



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication DETEC
Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC

Bundesamt für Strassen
Office fédéral des routes
Ufficio federale delle Strade

Einsatz von Simulationswerk- zeugen in der Güterverkehrs- und Transportplanung

**Applications des modèles simulations dans le domaine
de planification en transport marchandises**

**Application of simulation tools in freight traffic and
transport planning**

Rapp Trans AG, Zürich
Martin Ruesch
Philipp Hegi

ZHAW, Wädenswil, IAS Institut für Angewandte Simulation
Marcel Burkhard
Tatiana Starostina
Adrian Lötscher

**Forschungsauftrag SVI 2004/088 auf Antrag der Schweizerischen
Vereinigung der Verkehrsingenieure und Verkehrsexperten (SVI)**

Der Inhalt dieses Berichtes verpflichtet nur den (die) vom Bundesamt für Strassen beauftragten Autor(en).
Bezug: Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

Le contenu de ce rapport n'engage que l' (les) auteur(s) mandaté(s) par l'Office fédéral des routes.
Diffusion : Association suisse des professionnels de la route et des transports (VSS)

Il contenuto di questo rapporto impegna solamente l' (gli) autore(i) designato(i) dall'Ufficio federale delle strade.
Ordinazione: Associazione svizzera dei professionisti della strada e dei trasporti (VSS)

The content of this report engages only the author(s) appointed by the Swiss federal roads office.
Supply: Swiss Association of Road and Transportation Experts (VSS)



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication DETEC
Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC

Bundesamt für Strassen
Office fédéral des routes
Ufficio federale delle Strade

Einsatz von Simulationswerk- zeugen in der Güterverkehrs- und Transportplanung

**Applications des modèles simulations dans le domaine
de planification en transport marchandises**

**Application of simulation tools in freight traffic and
transport planning**

Rapp Trans AG, Zürich
Martin Ruesch
Philipp Hegi

ZHAW, Wädenswil, IAS Institut für Angewandte Simulation
Marcel Burkhard
Tatiana Starostina
Adrian Lötscher

**Forschungsauftrag SVI 2004/088 auf Antrag der Schweizerischen
Vereinigung der Verkehrsingenieure und Verkehrsexperten (SVI)**

November 2009

ZZZ

Impressum

Forschungsstelle und Projektteam

Projektleitung

Martin Ruesch, Rapp Trans AG

Mitglieder

Marcel Burkhard, IAS Institut für angewandte Simulation, ZHAW

Philipp Hegi, Rapp Trans AG

Tatiana Starostina, IAS Institut für angewandte Simulation, ZHAW

Adrian Lötscher, IAS Institut für angewandte Simulation, ZHAW

Begleitkommission

Präsident

Hans Ruedi Rihs, SMA und Partner AG

Mitglieder

Willi Bernhard, Swiss Simulation Engineering GmbH

Dirk Bruckmann, SBB Cargo AG

Nikolaus Fries, Institut für Verkehrsplanung und Transportsystem, ETH Zürich

Peter Spörri, Amt für Verkehr, Kanton Zürich

Antragsteller

Schweizerische Vereinigung der Verkehrsingenieure und Verkehrsexperten (SVI)

Bezugsquelle

Das Dokument kann kostenlos von <http://partnershop.vss.ch> herunter geladen werden.

Inhaltsverzeichnis

	Impressum	4
	Zusammenfassung	7
	Résumé	8
	Summary	9
1	Problemstellung	11
1.1	Ausgangslage.....	11
1.2	Forschungsbedarf	11
1.3	Forschungsziele	12
1.4	Abgrenzung der Untersuchung	12
1.5	Vorgehen.....	13
1.6	Begriffe und Definitionen.....	14
1.7	Verwendete Grundlagen	14
2	Grundlagen zur Simulation	15
2.1	Simulationsgrundlagen.....	15
2.1.1	Einleitung.....	15
2.1.2	Gründe für eine Simulation	17
2.1.3	Vor- und Nachteile der Simulation	18
2.1.4	Anwendungsbereiche der Simulation	19
2.1.5	Simulationsansätze generell	19
2.1.6	Simulationsansätze in der Logistiksimulation	24
2.1.7	Simulationsansätze im Verkehr.....	26
2.2	Stand der Simulationstechnik.....	28
2.2.1	Entwicklung der Logistiksimulation	28
2.2.2	Stand der Simulationstechnik im Bereich Transportlogistik.....	30
2.2.3	Entwicklung und Stand der Verkehrssimulation.....	33
2.3	Folgerungen	36
2.3.1	Generelle Folgerungen	36
2.3.2	Gemeinsamkeiten und Unterschiede von Logistik- und Verkehrssimulation.....	37
2.3.3	Unterschiede der Simulation zu statischen Modellen	38
3	Problemstellungen in der Logistik, Güterverkehrs- und Transportplanung	39
3.1	Einleitung und Strukturierung der Fragestellungen.....	39
3.2	Beitragspotential der Simulation	41
4	Typisierung und Strukturierung der Simulationswerkzeuge im Bereich Güterverkehrs- und Transportplanung.....	43
4.1	Einleitung.....	43
4.2	Simulationswerkzeuge	43
4.3	Merkmale und Eigenschaften.....	44
4.4	Beurteilung der Simulationswerkzeuge.....	46
4.5	Strukturierung der Simulationswerkzeuge	47
4.6	Auswahl des Simulationswerkzeugs	50
4.7	Folgerungen	52
5	Evaluation durchgeführter Simulationen	53
5.1	Einleitung.....	53
5.1.1	Ziele/Vorgehen.....	53
5.1.2	Schriftliche Befragung mit Projektsammlung	53
5.1.3	Experteninterviews	59
5.2	Auswertung/Analyse und Ergebnisse	60
5.2.1	Projektsammlung und Interviews	60
5.2.2	Zusammenfassung der Erkenntnisse zum Einsatz von Simulationswerkzeugen und zu den gemachten Erfahrungen.....	70
5.2.3	Weitere Erkenntnisse aus den Interviews.....	70
6	Synthese über Simulationen in der Güterverkehrs- und Transportplanung	71
6.1	Einleitung.....	71
6.2	Genereller Einsatz von Simulationswerkzeugen.....	71
6.3	Typisierung und Strukturierung von Simulationswerkzeugen.....	72
6.4	Anwendungsmöglichkeiten und Potentiale von Simulationen	73
6.5	Anwendungsgrenzen von Simulationen.....	74

6.6	Kosten und Nutzen von Simulationen.....	74
6.7	Kriterien für die Wahl von Simulationswerkzeugen	76
6.8	Herausforderungen, Erfolgs- und Misserfolgskfaktoren	77
6.9	Leitfaden für Simulationen in der Güterverkehrs- und Transportplanung (separater Anhang).....	78
6.10	Entwicklungen in der Simulation.....	78
7	Schlussfolgerungen und Empfehlungen.....	81
7.1	Schlussfolgerungen	81
7.2	Empfehlungen	84
7.3	Forschungsbedarf	84
	Anhänge.....	87
	Projektabschluss	109
	Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen	112

Zusammenfassung

Das Forschungsprojekt hatte zum Ziel

- den Stand der Technik der Simulation in der Güterverkehrs- und Transportplanung mit den zugrunde liegenden Simulationsgrundlagen und den verschiedenen Simulationsansätzen aufzuzeigen
- die relevante Problemstellungen in der Logistik, Güterverkehrs- und Transportplanung zu identifizieren und das Beitragspotential der Simulation zu klären
- eine Typisierung und Strukturierung der wichtigsten verfügbaren Simulationsinstrumente in Verkehr und Logistik zu erstellen
- Anwendungsmöglichkeiten, -grenzen sowie Kosten und Nutzen von Simulationsanwendungen zu vertiefen
- Einen Leitfaden für Planer und Entscheidungsträger mit Hinweisen zum Einsatz von Simulationswerkzeugen und zur Durchführung von Simulationsstudien zu erstellen.

Die Resultate, Erkenntnisse, Schlussfolgerungen und Empfehlungen wurden auf der Basis von Literaturrecherchen, von Produktbeschrieben, einer Evaluation von Simulationsprojekten, von Experteninterviews und einem Expertenworkshop erarbeitet und verifiziert.

Das Projekt liefert wichtige Erkenntnisse über Simulationsanwendungen in der Güterverkehrs- und Transportplanung. Diese sollten bei der Bearbeitung von infrastrukturellen und betrieblichen Massnahmen durch die involvierten Akteure berücksichtigt werden.

Die Akteure im Bereich Verkehr und Logistik sollen vermehrt für das Problemlösungspotential von Simulationen sowie die Anwendungsmöglichkeiten und -grenzen sensibilisiert werden.

Die Erkenntnisse aus der Studie ist in die Ausbildungsgänge, Lehrmittel von Hochschulen, Universitäten und Verbänden einzubinden um das Verständnis für und das Wissen über Simulationen zu verbessern.

Die Zusammenarbeit zwischen Verkehrs- und Logistiksimulationsexperten sollte verstärkt werden, da für die Entwicklung und Anwendung von Simulationen in diesen beiden Bereichen Synergien bestehen.

Der erarbeitete Leitfaden liefert wichtige Hinweise zum Thema Simulation, in welchen Fällen Simulationen sinnvoll sind, welche Kriterien für die Wahl der Simulationswerkzeuge relevant sind und wie bei einer Simulationsstudie vorzugehen und was zu beachten ist.

Der weitere Forschungsbedarf zur Verbesserung und Erweiterung von Simulationsanwendungen liegt auf der Seite der Daten- und Verhaltensmodelle (Inkl. Systemverhalten und Modellbau) und weniger auf der Anwendungsseite. Wichtige Forschungsthemen sind Entscheidungs- und Verhaltensmodelle als Grundlage für Simulationen, Kopplungsmöglichkeiten verschiedener Simulationsinstrumente und der Einsatz von Simulationswerkzeugen für den Betrieb von Verkehrs- und Logistikanlagen.

Die wichtigsten Informationen zum Thema Simulation finden sich in kompakter Form im Leitfaden im Anhang VI.

Das Projektteam möchte sich an dieser Stelle bei den Mitgliedern der Begleitkommission, den Teilnehmern des Workshops und den an den Interviews teilnehmenden Simulationsexperten für ihre aktive Mitarbeit herzlich bedanken.

Résumé

Le projet de recherche avait pour objectif:

- de démontrer l'état de la technique de simulation dans la planification du trafic des marchandises et des transports, avec la théorie de la simulation qui en est à la base ainsi que les diverses approches en termes de simulation;
- d'identifier les problématiques importantes dans le domaine de la logistique, de la planification du trafic des marchandises et des transports et de clarifier le potentiel de contribution de la simulation;
- d'établir une typisation et une structuration des principaux instruments de simulation disponibles dans le trafic et la logistique;
- d'approfondir les possibilités d'application, leurs limites ainsi que les coûts et le profit d'applications de la simulation;
- de mettre sur pied un guide pour les planificateurs et les décideurs, avec des références à l'emploi d'outils de simulation et à la mise en œuvre d'études de simulation.

Les résultats, enseignements et conclusions ainsi que les recommandations ont été élaborées et vérifiées sur la base de recherches dans la littérature, de descriptifs de produits, d'une évaluation de projets de simulation, ainsi que d'un atelier et d'interviews d'experts.

Le projet fournit des enseignements importants sur les applications de la simulation dans la planification du trafic de marchandises et des transports. Il devrait en être tenu compte lors du traitement de mesures au plan des infrastructures et des entreprises par les acteurs impliqués.

Les acteurs dans le domaine du trafic et de la logistique doivent être davantage sensibilisés au potentiel des simulations au plan de la résolution de problèmes, ainsi qu'aux possibilités et aux limites d'application.

Les constats découlant de l'étude sont à intégrer aux stages de formation, aux manuels d'enseignement des hautes écoles, des universités et des associations afin d'améliorer la compréhension et les connaissances relatives aux simulations.

La collaboration entre experts dans le domaine de la simulation de la logistique et du trafic devrait être renforcée, car des synergies existent, dans ces deux secteurs, en faveur du développement et de l'application de simulations.

Le guide élaboré fournit des indications importantes sur le thème de la simulation, sur la question de savoir dans quelles hypothèses celle-ci est judicieuse et quels critères importants pour le choix des outils de simulation ainsi que sur la manière dont il y a lieu de procéder dans une étude de simulation et sur ce qu'il convient d'observer.

Le besoin de recherches ultérieures en vue de l'amélioration et de l'extension des applications de la simulation se situe dans le domaine des modèles de données et de comportement (y compris le comportement des systèmes et la mise sur pied de modèles) et moins dans celui de l'application. Des modèles de décisions et de comportement en tant que bases pour des simulations, des possibilités de couplage de divers instruments de simulation ainsi que l'emploi d'outils de simulations pour l'exploitation d'installations de trafic et de logistique représentent des thèmes de recherches importants.

Vous trouverez les principales informations sur la thématique de la simulation, sous forme compacte, dans le guide, à l'appendice VI.

L'équipe de projet saisit l'occasion pour exprimer aux membres de la commission d'accompagnement, aux participants aux ateliers ainsi qu'aux experts en matière de simulation prenant part aux interviews ses cordiaux remerciements pour leur active collaboration.

Summary

The research project aimed at

- showing the state of the art of simulation in freight transport planning with the underlying theory of simulation and various simulation approaches
- identifying the relevant topics in logistics and freight transport planning and the clarification of potential contribution of simulation
- creating a typification and structuring of the major simulation tools available in transport and logistics
- increasing the knowledge on application opportunities and barriers, as well as consolidating the costs and benefits of simulation applications
- creating a guideline for planners and decision makers with information on the use of simulation tools and on carrying out simulation studies.

The results, findings, conclusions and recommendations were prepared and verified on the basis of literature searches, product descriptions, an evaluation of simulation projects, expert interviews and an expert workshop.

The project provides important findings on simulation applications in freight transport planning. These should be taken into account by the involved actors when dealing with infrastructure and operational measures.

The actors in the field of transport and logistics are to be more sensitized to the problem-solving potential of simulations and to the application opportunities and limits of simulations as well.

The findings from the study are to be integrated in training courses and educational materials from universities and associations to improve the understanding and knowledge about simulations.

The cooperation between transport and logistics simulation experts should be strengthened, because in these two areas there exist synergies for the development and application of simulations.

The developed guideline provides important information on simulation, in which cases simulations are useful, what criteria are relevant for the choice of simulation tools and how to proceed with a simulation study and what is to be observed.

Further need for research to improve and expand applications of simulation is on the side of the data and behavioural models (incl. system behaviour and modelling) and less on the application side. Important research topics are decision-making and behaviour models as a basis for simulation models, coupling options of different simulation tools and the use of simulation tools for the operation of transport and logistics facilities.

The most important information about simulation can be found in a compact form in the guidelines in Annex VI.

At this point the project team would like to thank the members of the accompanying group, the participants of the workshop and the participating simulation experts of the interviews for their active participation.

