essentially to be transmitted to the Computational Fluid Dynamics Simulation. This multiphysical approach can be understood as an agent-based interaction between the fluid-structure and pedestrians.

REFERENCES

[1] M. Breiing, M. Cole, J. D'Avanzo, G. Geiger, S. Goldner, A. Kuhlmann, C. Lorenz, A. Papproth, E. Petzel, O. Schwetje, **Optimisation of Critical Infrastructure Protection: The SiVe Project on Airport Security**, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 6027, 73–84, Springer, 2010

[2] G. Weiß and R. Jakob, **Agentenorientierte Softwareentwicklung**, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2005.

[3] A. S. Rao and M. P. Georgeff, **BDI agents: From theory to practice**, In Proceedings of the Fist International conference on Multiagent Systems, 1995.

[4] A. Gadatsch, **Grundkurs Geschäftsprozess-Management**, Wiesbaden, Vieweg Verlag, 2008

[5] J. Freund, B. Rücker and T.Henninger, **Praxishandbuch BPMN**, München Wien, Carl Hanser Verlag, 2010

[6] H. Becker, **Realisierung eines metamodellbasierten Entwurfswerkzeuges für BDI-Agentensysteme**, http://vsis-www.Informatik.uni-hamburg.de/getDoc.php/thesis/160/becker_da.pdf, März 2010 – Diplomarbeit

USING AGENT-BASED SIMULATION AND BUSINESS PROCESS MODELING TO EVALUATE THE PERFORMANCE OF AIRPORT SECURITY SYSTEMS – A CONJOINT APPROACH

Linda Huber, Alf Papproth and Christian Stegner
Fraunhofer Application Centre for Logistics System Planning and Information Systems (ALI)
Konrad-Wachsmann-Allee 1,
03046 Cottbus, Brandenburg, Germany
+49 (0) 355 69-4803
{Linda.Huber, Alf.Papproth, Christian.Stegner}@ali.fraunhofer.de

and

Sascha Goldner
CASSIDIAN
Landshuter Straße 26,
85716 Unterschleißheim, Bavaria, Germany
+49 (0) 89 3179-3864
Sascha.Goldner@cassidian.com

ABSTRACT
The airport infrastructure represents a particularly critical element of the national economy and the national security situation. Therefore, necessary precautions must be taken against potential threats. So the question emerges how can security systems and processes be optimized for the protection of the airport infrastructure?
The goal of this presented research project is the modular modeling of the airport and its accompanying processes in the context of an agent-based simulation environment. The focus is the realistic representation of social behavior of passengers and airport employees to demonstrate the decisions of human individuals as well as passengers' interaction among themselves and with their environment. The simulation carries an important contribution which is the analysis of the protection mechanisms for passengers during the use of the airport infrastructure. In addition to security matters, the developed simulation can be used as planning and decision making instrument which also gives special consideration for the safety and cost component. This paper describes the scientific goals, ongoing work and initial results of the research project on critical infrastructure security.

KEYWORDS: agent-based simulation, business process modeling, evaluation, security

1 INTRODUCTION
The air transport has a great economic, political and social importance for the national economies [MEN07]. Airports – as a part of the system – are a critical element as they combine some essential economic aspects such as securing and promoting national business locations [MEN03]. Precautionary measures against a number of threads must be adopted for

this reason because local disturbances of the airport infrastructure have a direct effect on the national security situation and the national economy. Airports are exposed to a high thread potential because they are regarded as potential targets of terrorist attacks. As recent security incidents at international airports have shown new and innovative methodologies are needed in order to improve airport security.

Apart from the increased security requirements in the recent years, the great challenges at airports also include the continuously increasing growth of air transport traffic and the changing demands of the customers. Therefore the airport is tasked with harmonizing the constantly changing and growing process requirements – which includes safety and security – with justifiable costs and efforts for the airlines and the passengers. This task is often just tackled by the implementation of new technology as well as the reorganization of processes without assessing the effectiveness of safety and security measures as a whole. To provide a seamless, reliable and secure journey through the terminal at moderate costs, further efforts have to be made to assess and optimize complex airport infrastructures. So there is a great demand for an alternative planning and decision-making instrument which takes the specific characteristics of an airport, in particular the cognitive and social aspects of the behavior of the passengers, into account. This ensures an exact imaging of the real world in the assessment of possible performance- and/or security-increasing optimization measures in terms of cost-benefit aspects.

The Cassidian division within EADS and the Fraunhofer Application Centre in Cottbus are involved in the research project "SiVe[1]" which aims at developing an innovative methodology for evaluating risk management and process improvements at critical infrastructures in order to increase airport security [CRITIS]. The partial result introduced in this paper is a tool that provides an important contribution to analyzing protection measures for passengers when they use the airport infrastructures. It is a solution for which the modeling and the simulation are used. On the one hand, the simulation is focused on the realistic representation of the social behavior of the passengers and airport employees, and on the other hand on the detailed representation of the business processes within the complex airport infrastructure. Especially the process of decision-making is highly influenced by human factors and therefore the need for an agent-based approach arises [WMSCI]. In addition, the developed simulation can be used as planning and decision-making instrument which also considers cost aspects when optimizing (security related) terminal processes. The tool with its methodology and developed models will be explained and introduced on the basis of the "security check" scenario.

2 AGENT-BASED APPROACH

The steady change of regulatory framework requirements due to the changing security conditions has significant effects on the processes and infrastructures of airports. On the other hand, the changing customer requirements influence the process design. Apart from the airlines, the requirements of the customer "Passenger" also have to be taken into consideration. From this point of view the processes have to be planned in such way that they do not only function fast and seamless but also ensure a comfortable passenger handling

[1] This article has been developed in course of the research project „SiVe" that is funded by the Federal Ministry for Education and Research as part of the German research program for civil security, which in turn is part of the high-tech-strategy of the Federal Government of Germany.

[HEWI]. This results in more self-service and self-control options at various points of the passenger handling process in the terminal which accelerate the duration of the passenger handling [IATA11]. These cause a dramatic reduction of the number of "touch points" along the passenger handling process to only those elements required by legislation, such as visual checks of visas or security checks. For that reason, processes change from relatively static lines of passengers processed by employees to dynamic ones whereby passengers manage a number of separate sub-processes autonomously. This leads to an increased flow of passengers influencing operations at terminals [IATA09]. Due to the great importance of these non-technical factors of influence at dynamic processes, there is a need for a security system engineering approach that takes into account these non-technical parameters and their harmonization among the different process steps and organizations participating [GOLD]. The methodology of modeling and simulation is therefore applied in a twofold way.

First, the technical and conceptual representation of certain reality details is displayed in the business process modeling which allows a global view of the airport system [GAD]. The focal point of this view is the airport itself with its entire structure including passengers, employees and their correlations as well as interactions. One important aspect in the context of the business process modeling is the consideration of regulatory framework requirements since processes in an airport terminal are significantly determined by statutory regulations. For this purpose, a number of operations (activities, tasks) need to be defined that can be executed by both human and technical agents. These elements reflect statutory target processes [WMSCI]. In the present research project, however, process models are only one aspect of the simulated environment.

The second view of methodology focuses primarily on cognitive and social aspects of human behavior that strongly influence flows of passengers. Passengers are represented and described by agents. Each of them consists of a realistic behavior model to demonstrate human decisions in social structures. That way, not only the influence of the individual on its environment can be shown but also emergent phenomena resulting from the social behavior of each single agent. Rather than single individuals, heterogeneous agents with similar characteristics are combined into homogeneous groups. Simulation enables the modeling and interpretation of complex systems consisting of various objects that interact both with each other and the environment as multi-agent systems (MAS). An MAS is composed of several interacting agents that intend to solve a specific problem [GOLD]. This approach is suitable when focusing on people flows.

The combination of an agent-based behavior model and a detailed business process model provides a larger density of details in the representation of the system "Airport". In addition, the processes there can be simulated closer to reality which enables further assessment in analyzing the mechanisms at the airport.

2.1 Agent architecture and simulation

Agent-based simulation is intended to show the influence of an individual on its environment and also emergent phenomena within social groups. The agent-based approach is called "micro simulation". Agent-based modeling and simulation are a huge approach to analyze complex systems. Therefore, it can be used for solving a large amount of different problems. An agent can be regarded as an entity which realizes its environment using sensors. At the same time it (inter-)acts goal-oriented within its environment by means of effectors [RUS].

Based on these characteristics agents will continue to be used for modeling social behavior, in particular human behavior. In this process interaction plays an important role, too. Here, agents act as virtual representatives of the entities of the real world, for example passengers. It is possible to impose heterogenic characteristics to the various individuals using personal attributes. Each agent has a lot of characteristics the form of which characterizes his behavior. Agents having similar or the same characteristics show similar or the same behavior and can be combined in clusters/classes. In this way various passenger types with different behavior at the airport can be taken into consideration and make the simulation closer to reality.
The microscopic modeling approach is very useful for imaging security-critical processes in transport infrastructures as well as terroristic danger by single attackers or groups of heterogenic individuals. This approach can be used to investigate the effects of the individual behavior, which can be distinguished from the mainstream, on the environment. The transport infrastructure with its technical facilities and functions as well as the appropriate users (people) is part of the simulation model. Another part of the simulation model is the interaction between the agents which also includes the social interaction (between people), the man-machine communication and the interaction of technical systems. In this context, the communication between the passenger and the employee or the interaction between the passenger and the check-in machine can be mentioned.
An agent-based simulation with various agent types and interaction and communication partners requires a coordination of the quantity of all agents on the simulation scenario. As environmental influences, the knowledge base and the behavior have to be calculated separately for each agent, the simulation environment reaches its limit quickly. Therefore, it is important to only model agent objects just relevant for simulation and assessment.

Agent Architecture

To image human behavior an agent architecture must be used that copies human decision-making. The most appropriate architecture for this is the BDI [2]architecture [WMSCI] that can be used to model agents that make deliberate decisions. Agents realize their environment via sensors. Actuators are used for influencing the environment. An interpreter is positioned between the sensors and actuators to process the sensor data and to trigger appropriate actions. The decisive component of this agent model is the data structure on which the interpreter works. The agents have knowledge of their environment (*Beliefs*), desirable goals (*Desires*) and presently followed sub-goals (*Intentions*), see chapter 3.1. The BDI model is not only suitable for human agent types but also for technical systems, see [JAWE]. For this reason all agents – no matter if of human or technical kind – are based on the BDI agent architecture during the simulation. Detailed information about the architecture has already been provided in [WMSCI].
An essential point of criticism of the BDI model is the interaction model with other agents that has not been described explicitly. For this reason, research is being carried out at a suitable interaction and communication model for a multi-agent environment within the framework of this project. This includes point-to-point, collective (multicast und broadcast), one-sided, passive and active communication, rules for the information transfer between individuals and groups of people as well as the exchange of information between people and

[2] BDI - Beliefs, Desires, Intentions

technical systems. Another important fact is the dependency of the communication and interaction on environmental conditions and the knowledge base of a person. In addition, another study deals with the influence of social and psychological aspects on the behavior of the agent. In this way social and emotional characteristics are added to the physical and cognitive skills of the agent.

2.2 Business Process Modeling

Business process modeling can be considered as a subset of the business process management discipline. [GAD] defines a business process as "goal-oriented, chronological sequence of tasks which can be executed by different organizations or organizational units using information and communications technologies". The goal of every single business process is to create a specific result, e.g. a product or services, which helps to reach the company's overall strategic goals. Business processes are basically divided into three main groups: core processes, support processes and management processes. Core processes are directly linked to the fulfillment of the customers' needs whereas support and management processes can be considered as processes that indirectly assist the core processes - for example by dealing with organizational matters. One aspect that all three process categories have in common is the fact that regulatory framework requirements have to be considered or even more, that business processes have to be compliant to these regulatory constraints and thereby are significantly determined by these statutory regulations.

In general, business processes are described hierarchically in different levels of detail and from different perspectives. An abstract view allows getting a descent overview and impression what processes exist, how they are interconnected, which actors and roles are involved and what goals and results should be reached. Usually this view is important for the management level or a business process analyst that needs to understand which parts of the company are involved to which extend and further what impact does a change within one process have on the others. Business process descriptions on the other hand are also used as a specific guide line for operators. By describing the process on a very fine-grained level showing the process in its elementary steps, the executing operator of that process gets an understanding of the execution order of the process tasks and what sub-goals have to be reached. This view is mainly important for the production level and as well for a business analyst that needs a very detailed understanding. Within our approach we decided upon three levels of detail for the business process models (see Figure 1). Each level is characterized by certain syntactical requirements regarding for example the number of tasks in a single process, the number of actors or process lanes, communication and data flows. The top of the pyramid represents the most abstract description of the business processes, the bottom of the pyramid the most detailed description. On the top, which is the strategic level, the single core business processes are described in a very abstract and simple way. The intention of this level is to provide a quick overview of all exiting processes and their interdependencies. The next level, the security-oriented process model, is the strategic level extended by a highlighted representation of the security relevant aspects within the core processes. This level still provides more like an abstract view of the overall system and no detailed guide for operators, but clearly indicates where security related tasks, e.g. security check points, are located within the processes. The lowest level, the elementary process level, represents the most detailed description of the business process containing the process tasks with all the elementary steps

and sub-goals that have to be executed by a single user. Within our work we solely concentrate on core business processes of an airport and their security relevant aspects.

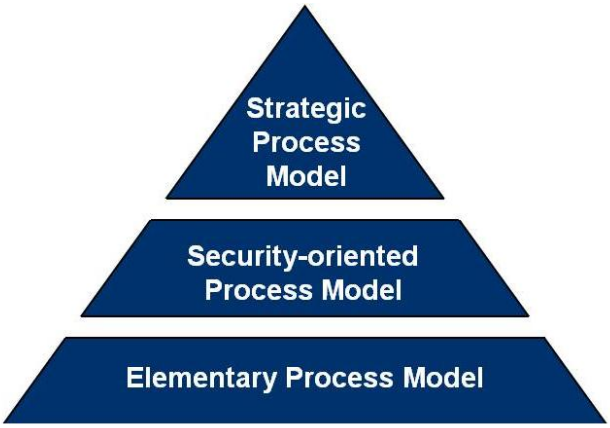


Fig. 1 - Business Process Hierarchy

At this point it has to be decided which business process modeling notation should be used in order to operate most suitably along the given use case. A graphical representation of business process information has proven to be intuitive and effective for presenting it to different types of users.

Visual Representation and Modeling Language

One of the major requirements for a process modeling notation in our relevant use case is the capability of describing not only the activities of the entities of the airport but also their interactions. Hence the modeling notation has to meet the following requirements:

- Communication and data flow has to be supported by the notation by explicitly providing means to use data and information objects.
- Events: processes are primarily based on events. For example, events are responsible for starting, ending, postponing or delaying processes. More important within the security domain are unforeseen or unplanned events. Therefore the modeling notation should support the explicit modeling of such events.
- Process hierarchies: as described above, business process descriptions are intended for different user levels with different demands with respect to the level of detail. Thus hierarchization of process models is needed in order to implement different levels of detail.
- Process execution dependency: processes can be mutually dependent on each other. That is that the execution of one process has to stop until the input of the other process arrives and follow-up actions can be triggered.
- Time- and event-triggered actions: actions should be able to be triggered by events (process results) or time (e.g. after waiting x minutes the task y is executed).
- Actor-oriented perspective: the structure of a process model should be defined by the number of participating actors, e.g. a process consists of two actors that exchange information during the process. Then there should be two process lanes each describing the internal process for each actor. Between the two lanes the information flow between the actors can be displayed. This requirement is particularly important for the

combination of agent-based models with business process models because of the identical point of view.

– Executable process models: our analysis of the business processes is based on process simulation. Therefore the business process models should be executable in a simulation framework by default.
– Expandability: the notation should provide means to extend the syntax in order to be able to describe specific facts of the analyzed domain.

After comparing different graphical notations for business process modeling (i.e. workflow nets, event-driven process chains, process algebras, unified modeling language, petri nets) we decided to use the Business Process Modeling Notation (BPMN). The BPMN 2.0 standard provides a graphical notation which is more expressive than the other mentioned notations. Furthermore it meets almost all our specific requirements defined above. BPMN organizes processes in so called pools or lanes [FRH]. Figure 2 shows an example of a process model set up by means of BMPN 2.0. The scenario considered is the security check for passengers which will also be referred to in part 4 of this paper.