1 Problemstellung

1.1 Ausgangslage

Die Effekte der Globalisierung, der technologische Fortschritt und die Liberalisierung der Verkehrsmärkte haben die Logistik und den Güterverkehr stark beeinflusst. Das Güterverkehrsaufkommen und insbesondere die Transportleistungen haben stark zugenommen. Gleichzeitig ist auch der Personenverkehr stark gewachsen und die Verkehrsanlagen (Strassen, Terminals, Anlieferstellen etc.) in Ballungsräumen oder auf spezifischen Transportkorridoren (z.B. alpenquerende Routen inkl. Grenzübergänge) sind zeitweise oder sogar permanent überlastet. Ein leistungsfähiges Verkehrssystem mit einer guten Erreichbarkeit und zuverlässigen Warenlieferungen ist jedoch eine wichtige Voraussetzung für eine prosperierende Wirtschaft.

Während die Nachfrage stark steigt sind die Möglichkeiten im Ausbau der Verkehrsinfrastruktur unter anderem auch wegen beschränkter Ressourcen (Flächen, etc.) und knapper finanzieller Mittel eingeschränkt. Verkehrsanlagen werden somit immer häufiger an ihrer Kapazitätsgrenze betrieben. Dadurch gestaltet sich das Umfeld in der Güterverkehrs- und Transportplanung zunehmend komplexer. Verkehrsabläufe und Gütertransporte müssen effizienter ausgestaltet und optimiert werden um kostengünstige und zuverlässige Transporte zu ermöglichen. Für eine weiträumige Sichtweise ist dabei wichtig, dass auch die Schnittstellen zwischen Transport und den angrenzenden logistischen Prozessen (Beschaffung, Produktion, Lagerung, etc.) betrachtet werden. Eng damit verknüpft sind auch Standortentscheidungen für Produktionsanlagen oder Verteillager, bei welchen der Erreichbarkeit eine zentrale Bedeutung zukommt.

Im Güterverkehr und in der Transportplanung spielen Optimierungsfragen eine besondere Rolle. Gesucht sind in der Regel die aus betriebswirtschaftlicher Sicht besten Lösungen (User Optimum). Aber auch für die öffentliche Hand wird die Optimierung des Verkehrssystems immer wichtiger (System Optimum). Dynamische Betrachtungen gewinnen hier stark an Bedeutung und statische Modelle geraten an ihre Grenzen (z. B. bei der Abbildung hoch ausgelasteter Netze und von Stauphänomenen). Entsprechend wurden in den letzten Jahren solche dynamischen Simulationswerkzeuge immer weiter entwickelt. Während der Einsatz von Simulationswerkzeugen in der Logistik bereits stärker etabliert ist, werden sie in der Güterverkehrs- und Transportplanung noch sehr zurückhaltend eingesetzt.

Vom Einsatz von Simulationswerkzeugen wird ein Beitrag zur optimalen Ausgestaltung und Nutzung von Verkehrsanlagen erwartet. Dies gilt einerseits für durch die öffentliche Hand betriebene Verkehrsnetze und andererseits für durch Private betriebene Anlagen wie Terminals, Produktionsstätten, Distributionslager und Logistikzentren. Mit Simulationswerkzeugen können zudem Schwachstellen und Risiken identifiziert werden. Simulationen erscheinen als geeignetes Hilfsmittel zur Modellierung komplexer logistischer Systeme und verkehrlicher Abläufe.

1.2 Forschungsbedarf

Heute werden Simulationswerkzeuge in der Güterverkehrs- und Transportplanung erst sehr zurückhaltend eingesetzt. Insbesondere im Vergleich zum Ausland werden in der Schweiz Simulationswerkzeuge noch wenig verwendet. **Heute fehlt ein systematischer Überblick über die verfügbaren Simulationswerkzeuge und deren Potenzial zur Lösung von Optimierungsaufgaben in der Güterverkehrs- und Transportplanung.** Es bestehen auch Unklarheiten über Anwendungsmöglichkeiten und -grenzen sowie Nutzen und Kosten. Die Möglichkeiten und Grenzen von agentenbasierten Simulatoren für den Einsatz in der Verkehrs- und Logistiksimulation sind zurzeit nicht bekannt. Es fehlen Forschungsarbeiten im Bereich Schnittstellen und Zusammenspiel zwischen Verkehrssimulations- und Logistiksimulationstools.

1.3 Forschungsziele

Das Projekt analysiert die Möglichkeiten und Grenzen des Einsatzes von Simulationswerkzeugen in der Güterverkehrs- und Transportplanung.

Folgende Leitfragen sollten beantwortet werden:

- Welches sind die wichtigsten Grundlagen der Simulation und welches ist der state-of-the-art in der Simulationstechnik?
- Welche Fragestellungen im Güterverkehr und in der Transportplanung sind relevant und wie können sie strukturiert werden?
- Welche Simulationswerkzeuge bzw. Gruppen von Simulationswerkzeugen gibt es und wie können sie typisiert werden? Welche Unterschiede bestehen zu klassischen (in der Regel statischen) Verkehrsmodellen?
- Wo, wie und wofür wurden und werden Simulationswerkzeuge im Verkehrs- und Transportwesen (inkl. Transportlogistik) bisher eingesetzt? Welche Erfahrungen wurden und werden damit gemacht?
- Welchen Beitrag können Simulationswerkzeuge zu Problemlösungen in der Güterverkehrs- und Transportplanung leisten?
- Worin liegt der Nutzen des Einsatzes von Simulationswerkzeugen und welches sind die Kosten? Wo liegen deren Anwendungsmöglichkeiten und -grenzen?
- Welche Folgerungen und Empfehlungen lassen sich für den Einsatz von Simulationswerkzeugen in der Güterverkehrs- und Transportplanung ableiten?

1.4 Abgrenzung der Untersuchung

Es werden schwerpunktmässig Simulationsansätze und Simulationswerkzeuge betrachtet, welche für Fragestellungen im Güterverkehr und in der Transportplanung eingesetzt werden können. Reine Anwendungen im Personenverkehr oder in der Logistik werden nicht betrachtet, jedoch die Schnittstellen dazu. Diese sind für die Gesamtoptimierung zentral. Z.B. muss für die Abbildung von Stauphänomenen der gesamte Verkehr betrachtet werden. Für die Optimierung der Transportlogistik eines Unternehmens muss die gesamte Logistik (welche den Transport mit beeinflusst) betrachtet werden.

Der Stand und die Entwicklung klassischer Verkehrsmodelle werden soweit behandelt, als dies für den Vergleich mit den Simulationswerkzeugen notwendig ist. Es werden mit Ausnahme von Pipelines sämtliche Verkehrsträger (Strasse, Schiene, Wasser, Luft) betrachtet, wobei der Schwerpunkt bei der Strasse und Schiene liegt.

Analytische und numerische Optimierungsverfahren sind nicht Gegenstand der Untersuchung. So werden zum Beispiel automatische Tourenbildungsverfahren, welche für die Tourenplanung eingesetzt werden, nicht betrachtet. Es handelt sich dabei im engeren Sinne auch nicht um Simulationen.

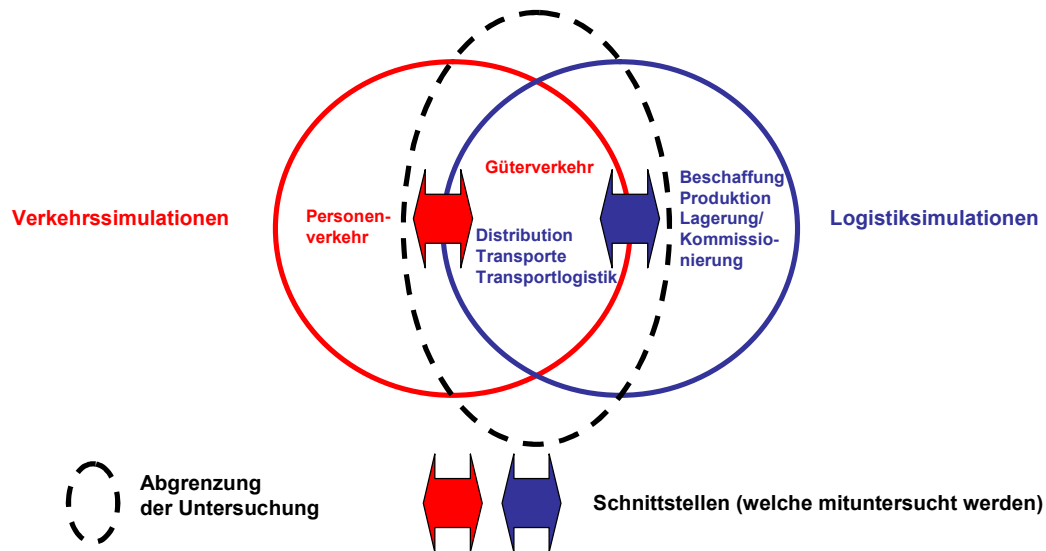


Abb. 1.1 Abgrenzung der Untersuchung

1.5 Vorgehen

Die Forschungsarbeit wird auf folgenden drei Pfeilern aufgebaut:

- **Aufarbeitung der Simulationsgrundlagen und des Standes der Simulationstechnik und systematische Strukturierung und Typisierung von Simulationswerkzeugen:** Für das Verständnis, die Einsatzmöglichkeiten und den Vergleich mit klassischen Verkehrsmodellen sowie zwischen Verkehrs- und Logistiksimulationen ist ein Überblick und eine systematische Strukturierung eine wichtige Voraussetzung.
- **Analytische Beurteilung von Simulationswerkzeugen und Vergleich mit klassischen Verkehrsmodellen:** Es sollen nicht einzelne Softwarepakete analysiert, beurteilt und verglichen werden, sondern Simulationsansätze (Typen bzw. Typengruppen).
- **Breite und systematische Analyse von bisherigen und ausgewählten neuen Anwendungen von Verkehrs- und Logistiksimulationen (Transportlogistik):** Aus den bisherigen Anwendungen sollen „Best Practice“ und Erkenntnisse abgeleitet werden. Neue Anwendungen sollen vor allem auch Synergien und Unterschiede zwischen Logistik- und Verkehrssimulationen aufzeigen. Aus den konkreten Anwendungen können dann Handlungsempfehlungen abgeleitet werden.

Das konkrete Vorgehen gliedert sich in die folgenden sechs Arbeitspakete:

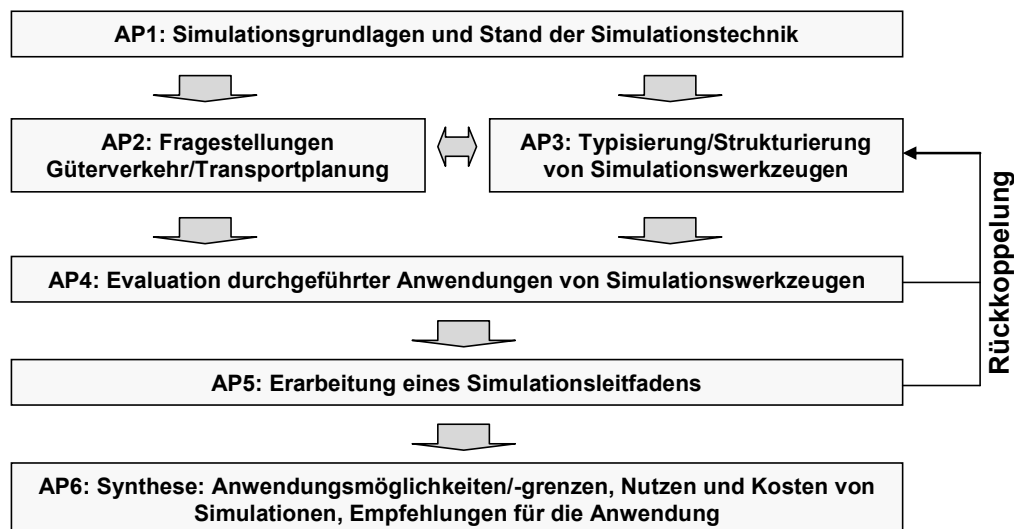


Abb. 1.2 Vorgehen in 6 Arbeitsschritten

Anstelle der ursprünglich geplanten Simulationsanwendungen in neuen Fallbeispielen (AP5) wurden einerseits Interviews für die Vertiefung der Evaluationsergebnisse (AP4) durchgeführt und andererseits ein umfassender Leitfaden für Simulationsanwendungen erstellt. Dieses Vorgehen wurde mit der Begleitkommission abgestimmt.

1.6 Begriffe und Definitionen

Die **Modellierung in der Verkehrs- und Logistikplanung** umfasst die statische und die dynamische Modellierung, welche auch als Simulation bezeichnet wird.

Modellierung: Ein Modell ist eine idealisierte Nachbildung eines Teils der realen Umwelt. Durch eine Kombination von Aufbauprinzipien und mathematischen Ansätzen wird beschrieben, wie bestimmte Teile eines Systems auf Änderungen anderer Systemteile reagieren. Ein Verkehrsmodell versucht das tatsächliche Verkehrsgeschehen aufgrund bekannter Gesetzmässigkeiten abzubilden. Grundsätzlich kann zwischen statischer und dynamischer Modellierung unterschieden werden. Während bei der statischen Modellierung mit fixen Zustandsgrössen gearbeitet wird (z.B. Tagesverkehr, Spitzenstundenverkehr), werden bei der dynamischen Modellierung zeitabhängige Grössen eingesetzt. Dynamische Modellierung wird auch als Simulation bezeichnet.

Simulation: Unter Simulation versteht man das Nachbilden eines Systems mit seinen dynamischen Prozessen in einem experimentierfähigen Modell, um zu Erkenntnissen zu gelangen, die auf die Wirklichkeit übertragbar sind. Im weiteren Sinne wird unter Simulation das Vorbereiten, Durchführen und Auswerten gezielter Experimente mit einem Simulationsmodell verstanden (VDI-Richtlinie 3633, 1993). Innerhalb der Simulation kann zwischen kontinuierlicher Simulation und diskreter Simulation unterschieden werden. Bei der kontinuierlichen Simulation ändert sich die Zustandsgrösse stetig, ebenso die Zeit. Bei der diskreten Simulation ändern sich der Zustand wie auch die Zeit diskret (getaktet oder von Ereignis zu Ereignis). Hybride Simulationen enthalten kontinuierliche und diskrete Elemente.

Logistik: Planung, Ausführung und Steuerung der Bewegung und Bereitstellung von Personen und/oder Waren und der unterstützenden Tätigkeiten in Bezug auf diese Bewegung und Bereitstellung innerhalb eines zum Erreichen spezieller Ziele organisierten Systems (gemäss EN 14943; 2005). Logistik beinhaltet sowohl Material- wie auch Personenflüsse.

Weitere für die Thematik relevanten Begriffe und Definitionen gehen aus dem Anhang IV Glossar hervor.

1.7 Verwendete Grundlagen

Die verwendeten Grundlagen und Quellen gehen aus dem Anhang VII Literaturverzeichnis hervor.

2 Grundlagen zur Simulation

2.1 Simulationsgrundlagen

2.1.1 Einleitung

Mit der Simulationstechnologie konzentriert man sich in der Regel auf die für das zu untersuchende System relevanten Aspekte und Parameter. Nur diese werden im Simulationsmodell berücksichtigt und entsprechend untersucht. Alle anderen Aspekte des Systems, die eine kleine oder gar keine Rolle für die betrachtete Situation spielen, werden stark vereinfacht oder vernachlässigt. Die Kunst des Simulationsspezialisten ist es, den richtigen Abstraktionsgrad für das zu untersuchende System zu finden. Der korrekte Abstraktionsgrad und die richtigen Systemgrenzen bilden die Basis für den Erfolg einer Simulationsstudie. Beide Faktoren sind gleichzeitig massgebliche Kostentreiber.

Das Vorgehen zur Simulation gliedert sich in die folgenden Gruppen von Tätigkeiten:

- System modellieren
- Experimentieren
- Resultate auswerten und interpretieren
- Erkenntnisse umsetzen

System modellieren

Bei der Simulation wird ein System mit Hilfe eines Modells abgebildet. Ein Simulationsmodell stellt eine Abstraktion des zu simulierenden Systems dar. Es ist eine vereinfachte Nachbildung eines geplanten oder existierenden Systems mit seinen Prozessen in einem anderen begrifflichen oder gegenständlichen System, welches sich hinsichtlich der untersuchungsrelevanten Eigenschaften nur innerhalb eines vom Untersuchungsziel abhängigen Toleranzrahmens vom Vorbild unterscheidet (VDI-Richtlinie 3633, 1993).

Um ein relevantes Modell zu bauen, braucht es folgende Arbeitsschritte:

- Problemstellung analysieren (Probleme, Ziele zu bestimmen, Alternativen definieren, Systemgrenzen und Randbedingungen festlegen, usw.)
- Informations- und Materialflüsse definieren (strukturierte Prozessanalyse durchführen, Terminologie bestimmen, Modellkonzept erarbeiten)
- Notwendige Grundlagen und Daten beschaffen und erheben (Parametergrößen bestimmen, statistische Analyse durchführen, Modell-Inputdaten vorbereiten)
- Steuerungskonzept erarbeiten (Grobmodell erarbeiten, Ablauf der Steuerungen bestimmen)
- Modell aufbauen (fixe Elemente festlegen, bewegliche Elemente und Steuerungen definieren, Modellbausteine erarbeiten, Methoden programmieren, Modelltest durchführen). Dieser Schritt enthält eine Computer-Implementierung des Simulationsmodells.

Experimentieren

Nachdem das Simulationsmodell erstellt wurde, werden mit diesem Modell Experimente durchgeführt, um Erkenntnisse über das reale System zu gewinnen. Jedes Experiment besteht aus einem Satz von Daten, welche das System beschreiben. Während des Simulationslaufes werden Statistiken und Resultate aufgezeichnet und teilweise visualisiert. Die Daten und die Resultate unterscheiden sich dabei von Experiment zu Experiment. Jedes System hat Elemente, welche gewissen zufälligen Schwankungen unterliegen (z.B. Reaktionszeit von Verkehrsteilnehmern, Bediendauer an einem Schalter). Um den Bereich des möglichen Systemverhaltens möglichst gut erfassen zu können, ist es wichtig, dass diese Zufälligkeiten in der Simulation berücksichtigt werden. Entsprechend ergeben sich, je nach Streuung der betroffenen Größen (Modellparameter, Inputgrößen), mehr oder weniger grosse Unterschiede in den Ergebnissen der Simulationsläufe. Dies ist bei der nachfolgenden Auswertung und Analyse zu berücksichtigen.

Resultate auswerten und interpretieren

Nachdem ein Satz von Experimenten durchgeführt wurde, werden die Ergebnisse ausgewertet und interpretiert, um Erkenntnisse über das System zu gewinnen.

Erkenntnisse umsetzen

Wenn die Erkenntnisse die Simulationsziele erreichen, können sie entweder auf das reale System oder auf das Modell umgesetzt werden.

Falls die Simulation nicht zu befriedigenden Resultaten führt, sollen die Daten überprüft, das Steuerungskonzept geändert oder das Modell umgebaut werden. Falls das Modell stimmt und die Daten gut sind, sollten weitere Experimente durchgeführt werden.

Zum Schluss werden die gewonnenen Erkenntnisse auf das reale System umgesetzt, was zu einer Verbesserung des Systems führt. Durch den Vergleich der tatsächlichen Resultate mit den Prognosen des Simulationsmodells können weitere Handlungsfelder ersichtlich werden, um das Modell zu erweitern oder zu überarbeiten.

Die ausführliche Darstellung des Vorgehens zur Simulation ist aus der Abb. 2.3 ersichtlich.

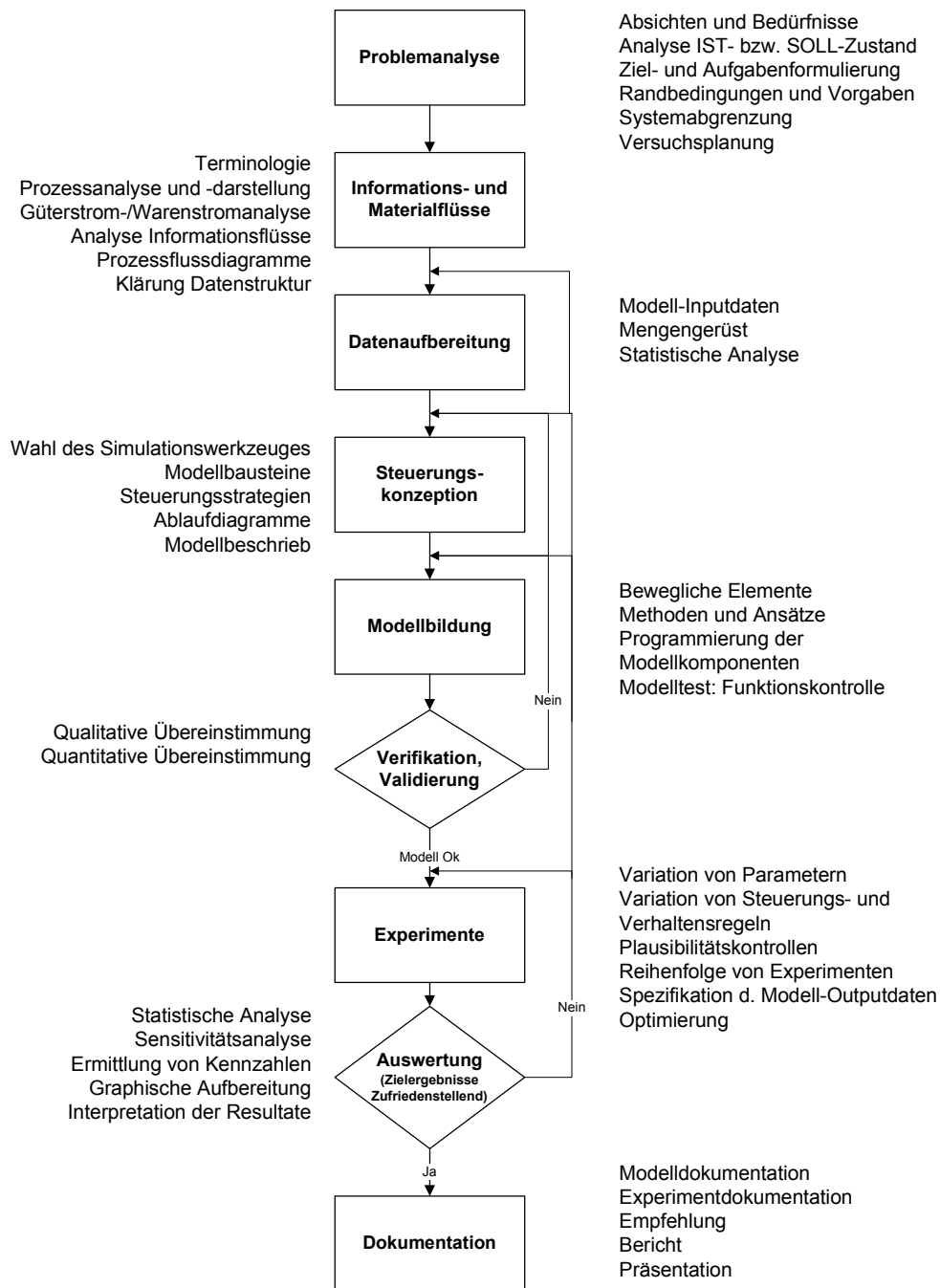


Abb. 2.3 Vorgehen zur Simulation (Burkhard, 2003)

Führt man diesen Ablauf mehrfach durch, kann die Abbildung des realen Systems kontinuierlich verbessert werden.

2.1.2 Gründe für eine Simulation

Für eine Simulation gibt es verschiedene Gründe:

- Eine Untersuchung am realen System wäre zu aufwendig bzw. zu teuer oder zu gefährlich. Beispielsweise wird ein Ausbau eines Strassenzuges bzw. -systems geplant, um ein Verkehrsproblem zu beheben. In der Planungsphase ist aber noch nicht ersichtlich, ob das Verkehrsproblem durch den Ausbau gelöst werden kann, oder der Engpass nur an eine andere Stelle verschoben wird. Hier hilft die Simulation zur richtigen Entscheidungsfindung.
- Ein anderes Beispiel ist die Steuerung des Verkehrsflusses mittels einer Lichtsignalanlage (LSA). Werden die Experimente an der tatsächlichen LSA durchgeführt, so

können die Verkehrsteilnehmer gestört werden. Denkbar ist, dass es kurzfristig zu unnötigen Staus kommt. Hier hilft die Simulation, die richtige Steuerungsstrategie für die LSA im Simulationsmodell zu entwickeln und auszutesten.

- Ein System existiert nicht. Beispiele dazu sind der Bau eines neuen Güterumschlagsterminals in einem Hafen oder der Bau einer neuen Fabrik. Im Simulator wird der geplante Neubau oder Ausbau modelliert und unter der zukünftigen Arbeitslast getestet. Das Zusammenspiel der verschiedenen Anlagen, Fahrzeuge und Maschinen wird hinsichtlich der Zielgrößen untersucht.
- Das reale System kann nicht direkt beobachtet werden. Beispiele: molekulare Simulation, Simulation der geologischen Prozesse, Simulation von Klimaveränderungen.
- Die Fragestellung kann nicht mit analytischen und numerischen Optimierungsverfahren befriedigend gelöst werden.
- Es besteht eine Vielzahl von Varianten oder Handlungsoptionen. Die Prüfung der Auswirkungen dieser Varianten kann „von Hand“ nicht effizient bewältigt werden. Wenn das Simulationsmodell einmal aufgebaut ist, lässt sich eine grosse Anzahl von Optionen mit relativ geringem Aufwand simulieren.
- Es sollen komplexe Zusammenhänge dargestellt werden. Simulationsinstrumente werden auch zur Visualisierung eingesetzt um die Auswirkungen verschiedener Einflüsse sichtbar und verständlich zu machen (z.B. Staubildung an einem Knoten in Abhängigkeit der Spurenzahl oder der Lichtsignalsteuerung).

2.1.3 Vor- und Nachteile der Simulation

Aufgrund der Liste der Gründe können die wichtigsten Vorteile einer Simulation formuliert werden:

- **Funktionsnachweis:** Die Funktionalität eines Systems kann getestet werden, bevor es existiert.
- **Untersuchung eines komplexen Systems:** Simulation ist ein mögliches Instrument zur Suche nach der Lösung, wenn die analytische und statische Methode nicht anwendbar ist.
- **Vereinfachung der Systemanalyse:** Die Parameter und Daten können verändert werden, ohne dabei die Realität verändern zu müssen.
- **Prozessoptimierung:** Die Prozesse können nach verschiedenen Zielfunktionen optimiert werden, um die Produktivität des Systems zu steigern.
- **Systemuntersuchungen im Zeitraffer:** Die Arbeit des Systems über eine längere Zeitperiode kann in wesentlich kürzerer Zeit simuliert werden.
- **Sensitivitätsanalyse:** Durch die Veränderung einzelner Input-Parameter kann eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt werden, um den Einfluss der einzelnen Parameter auf das System zu ermitteln.
- **Visualisierung:** Während der Simulation werden die Prozesse visualisiert, so dass der aktuelle Stand der Simulation immer ersichtlich ist. Zudem werden die Ergebnisse der Simulation graphisch dargestellt (z.B. in Form von Diagrammen oder Funktionen).
- **Kosten reduzieren:** Simulation kann zeigen, dass reale Systemelemente vereinfacht oder eingespart werden können.

Neben den Vorteilen existieren auch die folgenden Nachteile einer Simulation:

- **Datenbedarf:** Die Basis für die Untersuchung eines Systems sind die Systemdaten. In der Regel werden dem Simulator zahlreiche Angebots- und Nachfragedaten hinterlegt. Die Daten müssen in guter Qualität vorhanden sein, um zu aussagefähigen Resultaten zu gelangen. Manchmal sind nicht alle benötigten Daten vorhanden, so dass die fehlenden Daten durch das Fachwissen oder Prognosen von Experten generiert werden müssen, z.B. die Entwicklung des Verkehrsaufkommens in den nächsten 20 Jahren oder das Verhalten der Verkehrsteilnehmer.
- **Abstrahierung von der Realität:** Eine Simulation kann die Realität nicht vollständig abbilden. Es ist nicht einfach, den richtigen Abstraktionsgrad für die Modellierung eines Systems zu finden. Wird das Modell zu stark abstrahiert, sind die Resultate des Modells zu wenig aussagekräftig. Ein zu hoher Detaillierungsgrad hingegen führt zu einem hohen Modellierungsaufwand. Dazu gehört auch, dass bei komplexen Modellen

meist eine grössere Zahl von Parametern geschätzt werden muss. Dies bedingt ebenfalls eine grössere Datenmenge, um verlässliche Parameter-Schätzungen zu erhalten. Ist dies praktisch nicht möglich, bringt dies hingegen wiederum grössere Modell-Unsicherheiten mit sich. Zudem wird es schwieriger, das Modell an neue Gegebenheiten oder ein neues System anzupassen.