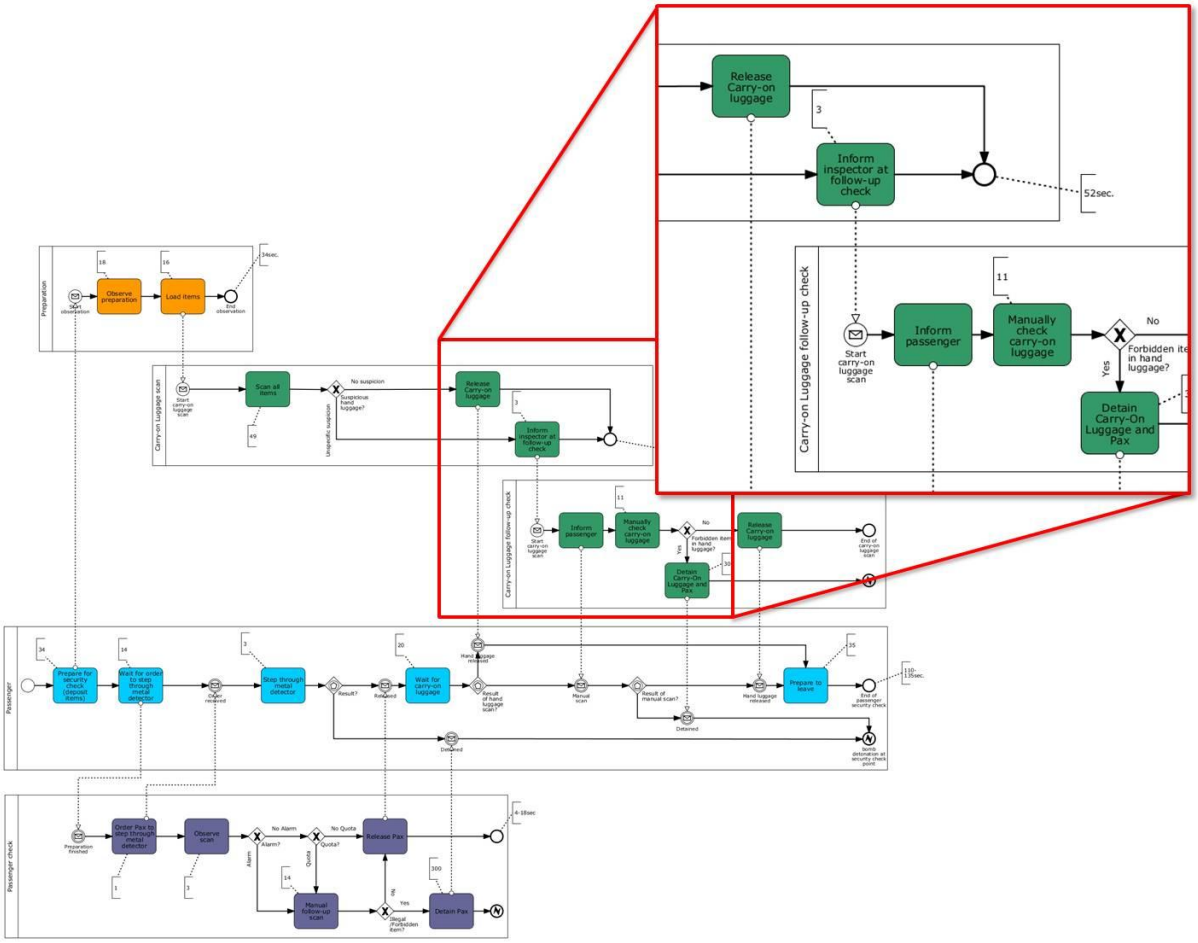


Fig. 2 - BPMN Process Model

Each pool or lane represents a single organizational unit or actor and thereby provides an actor-oriented perspective of the business process. Further the perspective can be compared with the perspective of an agent-based model. Each agent can be represented by a single process lane or vice versa. The process steps within a single lane represent the internal tasks

of an agent. The communication of the agent with other agents or the environment is represented by message and data flows to other lanes in the process model. BPMN also supports hierarchization by providing nested processes. Processes on the strategic level simply can be expanded until the level of detail reaches the elementary level and vice versa. The requirement for time- and event-triggered actions is also covered by the support of different types of events such as exceptions, error or time events.
Since the version 2.0, the business process modeling notation (BPMN) provides rich support for extending the notation's syntax and for the simulation of process models. A complete description of the BPMN 2.0 standard is provided in [BPMN].

3 INTEGRATION AND IMPLEMENTATION

3.1 BDI architecture

The BDI interpreter is composed of data structures for the *beliefs*, *desires* and *intentions* of the agent (see 2.1 Agent-based Simulation) as well as a collection of internal and external events. This collection is run through cyclically in the form of a list and checked for arriving events. Another list with possible actions is prepared for the first event of the list as a response to this event. Following this, a selection of actions from this list takes place that are added to the intentions and carried out in form of atomic actions. Desires represent the main goals of an agent in the BDI architecture. The main goal of an agent that represents a passenger at the airport is, for example, the departure. A number of actions is carried out from entering the airport to the departure that correspond to the intentions of the passenger. Afterwards the desires and intentions are updated by checking which goals have been achieved and which ones cannot be reached any more. During the whole cycle arriving events that are included in the list are permanently supervised [BCK].

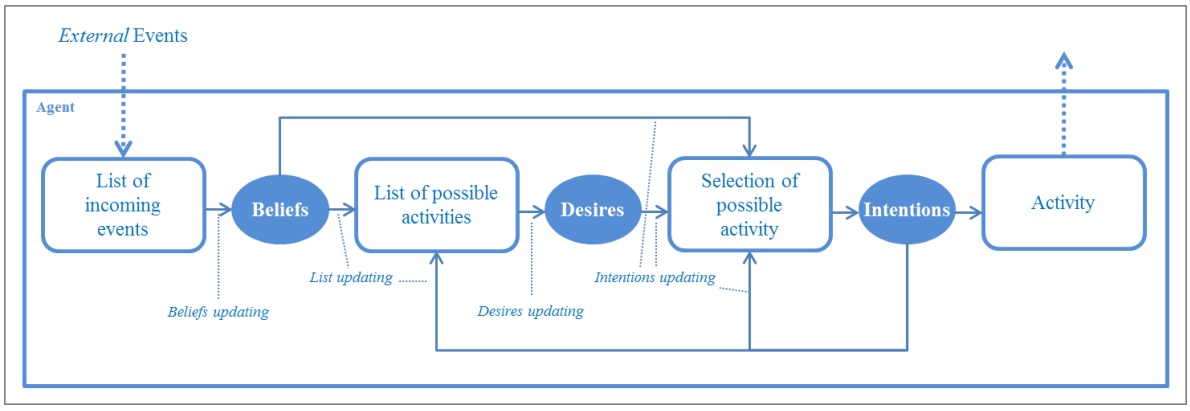


Fig. 3 – BDI Architecture

The process chain, which consists of decision nodes, actions and arriving events, is run through and processed during the run time of the simulation to achieve the desired goals. Web-based editors such as ORYX are available for setting up BPMN models that are used for a graphic modeling of process models [OR]. These models present the activity sequences of all actors involved during the agent-based simulation. In this way regulatory framework requirements can be considered. Standardized machine-readable formats which enable an

exchange between the modeling and simulation environment are a precondition for processing the models in the simulation environment. Editors such as ORYX provide different formats, e.g. XML and JSON, that are independent of the system and the programming language. In our use case the BPMN models are exported into a JSON format and subsequently imported into the simulation environment. A BPMN interpreter was developed for processing the imported JSON formats. The JSON parser and the BPMN interpreter were developed for the pure integration and processing of the process models in the simulation environment.

3.2 JSON Parser

An own JSON parser was developed for reading the JSON documents and extracting relevant information from them. It is used for transferring the process chain modeled in BPMN into a graph structure in which flow objects in BPMN correspond to the nodes and sequence and message flows correspond to the edges of a graph. Nodes signify activities of the agents such as movements, actions and decisions the agent makes depending on personal characteristics and states and of events from the environment. Owing to the complexity of BPMN conventions were defined that restrict the use of BPMN to the elements and their attributes necessary for the simulation. Whereas BPMN allows several lanes in one pool our convention allows merely one lane per pool so that graphs within a lane will be completely confined and do not extend to other lanes. This ensures that a graph within a lane can be assigned to just one class of agents and a communication between agent classes is possible (this is just possible between pools but not between lanes of one pool in BPMN 2.0!), but it is necessary for the realistic behavior of the agents. This enables a generic reading and extracting process of the JSON documents. The relevant attributes, e.g. ID and node type, are saved for each node as well as a list of its successors and its receivers when messages are sent. Whereas the ID makes a node uniquely identifiable the node type indicates the BPMN element in question. Activities represented by the BPMN element “Task” are further differentiated. An activity can correspond to a movement or an action of an agent, e.g. "Show your boarding pass!", or can cause a change from one graph to another one. The various types of activities are characterized by using the predefined properties of the Task element and choosing the respective values. Which value stands for a movement, an action or a change of a graph is defined in the modeling conventions and plays an important role in processing the BPMN models by the BPMN interpreter [WMSCI].

3.3 BPMN Interpreter

A BPMN interpreter was developed for the run of the graphs and the processing of the nodes. Depending on the properties, respective functions are called up for each node that influences the behavior of the agents by performing actions or movements or making decisions [WMSCI]. For movements, the relevant properties of the node that stand for the goal of an agent are imaged on coordinates of a Cartesian coordinate system. Actions are displayed in an abstracted way by time delays that correspond, for example, to the processing time during the handling of a passenger by the staff. The decisions made are either data-based depending on the characteristics of the agent or the environment or event-based depending on the arriving events or messages. So a passenger in the simulation does not go through the walk-through metal detector before he has got the signal in form of an arriving event from the security

personnel. Otherwise the passenger only goes to the check-in when he has the attribute "no boarding pass" or "baggage available".
Additionally included meta data allow the implied expansion of the graph during the parsing of the BPMN models to reduce the modeling expenditure and generate recurring modeling patterns automatically. A graph corresponds to a sequence of activities of an agent class that is being processed during the run time of the simulation by calling up the BPMN interpreter. This method enables an automatic implementation of the process of the BPMN models during the simulation. It is possible to repeat the run of the graphs during the simulation a few times. In addition, graphs can be hierarchically linked with each other. Models on the top level normally have a lower level of detail compared to models on the lower levels. In this way it is possible to structure complex process operations in clear modules so that several models are run through in form of modules one after the other or individual process steps of a graph become more detailed by changing into another graph, see 2.2 Business Process Modeling.

4 SCENARIO-BASED APPLICATION

After the approach was explained in the previous chapter, this chapter deals with the practical implementation of a specific problem during the simulation. At first a description of the scenario and the parameters and measured values of the simulation are given. Afterwards the results are presented.

4.1 Scenario "Passenger checkpoint"

The investigation is focused on the passenger checkpoint at airports. The checkpoint separates the land side, i.e. the area that is publicly accessible, from the air side – the security area – where the departure gates and the waiting areas for the passengers are located. The objective of the checkpoint is to prevent passengers from bringing in prohibited items into the security area. Therefore the passengers and their hand baggage are checked for prohibited items. The way the security check is carried out can vary from airport to airport but its basic structure is the same everywhere. If a passenger wants to enter the security area he has to pass the passenger checkpoint first. So he lines up in one of mostly several control lanes. A control lane is normally manned by four employees of the security service and consists of the area of the hand baggage check and the passenger check. The hand baggage check is carried out by three employees – the hand baggage deposit instructor, the screening officer and the hand baggage inspector. The passenger check is carried out by one person – the screener. The check of the passenger and the check of his hand baggage are carried out independently of each other and mostly at the same time.
The passenger faces the following procedure: When the passenger arrives at the area of the checkpoint, he lines up in a possible queue at one of the check lanes. After having been requested by the hand baggage deposit instructor and being watched by him the passenger puts all items of his hand baggage and other movable items into the provided boxes. Then the hand baggage deposit instructor puts the boxes onto the belt and they go to the hand baggage scanner for being checked. Whilst the hand baggage inspection continues the passenger remains waiting at the present position. He does not pass the walk-through metal detector before he has been requested by the screener. If the metal detector triggers a signal when the passenger passes through, he will be checked manually by the screener. Triggering a signal

can have two causes: the passenger is wearing some metal at or in the body which is registered by the walk-through metal detector and therefore the signal is triggered. The second cause is that the passenger shall be checked manually based on the random sampling regulation. The random sampling regulation states that if a certain percentage (quota) of passengers who walk through the metal detector and do not trigger an alarm caused by metallic items at or in the body a signal is generated yet and as a consequence the passenger will be checked manually. If the metal detector does not trigger a signal or no prohibited items are found at the passenger, the passenger can proceed to the hand baggage belt where he can take his hand baggage. In the meantime the hand baggage was thoroughly checked, e.g. by an X-ray device and the X-ray image was analyzed by the screening officer. If the screening officer cannot exactly determine whether there are prohibited items in the hand baggage of the passenger or not, the hand baggage inspector will check the hand baggage in the presence of the passenger. If the suspicion is unfounded, the passenger can pick up his hand baggage and leave the passenger checkpoint and proceed to the security area. A possible layout of the passenger checkpoint is shown in Figure 4 – Passenger Checkpoint. The procedure at the passenger checkpoint as a BPMN process model was introduced in Figure 2 of chapter 2.2. Reference to this procedure is made again here.

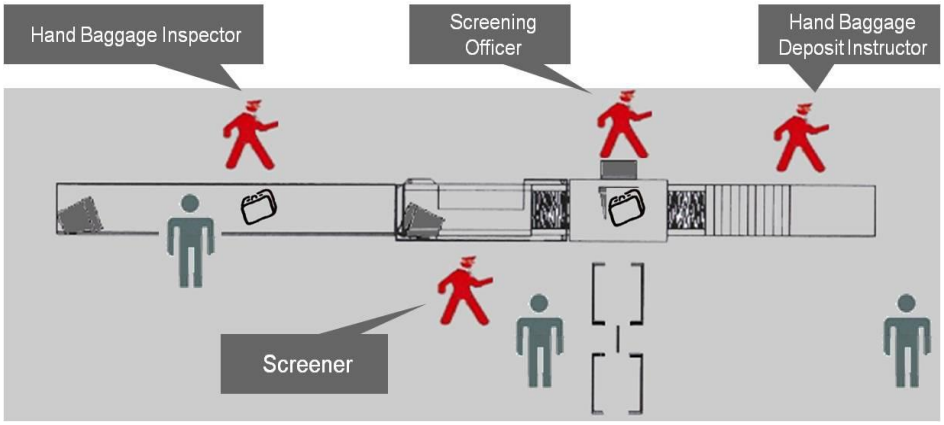


Fig. 4 - Passenger Check Point

4.2 Description of the experiment – Variation of the quota at the passenger checkpoint

The sample scenario is used to examine how a variation of the number of passenger checks chosen randomly, i.e. the quota, affects the security and cost structure. To do this, two simulation vignettes are defined. The first vignette examines the benefit aspect of different quota values based on the probability that the attacker reaches his goal and the measure of damages associated. So it is just the attacker who is imaged in this vignette. Regular passengers are not considered because they do not cause damage. The quota is modified in the range of 0% to 100% in 10% steps so that altogether 11 sub-vignettes are simulated. The second scenario vignette is used to analyze the effect on the cost structure caused by a modified quota. Therefore the simulation just images passengers without taking the attacker and possible damages into consideration. The quota is also modified in 11 sub-vignettes in the range of 0% to 100% in 10% steps. The costs consideration is mainly made with regard to the personnel costs and how they change owing to a modification of the quota. The final objective is to determine a quota for the specific scenario, which is optimal with regard to the cost-benefit aspects. Therefore the results of the two vignettes are compared with each other. The

specific parameter values in the following scenario are fictitious and raise no claims to completeness. The chosen scenario shall only show the approach of our methodology.
The following operational procedure takes place: The attacker is disguised as a regular passenger and his intention is to let a self-built explosive device, which he is wearing at his body, detonate in the waiting area of the airport. All of the components of the explosive device contain very little metal. The attacker enters the public area of the terminal building and wears the explosive device hidden and ready for being ignited at his body. He does not carry any hand baggage with him apart from a jacket that is being checked at the hand baggage checkpoint. As he has already got a boarding ticket he proceeds directly to the passenger checkpoint and lines up in the queue at the control lane. Then he puts his jacket into a box for the hand baggage check. During the check of his hand baggage no prohibited items are found, so it is regarded as secure. After having been requested by the security staff he walks through the metal detector. If no alarm is triggered, the attacker takes his hand baggage and proceeds to the waiting area where he then ignites the bomb. If the metal detector triggers a signal, the attacker will be checked manually. If the explosive device is found during the manual check, the attacker will ignite the bomb at the passenger checkpoint.

4.3 Simulation vignette "Attacker"

The benefit consideration takes exclusively one single attacker into account and no passengers. Therefore the probabilities given and the information about the possible measure of damages refer exclusively to the attacker. Costs, process times and the expenditure of resources are not taken into consideration for this vignette.

Probabilities

It is assumed that the explosive device has a very small metal content. Therefore the probability of being detected by the walk-through metal detector is not great. If the attacker is checked manually during the passenger check, it is assumed that the probability of finding the hidden explosive device at the body of the attacker will be quite good. As the attacker does not have any prohibited items in his hand baggage, the probability of a suspicion during the hand baggage check is set to 0%.