- **Zeitaufwand für Datensammlung und -analyse:** Sammlung und Analyse der benötigten Daten sind häufig schwierig und zeitaufwendig. Im Einzelfall können auch spezifische Erhebungen zum Ist-Zustand notwendig werden.
- **Komplexe Resultatsinterpretation:** Die Interpretation der Ergebnisse einer Simulation ist kompliziert im Vergleich mit anderen Methoden (z.B. analytischen Methoden).
- **Grosses Expertenwissen erforderlich:** Simulation verlangt ein grosses Expertenwissen, welches sich durch Aus-, Weiterbildung und Erfahrung mit Simulationsanwendungen angeeignet werden muss.
- **Hoher Zeitaufwand und hohe Kosten der Modellentwicklung:** Je nach Grösse und Komplexität des zu simulierenden Systems kann der Zeitaufwand und damit auch die Kosten für die Modellentwicklung hoch werden.

2.1.4 Anwendungsbereiche der Simulation

Die Simulation wird in vielen Bereichen angewandt. Es ergeben sich vielfältige Einsatzmöglichkeiten in Informatik und Nachrichtentechnik, Ingenieurwissenschaften, Betriebs- und Volkswirtschaftslehre, sowie in Biologie und Medizin. Die Bereiche Logistik, Verkehr und Transport sind in Betriebswirtschaftslehre und Ingenieurwissenschaften enthalten.

Die Anwendungsbereiche in der Betriebswirtschaftslehre und der Ingenieurwissenschaften lassen sich nicht vollständig voneinander abgrenzen; sie überlappen sich teilweise. In der Betriebswirtschaftslehre liegt der Fokus mehr auf unternehmensinternen Prozessen während bei den Ingenieurwissenschaften die überbetriebliche Betrachtung bzw. gesamtverkehrliche Betrachtung im Vordergrund steht.

Genannt seien folgende Beispiele der Simulationsanwendungen gemäss Anwendungsbereiche:

- **Logistik:** Geschäftsprozessanalyse, Produktionsplanung, Fabrikplanung mit der Logistiksimulation, Anlageplanung, Simulation von Kommissioniersystemen, Lagerlogistik, Materialflusssysteme, Supply Chain Management, usw.
- **Verkehr- und Transport:** Verkehrssimulation (Fahrzeuge, Personen), Simulation von Transporten einer Unternehmung, Simulation von Umschlagprozessen, Verkehrsanlagenplanung, Betriebskonzepte für Verkehrsanlagen, usw.
- **Maschinenbau, Elektrotechnik:** Schaltungs-, Roboter-, Motoren- und Reaktorsimulation, Simulation verschiedener Umformprozessen, Kühl- und Heizungssysteme, Crashversuche, usw.
- **Biologie:** Ökosysteme, Schadstoffmigration, usw.
- **Medizin:** Simulation der Wirkung von Medikamenten, Blutkreislaufsimulation, Ausbreitung von Krankheiten/Epidemien, usw.
- **Informatik und Nachrichtentechnik:** Simulation neuronaler Netze, Computerarchitekturen, Kommunikationsnetze, usw.
- **Volkswirtschaftslehre:** Mitgliederwanderungen von Krankenkassen, Arbeitslosigkeitssimulation, usw.)

2.1.5 Simulationsansätze generell

Simulationsansätze können aufgrund folgender Hauptkriterien unterteilt werden:

- Änderung der Parameter im Zeitablauf (statisch oder dynamisch)
- Art der Zustandsübergänge (diskret oder kontinuierlich)
- Änderung der Zustandsvariablen (zeit- oder ereignisorientiert)
- Beschreibbarkeit des Systems (deterministisch oder stochastisch)
- Detaillierungsgrad (makroskopisch, mesoskopisch, mikroskopisch)

Die Klassifikation der Simulationsmodelle wird in der Abb. 2.4 schematisch dargestellt. Die Simulation hat immer eine dynamische Komponente.

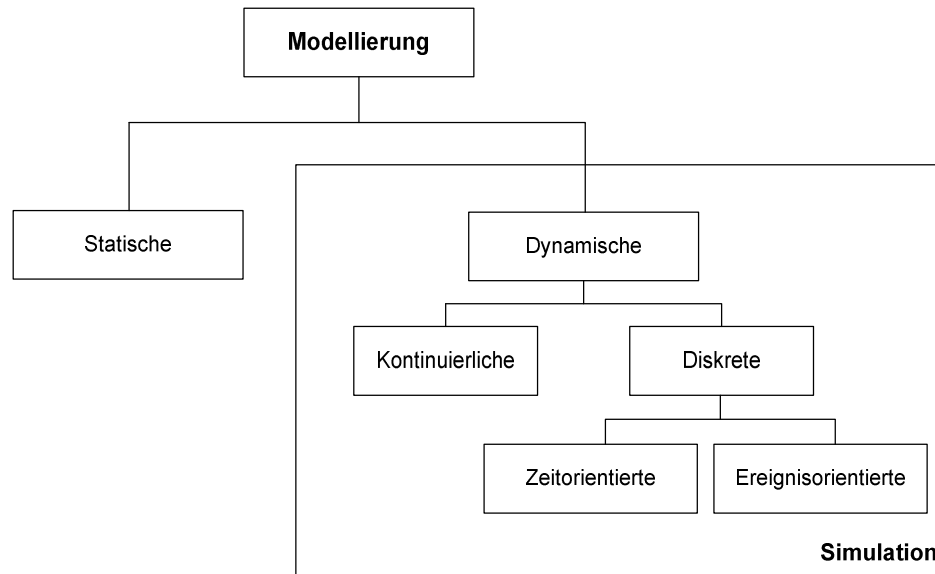


Abb. 2.4 Klassifikation der Simulationsansätze

Statisch vs. Dynamisch

In einem statischen Modell spielt die Zeit keine Rolle. Das Modell ist statisch, d.h. es betrachtet nur einen Zeitpunkt, weil die Parameter des Systems im Zeitablauf konstant sind.

In den dynamischen Modellen hingegen spielt die Zeit eine wesentliche Rolle. Der Zustand des modellierenden Systems ändert sich mit der Zeit: ein aktueller Zustand $z(t_1)$ wird eindeutig durch den Anfangszustand $z(t_0)$ und den zeitlichen Verlauf der Eingangsgrößen im Zeitintervall (t_0, t_1) festgelegt (Bossel, 1992). Es werden Modelle nichtstationärer Prozesse oder Veränderungen von stationären Prozessen abgebildet.

Diese Arbeit konzentriert sich auf die Betrachtung und Untersuchung von dynamischen Modellen, respektive Simulation.

Kontinuierlich vs. Diskret

In der kontinuierlichen Simulation werden die Systeme mit Hilfe von gekoppelten Differenzialgleichungen dargestellt. Es entsteht der Eindruck, dass ein stetiger Fluss generiert wurde. In Wirklichkeit sind es aber ganz kleine, diskrete Schritte, welche für das Auge eine kontinuierliche Wahrnehmung generieren.

Die Kennzeichen dieses Simulationsansatzes sind kontinuierliche Verläufe über die Zeit, sowohl für unabhängige als auch für abhängige Variablen (Cellier, 1991). Zeitkontinuierliche Modelle sind dadurch gekennzeichnet, dass sich die Werte ihrer Zustandsvariablen innerhalb eines endlichen Zeitintervalls unendlich oft ändern (siehe Abb. 2.5).

Die diskrete Simulation steht im Gegensatz zur kontinuierlichen Simulation. Bei diesem Simulationsansatz werden endlich viele Zustandsänderungen betrachtet. Er zeichnet sich dadurch aus, dass die Modellvariablen ihre Werte nur zu bestimmten Zeitpunkten ändern können (zeitdiskret) und die Modellzustände klar voneinander abgegrenzt sind (zustandsdiskret). So werden bei der Bearbeitung eines Werkstücks an einer Maschine nur der Start- und der Endzustand simuliert, Zwischenzustände während der Bearbeitung dagegen nicht (siehe Abb. 2.5).

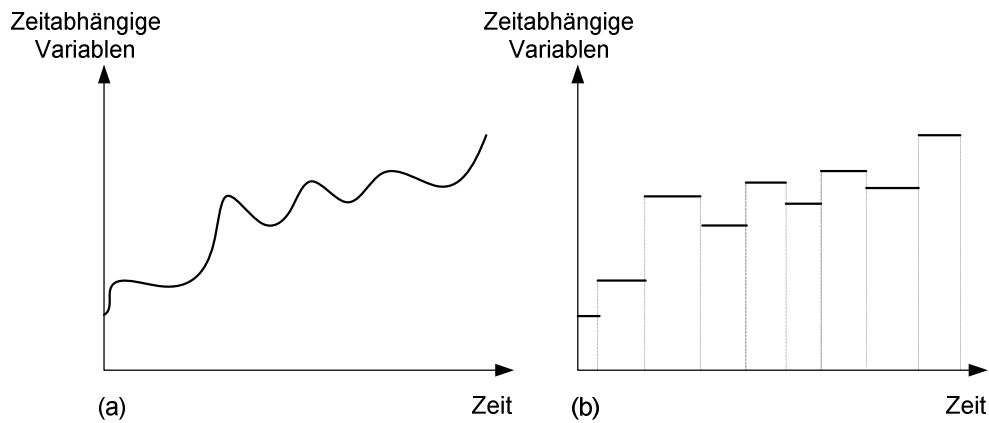


Abb. 2.5 Kontinuierliche und diskrete Änderung von Variablen

Bei diskreten Systemen wird zwischen zeitorientierten und ereignisorientierten Modellen unterschieden.

Zeit- vs. ereignisdiskretes Modell

Ereignisdiskrete Modelle sind dadurch gekennzeichnet, dass sich die Werte ihrer Zustandsvariablen innerhalb eines endlichen Zeitintervalls nur endlich oft ändern.

Zeitdiskrete Modelle sind dadurch gekennzeichnet, dass sich die Werte ihrer Zustandsvariablen ausschließlich zu bestimmten, à-priori bekannten Zeitpunkten ändern können.

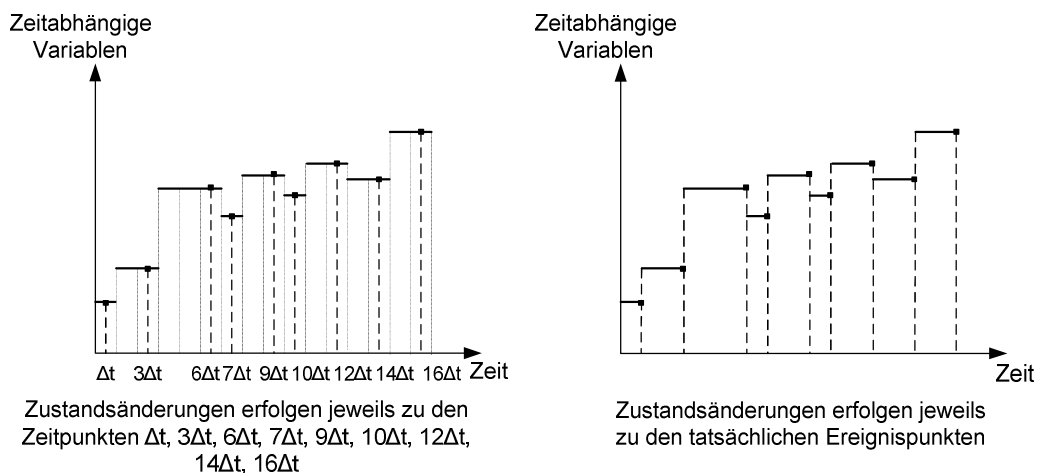


Abb. 2.6 Zeit- und ereignisorientierte Simulation

Zeit- und ereignisorientierte Modelle können noch weiter unterteilt werden (Arnold, Isermann, Kuhn, Tempelmeier, 2004) (siehe Abb. 2.7).

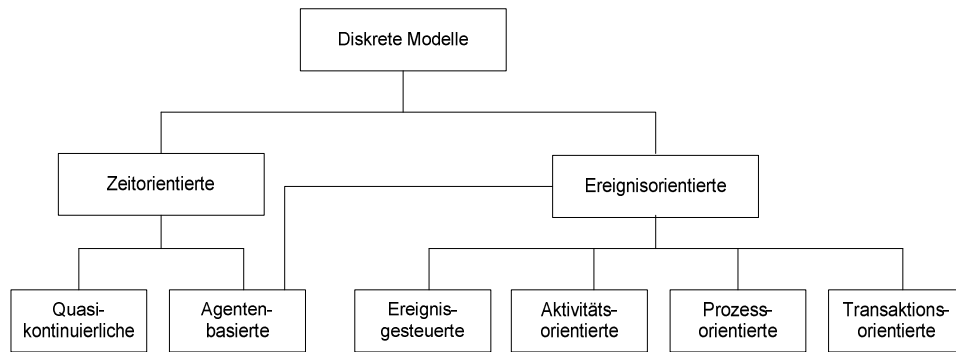


Abb. 2.7 Klassifikation von diskreten Modellen

Während die quasikontinuierliche Simulation auf dem zeitorientierten Ansatz beruht, kann die agentenbasierte Simulation (oder Multi-Agenten Simulation) sowohl auf dem zeitorientierten oder dem ereignisorientierten Ansatz basieren. Die ereignisgesteuerten, prozessorientierten, aktivitätsorientierten und transaktionsorientierten Ansätze wiederum basieren auf dem ereignisorientierten Ansatz. Im Nachfolgenden werden die einzelnen Ansätze näher beschrieben.

- Beim **quasi-kontinuierlichen** Ansatz schreitet die Zeit um einen genau definierten Zeitsprung voran. Die Zustandsänderung wird erst nach dem Weiterschreiten der Zeit durchgeführt.
- Die **agentenbasierte Simulation** wendet das Konzept der Multi-Agenten-Systeme in der Simulation an (Davidsson, Henesey, Ramstedt, Törnquist, Wernstedt, 2005). Bei einem Multi-Agenten System handelt es sich um ein System aus mehreren gleichartigen oder unterschiedlich spezialisierten handelnden Einheiten, die kollektiv ein Problem lösen. Aktive Komponenten des zu untersuchenden Systems werden als Agenten betrachtet, deren Verhalten einzeln spezifiziert wird. Damit können insbesondere spontane Phänomene und dynamische Wechselwirkungen zwischen Agenten nachgewiesen werden. Beispielsweise ein Fahrzeug (bewegliche Einheit) in der Verkehrssimulation ist ein Agent mit seinen Eigenschaften: Geschwindigkeit, Beschleunigungs-/Verzögerungsverhalten, Grösse, Ziel der Fahrt, usw. Mehrere Agenten können Gruppen bilden wie z.B. die Strassenspurreihegruppen. In der Transportsimulation können die Agenten Transporteinheiten und Ladeeinheiten darstellen. Das Simulationssystem beinhaltet in dem Fall eine Menge von Agenten und berücksichtigt die Beziehungen zwischen diesen. Multi-Agenten Simulationen sind sehr verbreitet in den Bereichen Biologie, Soziologie, Physik, Logistik bzw. Transportlogistik und bei Evakuierungsanalysen.
- Im **ereignisgesteuerten Modell** werden Zustandsänderungen, die zu bestimmten Ereigniszeitpunkten stattfinden, in Form einer Ereignisliste betrachtet. Das Ereignis mit dem frühesten Zeitpunkt wird ausgeführt, wobei allenfalls Folgeereignisse in die Ereignisliste eingefügt werden. Sind mehrere Ereignisse vorhanden, werden sie in ihrer zeitlichen Reihenfolge abgearbeitet.
- Die **aktivitätsorientierte Methode** basiert auf einer Vielzahl von Aktivitäten. Periodisch wird überprüft, welche Aktion ausgeführt werden muss.
- Im **prozessorientierten Modell** werden die auf ein Objekt bezogenen Aktivitäten zu einem Prozess zusammengefasst. Prozesse können sich selber deaktivieren und andere Prozesse auslösen, so dass die Ausführungsreihenfolge entsprechend dem ereignisorientierten Modell ist. Allerdings kann die Struktur im prozessorientierten Modell leichter beschrieben werden, während die Ausführung schwieriger zu realisieren ist (Raffel, 2001).
- Das **transaktionsorientierte Modell** zeichnet sich dadurch aus, dass es neben Objekten mit fest vorgegebenen Funktionen Transaktionen gibt, die auf ihrem Weg durch die einzelnen Stationen verändert werden (Raffel, 2001).