Process step	**Probability**
Walk-through metal detector: *Detection of metallic components of the explosive device*	20%
Walk-through metal detector: *Quota*	0-100%, in 10% steps
Follow-up check: *Detection of the explosive device at the body*	90%
Hand baggage scanner: *Suspicion of prohibited items in the hand baggage*	0%

Table 1 - Probabilities Vignette "Attacker"

Amount of damages

When the attacker has reached his target area, he ignites the explosive device in the waiting area thus causing considerable damage. If the explosive device is detected during the passenger check, the attacker will be able to let the explosive device explode at the passenger checkpoint. The measure of damages is not as severe as with an explosion in the waiting area.

Process step	Damages in million € Mean value (standard deviation)
Detonation of explosive device in waiting area	16 (4)
Detonation of explosive device during security check	10 (2)

Table 2 - Measure of damages

The probability that the attacker achieves his goal is calculated using a counting variable. If there is a detonation in the waiting area, the counter is incremented by 1, the counter remains the same for an explosion at the security check. The result of the proportion of the number of simulation runs per sub-vignette and the counter reading is the probability of passing through.

4.4 Simulation vignette "Passengers"

The cost consideration is the subject of the second simulation vignette. In this case, only the passengers and not the attacker are taken into consideration. The purpose is to calculate the costs that incur on average for the passenger handling without bringing prohibited items into the security area.

Probabilities

Each manual check requires additional expenditure of staff and time and therefore costs. It is assumed that a signal is triggered for 35% of all passengers when they walk through metal detector caused by metallic items at or in the body. Just like in the first simulation vignette the quota is modified at a range of 0%-100%. For the hand baggage check it is assumed that in 35% of all cases there is a suspicion of prohibited items in the hand baggage and a manual check is carried out in which the suspicion is finally cleared up.

Process step	Probability
Walk-through metal detector: *Signal based on the detection of metallic items*	35%
Walk-through metal detector: *Quota*	0-100%, in 10% steps
Manual passenger check: *Release of passenger as no prohibited items were found*	100%
Hand baggage scanner: *Suspicion of prohibited items in the hand baggage*	35%
Manual check of the hand baggage: *Release of hand baggage as no prohibited items were found*	100%

Table 3 - Probabilities Vignette "Passengers"

Process times

The time spent by the security staff for the checks is an essential factor of influence. The following table shows the assumed process times spend on average by the security staff for each passenger.

Process step	Process time in sec.
Hand baggage deposit instructor: *Watching the deposition of the hand baggage items*	18
Hand baggage deposit instructor: *Feeding the hand baggage into the scanner*	16
Screening officer: *Scanning and analyzing of X-ray images*	49
Screening officer: *Informing the hand baggage inspector if there is a suspicion of prohibited items*	3
Hand baggage inspector: *Manual check*	11
screener: *Watching the passenger walking through the metal detector:*	4
Screener: *Manual check*	14

Table 4 - Process Times

The following assumptions were taken as a basis for the cost calculation:

Fixed personnel costs = number of employee's working hours x hourly rate

Variable incidental personnel costs: ca. 35% of the hourly rate

Total personnel costs = personnel costs + incidental personnel costs

The total personnel costs were estimated to be 13.80€ / h.

4.5 Simulation results

Simulation results of vignette "Attacker"

1,000 simulation runs were carried out for each of the 11 different quota values from 0% to 100% per sub-vignette. The high number of simulation runs enables a relatively accurate approximation of the mean values of the damage repartition. Figure 5 shows the possible mean damage that will be caused by the attacker due to the varying setting of the quota in this specific scenario.

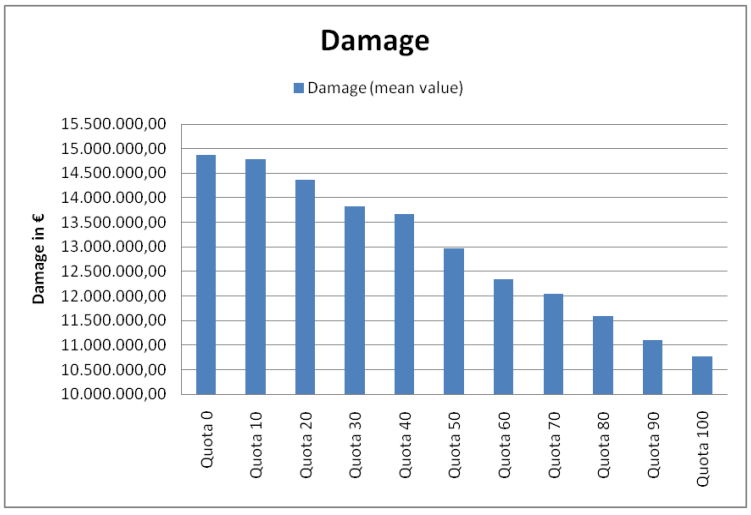


Fig. 5 - Mean Damage

Figure 6 shows the varying damage values divided into the two possible locations of damage. Trivially the mean damage in the waiting area decreases when the quota in increased because the attacker will be detected with a rising probability already during the passenger check. At a small quota the probability increases that the attacker will walk through the passenger check including the explosive device without being recognized. Therefore the damage value in the waiting area is high when the quota is low.

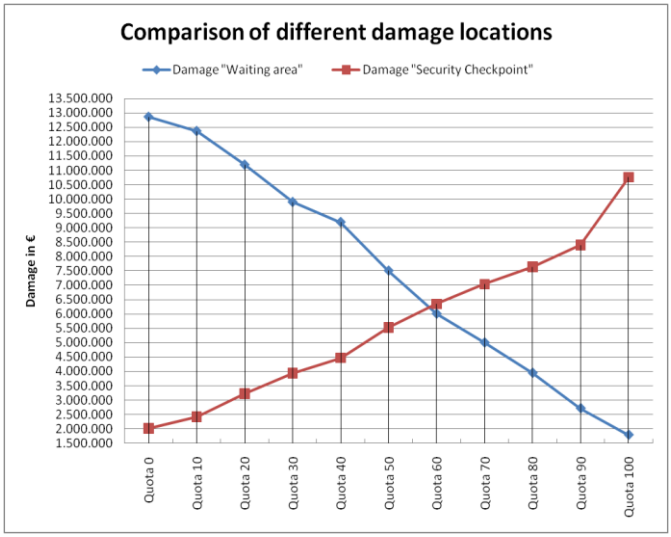


Fig. 6 - Comparison of different damage locations

Figure 7 shows the calculated probabilities that the attacker walks through the security check without being recognized. The probability of passing through is decreasing accordingly with the rising quota and is therefore proportional to the curve of the mean damage (see Figure 4).

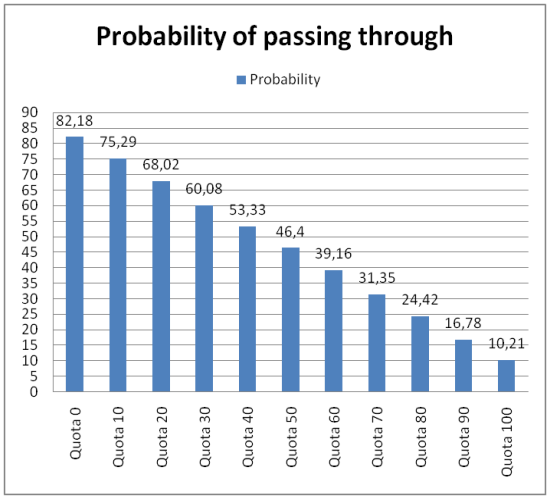


Fig. 7 - Probability of the attacker passing the security checkpoint

Simulation results of vignette "Passengers"

210 passengers were generated in the simulation for calculating the costs and handling times of passengers during the passenger check. They were handled in one single check lane. At the beginning of the simulation all 210 passengers had already been generated in the simulation, i.e. the arrival behavior of the passengers was not taken into consideration. The time when the passengers were waiting before being checked was also neglected.

Based on the simulation results it is now possible to evaluate varying values of the quota regarding the costs incurred and the efficiency of the defined threat. Figure 8 shows the incurring mean costs of screening a passenger at a given quota and the probability of the attacker to achieve his goal. At a quota of 45% it can be seen that the proportion of the costs and the probability of the attacker to pass through reverses. This means that for a quota of less than 45% the costs per passenger are low but the probability of the attacker to pass through is accordingly high. At a quota greater than 45% this proportion reverses, i.e. the costs per passenger rise sharply whereas the probability of the attacker passing through decreases. Therefore an optimum cost-benefit ratio in this scenario and with the values used in the simulation is at a quota of 45% (=Pareto optimum).

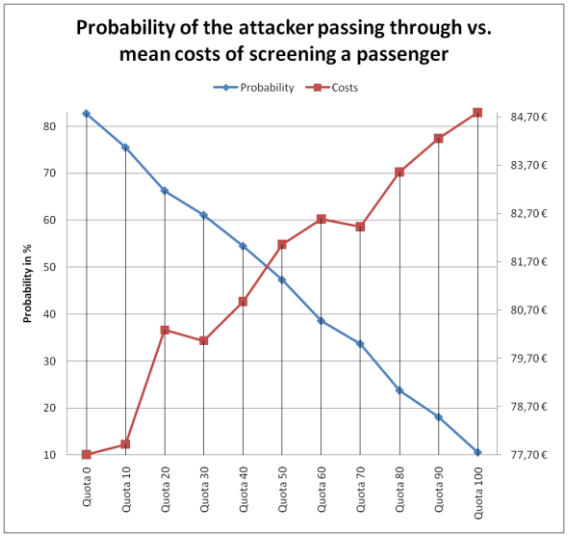


Fig. 8 - Impact of a different quota on screening costs and security

If, however, the relative proportion of the cost increase caused by raising the quota and the associated decrease of the possible damage is considered, it follows that the greatest percentage gain in terms of a decrease of damages for a small increase of costs is at a quota of 60%.

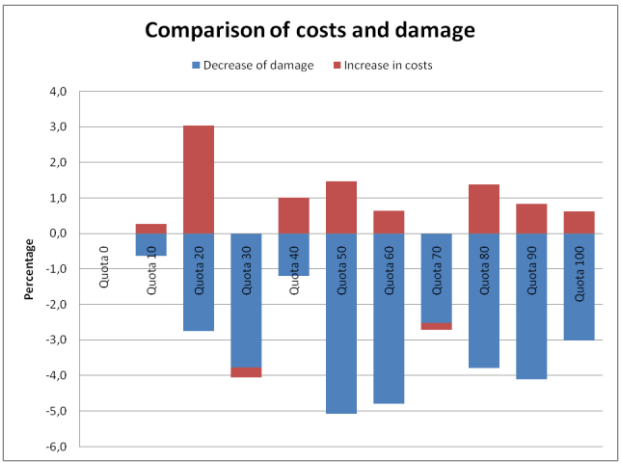


Fig. 9 - Percentage comparison of increase of costs vs. decrease of damage

Again we have to emphasize that the purpose of this work is not to evaluate a security checkpoint at a given airport. Therefore the parameters and values used within the simulation are purely fictional. In fact, we presented an approach that supports operators of airports and

experts in the aviation domain to evaluate and optimize given or new security systems before putting them in place. Any data that is considered as valid and reliable by these experts can be used by our approach. Hence, there is not the one single optimal solution for a specific scenario which is valid for all airports. Rather, the best solution for an airport depends on its specific input data and the airport considered.

In a next step of this project, we will analyze the impact of new technologies like liquid explosives detection systems and the body scanner on the performance of a security checkpoint using today's default technologies as mentioned in this paper. Furthermore, we like to improve the quality of input data for the simulation in order the get even more realistic results. This will be achieved by data resulting from certain surveys conducted among passengers. Further attributes of passengers can also be educed out of it. Moreover, we aim to integrate more complex process models.

5 CONCLUSION

Today, the process management of airports is mainly determined by permanently increasing security requirements, by a constant grow of passenger numbers as well as by changing customer demands. Processes change from relatively static lines of passengers to dynamic ones whereby passengers make use of a number of self-service options. This leads to an increased flow of passengers influencing operations at terminals. This poses a big challenge for operators, planners and engineers of complex airport infrastructures. Therefore, innovative and useful planning and decision-making aids are highly desired which also take specific characteristics of an airport – particularly cognitive and social aspects of passengers' behavior – into account.

Cassidian and Fraunhofer Application Centre have developed a new instrument which provides an important contribution for analyzing protection mechanisms for passengers during the utilization of airport infrastructures. It is a solution for which the modeling and the simulation are used. On the one hand, the simulation is focused on the realistic representation of the social behavior of the passengers and airport employees, and on the other hand on the detailed representation of the business processes within the complex airport infrastructure. This is especially important as the process of planning and decision making is highly influenced by human factors. The combination of an agent-based behavior model and a detailed business process model provides a larger density of details in the representation of the system "Airport". The integration of non-technical parameters into the model enables the reproduction of movement patterns of individual passenger groups in a better way compared to established methods. For that reason, processes at airport infrastructures can be simulated closer to reality which enables further assessment in analyzing the mechanisms at the airport. In addition, the developed agent-based simulation tool does not only consider performance indicators but also cost aspects when optimizing (security related) terminal processes.

To sum up, the application of such an alternative planning and decision-making tool is preferable for all main stakeholders at an airport. Airlines and airports are able to enhance customer service as well as process safety and security while optimizing cost-benefit ratio. Passengers benefit from a seamless travel through the terminal. Additionally, an adjusted design and layout of airports will result in more efficient flows of passengers. Rather than investing in new airport infrastructures, current terminals can be optimized more effective.

REFERENCES

[BCK]
Becker, H. (2010), Realisierung eines metamodellbasierten Entwurfswerkzeuges für BDI-Agentensysteme, http://vsis-www. Informatik.uni-hamburg.de/getDoc.php/thesis/160/becker_da.pdf, thesis, 2010

[BPMN]
Business Process Modelling Notation, version 2.0 beta 2, OMG, 2010, available in: http://www.omg.org/spec/BPMN/2.0/Beta2/

[CRITIS]
Breiing, M., Cole, M., D'Avanzo, J., Geiger, G., Goldner, S., Kuhlmann, A., Lorenz, C., Papproth, A., Petzel, E. and Schwetje, O. (2010), "Optimisation of Critical Infrastructure Protection: The SiVe Project on Airport Security", CRITIS'09 - Proceedings of the 4th International Conference on Critical Information Infrastructures Security, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 6027, pp. 73–84, Springer

[FRH]
Freund, J., Rücker, B. and Henninger, T. (2010), „Praxishandbuch BPMN", Carl Hanser Verlag, München Wien, 2010

[GAD]
Gadatsch, A. (2005), „Grundkurs Geschäftsprozess-Management", 4th Edition, Vieweg Verlag, Wiesbaden, 2005

[GOLD]
Goldner, S. (2011), "Rapid Behaviour Modelling for an Agent-Based Simulation", ICAART 2011 - Proceedings of the 3rd International Conference on Agents and Artificial Intelligence, Springer

[HEWI]
Heracleous, L. and Wirtz, J. (2006), "Biometrics: the next frontier in service excellence, productivity and security in the service sector",Managing Service Quality, vol. 16 No. 1, pp. 12-22, Emerald Group Publishing Limited

[IATA09]
International Air Transport Association (2009), Program Strategy „IATA - Simplifying the Business", Montréal, 2009

[IATA11]
International Air Transport Association (2011), Fast Travel Program, available in: http://www.iata.org/whatwedo/stb/fast-travel/Pages/index.aspx; checked: 18.05.2011

[JAWE]
Jakob, R. and Weiß, G. (2005), „Agentenorientierte Softwareentwicklung“, Springer, Berlin Heidelberg New York, 2005

[MEN03]
Mensen, H. (2003), „Handbuch der Luftfahrt“ – VDI-Reihe, Springer, Berlin Heidelberg New York, 2003

[MEN07]
Mensen, H. (2007), „Planung, Anlage und Betrieb von Flugplätzen“ – VDI-Reihe; Springer, Berlin Heidelberg New York, 2007

[OR]
ORYX, http://bpt.hpi.uni-potsdam.de/Oryx/Research

[RUS]
Russell, S. and Norvig, P. (2003), “Artificial Intelligence: A Modern Approach”, 3rd Edition, Prentice Hall, Upper Saddle River, 2003

[WMSCI]
Meinberg, U., Lorenz, C., Huber, L., Papproth, A., Stegner, C., Hyka, R. (2010), “Agent-based Simulation of Security Related Logistic Processes on Airports”, Proceedings of The 14th World Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics, pp. 354-359, International Institute of Informatics and Systemics

Uwe MEINBERG, Alf PAPPROTH, Linda HUBER
Rüdiger HYKA, Tatsiana KISIALEUSKAYA
Fraunhofer Application Center for
Logistics System Planning and Information Systems
Karl-Liebknecht-Straße 102
03046 Cottbus
Germany

MAIN COMPONENTS OF A SIMULATION-BASED EARLY WARNING SYSTEM IN THE INFRASTRUCTURAL TRANSPORT FACILITIES

Summary: Simulation-based early warning systems are an important tool for short-term decision making when dealing with large pedestrian flows in public buildings or in transport infrastructure systems. The focal point of the paper is the structure and functioning of a simulation-based early warning system. In particular, basic components are described in more detail which are measuring systems, database systems, simulation model and visualization. The goal of early warning systems is a predicted localization and identification of critical pedestrian flow situations within building infrastructures. The prediction of critical situations by means of online simulation is used for the early detection and initiation of reactive measures. By getting recommendations for action from the early warning system, operational decisions can harmonize the constellations of critical pedestrian flows. Operative interventions for the operation and control of pedestrian flows in buildings ensure the security and quality of the service of their users. Due to the increasing importance of concession businesses in recent years, operators of transport infrastructure systems have to achieve both the efficient handling of passengers and their directing along shopping facilities. A high level of user convenience achieved by the smart and convenient directing of pedestrian flows serves the acceptance of complex structural facilities and transport infrastructure systems and therefore provides the basis for a successful operation of these systems.