Deterministisch vs. Stochastisch

Ein Beispiel der deterministischen und stochastischen Systeme wird in Abb. 2.8 dargestellt (Biederbick, 2006).

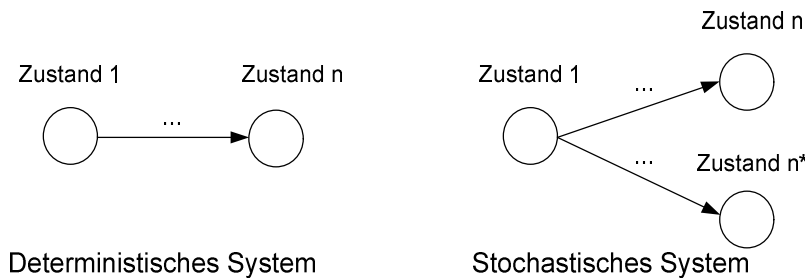


Abb. 2.8 Deterministische und stochastische Systeme

Bei der deterministischen Simulation ergibt sich der neue Zustand des Systems eindeutig aus dem vorherigen Zustand und der verbindenden Aktivität. Beispielsweise ist die Simulation eines Transports von Transporteinheiten zwischen Lager und Betrieb normalerweise deterministisch, da die Anzahl der Transporteinheiten, welche der Betrieb braucht, exakt bekannt ist.

Die Angaben der stochastischen Simulation sind statistischer Art, aus denen sich für die Ergebniswerte lediglich Wahrscheinlichkeitswerte erreichen lassen. Dies bedeutet, dass aus einem Ausgangszustand bei gleicher Aktivität mehrere Folgezustände resultieren können. Die Modellierung stochastischer Größen spielt bei der Simulation eine zentrale Rolle. Beispiele der stochastischen Angaben in den Verkehrssystemen sind zum Beispiel die Wahrscheinlichkeitsverteilungen der Verkehrsströme an den Kreuzungen des Verkehrsnetzes (soweit diese nicht aus Erhebungen oder Nachfragematrizen bekannt sind).

Wie schon erwähnt gibt es diverse Simulationsansätze. In der Praxis werden diese Ansätze nicht separat sondern kombiniert eingesetzt. Als Beispiel ist hier die diskrete Simulation unter Verwendung des ereignisorientierten Modells, kurz auch Diskrete Ereignissimulation genannt, die sehr weit verbreitet ist. Dabei werden Zustände durch Ereignisse geändert, gleichzeitig bleiben aber Zustände zwischen anderen Ereignissen unverändert.

Die Klassifizierung in deterministische und stochastische Simulationen bereitet Schwierigkeiten bzw. die Abgrenzung ist schwierig. Ein Modell enthält normalerweise sowohl deterministische als auch stochastische Elemente, bzw. statische und dynamische Elemente. Die Dynamik liegt in der Zeitabhängigkeit.

Mikroskopisch vs. Makroskopisch

Simulationsmodelle können auch nach ihrem Detaillierungsgrad klassifiziert werden, wobei in der Literatur 3 Klassen unterschieden werden (Lieberman, Rathi ohne Datum):

- Mikroskopisch (hoher Detaillierungsgrad)
- Mesoskopisch (mittlerer Detaillierungsgrad)
- Makroskopisch (geringer Detaillierungsgrad)

Mikroskopische Modelle beschreiben die Logistik- oder Verkehrssystemelemente und die Interaktionen in einem hohen Detaillierungsgrad. Zum Beispiel werden in einem Verkehrssystem die einzelnen Fahrzeuge, ihr Verhalten und die Interaktionen zwischen sich folgenden Fahrzeugen abgebildet.

Mesoskopische Modelle beschreiben die Logistik- oder Verkehrssystemelemente in einem hohen Detaillierungsgrad aber die Aktivitäten und Interaktionen in einem weniger hohen Detaillierungsgrad als im mikroskopischen Modell. Zum Beispiel werden die Spurwechselvorgänge nicht mehr in Abhängigkeit des individuellen Fahrverhaltens und den Interaktionen zwischen umgebenden Fahrzeugen stattfinden, sondern aufgrund von relativen Verkehrsdichten berücksichtigt. Ein weiteres Beispiel aus dem Verkehrsbereich: Bei

mesoskopischen Modellen werden (im Gegensatz zur Mikrosimulation) keine Einzelfahrzeuge mehr unterschieden, jedoch Fahrzeugklassen, also Fahrzeuggruppen, welche ein ähnliches Verhalten aufweisen. Weiter werden hier die makroskopischen Grössen (Verkehrsstärke, Verkehrsdichte und mittlere Geschwindigkeit) spurspezifisch berechnet. Dabei werden unter anderem auch Spurwechselvorgänge berücksichtigt. Je nachdem, ob nur Fahrzeugklassen oder Fahrzeugklassen und Fahrspuren unterschieden werden, spricht man von "multiclass" oder "multiclass-multilane" Modellen.

Makroskopische Modelle beschreiben die Logistik- oder Verkehrssystemelemente in einem geringen Detaillierungsgrad. Zum Beispiel werden Verkehrsströme nur noch in aggregierter Form dargestellt (Verkehrsstärke, Verkehrsdichte, mittlere Geschwindigkeit).

Modelle mit einem hohen Detaillierungsgrad sind im Vergleich zu Modellen mit einem geringen Detaillierungsgrad teurer in Aufbau, Durchführung und Unterhalt. Dafür besitzen sie ein grösseres Potential, um die Logistik- und Verkehrsprozesse genauer abzubilden. Dies kann jedoch aufgrund der Komplexität und der grossen Anzahl zu kalibrierender Parameter nicht immer realisiert werden.

Modelle mit einem geringen Detaillierungsgrad können einfacher und kostengünstiger entwickelt werden. Sie tragen das Risiko das die Abbildung der Realität zuwenig präzise, zuwenig gültig oder vielleicht sogar mangelhaft ist. Makroskopische Modelle sind insbesondere dann geeignet, wenn:

- die Resultate eine geringe Sensitivität haben in Bezug auf mikroskopische Details
- der Umfang der Anwendung nicht im Einklang ist mit der längeren Durchführungszeit
- die Modellaufbauzeit und die finanziellen Ressourcen limitiert sind.

In Abhängigkeit der Fragestellung und der Ressourcen muss entschieden werden, auf welcher Detaillierungsstufe simuliert werden soll.

2.1.6 Simulationsansätze in der Logistiksimulation

Logistik

Unter dem Begriff „Logistik“ versteht man die Planung, Ausführung und Steuerung der Bewegung und Bereitstellung von Personen und/oder Waren und der unterstützenden Tätigkeiten in Bezug auf diese Bewegung und Bereitstellung innerhalb eines zum Erreichen spezieller Ziele organisierten Systems (EN 14943, 2005). Logistik beinhaltet damit sowohl Material- wie auch Personenflüsse.

Logistik ist eine ganzheitliche und integrierte Planung, Steuerung, Durchführung und Kontrolle aller Güter- und dazugehöriger Informationsströme von der Beschaffung der Roh- und Einsatzstoffe beim Lieferanten über die Produktion bis hin zu der Verteilung der Erzeugnisse an den Kunden (Bullinger, 1994). Ziel der Logistik ist es, die Güter in der benötigten Menge, Qualität und Zusammensetzung zu der richtigen Zeit, möglichst günstig und zuverlässig am richtigen Bedarfsort verfügbar zu machen (Jünemann, Schmidt, 1999). Dazu betrachtet man in der Logistik ein ganzheitliches System und ermöglicht eine Abstimmung zwischen dem physischen Materialfluss, dem benötigten Informationsfluss und dem Zusammenhang der beteiligten Betriebsmittel und Personen (Motta, Riha, Weidt, 2004).

Die Logistik kann in sechs Bereiche unterteilt werden:

- Beschaffungslogistik
- Produktionslogistik
- Distributionslogistik
- Entsorgungslogistik
- Transportlogistik
- Supply Chain Management

Die Zusammenhänge zwischen den Bereichen der Logistik sind in Abb. 2.9 dargestellt. Darin nicht aufgeführt ist das Supply Chain Management, da es übergreifend alle ande-

ren Bereiche beinhaltet, aber nicht auf den einzelnen Betrieb, sondern auf das Wechselspiel zwischen den Betrieben in der Versorgungskette fokussiert ist.

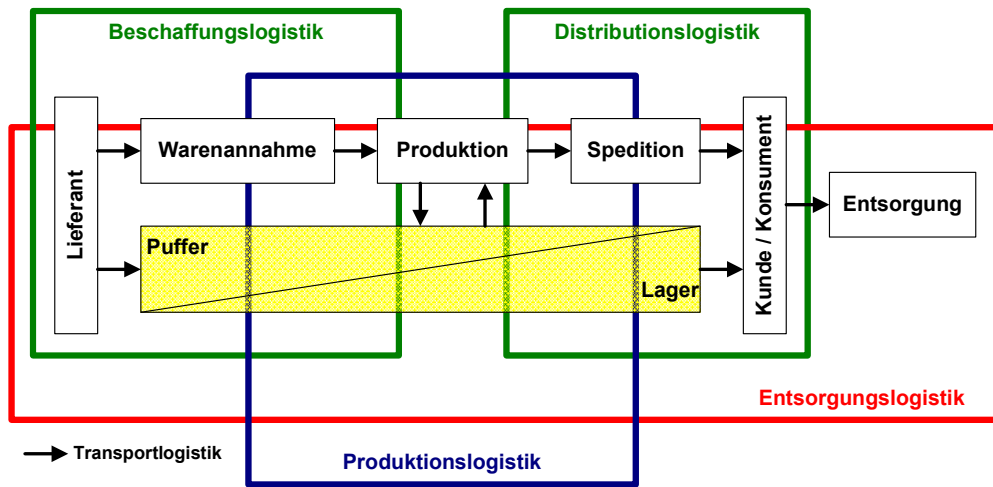


Abb. 2.9 Bereiche der Logistik

Die **Beschaffungslogistik** befasst sich bezogen auf ein Unternehmen mit der Gestaltung, Durchführung und Steuerung von Versorgungsprozessen mit betriebsfremden Bedarfsgütern. Die Beschaffungslogistik beinhaltet Transformationsprozesse der Güter zwischen der Bereitstellung in einer Beschaffungsquelle (Warenausgang Zulieferer) und die Bereitstellung zur zweckbestimmten Verwendung im Unternehmen (Wareneingang) hinsichtlich Menge, Zusammensetzung, Ort und Zeit, die durch einen Informationsfluss zwischen dem Unternehmen, den Operateuren (z.B. Spedition) und dem Lieferanten gesteuert werden (Motta, Riha, Weidt, 2004). Die Beschaffungslogistik betrachtet keine Materialflussprozesse im Unternehmen. Sie endet mit der Bereitstellung der Materialien zur Weiterverwendung (Jünemann, Schmidt, 1999).

Der Begriff **Produktionslogistik** bezeichnet die Planung, Steuerung und Kontrolle der innerbetrieblichen Transport-, Umschlag- und Lagerprozesse für die Herstellung von Gütern. Ziel der Produktionslogistik ist die Optimierung der innerbetrieblichen Transformationsprozesse des Materials bezüglich Ort, Zeit, Zusammensetzung, Qualität, Wert, usw. und der zugehörigen Informationsflüsse zwischen den Produktionsstellen und dem Warenausgang (Motta, Riha, Weidt, 2004).

Die **Distributionslogistik** umfasst die Verteilung der Güter, der Fertigprodukte und der Handelswaren von einem Unternehmen zu den Kunden. Sie beginnt am Warenausgang des Unternehmens und endet mit dem Wareneingang bei den Kunden. Hier werden die Transformationsprozesse bezüglich Zeit, Kosten, Orten und Mengen optimiert (Delfmann, 1999).

Die **Entsorgungslogistik** beinhaltet alle logistischen Massnahmen und Tätigkeiten, die sich auf die Verwendung, Verwertung und geordneten Beseitigung der Entsorgungsobjekte beziehen (Jansen, Berken, Kötter, 1998). Die Entsorgungslogistik grenzt sich von anderen logistischen Subsystemen wie der Beschaffungslogistik, Produktionslogistik und Distributionslogistik vor allem in Bezug auf den Objektbereich ab. Die Beschaffungs-, Produktions- und Distributionslogistik beziehen sich vor allem auf Produktionsgüter. Die Entsorgungslogistik konzentriert sich hingegen auf die in den Beschaffungs-, Produktions- und Distributionsprozessen anfallenden Rückstände (z.B. Verpackungen, Schrott, Abfälle).

Die **Transportlogistik** befasst sich mit reinen Verkehrs- und Transportprozessen zur Beförderung von Waren, Gütern und Objekten. Im eigentlichen Sinne beschäftigt sie sich mit der physikalischen Bewegung von Gütern, Materialien, Waren und Personen zwi-

schen verschiedenen Orten innerhalb von Logistiknetzwerken. Die Transportlogistik verbindet alle anderen Bereiche der Logistik, wie Beschaffungs-, Produktions-, Distributions- und Entsorgungslogistik und führt die Transporte innerhalb des Betriebes als auch zwischen den Betrieben und Kunden durch.

Supply-Chain-Management umfasst Aktivitäten und Maßnahmen zur Planung, Organisation und Kontrolle der stofflichen, juristischen, kommerziellen und strategischen Beziehungen von in einer Wertschöpfungskette durch Produktions- und Lieferverbindungen miteinander verflochtenen Instanzen (umfasst Unternehmen und Unternehmensbereiche) (Ammoser, Hoppe, 2006).