HAUPTKOMPONENTEN EINES SIMULATIONSBASIERTEN FRÜHWARN-SYSTEMS IN DEN INFRASTRUKTURELLEN VERKEHRSKNOTEN

Zusammenfassung: Simulationsbasierte Frühwarnsysteme sind ein wichtiges Instrument für eine kurzfristige Entscheidungsfindung im Umgang mit großen Personenströmen in öffentlichen Gebäuden oder Verkehrsinfrastruktursystemen. Der vorliegende Artikel beschäftigt sich mit dem Aufbau und der Funktionsweise eines simulationsbasierten Frühwarnsystems. Dabei werden insbesondere die Bestandteile Messsysteme, Datenbanksysteme, das Simulationsmodell sowie die Visualisierungskomponente näher beschrieben. Das Ziel von Frühwarnsystemen ist eine prognostizierte Lokalisierung und Identifizierung kritischer Personenstromzustände innerhalb infrastruktureller baulicher Einrichtungen. Die Vorhersage kritischer Zustände durch die Online-Simulation dient der frühzeitigen Erkennung und Einleitung reaktiver Maßnahmen. Durch vorgegebene Handlungsempfehlungen des Frühwarnsystems werden über operative Entscheidungen die Konstellationen kritischer Personenströme harmonisiert. Die operativen Eingriffe zur Steuerung und Lenkung von Personenflüssen in Gebäuden dienen der Sicherheit sowie zur Erhöhung der Servicequalität ihrer Nutzer. Betreiber von Verkehrsinfrastruktursystemen haben neben einer effizienten Abfertigung von Passagieren in den letzten Jahren eine weitere zunehmend wachsende wirtschaftliche Säule durch das Konzessionsgeschäft mit Shop-Betreibern zu tragen. Ein hoher Nutzerkomfort durch intelligente und komfortable Personenstromführung dient der Akzeptanz komplexer baulicher Einrichtungen und Verkehrsinfrastruktursysteme und stellt die Grundlage für eine erfolgreiche Betreibung dieser Systeme dar.

1. INTRODUCTION

The security of pedestrians within large public facilities and ensuring the high service convenience for the users of these facilities are topics that have become more and more important in recent years. Owing to the strategic influence of infrastructural objects on a functional course of the economic everyday life as well as the life of the people, the smooth and systematic operation of all technical processes in these objects plays an important role. On the one hand, transport infrastructures are part of complex dynamic systems – with regard to the movement of pedestrians – the users of which have different intentions and objectives to follow up their needs. To achieve their objectives in different ways by different means they develop various plans and strategies. On the other hand, transport infrastructure facilities reach the limits of their efficiency owing to the increasing global networking that is connected with an increasing travel activity of the people. Against this background it is getting more and more important to recognize erroneous trends or dangers in advance that pedestrians are facing in those transport facilities so that an appropriate response is possible.

Simulation-based early warning systems (SEWS) installed in transport facilities can make an important contribution to the operative management of pedestrian flows thus contributing to both increasing security and service convenience and an increasing efficiency of the processes.

A definition made for SEWS for material flows in complex production systems can be transferred to pedestrian flows in transport systems. According to [1, 2] the definition reads as follows: „A Simulation–Based Early Warning System (SEWS) is a mechanism which is based on a simulation model of a complex real system and that points out negative effects or positive potentials as soon as possible. It also conveniently informs the user of the complete system by forecasting and analysing different action alternatives." Such an early warning system can be used to make recommendations for action with respect to measures for directing pedestrians. The mathematical model of an early warning tool as a deterministic dynamical system depends on the course of the initial state, but not on the initial time itself. Hence, the pedestrian flows can be described in advance for the early warning system through simulation.

The advantage of the SEWS is the combination of the functionalities of simulating the behaviour of pedestrians and of an early warning system. Whereas classical early warning systems are exclusively based on historical data and current measuring parameters of a real system, simulation-based early warning systems depend on the prognosis of the future situation of pedestrian flows in a real system. Thus it is possible to counteract undesired erroneous trends at an early stage by taking appropriate precautions and achieve a harmonization of the pedestrian flows. By means of online simulation, time for making decisions is saved in which it is possible to derive purposeful and appropriate measures against the erroneous trends by using the recommendations for action given by the early warning system. They are aimed at optimizing the control of the pedestrian flows in connection with increasing the quality of service for pedestrians and users of infrastructural transport facilities at the same time. Erroneous trends in the normal operation of the SEWS can be defined as follows: undesired system conditions or specific values of the real system or the infrastructural transport facilities of which the operator of the system wants to be informed, so that the high service convenience can be ensured for the travellers. The undesirable system conditions include, for example, deviating timetables of the means of transport (trains, airplanes, buses, ships), malfunctions of central technical equipment, devices or plants, shortage of resources (personnel, areas or technical equipment) at various locations of the real system, inadmissibly high density of the pedestrian flow in the individual areas of the system etc.

For a sound assessment of the situation in the infrastructural object it is necessary to look at the facility as a system. Therefore the conditions are described from the point of view of a system for which measurable parameters are used. For this reason it is indispensable to define key figures. Definitions of key figures can be used to summarize measurable quantities or parameters in key figures. To identify critical situations in the building or for borderline situations in the system a visualization of the key figures for the status monitoring is necessary.

2. MAIN COMPONENTS OF A SIMULATION-BASED EARLY WARNING SYSTEM

The simulation-based early warning system consists of a number of complex components that are linked up with each other, based on each other and, depending on their functionality, acquire, generate and process data, see Fig. 1. This paper deals with the following components that provide the essential main components of a simulation-based early warning system:

- Recording of pedestrians – real-time measuring systems such as sensors and video cameras for recording the present situation
- Database management system – for storage and preparation of all relevant data as well as the subsequent derivation of security-related key figures by the converter
- Online simulation model – for calculating future system conditions, making possible recommendations for action and their effects
- Visualization module – for representing security-related data, acquired knowledge, future system conditions as well as for assessing the effects of decisions that were made or precautions that were taken in the process.

The four components will be explained in detail in the following chapters.

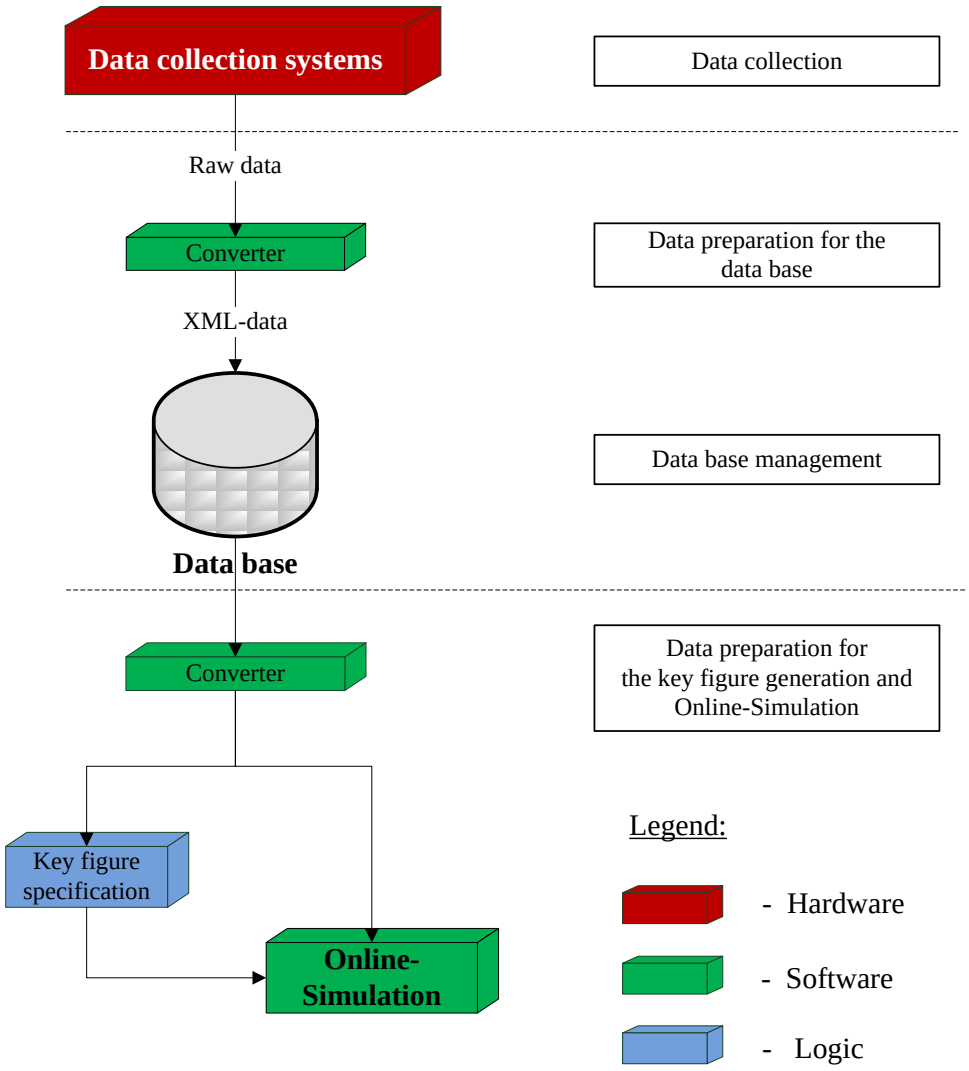


Fig. 1. Process flow in the SEWS

2.1. Recording of pedestrian movements

Pedestrian recording systems are used to record the actual conditions of pedestrian movements by means of various recording systems and to provide them as initial conditions for the online simulation. Large areas cannot be supervised economically by sensors. A global recording of pedestrian flows can be implemented, amongst other things, by means of optical or wireless technologies. The wireless industrial standard Bluetooth, for example, is based on mobile terminal devices equipped with an activated Bluetooth interface within the infrastructure. In connection with the individual address of each Bluetooth interface and the stationary sensors (so-called 'access points') in the building this anonymized tracking method, which uses statistical methods, can provide information about the movements and behaviour of pedestrians. However, high quality data of pedestrian flows are provided by video recording systems. In general it is possible to record pedestrians both locally at key positions and globally in the whole area. Microscopic partial states will be recorded at key positions in the building by video measurements. These recorded partial states will be abstracted and described as an overall state by means of so-called observation models. Observation models include so-called observers that reconstruct non-measurable quantities and conditions from the measured input quantities. The observer simulates the behaviour of the pedestrians or their conditions between the measurable points. This theory of using observers is based on linear systems, but can principally be extended to non-linear models. Video measurements include, in general, pedestrian flow data, walking speeds and tracking data of the pedestrians. Video processing systems can be used to generate flow distribution data of pedestrians on larger areas or data of usually used tracks on smaller areas. This information provides derivations of general rules for the behaviour of pedestrians. Mobile recording devices are also conceivable for generating numbers of visitors that are used as a data basis.

The results of the real-time measurements are stored in a database and – with the help of database management systems (DBMS) – made available as initial values for the online simulation.

2.2. Database system

The data is prepared accordingly for being analysed and interpreted. Based on the heterogeneity of the data and the varying formats and structures in the data an analysis and evaluation of the data is very time-consuming and complex. The various systems for data acquisition may perhaps use their own data formats that are not standardized. Therefore, a sustainable data and information management requires the transfer of the data into a consistent form.

The XML-based data management provides a promising approach the feasibility of which has already been proven in the research work carried out by the Chair of Industrial Information Systems of the BTU Cottbus [2,393-408]. A combination with a context-based knowledge platform enables a much quicker perception of changes (in particular of the critical conditions) and an appropriate response to these changes.

The collected data is converted into an XML-format first before being stored in the database. A converter is used to extract the necessary data from the various systems and convert the data into an XML-format. In addition to that the converted data is described by meta data to increase the understanding of the data, store the data in logical groups and transport internal knowledge for the development of a context-based knowledge platform. If the data is available in XML-format, the converter will be able to analyze the data and filter out relevant information. The meta data that is also stored in the XML documents is used for an accelerated provision of data and search options in the database. In addition to that the meta data is used for the construction of a context-based knowledge platform that does not only know the meaning of the data but can also establish the really existing connections and relationships between this data to identify security-relevant parameters. Methods of the semantic web provide various options for evaluating the meta data contained in the various XML-structures. Semantic correlations can be used to build up a context-based information structure that enables a complex representation and efficient use of the data for analysis and interpretation purposes.

Because of the properties of XML (software- and hardware-independent, modular, flexibly expandable) and the combination with databases this format is the ideal data exchange format for heterogeneous, distributed data. There is not only an increase in the efficiency of the preparation and

organisation of the databases, the XML-data can also be imported directly into the simulation and processed further without any further preparation.

2.3. Online simulation model

The main tasks of the online simulation model include the realistic imaging of pedestrian flows in a model at any necessary point in time as well as the prediction of the further developments of these pedestrian flows. The objective of the online simulation is the operative directing of pedestrians in case of erroneous trends during the normal operation or if critical or security-related situations occur in large infrastructural objects.

The use of online simulation models is characterized by the following specific problems: Data, which represent the current state of the real system, are not available in sufficient quality. This can cause both initializing problems and an unrealistic simulation. In an ideal situation the online simulation model will be initialized by means of unique real-time data taken from the measurements. It can happen under real conditions that the measured data is incomplete or incorrect. In such a case, the online simulation model shall be able to detect such deficiencies and supplement the data that is not available for the initialization of the model by historical data. It is just the connection of current and historical data that can add a decisive value to the online simulation.

In [3,1796-1798] two methods for initializing the online simulation model were proposed that minimize the errors associated with incomplete and wrong real data. The method of synchronizing a parent model followed by generating child models is characterized by the decisive advantage of being able to react in the case of missing data or supplement these data. The Fraunhofer Application Center for Logistics System Planning and Information Systems (ALI) pursues this initialization method for online simulation models in its further research work.

The multi-agent modelling approach is suitable for modelling pedestrian flows in transport infrastructures. It allows a realistic imaging of the complex behaviour of pedestrians whilst taking numerous sociological aspects into account. The following chapter takes a closer look at this modelling approach with regard to various abstraction levels.

2.4. Use of the multi-agent approach for the online simulation model

An agent-based simulation is used to model an individual with all his actions, capabilities and knowledge. The overall model of the movements of pedestrians and thus of the pedestrian flows results from the action of the individual and the interaction with his environment and other agents. This way of thinking is also called a microscopic modelling approach. As opposed to this, the macroscopic modelling models the pedestrian flow on the basis of physical laws. The calculation is made similarly to fluid and gas flows using differential equations.

The microscopic and macroscopic modelling and simulation differ in the level of detail of the model and the computing time necessary for the simulation. Microscopic models can be designed in every detail, however, the computing time for the simulation is very high. Macroscopic models are very abstract and can be simulated with less computing time.

The agent-based approach is advantageous when the behaviour of the individual has to be taken into account for the simulation. This includes, for example, psychological and social aspects, cooperative and competitive behaviours as well as the exchange of information about communicative actions, see [4,1-2]. In addition to that individuals seldom move in organized and predictable paths in public. Paths and squares can be used in all directions. This is why pedestrians influence each other and get in each other's way because they walk into various directions.

Each agent is controlled by the model environment on the basis of individually selected codes of behaviour. He has a defined walking direction, a physical target and one or more intentions, which specify the motive for the agent's actions. They can also be described as 'mental target'. The physical target – and thus the walking direction – is selected on the basis of intentions. Walking is one possible external action that the agent can use to influence his environment to achieve his mental targets. In a

multi-agent simulation, i.e. the simulation of models with more than one pedestrian involved, communication has an additional influence on the behaviour of the individuals. Apart from walking, communication is an external option for action which influences the environment or other agents in the environment. Apart from this there are internal options for action or actions that merely act upon the agent himself. Such actions are, for example, all cognitive processes such as thinking or selecting new mental targets.

The mesoscopic modelling approach (see [5]) steers a middle course between the microscopic modelling approach with its high level of detail and the macroscopic modelling approach with its little computing time. A mesoscopic model is based on groups of agents. This approach takes all psychic and social aspects and individual behaviours in the walking simulation of pedestrians into account. However, the focus is transferred from the individual to groups of pedestrians with the same characteristics and the same target-oriented behaviour. This reduces the computing time for the simulation.

There are two types of groups: *Physical* or *real groups* represent numbers of pedestrians within a given area of the transport infrastructure. *Virtual* or *logic groups* represent numbers of pedestrians who show the same behaviour because they have the same intentions. Members of a logical group can belong to various physical groups.

Every simulation step calculates its own model for each group type. Changes of the position of the agents are shown in such a way that new physical groups will have formed at the end of each simulation step. The course of action of an individual, e.g. looking for one's way, is calculated for each logical group as a whole and statistically compared with the reality. The model for the logical groups is updated at the end of each simulation step. In this way new groups can be formed or old groups can be completely dissolved because the individual targets have changed.

There are two basic problems in the mesoscopic modelling approach:

- Identification and assignment of groups of pedestrians
- Implementation of the walking process for groups of pedestrians

An example was given in [6,7-9] how these problems can be solved. The discretization of the walking process simplifies the problem of identifying and assigning groups of pedestrians. The tracks are divided into virtual tracks with fixed walking steps per simulation step. The walking process itself can be displayed in a simplified form using walking networks where the nodes of the networks form distinctive locations on the track, for example confined spaces, branches or partings of the road.

The mesoscopic modelling approach is chosen for the online simulation model because it provides a level of detail similar to the individual-based agent model, but less computing time is necessary for the simulation. In addition to that it is possible to model psychological and social aspects, cooperative and competing behaviours and the exchange of information about communicative actions.

2.5. Visualisation in the simulation-based early warning system

The large amounts of data circulating in the early warning system are characterized by a large number of relations. Therefore its analysis and interpretation to derive appropriate measures is complex. These raw data cannot be used and are without any significance without being prepared. Visualization plays a decisive role in the handling of large complex databases (see Fig. 2) and can be determinant for the acceptance of such an early warning system. Visualization is the interface between the user and the system. The databases are processed visually to simplify the search for relevant information and get a better understanding of the complex connections between the data. The visual processing of the data can be an essential criterion for decision-making and problem solving. Apart from visualizing the data level the visualization of the simulation model provides an important component to image the overall system with its interactions and the influence on pedestrian flows in public buildings.

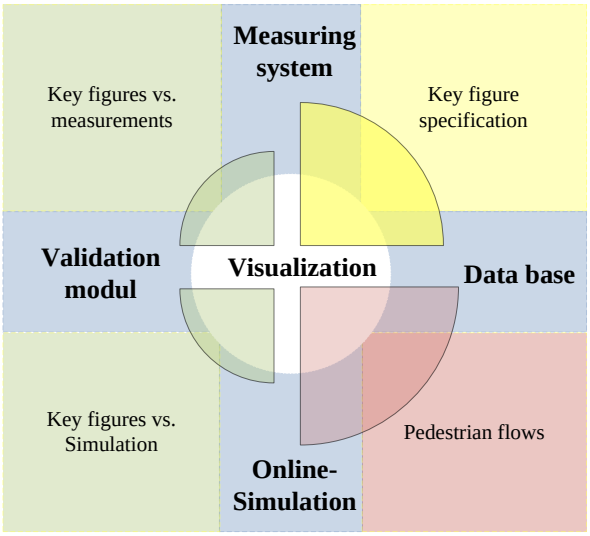


Fig. 2. Visualization – as interface of the SEWS main components

Visualization of the data level for identifying critical conditions

For visualizing the data level suitable visualization methods must be used that support the handling of the large and obviously unstructured amount of data and make the correlations between data visually comprehensible so that a fast response to critical deviations is possible. Large amounts of data from data warehouse systems can be processed in a multidimensional way and presented by efficient analyzing tools such as OLAP (Online Analytical Processing) [7], [8]. OLAP is particularly suitable for analyzing data that correlate with each other as a function of time. They are put into a multi-dimensional hierarchical structure to filter out relevant information for supporting the decision-making quickly and efficiently, if possible.

In terms of pedestrian flows in public buildings it is necessary to monitor, for example, the incoming and outgoing pedestrian flow at an entry or exit to forecast the further trend. The current and historical data from the data warehouse/DBMS are a precondition for using OLAP. The incoming and outgoing flows are described by key figures that have an essential influence on the pedestrian flow and influence each other. In this way it can be determined how the pedestrian flow is going to develop as a function of time, of the number of pedestrians passing this entry or exit and of the average walking speed. The objective of the visualization is to display key figures for identifying/forecasting critical conditions such as congestions that arise at the entry or exit. Such functional impairments shall be avoided shortly before they arise using measures for directing pedestrians.

The advantage of such analysing methods is the presentation of the data in real time by which a higher flexibility compared to static analysing methods is achieved. The objective of the visualization of the data level is to analyze and interpret the data and their correlations and effects on the system for identifying the critical parameters that have a significant influence on the service convenience of the travellers and the efficiency of the processes in public buildings.

Visualization of the simulation model

The simulation model is the heart of the simulation-based early warning system and it calculates a forecast for the further trend of the pedestrian flows in the infrastructure. The visualization of the simulation model enables a real image of the processes and pedestrian flows according to the present marginal conditions that depend on space and time. A visualization is made for the relevant facility including the whole infrastructure and the pedestrian flows that interact with their environment. Depending on environmental events that occur in the building and personal situations of the pedestrians they make decisions and trigger actions which, in turn, affect the overall system. The

objective of the visualization is to show the complex correlations in public facilities and make them understandable and enable the unique identification and localization of erroneous trends that affect or damage the service convenience of the pedestrians and the further trend of the pedestrian flows. The visualization aims at clarifying the factors or events (like malfunctions of the system or failures in the operations flow) that influence the pedestrian flow with regard to the density of pedestrians, congestion areas and functional impairments caused by unexpected gathering of pedestrians, gathering of queues depending on the capacities and resources available. The details of the trend of the pedestrian flows can be visualized and analyzed using appropriate 2D- or 3D-methods.

Based on the forecast of critical conditions, the appropriate countermeasures can be defined and also be determined by using the simulation model. Interactive control elements are provided for this that are coupled with the simulation model and cause changes to the security-relevant parameters. These changes have a direct influence on what happens in public buildings and are reflected in the changed trend of the pedestrian flows in that, for example, forecasted congestion areas dissolve or do not arise at all. Therefore the simulation model in connection with the visualization is not only used for the identification of critical changes but also for testing measures derived from this which can avoid such dangers for pedestrians in public buildings.

Visualization of the validation model

Following the online simulation a forecast of future situations in public facilities is given and appropriate measures are derived and simulated, and these results must be validated. The objective of the visualization is to clarify to what extent the security-relevant key figures forecasted by the simulation model deviate from the actual value of the key figures. In addition to that the introduced measures are validated by comparing the simulated results with real effects of the implemented measures, evaluating them and adjusting the appropriate algorithms and logics. The simulation starts from key figure values and system conditions of the past and of the present time. The forecast gives key figure values and system conditions for a time in the future. When this point of time is reached, the key figure values and system conditions that have been actually reached can be recorded by measuring systems and compared with the forecasted values. For this the key figure values and system conditions are provided in visualized form. The visualization of the difference is decisive for the significance and permanent further development of the simulation model. The consequence of considerable deviations is that validation algorithms adjust the simulation model again and again so that the difference between the forecast and the actually measured values is virtually zero.

3. SUMMARY AND OUTLOOK

SEW systems are able to make reliable recommendations for action for critical conditions of pedestrian flows in public buildings or transport infrastructure systems. However, reliable recommendations for action are based on a reliable simulation model. As the online simulation calculates a forecast for personal situations in the building on the basis of mathematical descriptions, it is of substantial importance that the results are validated and available in a realistic form. To meet these requirements Fraunhofer ALI is developing methods – during the framework of its research work – which, on the one hand, modify the parameters at the simulation model permanently and, on the other hand, use self-learning algorithms for describing the walking behaviour. The Intelligent Methods of machine learning relate to both mathematical approaches from statistics and evolutionary algorithms. Evolutionary algorithms are used to optimize pedestrian flows. Locally measured pedestrian situations and conditions in the building serve as an evolution model.

Evolutionary algorithms modify the model that describes the walking behaviour and compares the newly calculated results with the real situation. Additionally implemented functions are used for the comparison between the simulation and the real situation, which check whether the modification is appropriate.

The learning effect is based on comparisons carried out permanently between the simulation and the actual condition of the pedestrians' behaviour in the building. For this purpose the simulation

model calculates a condition for a specified time in advance. This calculated condition is compared to the present situation by means of locally taken video shots. Now the observers of the control theory can adjust the behavioural parameters to the pedestrian flows. In this way it is possible to correct basic patterns of behaviour. The adjustment is made both by changing the quantity of the parameters and by the constellation of the described parameters.

Apart from deriving specific recommendations for action for the operators of public facilities and transport infrastructures, Fraunhofer ALI pursues the goal of providing adequate and appropriate information for the users of these facilities. In this way pedestrian flows can be directed and navigated in a target-oriented manner and depending on the condition through information and communication systems. In the course of further scientific work an agent-based simulation model will be used to make investigations regarding the influence and the effects of information on pedestrians, thus being able to study effects and consequences on the behaviour of pedestrians by using information and communication systems in buildings.

Bibliography

1. Hotz I., Schulze T.: *Design of simulation-based early warning systems*, 2006.
2. Meinberg, U., Siech, T., Papproth,.A., Parus, P.: *Datenintegration und XML in der Produkt-entwicklung – Ein Erfahrungsbericht aus der Verdichterentwicklung*, VDI-Berichte Nr. 1900, 2007, pp.393-408
3. Hanisch A., Tolujew J., Schulze T.: *Initialization of online simulation models*, Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference, Orlando, 2005, pp.1795-1803.
4. Meinberg, U., Lorenz, C., Huber, L., Papproth, A., Stegner, C., & Hyka, R.: *Agent-based Simulation of Security Related Logistics Processes on Airports*. In Proceedings of the 14th World Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics, Florida: International Institute of Informatics and Systemics, 2010, pp. 354-359.
5. Tolujew, J., & Alcalá, F.: *A mesoskopic approach to modelling and simulation of pedestrian trraffic flows*, Proceedings 18th European Simulation Multiconference. Graham Horton (c) SCS Europe, 2004.
6. Hanisch, A., Tolujew, J., Meuschke, T., & Schulze, T.: *"Datenkollektion" zur online Simulation von Personenströmen*, 2004.
7. http://www.swisseduc.ch/informatik/datenbanken/olap/
8. http://www.itwissen.info/definition/lexikon/online-analytical-processing-OLAP.html

Improving the Security of Critical Transport Infrastructures - New Methods and Results

Sascha Goldner, CASSIDIAN, Germany
Alf Papproth, Fraunhofer-Anwendungszentrum für Logistiksystemplanung und Informationssysteme, Germany
Erhard Petzel, Institut für Risiko- und Prozessmanagement (IRPM) GmbH, Germany
Gebhard Geiger, Technische Universität München, Germany

1 Introduction

As one of the critical infrastructures of modern society, air transport has become a prevalent target of terrorist attacks. Exposure to terrorist threat is particularly high for international airports since they provide the operational bases of large-scale air traffic. SiVe (Verbesserung der Sicherheit von Verkehrsinfrastrukturen) is a research project co-funded by the German Federal Ministry of Education and Research which aims to develop an innovative methodology of risk management suitable to optimise critical infrastructure protection. It starts from the fact that, on the one hand, airport security management is increasingly being forced to combine advanced security standards with cost efficiency in a more closely-knit and systematic way, while, on the other hand, measurements of the effectiveness and efficiency of risk reduction provisions continue to pose considerable methodological problems. This paper describes the scientific goals and the essential research findings of the SiVe project on the basis of a concrete case study. The newly developed methodology is generic while pilot application examples are chosen from airport security.

2 Approach

SiVe research and development has been split into three major steps, (1) generation of a specific threat scenario, (2) development of simulation models as scenario refinements, and (3) comparative assessment of security management measures. Advanced techniques of systems analysis and simulation have been employed to model relevant airport structures, processes and security incidents. Computer experiments have been carried out to compare and optimise solutions. The optimality analyses have been based on approaches to quantitative risk assessment recently developed in the operational sciences.

To exploit the advantages of the various techniques, an integrated simulation workbench has been built up that provides the functionalities for executing the three major steps. Integration is necessary to fully support a computer based simulation study that mirrors the full complexity of critical infrastructures. Figure 1 shows the modules of the workbench. The workbench supports simulation studies to address numerous important issues. In the case of a novel type of attack becoming known, one can use the workbench to find answers to the following questions: (1) What are the affected scenarios? (2) What are the affected processes in the airport? (3) How large are the potential losses? (4) Are they acceptable in the light of one´s risk aversion? (5) Which processes or procedures have to be modified and/or which preventive or reactive measures can be applied? (6) Which are the consequences of these measures in terms of costs and in terms of risk reduction?

Other significant issues are the optimisation of security processes and the application of new security technologies considering already known attacks. With

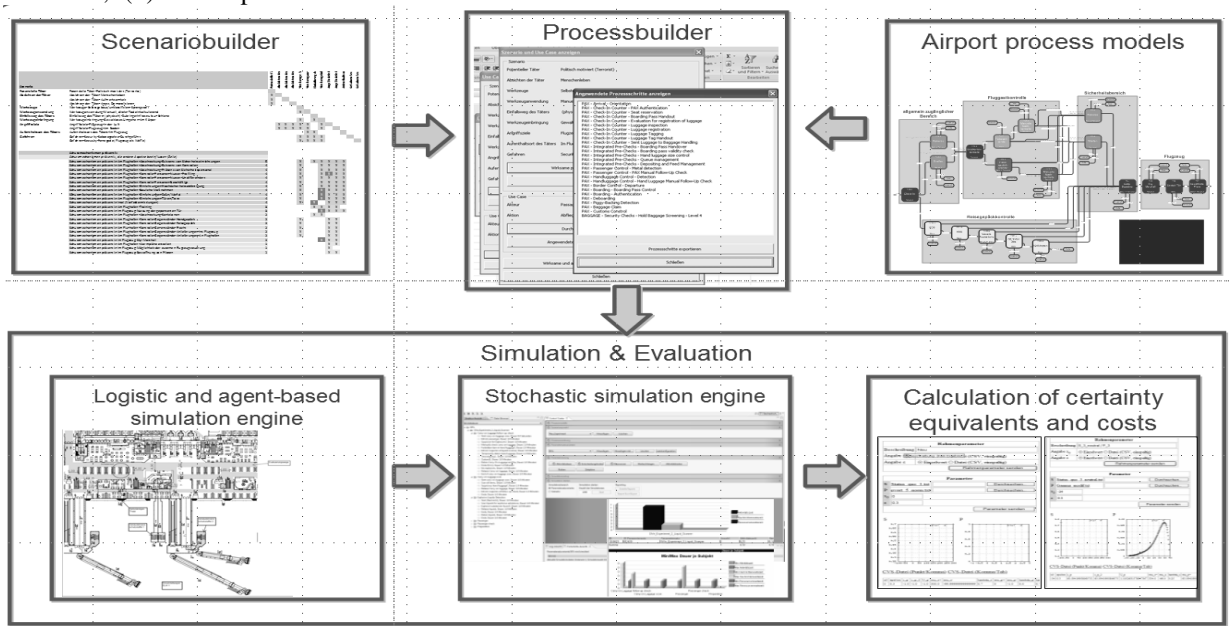


Figure 1 Modules of the SiVe security incident modelling and simulation workbench

the processbuilder software developed in SiVe, one can find the most relevant airport processes including all affected elements that are subject to the threat considered. In particular, one is now in a position to adjust processes and security arrangements and to simulate alternative layouts of the system and also modifications of the parameterisation of the processes involved, such as attributes of time and cost as well as probabilities and risk factors ("what if" scenarios).
In the simulation studies, "as is" systems (status quo) are compared with "to be" systems. Each of the security system layouts can be simulated under varying conditions so as to generate numbers on potential casualties, infrastructural damage and financial loss.
The workbench includes a logistics and agent-based simulation engine to represent the passenger flows and the behaviour of attackers. With these representations one can model, in sufficient detail, the environment of the processes involved and derive probabilities of reaching decision nodes and of incurring losses in the stochastic simulation.
The stochastic simulation engine is capable of simulating complex system processes. Central outputs are distributions of possible losses, which can be generated at different aggregation levels.
These distributions are the basis for the calculation of "certainty equivalents" as the intrinsic prices of risk (see section 2.4 below). Optimal layouts and configurations of security systems can thus be derived, given the user's security standards, requirements and budgetary constraints (acceptable risk, maximum tolerable damage or loss, costs, etc.).
In the next chapters, airport process models and the modules for simulation and evaluation are described in more detail. For the other modules, we refer to [1]. Within this paper, we focus solely on step (2) and (3) of our approach. In chapter 3 we will explain the SiVe approach further by using the comprehensive scenario "Implementation of a new scanning technology to detect liquid explosives".