Simulationsansätze

Die Simulation als Werkzeug zur Beherrschung logistischer Fragestellungen wird seit Beginn der 90er Jahren vermehrt auch in der Schweiz eingesetzt. Zum Einsatz kommen, nebst Simulationssprachen (GPSS, Simsript, ...), vor allem interaktive, graphische und anwendungsspezifische Modellierungs- und Simulationssysteme (Plant Simulation, Pro-Model, Arena, ...). Diese Systeme bauen auf einem ereignisorientierten Ansatz auf und gelten als diskrete Simulatoren. Diskrete Simulatoren werden eingesetzt in zeitkritischen Problemen der Fabrikplanung, der Transportlogistik und der Personenflussplanung.

Als Verfeinerung der diskreten Ereignissimulation hat sich in jüngster Zeit die agentenbasierte Simulation entwickelt (Davidsson, Henesey, Ramstedt, Törnquist, Wernstedt, 2005). Damit lassen sich komplexe Systeme modellieren, die aus mehreren miteinander und mit ihrer Umwelt interagierenden Entitäten bestehen. Agentenbasierte Simulatoren erlauben die Abbildung von komplexen Materialflüssen sowie Verkehrs- und Personenflüssen, wobei die am System beteiligten Agenten (Verkehrsteilnehmer) selbstständig Handlungen ausführen, ihre Umgebung wahrnehmen und darauf reagieren und interagieren.

Bisher wurden in der Schweiz vor allem Projekte auf Basis ereignisorientierter Simulatoren zur Transport- und Tourenplanung durchgeführt. Dabei wird das Planungsoptimum z.B. mittels genetischer Algorithmen über tausende von Simulationsläufen gesucht. Das Verfahren hat sich in verschiedenen Projekten bewährt, wie zum Beispiel im Transport-simulators der armasuisse. Nebst der Tourenplanung wird die Logistiksimulation auch in der Verkehrssimulation zur Planung und Visualisierung von neuen Verkehrsanlagen und der Planung des Verkehrsaufkommens bei Baustellen eingesetzt. Die Logistiksimulation wurde auch für spezifische Fragestellungen im Bereich Rampensteuerungen und Materialflussverteilungen für grosse Verteilzentren eingesetzt.

2.1.7 Simulationsansätze im Verkehr

Verkehr

Verkehr ist die Bewegung von Personen, Gütern und Nachrichten in einem definierten System (Ammoser, Hoppe, 2006). Dabei werden Einheiten entlang von Kanten eines Netzwerkes oder auf Routen einer Verkehrsinfrastruktur bewegt. Ein Verkehrsbedürfnis entsteht als Folge räumlicher Trennung von Aktivitäten. Beim Personenverkehr sind es soziale Aktivitäten (Wohnen, Arbeiten, Bilden, Erholen). Beim Güterverkehr sind es wirtschaftliche Aktivitäten wie Produzieren, Lagern, Umschlagen, Verkaufen, etc.

Zur Lösung von Gütertransportproblemen werden Transportketten aufgebaut. Diese können definiert werden als Folge von technisch und organisatorisch verknüpften Vorgängen, bei welchen Güter von einem Versender zu einem Empfänger transportiert werden.

Die wichtigsten Bestandteile eines Gütertransportsystems sind das Transportgut, die Transportmittel, der Verkehrsträger und der Transportprozess.

Im Zusammenhang mit Simulationsmodellen sind folgende Strukturierungen relevant:

- Nach Infrastruktur bzw. Verkehrsträger:
 - Strassenverkehr
 - Schienenverkehr
 - Luftverkehr
 - Schifffahrt
 - (Rohrleitung)
- Nach Verkehrsart:
 - motorisierter Individualverkehr
 - Langsamverkehr
 - öffentlicher Verkehr
- Nach Transportgut:
 - Personenverkehr
 - Güterverkehr
 - (Nachrichten)
- Nach Transportketten:
 - Monomodaler Verkehr ungebrochen oder gebrochen (z.B. mit Umschlag zwischen grossen und kleinen Fahrzeugen)
 - Intermodaler Verkehr unter Nutzung von zwei Verkehrsträgern (am Umschlagpunkt immer gebrochen)
 - Multimodaler Verkehr unter Nutzung von mehr als zwei Verkehrsträgern (am Umschlagpunkt immer gebrochen)
- Nach Verpackungsart:
 - Gebinde (Kisten, Säcke, Flaschen, Fässer)
 - Palette
 - Rollcontainer
 - Transportbehälter

Ein Sonderfall ist der Kombinierte Verkehr bei welchem der Umschlag ausschliesslich in standardisierten Behältern erfolgt (Container, Wechselbehälter, Sattelaufleger), wobei das Transportgut im Behälter verbleibt.

Für Kapazitäts- und Optimierungsfragen in einem Verkehrsnetz ist in der Regel der Gesamtverkehr massgebend. Je nach Fragestellung kann jedoch eine Beschränkung z.B. auf einzelne Verkehrsträger erfolgen (z.B. Schienenverkehr oder Luftverkehr). Je nach Fragestellung und Betrachtungsweise ist die richtige Kombination bzw. Abgrenzung zu bestimmen.

Simulationsansätze

Die ersten dynamischen Simulationen gehen auf die 50er Jahre des letzten Jahrhunderts zurück, als zum ersten Mal der Verkehr auf Autobahnen in den Vereinigten Staaten abgebildet wurde (Pursula, 1999). Während der letzten 50 Jahre hat sich die Simulation im Verkehrswesen von einem reinen Forschungswerkzeug zu einer breit angewendeten Technologie weiterentwickelt. Die treibenden Kräfte waren die Fortschritte in der Verkehrstheorie, die Verbesserung der Leistungsfähigkeit der Computer, die Entwicklungen in der Informationstechnologie sowie der steigende Bedarf nach aussagekräftigen Auswirkungenanalysen von verkehrlichen Massnahmen (Pursula, 1999). Ein wichtiger Hintergrund war auch der Wunsch und die Notwendigkeit einer Abbildung von dynamischen Verkehrsabläufen und der simultanen Interaktionen zwischen den Verkehrsteilnehmern. Diese dynamischen Simulationen bilden die einzelnen Verkehrsteilnehmer interaktiv ab und sind für kleine Verkehrsnetze, zum Teil auch für mittlere und grosse Verkehrsnetze verwendbar. Diese Simulationen sind fahrzeugbasiert.

Klassifizierungen von Simulationswerkzeugen unterscheiden zwischen mikroskopischen, mesoskopischen und makroskopischen sowie zwischen kontinuierlichen und diskreten Ansätzen (vgl. auch Kap. 2.1.5). Problemorientiert wird zwischen Knoten-, Strecken- und Netzsimulationen unterschieden. Neuere Entwicklungen in der Simulation schliessen

agentenbasierte Ansätze, zellulare Automaten (Schreckenberg 2002, Esser 1997, HEUREKA 2005) und fuzzy-logik mit ein (Pursula 1999, HEUREKA 2005). Die meisten Simulationstools sind für die Abbildung von spezifischen Fragestellungen entwickelt worden (z.B. Abbildung Verkehrsflüsse, Abbildung von Warteschlangen und Stau, Verkehrsabläufe an Knoten bzw. in Strassennetzen, Bestimmung Fahrplan und Betriebskonzepte Eisenbahn, Abbildung von Umschlaganlagen, Abbildung des Einflusses von Verkehrsmanagement und Verkehrstelematik auf Verkehrsflüsse). Es gibt aber auch Simulationstools, die sich allgemein für die Infrastruktur- und Betriebsplanung von Verkehrsnetzen eignen (z.B. Aimsun, VISSIM).

Zur Verbesserung der klassischen Verkehrsmodelle (Mehrschrittmodelle wie VI-SEM/VISUM, EMME/2, Polydrom, CUBE, etc.) wurden in den letzten Jahren dynamische Umlegungsverfahren entwickelt, welche bei hoch ausgelasteten Verkehrsnetzen realistischere Ergebnisse liefern (M. Friedrich, P. Vortisch, 2005). Solche Modelle (z.B. Dynameq) nehmen in Bezug auf statische und dynamische Modelle eine Zwischenstellung ein. Dies sind jedoch keine eigentlichen Simulationsinstrumente.

In der klassischen Verkehrsplanung werden Mikrosimulationen eingesetzt, die als Inputdaten Verkehrsnetze sowie die Verkehrsnachfrage aus statischen Verkehrsmodellen oder Zählraten verwenden. Heute haben in Europa für den Strassenverkehr die Simulationstools VISSIM und AIMSUN eine gewisse Verbreitung gefunden. Ein weiteres Simulationsmodell mit vergleichbarem Simulationsansatz ist PARAMICS (www.paramics-online.com). In den USA ist vor allem TRANSIMS weit verbreitet. Die Anwendungen in der Schweiz konzentrieren sich heute auf Massnahmenplanungen für Knoten und Teilnetze (z.B. Kreisel, LSA-Steuerungen, ÖV-Priorisierung, Dosierungssysteme, etc.), bei welchen der Betriebsablauf eine zentrale Rolle spielt. Güterverkehrsspezifische Anwendungen erfolgten unter anderem für die Dosierung des Schwerverkehrs am Gotthard, für ein Reservationssystem am Gotthard und für Abbildung der Verkehrsabläufe an der Landesgrenze und bei Schwerverkehrszentren. Simulationswerkzeuge werden zunehmend auch für Auswirkungsanalysen von Telematikanwendungen eingesetzt. Auf der Schiene werden für die Infrastrukturplanung, Betriebskonzepte und Fahrpläne Simulationen angewendet. In der Schweiz am meisten verbreitet ist OpenTrack.

Bei den Verkehrssimulationen dominieren diskrete, zeitorientierte Simulationsansätze, bei welchen die Verkehrsteilnehmer (Fahrzeuge, Personen) mikroskopisch abgebildet werden. Wichtige Inputdaten sind Angebot (Netze, Fahrpläne, Regelstrategien etc.) und die Nachfrage. Wichtige Outputdaten sind Belastungen, Auslastungen von Verkehrsnetzen, Fahrzeiten, Fahrpläne etc. sowie die Stabilität von Verkehrs- und Betriebszuständen. Die eingesetzten Simulationstools haben sich in verschiedenen Anwendungen bewährt (vgl. dazu später).

2.2 Stand der Simulationstechnik

2.2.1 Entwicklung der Logistiksimulation

Die Logistiksimulation wurde vor ca. 30 Jahren eingeführt. Aufgrund der limitierten Rechnerkapazitäten waren die Einsatzgebiete in den ersten Jahren noch eingeschränkt. In der letzten Zeit ist zu beobachten, dass immer detailliertere und umfangreichere Modelle erstellt werden. Die zunehmende Marktsättigung und Konkurrenzsituation in der Wirtschaft führt dazu, dass die Bedeutung der Logistik und auch der Logistiksimulation stetig steigt. Logistiksimulation wurde zu einem wesentlichen Punkt, in welchem sich ein Unternehmen noch von anderen Unternehmen unterscheiden kann.

Eine Web-Recherche hat gezeigt, dass für den Begriff „Logistiksimulation“ mehr als 1000 Resultate aufgelistet werden. Zum Thema Logistiksimulation werden regelmässig diverse Konferenzen und Workshops durchgeführt, beispielsweise:

- EUROSIM Congress on Modelling and Simulation: www.eurosim2007.org
- Winter Simulations Konferenz (1995-2006): www.wintersim.org

Es existieren Arbeitsgemeinschaften, welche sich dem Thema Logistiksimulation widmen.

Zu den wichtigsten dieser Arbeitsgemeinschaften gehören:

- Arbeitsgemeinschaft Simulation (ASIM): www.asim-gi.org
- Nationales Kompetenznetz "Integrale Produktion und Logistik" der Fachhochschulen der Schweiz (IPLnet): www.iplnet.ch

Im Internet sind auch ganze Linksammlungen zum Thema Logistiksimulation erhältlich.

- Links zu Simulationen: www.isima.fr/ecosim/simul/simul.html
- Linksammlung von Simulationen, bzw. Logistiksimulationen: www.simul8.com/support/simulation_links/

Im Folgenden soll der Stand der Logistiksimulationstechnik nach den folgenden Kriterien unterteilt und untersucht werden:

- Einsatzbereiche der Logistiksimulation
- Simulationswerkzeuge

Einsatzbereiche der Logistiksimulation

Im Folgenden wird der Stand der Logistiksimulation bezogen auf die Bereiche Supply Chain Management, Beschaffungs-, Produktions-, Distributions- und Transportlogistik beschrieben. Supply Chain Management beinhaltet eigentlich auch alle anderen Bereiche, ist aber nicht auf den einzelnen Unternehmen, sondern auf das Wechselspiel zwischen den Unternehmen in der Versorgungskette fokussiert (vgl. Abschnitt 2.1.6).

Idealerweise sollte zunächst die Supply Chain optimiert werden. Dies beinhaltet Optimierung der Standorte und Transportwege sowie den Abgleich der Kapazitäten zwischen den Betrieben. Danach können die einzelnen Betriebe in den Bereichen Beschaffungs-, Produktions-, Distributions- und Transportlogistik detaillierter untersucht werden. Dieses Vorgehen ist aber noch nicht weit verbreitet, sondern es wird heute in der Regel nur ein einzelner Bereich simuliert.

- **Supply Chain Management:** Supply Chain Management wurde in den letzten Jahren zu einem der wesentlichen Bereiche der Logistiksimulation. Es wurden dazu spezialisierte Simulationstools entwickelt. Im Bereich SCM gibt es auch Simulationsanwendungen (Bousonville, Hans, Schumacher, 1999). In dieser Arbeit wird die SCM-Aufgabe im Zusammenhang mit der Entsorgungslogistik simuliert.
- **Beschaffungslogistik:** Die Simulation der Beschaffungsprozesse spielt heute noch eine untergeordnete Rolle, obwohl die pünktliche und effiziente Anlieferung der Materialien und Waren den Produktionsprozess beeinflusst. Normalerweise werden die Beschaffungsprozesse nur in der Phase der Ankunft der Materialien und im Zusammenhang mit dem Auslagern simuliert.
- **Produktionslogistik:** Die Logistiksimulation spielt in der Produktionslogistik eine grosse Rolle. In diesem Bereich sind die Simulationsanwendungen weit verbreitet (Noche, Wenzel, 1991; Wenzel, Bernhard, Nickel, Hietel, Lavrov, Deersberg, Schwarze-Benning, Körner, Appelt, Hinrichs 2002). Die Anwendungen wurden ausführlich im Rahmen von Tagungen und Konferenzen widerspiegelt (siehe z.B. www.wintersim.org, www.eurosim2007.org, Tagungsbände zur Fachtagung von ASIM „Simulation in Produktion und Logistik“). Schwerpunkte der Logistiksimulation im Bereich Produktionslogistik sind (Wortmann, 2002):
 - Digitale Fabrik, zur ganzheitlichen Planung, Realisierung, Steuerung und laufenden Verbesserung aller wesentlichen Fabrikprozesse und -ressourcen in Verbindung mit dem Produkt (VDI-Richtlinie 3633, 2007)
 - Erarbeiten von Steuerungsstrategien für verschiedenen Betriebsprozesse, z.B. Fließfertigung vs. Arbeitsplatzfertigung
- **Distributionslogistik:** Die Distributionslogistik wird hauptsächlich im Zusammenhang mit Supply Chain Management angewandt. Im Vergleich mit der Produktionslogistik hat sie wesentlich weniger Simulationsanwendungen.
- **Transportlogistik:** Themen der Logistiksimulation im Bereich der Transportlogistik sind die Optimierung der Transportmengen, -kosten und -zeiten zur Steigerung der Effizienz des gesamten Unternehmens. Es existieren einige Simulationsanwendungen und tendenziell ist eine Zunahme der Anzahl Anwendungen und der Bedeutung der

Transportlogistik in der Logistiksimulation zu beobachten. Da die Transportlogistik eine wichtige Rolle für unsere Untersuchung spielt, wird dieser Teil in Abschnitt 2.2.2 detaillierter betrachtet.