2.1 Airport process models

A business process can be considered as "goal-oriented, chronological sequence of tasks which can be executed by different organizations or organizational units using information and communications technologies" [2]. The goal of every single business process is to create a specific result, e.g. a product or services, which helps to reach a company's overall strategic goals. In our case, we focus on airport processes such as passenger handling. In general, business processes are described hierarchically at different levels of detail and from different perspectives. Within our approach, we have selected three levels of detail for our graphical business process models (Figure 2).
Each level is characterised by certain syntactical requirements. The first level represents the most abstract

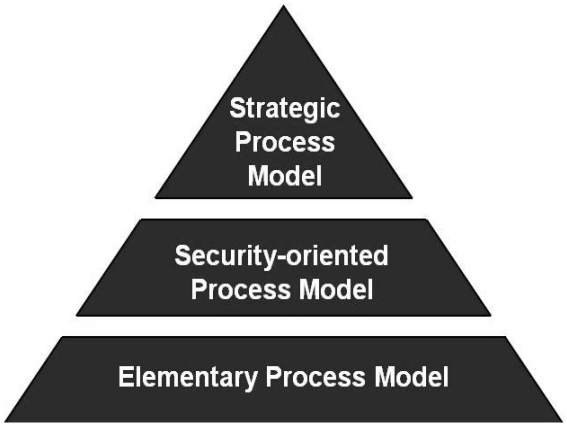


Figure 2 Business process models: levels of description

description of the business processes, the third level the most detailed. The first level, which is the strategic one, single core business processes are described in a very abstract and simple way. The intention of this level is to provide a quick overview of all exiting processes and their interdependencies. Next, the second level contains security-oriented process models. That is the strategic level extended by a highlighted representation of the security relevant aspects within the core processes. This level still provides mainly an abstract view of the overall system and no detailed guide for operators, but clearly indicates where security related tasks, e.g. security check points, are located within the processes. The lowest level, the elementary process level, represents the most detailed description of the business process containing the process tasks with all the elementary steps and subgoals that have to be executed by a single user. Within our work we concentrate on core business processes of an airport and their security relevant aspects.

At this point it has to be decided which business process modelling notation should be used to operate optimally within the given use case. A graphical repre-

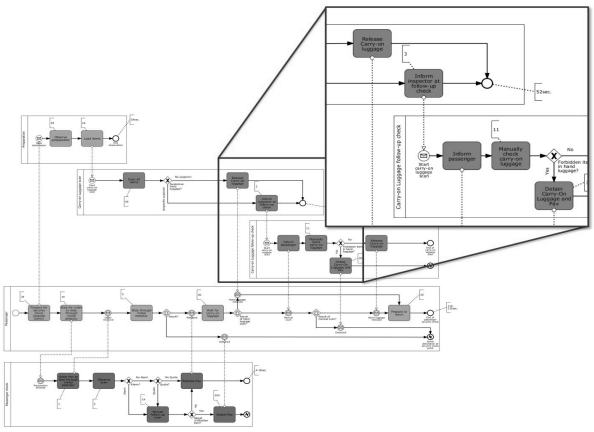


Figure 3 An example of a BPMN process model

sentation of business process information has proven to be intuitive and effective for presentation to differ-

ent types of users. One of the major requirements for a process modelling notation in our relevant use case is the capability of describing not only the activities of the entities of the airport but also their interactions. Hence the modelling notation has to meet the following requirements and support the following features:

- communication and data flow
- different type of events
- process hierarchies / encapsulation
- mutual dependency
- actor-oriented perspective
- executable process models
- extendable process modelling notation

After comparing different graphical notations for business process modelling (i.e. workflow nets, event-driven process chains, process algebras, unified modelling language, Petri nets), we decided to use the Business Process Modelling Notation (BPMN). Figure 3 shows an example of a BPMN process model. The BPMN 2.0 standard provides a graphical notation which is more expressive than the other notations mentioned. Since version 2.0, BPMN provides rich support for extending the notation's syntax and for the simulation of process models. The most important feature of BPMN is that the architecture of its process models is quite similar to that of the agent-based models. Each pool or lane represents a single organisational unit or actor and thereby provides an actor-oriented perspective of the business process. Further, this perspective can be compared with the perspective of an agent-based model. Each agent can be represented by a single process lane or vice versa. The process steps within a single lane represent the internal tasks of an agent. The communication of the agent with other agents or the environment is represented by message and data flows to other lanes in the process model. Thereby the agent-based approach and the business process approach can be integrated very easily. A complete description of the BPMN 2.0 standard is provided in [3].

2.2 Logistic and agent-based simulation

Agent-based, logistic simulation provides an alternative to the conventional planning and decision making instruments that consider the specific characteristics of an airport, in particular the cognitive and social aspects of the behaviour of the people included in the processes. Apart from detailed and realistic imaging of the movement patterns of the passengers and airport staff, the focus of the simulation carried out in the demonstrator is on the abstracted determination of the loss repartition caused by terrorist attacks in which explosives are used. The intuitive and effective approach for describing the

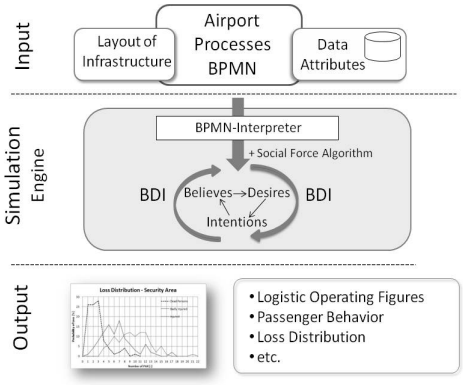


Figure 4 Structure and functional principle of the logistic simulation

passenger handling processes chosen in the demonstrator is a combination of the modelling of business processes and the agent-based simulation. By doing this, the continuous modifications of regulatory basic conditions due to the changing security situation with its significant effects on the processes and infrastructures of the airports, can be recorded and imaged. Compared to the conventional methods for describing passenger flows, the agent-based simulation in combination with the detailed modelling of business processes allows a more precise imaging of the real world [4]. This results in detailed, high-quality quantitative findings about the behaviour of passengers in the airport system, such as the identification of recurring patterns of behaviour, duration of stay, etc., by which significant evaluations of potential performance and/or security-enhancing optimisation measures are possible under cost-benefit aspects.

The BDI agent architecture (Belief-Desire-Intention software model) is used for simulating the human behaviour and the decision-making of the persons at the airport [5]. During the logistic simulation, the agent is understood as an autonomously acting entity who perceives his environment through sensors and, at the same time, interacts with it in a target-oriented way. These characteristics of the agent's interaction can be used to model social or individual human behaviour. The agents have knowledge of their environment (beliefs, e.g. knowledge of the regulations for departure), desirable targets (desires, e.g. departure) and intentions presently pursued (intentions, e.g. having checked in). Detailed information about the agent architecture has been given in [5]. The partial aspects, 'beliefs', 'desires' und 'intention', are modelled as graphs using the specification language BPMN. In addition to that, each agent has got attributes that influence/characterise his decision-making and movement patterns. A BDI interpreter has been developed to process the graphs depending on the assigned agents' attributes, thus describing the individual behaviour of the agents/passengers. Details have been described in [4].

The multi-agent simulation environment (MAS) is used for imaging both persons and technical systems as agents. Agents who have the same or similar characteristic values show similar or the same behaviour patterns and can be combined to clusters. To simplify the calculation, four different passenger clusters are used in the demonstrator (business travellers, holiday-makers, normal travellers and attackers) as well as various types of employees (security and baggage handling staff, shop assistants). Heterogeneous characteristics can be assigned to the various passenger clusters via a number of attributes, the diverse parameter values of which characterize their behaviour. Both the attributisation and the modelling of agent behaviour and thus the characterization of the agent clusters are largely built on existing data bases and, additionally, on the results of a passenger survey carried out at Munich Airport. Attributes for the passengers that are relevant to the utilisation of the airport are, for example, the various kinds of baggage carried (hand baggage, check-in baggage or bulky baggage), the kind of check-in or the secondary behaviour during the passengers' stay (e.g. visits to shops or restaurants) between the individual handling steps.

Apart from imaging the passengers' behaviour and generating measured values and key figures for the data supply of the stochastic simulation on the micro-simulation level, the damage caused by a bomb attack is determined in the damage category "damage to persons" during the logistic simulation. To assess this damage, three categories are defined: killed persons, severely injured persons and slightly injured persons. According to the description of the scenario, the attacker's intention is to cause maximum possible damage in terms of persons killed. To achieve his objectives the attacker looks for the maximum possible concentration of people in the waiting area where he then ignites his explosive device. The simulation-aided determination of the damage to persons is based on the research results obtained by the George Mason University (GMU) Center of Air Transportation System Research, Virginia/USA. [6] According to those results, a deadly radius is determined depending on the type and quantity of the explosive. If the detonation of the explosive device takes place, all persons staying within the deadly radius of damage will very probably be killed (Figure 5). [6] To determine the number of injured and severely injured persons, the GMU model approach was extended according to the above principle, in consultation with several experts, by the introduction of two additional radii of damage.

Figure 6 provides the loss distribution caused by detonating 1000 ml liquid explosive, (DEGDN, ethylen glycol dinitrate), that was obtained from 1000 simulation runs both for the passenger check / security check and in the non-public security area. A precondition for the determination of the loss repartition is that there are realistic events at the airport in particular with regard to the quantitative distribution of the passengers / the passenger volume at the airport. For this purpose, the simulation model will be initialized after the start of the simulation. The chosen time of day, the appropriate flight schedule and the available capacities of the aircraft and their average utilisation give information about the passenger volume present. The initialisation of the simulation model is carried out bearing in mind the passenger volume determined and the typical arrival behaviour of the various types of passengers. The arrival behaviour is derived from the observation of passengers and describes the kind of check-in, the

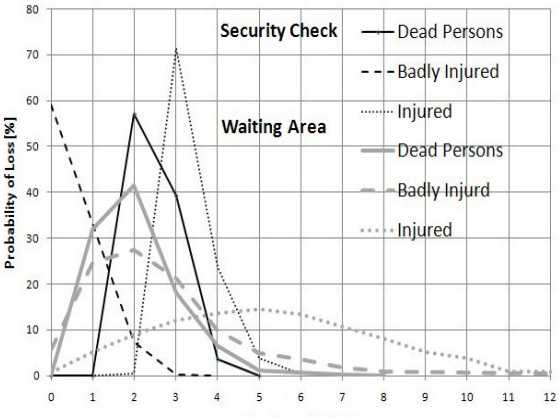


Figure 5 Loss distribution on security check and in waiting area

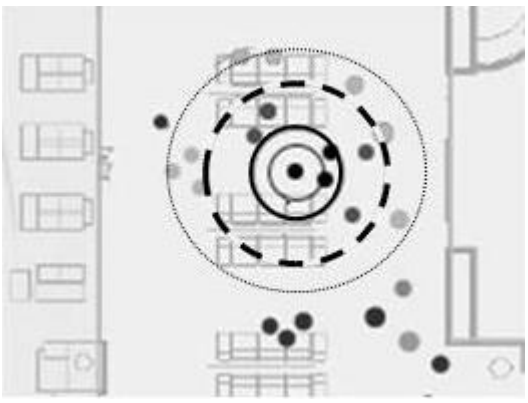


Figure 6 Radii of damage

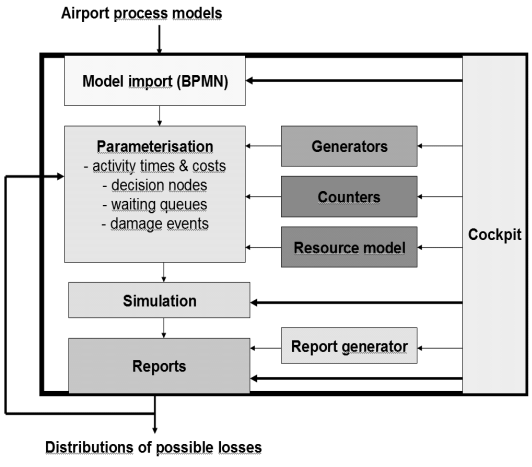


Figure 7 Architecture of the stochastic simulation engine

carrying of baggage and the in time span between a passenger's arrival at the airport and his departure. During the initialisation, the passengers are allocated in different numbers to the terminal areas, e.g. check-in, security check, waiting area, etc. The passengers do not always start at the start node of the graph, i.e., arrival at the airport.

2.3 Stochastic simulation

2.3.1 Architecture

The architecture of the stochastic simulation engine is shown in Figure 7.
The airport process models in BPMN notation of a certain scenario are the input for the simulator. Because not all elements of a BPMN model are helpful or necessary to execute such a model, a directly executable model is automatically generated in a specific notation. This notation is part of the subject-oriented methodology, which is a new, revolutionary approach to the modelling and execution of business processes [7].
The second step is the parameterisation of the processes like activity times and costs, of decision nodes, waiting queues and damage events. If the parameterisation is complete, one can start the simulation. The result of a simulation run is a log of activities and events assigned to a global timeline.
A configurable report generator creates a set of useful reports to compare different simulations easily. The final output is distributions of possible losses.

2.3.2 Simulation Concept

A set of generators specifies the distribution of starting times for instances of processes. Instances are passengers or terrorists, in general the elements which are served by the different processes. A process is built from a set of subjects. A subject is the graphical specification of a single thread of execution within an instance of its process. Generators can start any number of instances of a process for parallel execution. Execution within each process instance is exactly one instance of each subject contained in the process.
Consequently, the number of threads of execution within each instance of a process is fixed. Execution within each subject instance results in a sequence of activities. The duration of each activity on the global timeline is sampled from a specified random distribution. The start of a new activity may be delayed when waiting for messages or resources. Additionally, activities can be interrupted when scarce resources are reallocated to activities of higher priority. Subjects within a process instance communicate by sending messages to each other. Subjects do not communicate directly between process instances, but may still interact implicitly through either competing use of resources or interactions based on counters.
The simulation starts at a specified time and date on the simulation calendar. It stops when either an (optional) end point on the calendar has been reached or when all activity has ceased.

2.4 "Certainty equivalent" as a utility-based measure of risk

Safety and security management must be both effective and cost-efficient. These objectives must usually be accomplished under the constraints of risk, limited resources and economic competition. It is therefore often necessary to assess, in quantitative terms, the risks against which expensive and inconveniencing protective measures have to be taken. Methodologically and practically, quantitative risk assessment is, however, a difficult task. Many of the available quantitative approaches to risk assessment are inherently flawed in the sense that the statistical information required to estimate potential damage systematically does not exist or cannot be acquired (e. g., for rare catastrophic events, non-repetitive incidents, planned attacks on security, etc.)
In view of this situation, an approach has been developed and applied in the SiVe project to provide and test innovative methods of assessing the effectiveness and cost-efficiency of security planning, engineering and decision-making. The approach draws on recent advances in econometrics ("non-expected utility theory" [8]) enabling the calculation of "intrinsic" prices of risks in many applications in which purely statistical measurements of risk must fail. "Intrinsic" hereby means that risk prices are calculated within particular accounting systems rather than determined by the price mechanisms of insurance markets. Risk prices are indicators of the (economic) utility of risk taking. Accordingly, a risk price is the sure amount of loss or damage (money, numbers of injuries or fatalities incurred in a security incident, time or other resources expended, etc.) at which a decision-maker is indifferent in preference between incurring this amount of loss and taking a particular risk. Because of this indifference, or equivalence, the intrinsic price of a risk is also referred to as the "certainty equivalent" of that risk.
Once certainty equivalents can be assigned to security incidents and their potential consequences in a systematic way, they will provide critical support to the planning and operation of effective and economical protective systems. To this end, security incidents have been simulated in computer-based models of airport operating systems differing in their security management provisions (technical, procedural, organisational, etc.) with the use of suitable scenario and software techniques. Some such simulation experiments are described in more detail below, while the mathematical approach to calculating certainty equivalences of airport security risks has been outlined in previous publications [1, 9]. We concentrate here on the analy-

sis of the test cases and experimental results. The simulation experiments give different probabilities of damage, and their certainty equivalents, depending on the different risk management arrangements characteristic of each of the systems involved. Comparison of the resulting certainty equivalents gives the effectiveness of the measures planned or taken, while the numerical differences indicate the degrees of risk reduction achieved. Dividing these differences by the cost required to achieve the reductions gives the cost-efficiency of the measures (to be) taken.
One of the many practical advantages of this approach to quantitative risk assessment is its capacity to accommodate, in systematic ways, the many realistic constraints of the (economic, social, technological, etc.) context of security management on infrastructure risk planning and decision-making. It is also clear that the approach is generic and not limited to threats to airport security.

3 Scenario-Based Application

3.1 Scenario "Use of new scanner technology for detecting liquid explosives"

The amalysis is focused on the passenger checkpoint at airports. The checkpoint separates the land side, i.e. the area that is publicly accessible, from the air side – the security area – where the departure gates and the waiting areas for the passengers are located. The objective of the checkpoint is to prevent passengers from bringing prohibited items into the security area. Therefore, the passengers and their hand baggage are checked for prohibited items. The way the security check is carried out can vary from airport to airport, but its basic structure is the same everywhere. If a passenger wants to enter the security area, he has to pass through the passenger checkpoint first. So he lines up usually in one of several control lanes. A control lane is normally manned by four employees of the security service and consists of the area of the hand baggage check and the passenger check. The hand baggage check is normally carried out by three employees – the hand baggage deposit instructor, the screening officer and the hand baggage instructor. As an alternative, a separate, extensive examination of the items of hand baggage for explosives may be carried out with the aid of an explosive screener. The passenger check is carried out by one man and one woman, the screeners. The check of the passenger and the check of his hand baggage are carried out independently of each other and mostly concurrently. A possible layout of the passenger checkpoint is given in Figure 8.