Simulationswerkzeuge

Es gibt eine Vielzahl von Werkzeugen für die Logistiksimulation, welche sich in Bezug auf die Allgemeingültigkeit und den Anwendungsbezug unterscheiden. In Abb. 2.10 sind die wichtigsten Werkzeuge gemäss diesen Kriterien aufgeführt. Die Werkzeuge, die heute nicht mehr existieren, sind darin rot markiert.

Meistens sind die Werkzeuge für die Logistiksimulation diskrete ereignisorientierte Simulatoren. Teilweise benutzt man auch allgemeine Programmiersprachen. Multi-Agenten-Simulatoren werden hauptsächlich im Bereich Transportlogistik eingesetzt (Graudina, Grundspenkis, 2005).

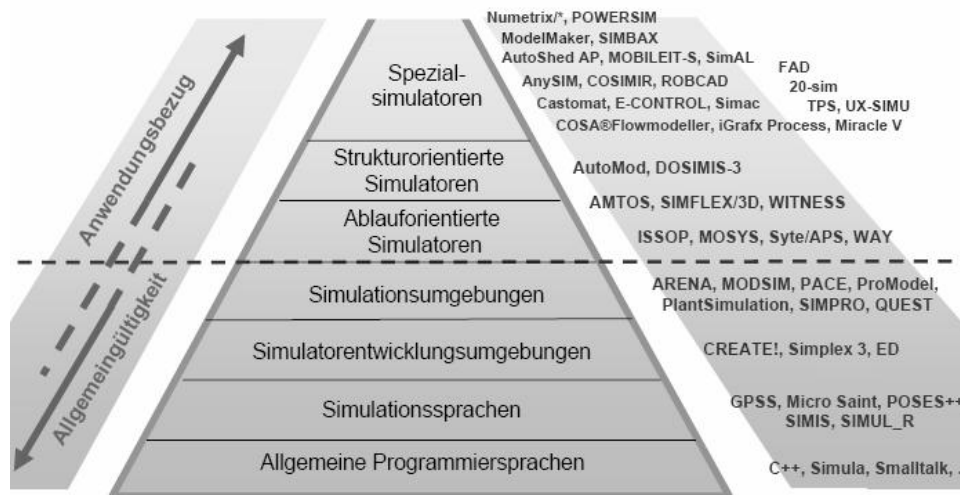


Abb. 2.10 Entwicklung der Logistiksimulationen (nach Wenzel, 2007)

Bei der Betrachtung der Abb. 2.10 sieht man, dass die Entwicklung der Werkzeuge im Bereich Logistiksimulation in die Richtung der Spezialsimulatoren geht. Das bedeutet, dass die Werkzeuge anwendungsorientierter sind und speziell für bestimmte Aufgabenstellungen entwickelt wurden.

2.2.2 Stand der Simulationstechnik im Bereich Transportlogistik

Die Transportlogistik im eigentlichen Sinne beschäftigt sich mit der physikalischen Beförderung von Gütern zwischen verschiedenen Orten innerhalb eines Logistiknetzwerkes.

Der Transport wird dabei durch einen Frachtführer oder durch einen Spediteur durchgeführt. Die Transportorganisation übernimmt der Spediteur oder ein Logistikdienstleister, der in der Regel zusätzliche Leistungen rund um die Transportlogistik anbietet. Die Konkurrenz in der Transportlogistik ist sehr gross, was ein Grund ist, dass die Kosten stetig sinken und sinken müssen. Hieraus ergeben sich Bestrebungen für eine Transportbündelung auf Langstrecken und bei der Distribution (Güterverkehrszentrum, Güterverteilzentrum). Dieser Teilbereich der Logistik ist durch die starke Differenzierung der Transportdienstleister, durch umweltpolitische Bestrebungen sowie vereinzelt durch Projekte der Stadtlogistik bedeutsam geworden.

Schwerpunkte der Logistiksimulation im Bereich Transportlogistik

Im Bereich Transportlogistik sind einzelne Simulationsanwendungen bekannt, z.B. für die Auto- und Maschinenbauindustrie (Wortmann, 2002).

Die Simulation hilft in diesen Bereichen folgende Aufgaben zu lösen:

- Planung eines Transportnetzwerks (z.B. wie, wohin, gelieferte Menge, mögliche Wege des Transports, usw.)
- Analyse der Transportprozesse in dem geplanten oder existierenden Transportnetzwerk (z.B. Anzahl von Kunden, Bedarfsmengen von Kunden, Arten des Artikels, Lieferzeiten, Transportwege, Transportkosten, usw.)
- Optimierung der Transporte bezogen auf Gefässgrössen, Touren, Lieferqualität (Zeit und/oder Kosten minimieren)

Die Planung eines Transportnetzwerkes soll immer durchgeführt werden, wenn mehrere Kunden beliefert werden sollen. Die Planung muss Anzahl und Bedarfsmengen von Kunden, Artikelsortiment, Lieferzeiten, Transportwege, Transportkosten usw. berücksichtigen. Die Simulation hilft, ein passendes Netzwerk aufzubauen und die Transportwege und Transportparameter (wie z.B. Lieferzeiten oder Transportkosten) zu optimieren.

Falls ein Transportnetzwerk bereits existiert, dann kann mit der Simulation die Funktionalität des Netzwerks überprüft (z.B. Engpässe finden) und optimiert werden (z.B. Lieferzeiten drastisch reduzieren).

Das Simulationsmodell ist eine Grundlage zur Beurteilung von konkreten Massnahmen zur Optimierung des Transportnetzwerkes. Auswirkungen von geplanten Massnahmen können im Simulator sichtbar gemacht werden. Nebst der Analyse des Netzwerks können verschiedene Situationen (z.B. Engpässe) unter Berücksichtigung dynamischer Einflussgrössen (Störungen, geänderte Kapazitäten, usw.) mit Hilfe der Simulation untersucht werden. Ausserdem können die verschiedenen Situationen und alternativen Lösungen nach mehreren Kriterien dargestellt und bewertet werden. Die Bewertung der Simulationsergebnisse basiert auf realen Kennzahlen, wie z.B. Lieferzeit, Lieferkosten und Änderungsflexibilität des Netzwerks.

Gruppierung der Aufgaben der Transportlogistik

Die Aufgaben der Logistiksimulation im Bereich Transportlogistik können anhand der Topologie eines Transportnetzwerkes (siehe Abb. 2.11) gruppiert werden. In der Abbildung ist ersichtlich, dass die wesentlichen Elemente eines Transportnetzwerkes Transportwege, Güterumschlagsplätze und Zwischenlager sind. In Tab. 2.1 sind die Aufgaben der Transportlogistik entsprechend gruppiert.

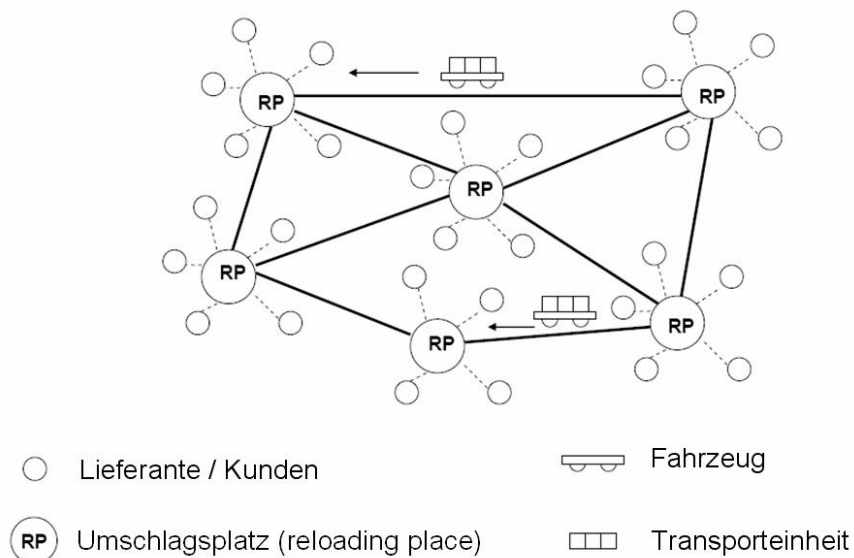


Abb. 2.11 Beispiel eines Transportnetzwerkes (Pawlaszczyk, 2006)

Tab. 2.1 Aufgaben der Logistiksimulation in der Transportlogistik

Transport	Güterumschlag	Zwischenlagerung
+ Transportmengenanalyse (z.B. kann Kundenbedarf erfüllt werden?) + Analyse von Transportflüssen bezüglich Kapazität zur Identifizierung von Engpässen + Suche nach kürzesten Wegen + Minimierung der Transportzeiten + Minimierung der Transportkosten + Zuverlässigkeit (Maximierung, Optimierung)	+ Analyse von Warteschlangen an den Umschlagsplätzen + Planung oder Überprüfung der Kapazität der Umschlagsplätze + Optimierung der Pufferkapazität des Umschlagsplatzes + Optimierung der Umschlagsreihenfolgen der Güter + Funktionalitätsanalyse der Umschlagsplätze (Verfügbarkeit der Kräne, Aufzüge, Personal usw.)	+ Überprüfung der Lagerkapazität + Lagermengenanalyse + Optimierung der Lagerzeiten und Kosten

Die einzelnen Elemente eines Transportnetzwerkes können nicht losgelöst voneinander betrachtet werden, da zwischen ihnen Zusammenhänge und Abhängigkeiten existieren, welche den gesamten Transportprozess beeinflussen. Die Aufgaben sollten deshalb immer gemeinsam gelöst werden.

Die Realität zeigt, dass es eine komplexe Aufgabe ist, das gesamte Transportnetzwerk zu simulieren und alle Prozesse und Einflüsse zu berücksichtigen. Deshalb ist zu beobachten, dass in den bestehenden Anwendungen der Transportsimulation meistens nur die einzelnen Elemente des Transportnetzwerkes betrachtet werden (z.B. nur Transportwege ohne Umschlagsplätze oder nur Umschlagsplätze mit oder ohne Zwischenlagerung). Es wurden zudem auch erst wenige Anwendungen realisiert.

Anwendungsbeispiele

Im Transportbereich sind hauptsächlich Simulationsanwendungen bekannt, welche den kürzesten Weg im Transportnetzwerk suchen und Transportzeiten / Kosten optimieren. Einige realisierte Beispiele sind:

- Planung des realistischen und integrativen Netzwerks mit hunderten Knoten, Animation der Transporte und Suche nach kürzesten Wegen – Arena Rockwell Software als Grundlage (Stec, 2006)
- Suche und Aufbau der kürzesten Wege zwischen Transportquellen und Destinationen in automatisierten Transportsystemen, Delft (Duinkerken, Lodewijks, Ottjes, 2006)
- Analyse des Strassen-Transportnetzwerks mit verschiedenen Transportgütern, modelliert in der agentenbasierten Umgebung JADE (Java Agent Development Environment) (Pawlaszczyk, 2006)
- Untersuchung der Transportflüsse mit Hilfe von dynamischen interaktiven Transportmodellen, welche die neue Generation der Transportsimulation darstellen. Diese Modelle sind näher an der Realität. Sie basieren auf dem objekt-orientierten Konzept und benutzen unscharfe neuronale Inferenz-Systeme. Die Simulation wird in einer allgemeinen Programmiersprache geschrieben (Ni, 2006)

Die Anzahl der Simulationsanwendungen für Güterumschläge ist gering (mit Ausnahme von grösseren Seehafencontainerterminals). Es sind nur einzelne Simulationsmodelle bekannt. Ein Beispiel davon ist ein Simulationsmodell, das für die Planung eines Eisenbahnterminals in einem Hafen entwickelt worden ist. Das Modell führt die Umschläge zwischen dem Hafencontainerterminal und den Eisenbahnwagons durch, zeigt die Umschlags- und Transportflüsse im Terminal auf und optimiert die Anzahl der Umschlagslinien und die Anzahl der Kräne (Lee, Seo, Park, Jung, Kim, 2006). Ein anderes Modell beschreibt eine Distribution über Transportmittel nach gegebenen Kriterien. Dabei werden die verschiedenen Umschlagszenarien untersucht und verglichen. Die Simulation ist agentenbasiert (Pawlaszczyk, 2006).

Klassifikation der Werkzeuge der Transportsimulation

Analog zur Klassifikation der Simulationstools im Bereich Logistiksimulation wird eine Klassifikation der Transportsimulationstools gemäss Abb. 2.12 vorgeschlagen.

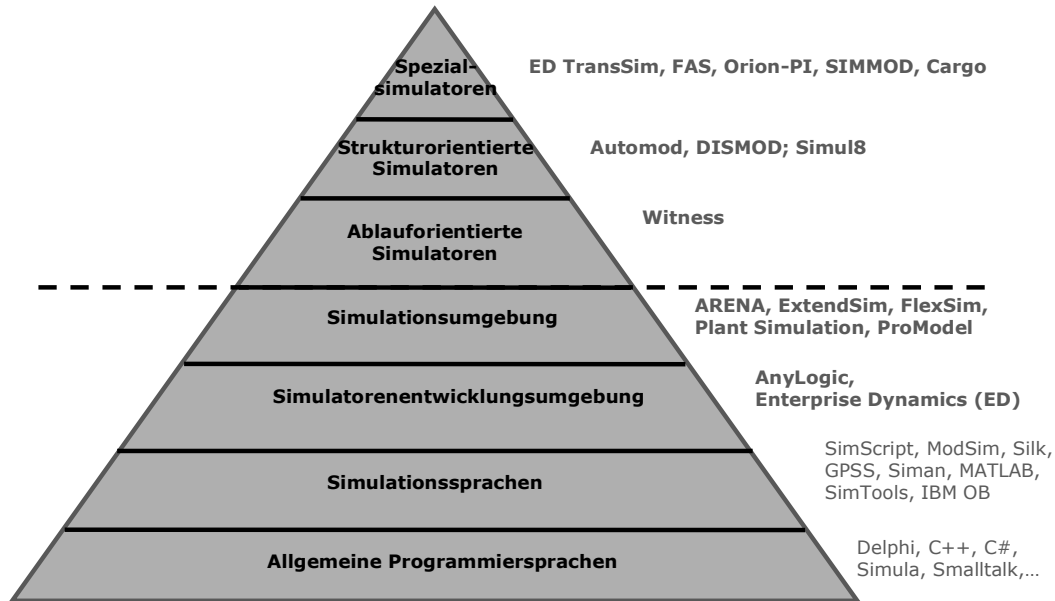


Abb. 2.12 Klassifikation der Transportsimulationstools

Aus der Literatur geht hervor, dass die untenstehenden Simulationsansätze im Bereich der Transportlogistik am häufigsten angewandt werden:

- diskrete ereignisbasierte Simulation (z.B. ARENA, ProModel, Plant Simulation)
- Multi-Agenten Simulatoren (z.B. AnyLogic, JADE)
- Objektorientierte Verfahren (allgemeine Programmiersprache wie z.B. C++)
- Neuronale Netze, bzw. Fuzzy Neuronale Netze
- Kombinierte Ansätze.