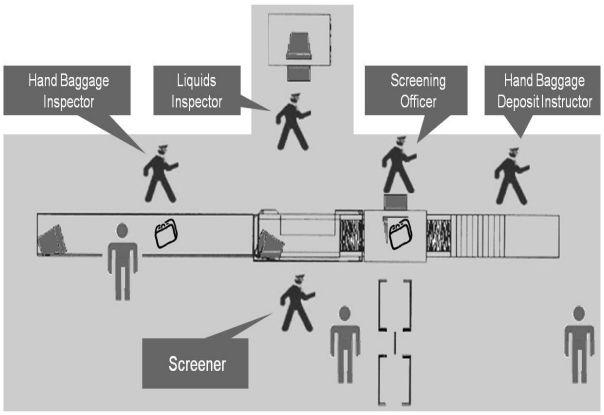


Figure 8 Passenger check with check for explosives

3.2 Experiment: use of a liquid explosive detector

The sample scenario is used to examine how the use of a liquid scanner for detecting liquid explosives during the hand baggage check affects the security and the cost structure. For this purpose, two types of passenger check are compared with each other. The 'status quo' describes the configuration of a passenger check presently found at most airports, i.e. there is no additional liquid scanner. The 'alternative status' passenger check is provided with a liquid scanner for the hand baggage check. Each passenger check configuration, i.e. the status quo and the alternative status, will be analyzed for their cost and benefit aspects by two simulation vignettes. The first vignette is used for checking the benefit aspect of the status quo and alternative status. The second vignette is used for analyzing the use of a liquid scanner according to cost aspects. The specific parameter values in the following scenario are conjectural and do not claim to be 100% applicable. The chosen scenario shall only show the approach of our methodology.
The following operational procedure takes place: the attacker is disguised as a regular passenger and he intends to detonate a self-built explosive device that is ready to be fired and is hidden in his hand baggage, in the waiting area of the airport. The components of the explosive device (altogether one litre) are all liquid and have been filled into 10 containers of 100 ml each. The attacker has already got a boarding pass and is proceeding directly to the passenger checkpoint after having entered the public area of the terminal building where he lines up in the queue at a control lane. Then he puts his hand baggage items into the appropriate boxes for the hand baggage check. If the hand baggage arouses suspicion, a manual follow-up check will be carried out in the status quo and an additional explosive check in the alternative status. If there is no suspicion, the hand baggage is regarded as secure. After having been summoned by the security staff, he walks through the metal detector. If no alarm

is triggered here, the attacker takes his hand baggage and proceeds to the waiting area where he then ignites the bomb. If the metal detector triggers a signal, the attacker will be checked manually. It is assumed that the attacker can detonate the explosive device on the spot if it is detected in the hand baggage

3.2.1 First simulation vignette "Benefit consideration"

The benefit consideration takes exclusively one single attacker into account and no passengers. Therefore, the probabilities given and the information about the possible measure of damage refer exclusively to the attacker. Costs, process times and the expenditure on resources have not been taken into consideration for this vignette. The probabilities are calculated on the attacker's passing through the passenger checkpoint undetected and achieving his goal. Possible damage caused by the attacker will also be calculated. Ten subvignettes are used to compile the various detection rates of liquid explosives detected by the liquid scanner.

Parameters:

The assumption is made that the attacker's explosive device is contained in commercially available packages of 100 ml each. In addition to that, the assumption proceeds from a liquid explosive that is easy to handle. Therefore, there is a very low detection probability (5%) in the status quo. If a manual check is carried out, the detection rate will be just slightly higher (25%). In the alternative status it is possible to vary the detection rates of the liquid explosive detected by the liquid scanner between 1% and 95% (Figure 9). If the check leads to any suspicion, there will be a specific determination of the liquids by an additional separate liquid-analysis device with an assumed detection rate of 85%. As the attacker does not have any metallic or prohibited items on his body, the probability of suspicion being aroused during the passenger check is set to 0%.

When the attacker has reached his target area, he ignites the explosive device in the waiting area, thus causing considerable damage. If the explosive device is detected during the hand baggage check, the attacker will still be able to detonate it at the passenger checkpoint. In this case, the assumed measure of damage is not as severe as with an explosion in the waiting area.

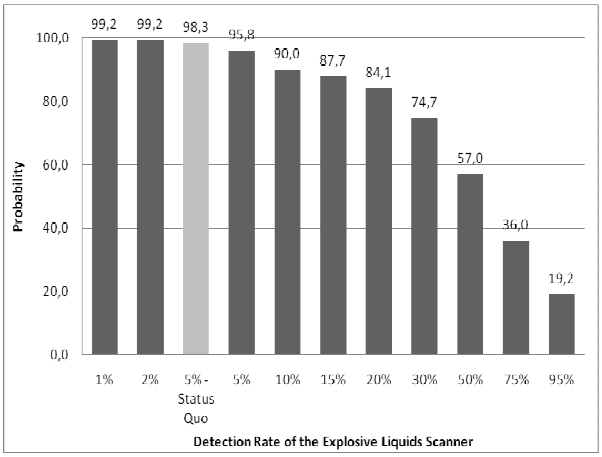


Figure 9 Probability of passing the security checkpoint undetected

Apart from the calculation of the damage, the probability that the attacker can pass the passenger checkpoint undetected is also calculated. For this purpose, different detection rates of the liquid explosive are reviewed. The probability is determined using a counting variable. If there is a detonation in the waiting area, i.e. the attacker has passed the checkpoint undetected, the counter is incremented by 1, whereas the counter reading remains the same for an explosion at the security checkpoint. The result of the ratio of the number of simulation runs per subvignette and the counter reading is the probability of passing through.

3.2.2 Second simulation vignette "Cost consideration"

The second simulation vignette is used for analysing the use of a liquid scanner according to cost aspects. The aim is to determine how the cost structure affects the costs of handling the passenger check when the scanner is used compared to the status quo. Therefore, the simulation images passengers only, without taking the attacker and possible damage into consideration. However, this investigation is not based on varying detection rates of liquid explosives but on different assumptions in terms of the probability that there will be a manual follow-up check of the hand baggage that will increase the costs. The cost consideration is primarily made with due regard to the personnel costs and how they will alter when the liquid scanner is used and the rate of a manual follow-up check changes.

Parameters:

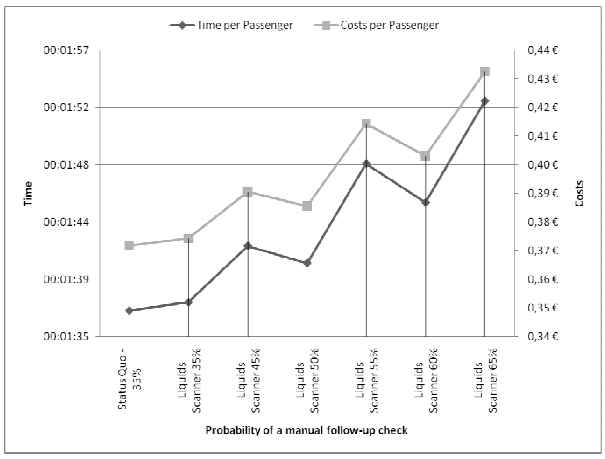


Figure 10 Handling time and costs per passenger

Any suspicion of prohibited items in the hand baggage requires a follow-up check to be carried out by additional security staff by which the expenditure on staff and of time increases. The assumption is made that 35% of all passengers both in the status quo and in the alternative status will trigger a signal when walking through the metal detector during the passenger check and will be subjected to a manual follow-up check. A follow-up check rate of 35% is also assumed for the hand baggage check in both cases. However, an additional factor will be added to this basic value in the alternative status to image the additional expenditure caused by a liquid check. The follow-up check rate will be changed to range from 35% to 65% in the subvignettes resulting from this.

The time spent by the security staff on the checks is a critical influencing factor. Figure 10 and Table 1 show the assumed process times spent on average by the security staff on checking each passenger. Unless otherwise stated, the process duration times are assigned to both the status quo and the alternative status.The total personnel costs were estimated to be € 13.80/h (primary personnel costs + incidental personnel costs). [10]

Process step	Process time
Hand baggage deposit instructor: Supervision of passengers	18 secs.
Hand baggage deposit instructor: Feeding of hand baggage	16 secs.
Screening officer: Scanning and analyzing of results	49 secs.
Screening officer: Informing the hand baggage inspector	3 secs.
Hand baggage inspector – status quo: Manual baggage inspection	11 secs.
Hand baggage inspector – alternative status: Precise liquid analysis	30 secs.
Screener: Supervising metal detector	4 secs.
Screener: Manual passenger inspection	14 secs

Table 1 Processing times

The cost model outlined thus far implies that the costs incurred basically increase in proportion to the amount of effort (scanning technology, time, staff) invested in liquid scanning. We have also employed more inclusive cost models, following recent developments in the literature. [11] They cover effects of the economies of scale such as concurrent effects of decreasing marginal cost, and increasing rate of marginal cost and of improvements in infrastructure security. These models have previously been developed in production theory in economics. But they also apply to investment problems in other fields, such as security risk management [12]. As will become apparent from the applications illustrated by Figures 11 and 12, the particular cost structure of risk reduction provisions are critical for optimising the efficiency of infrastructure security.

3.3 Simulation results

3.3.1 Simulation results of first vignette "Benefit consideration"

1,000 simulation runs were carried out for each subvignette, i.e. for each of the 10 different detection rates of the liquid explosive, to be able to approximate

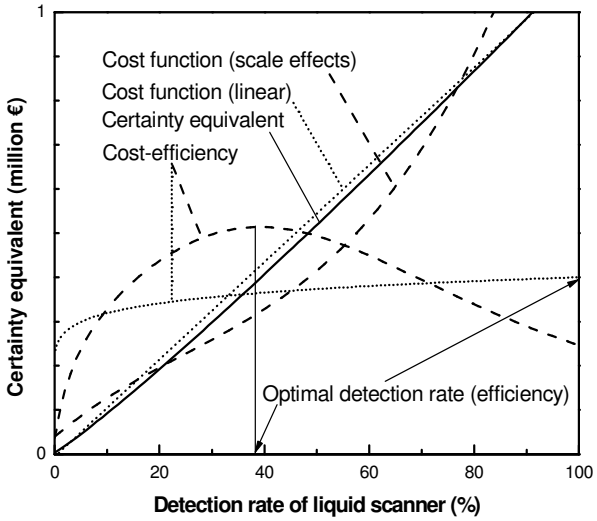


Figure 11 Effectiveness and cost-efficiency of risk reduction. Aspiration level = 12 million €.

the loss repartitions as precisely as possible. Figure 6 shows the possible damage that can be caused by the attacker at the varying settings of the detection rates in this specific scenario. Figure 9 shows the probabilities that the attacker will pass the security checkpoint undetected.

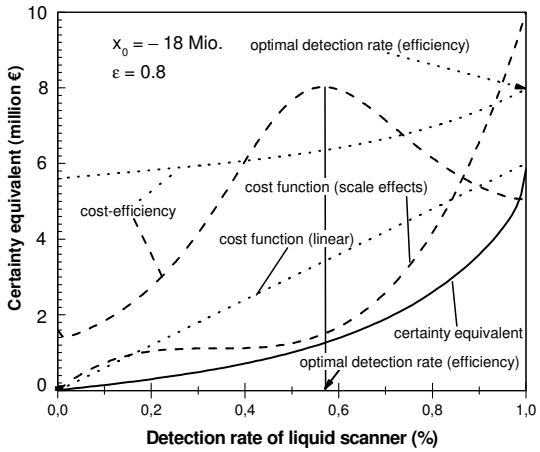


Figure 12 Effectiveness and cost-efficiency of risk reduction. Aspiration level = 18 million €.

Figure 11 shows the certainty equivalent of risk reduction due to an increasing detection rate of liquid explosives at which the liquid scanner is respectively assumed to work. The certainty equivalents shown in Figures 11 and 12 are those of the risk of financial damage. Similar equivalent values can be derived from trials of the experiment simulating the risk of fatality and injury (see Section 2.2). To demonstrate our methodological approach, the analysis solely of the risk of financial loss due to security incidents may suffice, however. The parameter values used in the simulations are those described in Subsection 3.2.1 (status quo, detection rate between 1% and 95%, etc.) In addition, it has been assumed in the trials underlying Figure 11 that the airport holds anti-terrorism insurance limited to a total of loss of 12 million € per incident and that the probable loss per incident in the status quo varies about a mean value of 16.24 million euros. Thus, only losses above the "aspiration level" of 12 million € matter (the discrepancy between what matters for the airport operator and what for the insurance company may give rise to the notorious problems of "moral hazard" in risk and insurance).

The certainty equivalent is positive and increases with the detection rate, meaning that liquid scanning reduces the risk of financial damage below the aspiration level. The increase is slightly subproportional (solid line). Most importantly, however, the overall risk reduction that can be achieved by screening passengers and luggage items for liquid explosives is always low as compared to the expected loss of 16.24 million € (assessed at amounts of mostly less than 1 million € per incident). To increase it to the upper limit, the scanning device must be quite reliable and must operate at detection rates higher than 80%. Unfortunately, this is far from being cost-efficient, the optimum of which is placed at about 38% if the cost function involving scale effects (dashed line) applies. The dotted straight line represents a cost function increasing strictly in proportion to the detection rate. With this cost model, the optimum of cost-efficiency is reached at a 100% detection rate. The difference between the two optima reflects the impact of high costs of risk reduction measures (dashed lines) on security: if risk management is expensive, the most efficient solutions may be ineffective, and conversely. Unfortunately, this discrepancy between what is desirable and what is affordable in security corresponds to all too realistic, virtually daily experience. As our experiments demonstrate, however, this discrepancy can at least be understood very much in detail in systematic, quantitative ways, using the SiVe approach.

Two more of the operational constraints on the effectiveness and efficiency of airport security management are illustrated by Figure 12. The meaning of each of the curves is the same as that of their counterparts in Figure 11. In the example of Figure 12, the maximum insurance coverage of loss (18 million € per incident) and, thus, the aspiration level is assumed to be higher than the expected value of loss in the status quo (16,24 million €). This implies that, other than in the previous case, the airport risk management is risk averse and, thus, appreciates more the risk reduction achieved at each particular detection rate (larger certainty equivalent). Similarly, the solid curve is much less straight in shape than the corresponding one in Figure 11. This departure from the previous curve also expresses strong risk aversion: the certainty equivalent of a risk is much smaller than its expected value.

3.3.2 Simulation results of second vignette "Cost consideration"

300 passengers were generated in the simulation for calculating the costs and handling times of passengers during the passenger check. They were handled in one single check lane. At the beginning of the simulation, all 300 passengers had already been generated in the simulation, i.e. the arrival behaviour of the passengers was not taken into consideration. The passengers' waiting time before the passenger check was also neglected.

Based on the simulation results, it is now possible to ascertain different values of the detection rate in terms of costs incurred and the efficiency of the defined threat. Figure 10 shows the average costs incurred for checking a passenger in the status quo and when a liquid scanner is used at varying detection rates.

4 Conclusion

Airport passenger checks involve numerous variables and operational constraints which make measures and procedures to ensure airport security difficult to assess in quantitative, realistic terms. In view of the immense complexity involved in the protection of transport infrastructures against physical attack, incident simulation techniques and methods of quantitative risk assessment are necessary, however, to prevent or miti-

gate damage from catastrophic events in systematic, practical, effective and cost-efficient ways. The SiVe project has been especially designed to cope with some of the core problems involved here, combining methodological perspectives of scenario building, software-based incident simulation and econometric approaches to risk assessment. The results obtained in the initial simulation studies outlined above already show that, on the basis of SiVe development, valuable detailed information can be gained to improve security planning and decision- making. This information might otherwise have been difficult if not impossible to obtain.

Acknowledgement. The authors are grateful to the German Federal Ministry of Education and Research (BMBF) for substantial financial support to SiVe as part of the Ministry's Hightech Strategy and Security Research Programme.

References

[1] M. Breiing, M. Cole, J. D'Avanzo, G. Geiger, S. Goldner, A. Kuhlmann, C. Lorenz, A. Papproth, E. Petzel and O. Schwetje, "Optimisation of Critical Infrastructure Protection: The SiVe Project on Airport Security". In E. Rome and R. Bloomfield (Eds.): CRITIS 2009. Lecture Notes in Computer Science 6027, 73–84. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg 2010.

[2] A.:Gadatsch, "Grundkurs Geschäftsprozess-Management", 6. Aufl. Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden 2010.

[3] Object Management Group (OMG), "Business Process Model and Notation (BPMN)", Version 2.0, 2011.

[4] S. Goldner, L. Huber, A. Papproth and C. Stegner, , "Using Agent-Based Simulation and Business Process Modelling to Evaluate the Performance of Airport Security Systems – A Conjoint Approach". Proceedings of The 2011 World Conference of Air Transport Research Society, Sydney, Australia 2011. In Print.

[5] U. Meinberg, C. Lorenz, L. Huber, A. Papproth, C. Stegner and R. Hyka, "Agent-Based Simulation of Security Related Logistic Processes on Airports". Proceedings of The 14th World Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics, 354-359. International Institute of Informatics and Systemics, Orlando, FL USA 2010.

[6] E. Castaneda, J. Gonzalez, S. Harris and J. Kim, "Optimized Airport Security Infrastructure System (OASIS)". 2007 IEEE Systems and Information Engineering Design Symposium, Charlottesville, VA USA 2007.

[7] H. Buchwald, A. Fleischmann, D. Seese and C. Stary (Eds.), "S-BPM ONE: Setting the Stage for Subject-Oriented Business Process Management": First International Workshop, Karlsruhe, Germany, October 22, 2009. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg 2010.

[8] C. Starmer, "Developments in non-expected utility theory: the hunt for a descriptive theory of choice under risk". Journal of Economic Literature 38, 332–382, 2000.

[9] G. Geiger, E. Petzel and M. Breiing, "Process-Based Identification and Pricing of Risks: Methodological Foundation and Applications to Risk and Security Management". Fraunhofer Symposium Future Security 2009, 208-220. Fraunhofer Verlag, Stuttgart 2009.

[10] Statistisches Bundesamt, „Verdienste und Arbeitskosten", Fachserie 16, Heft 1, Dezember 2010.

[11] J. L. Virta, S. H. Jacobson and J. E. Kobza, "Analyzing the Cost of Screening Selectee and Non-Selectee Baggage". Risk Analysis 23(5), 897-908, 2003.

[12] C. Thomas and S. C. Maurice, "Managerial Economics", 10. Aufl. McGraw-Hill/Irwin, Boston, MA 2010.

[13] Freund, J.; Rücker, B.; Henninger, T.; „Praxishandbuch BPMN", München (DE): Carl Hanser Verlag, 2010

Extending the BPMN Syntax for Requirements Management

Sascha Goldner[1] and Alf Papproth[2]

[1] Cassidian, Landshuter Straße 26, 85716 Unterschleißheim Germany
Sascha.Goldner@cassidian.com
[2] Fraunhofer Application Centre for Logistics System Planning and Information Systems ALI
Konrad-Wachsmann-Allee 1, 03046 Cottbus, Germany
Alf.Papproth@ali.fraunhofer.de

Abstract. Regulations and laws are a very determining factor in every business domain. Therefore it is absolutely necessary to consider these legal constraints already in the early design phase of business processes in order to create process descriptions which are legally valid. The business process modeling notation (BPMN) has become the method of choice when it comes to business process modeling. We extended the syntax by specific artifacts in order to explicitly represent legal constraints directly in the BPMN models. Legal constraints can be considered as necessary requirements for business processes. Therefore it is important to track whether all requirements respectively legal constraints have been represented within the process models. As a consequence we extended our BPMN editor by an export functionality to be able to transfer the legal constraints as requirements into a requirements management tool.

Keywords: BPMN, regulation, legal constraints, requirements management.

1 Introduction

One of the critical infrastructures of modern society is air transport, with airports being both its operational bases and potential targets of terrorist attacks. Past and recent security incidents at international airports show that new and innovative methodologies are needed in order to improve airport security. This task is often just tackled by the implementation of new technology without assessing the effectiveness of the security measures as a whole. Besides security technologies, business processes, business rules and regulations also have to be considered. Especially regulations, i.e. laws, organizational guidelines, etc., are one of the most important and influencing factors in the security domain. They define the overall scope and framework the operational processes can be implemented in. As a consequence, these legal constraints already have to be taken into consideration when designing the business processes, respectively when creating the business process models. Thus, the need arises to explicitly visualize regulations within business process models.

Within our approach we use BPMN for defining the process models. To integrate the regulations into the process models we extended the BPMN syntax by new

artifacts that enable us to define different types of legal constraints. Beyond that we also extended the BPMN editor in order to parameterize the new artifacts. These attributes contain for example the complete reference to legal text as well as the text itself. Thereby we are able to indicate for all tasks, subprocesses and processes the relevant legal conditions.

The next goal in our work was to evaluate whether all relevant regulations have been represented within our process models. To achieve this, all regulations are considered as requirements in the sense of requirement engineering. Finally to keep track whether all regulations respectively requirements have been implemented within the process models, we use a COTS requirements tracking tool and all of the advantages that come along with that. The necessary interface between the BPMN editor and the requirements tracking tool has been implemented so that an automatic transfer of the requirements into the tracking tool is possible.

As for the editor we use the web-based BPMN editor ORXY from the Hasso-Plattner-Institute. For the requirements tracking we apply the requirements management component of the Erudine Behavior Engine from Erudine.

2 Visualization of regulations within BPMN

The Oryx editor offers support for extensions which are integrated via a plug-in mechanism. Two different types of extensions can be applied: a stencil set extension or a functional plug-in. Stencil set extensions allow only an enhancement of the notation whereas the functional plug-ins can be used to extended the overall functionality of the whole editor. In the following we introduce our first plug-in that extends the BPMN syntax by new artifacts in order to illustrate legal constraints within BPMN process models.

2.1 Extending the BPMN syntax in Oryx

The BPMN elements that are supported by the Oryx editor are described in a so called *stencil set*. In order to extend the graphical notation a stencil set extension has to be implemented. Therefore the following tasks have to be performed.

First, a JSON (JavaScript Object Notation) file has to be created. The file contains a formal specification of the new elements, their properties and the rules that determine how they can be connected to other BPMN elements.

Second, a SVG (Scalable Vector Graphic) file has to be created which contains a description of the graphical representation of each new element.

Third, a PNG (Portable Network Graphics) file is needed as icon for the visual representation of the new element in the editor.

2.2 The extensions

In our case we extended the BPMN syntax by two new artifacts: *Regulation* and *Regulation Group*.

Regulation. The *Regulation* artifact has the role of documenting business process models with a single law or regulation. This artifact can be linked to following BPMN elements: *abstract task*, *manual task*, *gateway*, *sequence flow*, *message flow*, *start event*, *end event*.

The new artifact Regulation comes with five properties specific to a regulation: LawName, LawText, Article, Paragraph and Organization. The properties offer the possibility to document following information:

- *LawName*: the name of the law that applies;
- *LawText*: by making use of this attribute, the user can directly store the law texts that apply to the BPMN element, respectively the business process.
- *Article*: the article number of the regulation
- *Paragraph*: the paragraph number of the regulation
- *Organization*: the name of the organization that must prove the fulfillment of the law modeled by the regulation object

Regulation Group. The *Regulation Group* artifact can be applied when more than one regulation or law applies and has to be documented, e.g. national and European law. This artifact can be linked to the same BPMN elements which have been stated for the artifact *Regulation*. The *Regulation Group* comes with three properties specific to a group of regulations: *LawNames*, *LawTexts* and *Organizations*.

- *LawNames*: this attribute specifies the names of the relevant laws. Their article and paragraph numbers are already stated in the law names. Different laws are separated by a semicolon.
- *LawTexts*: the specific law texts
- *Organizations*: this attribute specifies the names of the stakeholders responsible for fulfilling the documented laws.

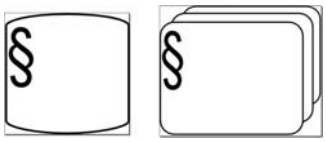


Fig. 1. The shapes of the *Regulation* and *Regulation Group* artifact

In Fig. 2 and Fig. 3 we can see an example how the new artifacts have been placed in the Oryx editor canvas. The property pane is shown on the right side of the screen.

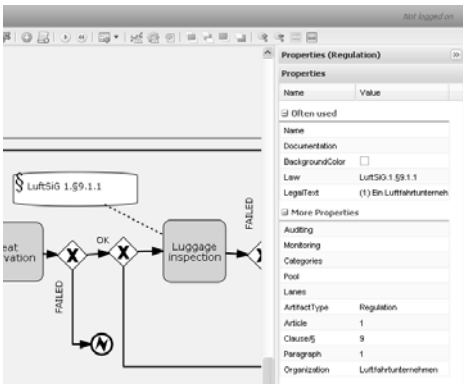


Fig. 2. The *Regulation* artifact within the Oryx editor

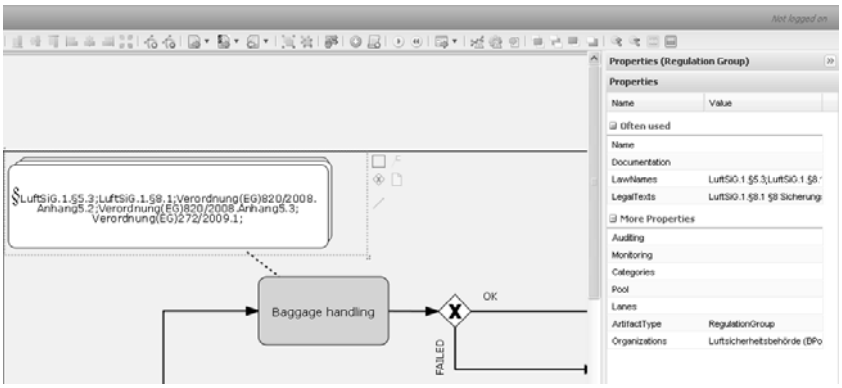


Fig. 3. The *Regulation Group* artifact within the Oryx editor

3 Requirements Export Plug-In

The following section describes the development of another plug-in for Oryx that supports the export of the defined regulations within a BPMN process model. The regulations are saved to a CSV-file (Comma-Separated Values-file) that can be imported by the requirements manager of the Erudine Behavior Engine (EBE). We use the requirements manager to keep track which legal constraints have already been covered in the business process models and which still have to be done.

The functionality of the Oryx editor is once again extended, this time by a functional plug-in. In order to implement a plug-in two tasks have to be performed. First the plug-in itself has to be developed in JavaScript (JS), and second, the plug-in has to be added in the configuration file of the Oryx editor. Each plug-in has access to

an interface allowing communication with the editor. The interface to the editor's core complies with the façade pattern which is a software engineering design pattern. For offering the export functionality for the regulations, we implemented a façade method containing two parameters: a link to the facade interface and configuration parameters. Fig. 4 shows the Oryx editor with a detail of a business process. The regulations that apply to the task "Baggage Handling" are depicted by a *Regulation Group*. Further the Erudine Requirements Manager is shown containing the exported regulations from the process model.

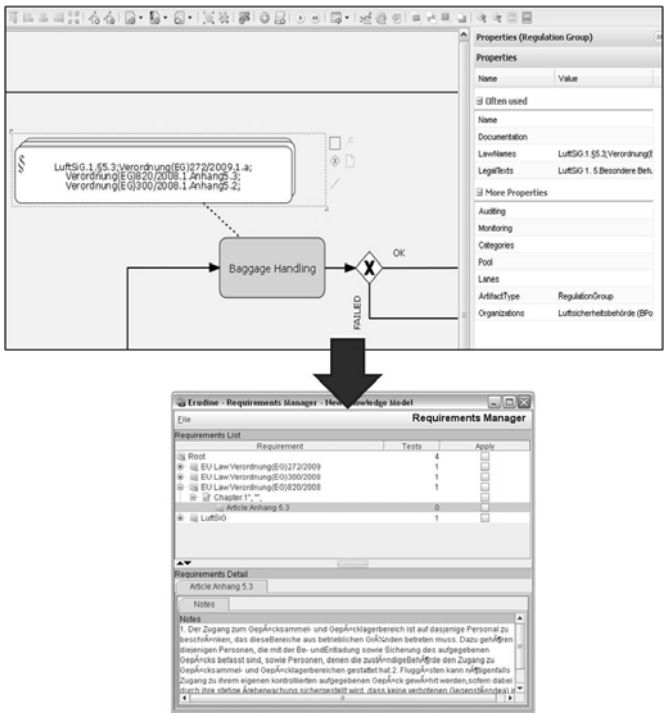


Fig. 4. Transfer of regulations within the Oryx editor into the Erudine Requirements Manager

4 Conclusion

Legal constraints are a main influencing factor in the security domain. Therefore it is absolutely necessary to make these constrains explicit in operational guidelines which include business process models. Therefore we implemented new BPMN artifacts within the Oryx editor to explicitly visualize theses legal constraints. Further, to have an overview of the modeled regulations within the process models, we implemented an export functionality that allows us to keep track of them using a requirements management tool.

Later this year we will release the DIN SPEC 91285 which combines a graphical process description with a formal process description in order to get a holistic process definition.

Acknowledgments. Part of the presented work has been achieved during the project SiVe (Verbesserung der Sicherheit von Verkehrsinfrastructuren) which is co-funded by the German Federal Ministry of Education and Research (BMBF) as part of the Ministry's Hightech Strategy and Security Research Programme.

References

1. The Oryx Project, http://bpt.hpi.uni-potsdam.de/Oryx/WebHome
2. Erudine, http://www.erudine.com/
3. Freund, J., Rücker, B., Henninger, T.: Praxishandbuch BPMN, Carl Hanser Verlag, München Wien (2010)

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN keine	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Abschlussbericht

3. Titel

Abschlussbericht des Vorhabens:

Verbesserung der Sicherheit von Verkehrsinfrastrukturen (SiVe) – Teilvorhaben: Modellierung sicherheitsrelevanter Logistikprozesse am Flughafen

4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)]	5. Abschlussdatum des Vorhabens 30.09.2011
Huber, Linda Lorenz, Claudia Papproth, Alf	6. Veröffentlichungsdatum 31.03.2012
	7. Form der Publikation ---
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V. (FHG) Postfach 20 07 33 80007 München	9. Ber. Nr. Durchführende Institution ---
	10. Förderkennzeichen 13N20028
	11. Seitenzahl 90 zzgl. Anhängen
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. Literaturangaben 39
	14. Tabellen
	15. Abbildungen 31

16. Zusätzliche Angaben
keine

17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)
VDI Technologiezentrum GmbH, Postfach 10 11 39, 40002 Düsseldorf, 31.03.2012

18. Kurzfassung

Ziel des Teilprojektes vom Fraunhofer ALI war die Abbildung des Flughafens mit seiner gesamten Struktur, der technischen Logistik und seiner begleitenden Prozesse im Rahmen einer Simulationsumgebung. Dazu zählen die modularen Einrichtungen sowie die relevanten Mechanismen, um mit den entstandenen Modellen und Simulationen einen Beitrag zum Schutz von Menschen bei der Nutzung moderner Verkehrsinfrastrukturen zu leisten. Ziel war die Entwicklung eines agentenbasierten Simulationsmodells als Entscheidungsgrundlage für die Planung von Sicherheitsprozessen bzw. das Aufzeigen von Sicherheitslücken.

Der Abschlussbericht enthält die finale Darstellung der Ziele und Ergebnisse sowie den Projektablauf des Teilvorhabens „Modellierung sicherheitsrelevanter Logistikprozesse am Flughafen“ des Verbundprojektes „Verbesserung der Sicherheit von Verkehrsinfrastrukturen (SiVe).

19. Schlagwörter
Flughafenlogistik, Sicherheit, Prozesse, Business Process Modelling (BPMN), Personenströme, Multiagentensimulation, Soziales Kräfte Modell

20. Verlag keiner	21. Preis kostenfrei

Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN --	2. type of document (e.g. report, publication) Final report
3. title Optimization of critical infrastructure Protection (SiVe) – sub project “Modelling of security related logistic Processes on airports“	
4. author(s) (family name, first name(s)) Huber, Linda Lorenz, Claudia Papproth, Alf	5. end of project 30.09.2011 6. publication date 31.03.2012 7. form of publication ---
8. performing organization(s) (name, address) Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V. (FHG) Postfach 20 07 33 80007 München	9. originator’s report no. --- 10. reference no. 13N20028 11. no. of pages
12. sponsoring agency (name, address) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. no. of references 39 14. no. of tables 15. no. of figures 31
16. supplementary notes none	
17. presented at (title, place, date) VDI Technologiezentrum GmbH, Postfach 10 11 39, 40002 Düsseldorf, 31.03.2012	
18. abstract The part to be dealt with by the group in Cottbus is the modeling of the airport with its entire structure, technical logistics and its accompanying processes in the context of a simulation environment. The modular facilities and mechanisms are modeled in order to contribute to developing models and simulations for the protection of humans during the use of modern traffic infrastructures. The simulation provides an important contribution, which is the analysis of the protection possibilities for passengers during the use of the airport infrastructure; the simulation also gives special consideration to the security component. In addition, the developed simulation can be used as planning and decision making instrument. This final report outlines the scientific goals, work and outcomes of the research project “modeling of security related logistic Processes on airports”.	
19. keywords Airport logistic, security, processes, Business Process Modelling (BPMN), passenger flow, multi agent simulation, social force model	
20. publisher ---	21. price free