Früher wurde hauptsächlich der diskrete ereignisorientierte Ansatz verfolgt. Zudem wurden auch statische Ansätze benutzt, wie z.B. jener der Monte-Carlo Simulation.

Auch heute ist der diskrete ereignisorientierte Ansatz noch weit verbreitet, zunehmend werden aber auch agentenbasierte Anwendungen durchgeführt. Statische Ansätze werden nur noch sehr selten eingesetzt.

Eine detaillierte Beschreibung der Transportsimulationstools werden im Kapitel 4 Typisierung und Strukturierung der Simulationstools im Bereich Güterverkehrs- und Transportplanung sowie im Anhang II Typisierung der Simulationstools aufgezeigt.

2.2.3 Entwicklung und Stand der Verkehrssimulation

Im Abschnitt 2.1.7 ist die Entwicklung der Verkehrssimulation generell aufgezeigt. Nachfolgend gehen wir noch etwas näher auf die simulierten Zusammenhänge, Faktoren und die angewendeten Ansätze ein. Bei der Entwicklung der Verkehrssimulationsmodelle und bei der Betrachtung des Strassenverkehrs werden viele Faktoren der Realität berücksichtigt (Brannolte, 2006). Wichtige Zusammenhänge und angewendete Ansätze sind (auf der Basis von Pursula, Lieberman):

Tab. 2.2 Relevante Zusammenhänge und Ansätze (Simulation Strassenverkehr)

Wesentliche Zusammenhänge / Prozesse	Angewendete Ansätze und relevante Faktoren
Fahrzeug-Erzeugung	+ Mathematische Ansätze für die Fahrzeug-Erzeugung (in Abhängigkeit der Nachfrage, Fahrzeugfolgezeit, Verteilung der Abfahrten/Zufahrten, etc.)
Fahrzeugfolge (auch beim Spurwechsel oder beim Spurabbau)	+ Mathematische Ansätze für die Fahrzeugfolge-Interaktion (in Abhängigkeit der Geschwindigkeit, Distanz, Beschleunigungs- und Verzögerungsverhalten, Reaktionszeit, etc.) + Zellulare Automaten + Agentenbasierte Ansätze + Fuzzy logic Ansätze
Fahrzeug Rückstau an Knoten	+ Warteschlangen-Theorie
Fahrerentscheidungen	+ Entscheidungsansätze in Abhängigkeit der Aggressivität, Reaktionszeit, Fahrziel, etc. + Virtual Reality Ansätze + Fahrerentscheidungen werden oft mit „discrete choice“-Modellen abgebildet.
Interaktion Fahrzeug/Fahrer mit Infrastruktur	+ Mathematische Ansätze in Abhängigkeit Strassengeometrie, Knotenkonfiguration, Verkehrssignalisation, Betriebskonzepte etc.

Fahrzeug und Fahrer bilden eine Modellkomponente, welche mit der Umgebung interagiert. Im Strassenverkehr gibt es verschiedene Fahrzeuge mit verschiedenen Geschwindigkeiten und die Fahrer haben unterschiedliche Verhaltensweisen. Ausserdem sind die Einflüsse durch die Gestaltung der Verkehrsinfrastruktur sowie durch Wetterverhältnisse auch unterschiedlich. Deswegen wird das Verkehrssystem durch einige zufällige Faktoren mitgeprägt. Dies bedeutet, dass die stochastischen Eigenschaften bei einer Modellierung, bzw. Simulation berücksichtigt sind. Da das mathematische Modell in dem Fall zu aufwendig wird, bietet die Simulation eine spezielle Technik an, um dynamische Prozesse des Strassenverkehrsflusses zu beherrschen. Für stochastische Modelle wird die Monte-Carlo-Simulation angewandt.

In den 70-Jahren wurden solche Arten der Simulation im Verkehrswesen an den Hochschulen und Universitäten Europas verbreitet. Die zunehmende Leistung von Rechenmaschinen ermöglichte den Entwurf der Simulationsmodelle. Die Simulationsergebnisse wurden damals nur numerisch und graphisch ausgegeben. Erste Simulationen wurden nur für einfache Fälle durchgeführt, z.B. für den Verkehrsablauf einer einzelnen Strasse. Später wurden bei der Simulation mehrere Strassen, Knoten und Verkehrsmittel berücksichtigt.

Mit der Entwicklung der Rechentechnik und dem Übergang der Simulation an die neueren Rechnergenerationen wurden auch neue Varianten der Verkehrssimulation entwickelt. Gemäss (Brannolte, Kraus, 1998) wurden damals gleichzeitig sehr viele Simulationsmodelle für unterschiedliche verkehrliche Bereiche und Fragestellungen gebaut. Neue Simulationssoftware wurde nicht nur für wissenschaftliche, sondern auch für kommerzielle Zwecke im Bereich Verkehr entwickelt.

Zurzeit sind mehrheitlich zeitschrittorientierte Modelle im Einsatz, d.h. die Parameter sind für jeden Zeitschritt (jedes Zeitintervall) gegeben.

Es wurden jedoch nicht nur Simulationsmodelle für den Strassenverkehr entwickelt, sondern auch für andere Verkehrsträger. Eine wichtige Entwicklung sind die für die Fahrplannerstellung und die Betriebsplanung der Eisenbahnen entwickelten Simulationsmodelle. Durch die immer komplexeren Netzstrukturen der Bahnen ist eine Fahrplangestaltung von Hand praktisch nicht mehr durchführbar.

Die Geschichte der Bahnbetriebssimulation in der Schweiz an der ETH Zürich ist anschaulich in einem Fachartikel (Weidmann U., Giger P., Hürlimann H. 2007) dargestellt. Erst die Vereinfachung der Betriebsprozesse, die Angebotsverdichtungen und die zunehmende Leistungsfähigkeit der Computer schafften die Voraussetzungen für die ersten

Bahnbetriebssimulationen in den 80er Jahren. Nach Anfangsschwierigkeiten mit der Bedienungsfreundlichkeit resultierte 1984 das erste universell einsetzbare Simulationsprogramm RWS (RailWaySimulation). Dieses umfasste die Zuglaufrechnung auf der Basis der Charakteristik der Gleisanlagen und des Rollmaterials. Damit konnte zum Beispiel der Betrieb der Gotthard-Basislinie simuliert werden. Das Programm wäre von der Leistungsfähigkeit her schon in der Lage gewesen, das gesamte Eisenbahnnetz der Schweiz mit allen Zügen eines Tages auf einem einfachen Personalcomputer zu simulieren. Das Simulationskonzept wurde dann anfangs der 90er Jahre auch auf die Simulation des Trambetriebs ausgeweitet (Simulationsprogramm Tramatik), welches jedoch aufgrund der beschränkten Nachfrage nicht mehr weiterentwickelt wurde. Den eigentlichen Marktdurchbruch in der Bahnsimulation in der Schweiz schaffte OpenTrack. 1997 wurde vom Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme das Forschungsprojekt „Objektorientierte Modellierung von Infrastrukturelementen und Betriebsvorgängen im Eisenbahnwesen“ ins Leben gerufen. Forschungspartner waren die SBB, die SLM und SMA und Partner AG. Im Jahr 2000 erschien die erste offizielle Version 1.0 von OpenTrack. In der Zwischenzeit ist diesem Simulationsprogramm der Marktdurchbruch gelungen und das Programm ist in über 15 Ländern im Einsatz. Die Mikrosimulation ist sehr detailliert; die Bahnanlagen, die Triebfahrzeuge und Zugkompositionen müssen sehr genau definiert werden. Basierend darauf berechnet der Simulator im Sekundentakt alle Bewegungen auf dem modellierten Gleisnetz. Animationsmodule informieren den Anwender während dem Simulationslauf über alle Geschehnisse. Wesentliche Einsatzfelder der Bahnsimulation sind die Optimierung zukünftiger Infrastrukturen (z.B. Lage von Kreuzungsstellen, leistungsfähigeres Signalsystem). Relativ kleine Optimierungen führen zu nennenswerten Einsparungen. Andere Anwendungen befassen sich mit der Kapazität von Netzteilen, dem Triebfahrzeugeinsatz oder der Machbarkeit von Fahrplänen oder der Betriebsstabilität. Fallweise wurde OpenTrack auch bereits in grössere IT-Systeme integriert oder mit anderen Applikationen gekoppelt. Aufgrund der laufenden Entwicklungen dürften in den nächsten Jahren weitere leistungsfähige IT-Instrumente zur Verbesserung von Planung und Betriebsführung erwartet werden.

Vermeehrt werden auch Tools zur Simulation von Güterumschlagsanlagen (Containerterminal, Entladung von Schiffen, Intermodaler Güterverkehr) eingesetzt. Die ersten Simulationstools wurden für Containerterminals an Seehäfen entwickelt um Infrastruktur und den Betrieb zu planen und optimieren. Eine führende Rolle spielt hier das Institut für Seewirtschaft und Logistik in Bremen. Heute werden auch für Schiene/Strasse Terminals Simulationstools entwickelt und erfolgreich eingesetzt (z.B. SIMCONT der BOKU in Wien).

Tab. 2.3 Verkehrssimulationstools und ihre Anwendungsgebiete (Auswahl)

Tool		Strassengüter- verkehr	Schienengüter- verkehr	Umschlag (Bahn/Terminal)
AIMSUN	Mikrosimulation	X	(X)	(X)
VISSIM	Mikrosimulation	X		
DYNAMEQ	Dynamisches Umlegungs- modell	X		
OPENTRACK	Simulation von Eisenbahn- netzen		X	
BABSI	Bahnbetriebssimulation		X	
SIMU VII	Simulation von Eisenbahn- betriebsabläufen		X	
RAILSYS	Fahrplantrassen- und Infra- strukturmanagement		X	
RAILPLAN	Simulation des Zugbetriebs		X	
SCUSY	Simulation of Container Unit Handling Systems			X
CAPS	Capacity Planning System			X
CRASY	Crane Simulation System			X
IYCAPS	Intermodal Yard Capacity Planning System		(X)	X
SIMCONT	Konfigurations- und Simula- tionstool für Container- Terminals			X

2.3 Folgerungen

2.3.1 Generelle Folgerungen

- Simulationen werden vorwiegend für die Optimierung und Gestaltung von komplexen Logistik- und Verkehrssystemen eingesetzt. Wesentliche Gründe sind der Nachweis der betrieblichen Machbarkeit, die zielgerichtete Optimierungsmöglichkeit, die Möglichkeit von Sensitivitätsanalysen und die Visualisierung.
- Es besteht theoretisch eine breite Palette von Simulationsansätzen. In der Praxis dominieren jedoch Simulationsanwendungen die auf diskreten ereignisorientierten Simulatoren aufbauen.
- Ein Trend geht in Richtung agentenbasierte Simulationswerkzeuge, sowohl in der Logistik- als auch in der Verkehrssimulation. Die Simulationswerkzeuge werden in Zukunft internetbasiert arbeiten. Simulationsexperimente und Auswertungen werden vermehrt über Internetbrowser erfolgen und werden damit system- und ortsunabhängig.
- Das Potenzial der Simulation im Bereich der Güterverkehrs- und Transportplanung liegt in der Entwicklung gezielter, einfach anzuwendender Simulationstools, die auch Personen, die nicht in der Simulation geschult wurden, eine Unterstützung in der Planung bzw. Optimierung der logistischen Aufgaben bieten. Der Einsatz der Simulation entwickelt sich mehr und mehr Richtung operatives Geschäft, wo Simulationsmodelle zur täglichen Planung genutzt werden. Hoher Wert wird dabei auf Benutzerfreundlichkeit gelegt und die Steuerung erfolgt über Drittsoftware wie z.B. Excel als Frontend.
- Probleme / Entwicklungsbedarf: Der Markt für Simulationswerkzeuge ist insbesondere für Logistiksimulationstools klein, entsprechend sind die Werkzeuge immer in einem Beta-Entwicklungsstadium. Trotzdem sind viele Simulationswerkzeuge auf dem Markt. Eine Konzentration im Markt auf ein paar wenige Simulatoren hat nicht stattgefunden, Standards wurden bis heute keine gesetzt. In der Folge werden die Werkzeuge nur langsam weiterentwickelt. Bei Verkehrssimulationstools scheint die Verbreitung und Marktstellung einzelner Simulationstools (Vissim, Aimsun, OpenTrack) stärker, was möglicherweise auf die Spezialisierung der Anwendung zurückgeführt werden kann.

Der Markt verlangt nach Simulatoren die eine sehr schnelle Modellerstellung zulassen. Dem kann zum einen durch erhöhte Benutzerfreundlichkeit, zum anderen durch erhöhte Spezialisierung Rechnung getragen werden.

Bei der Entwicklung von komplexen Modellen mit vielen bewegten Elementen ist die Rechenkapazität nach wie vor ein wichtiger eingrenzender Faktor für die Simulationsanwendungen. Der Einsatz der Simulationstechnik in zeitkritischen Anwendungen erfordert kurze Simulationsläufe.

Simulationstechnik erfordert hohe Fachkompetenz in der Anwendung der verschiedenen Simulatoren. Viele Simulatoren fordern nach wie vor gute Programmierkenntnisse und noch wichtiger, ein ausgeprägtes Verständnis für System und Dynamik. Simulationentwickler werden „on the job“ ausgebildet und der Weg zum Spezialisten ist lang.

2.3.2 Gemeinsamkeiten und Unterschiede von Logistik- und Verkehrssimulation

Damit die Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen Verkehrs- und Logistiksimulation identifiziert werden können, sollte man die Systemgrenzen eines logistischen Systems darstellen (siehe Abb. 2.13).

Die Systemgrenzen eines logistischen Systems legen für das System die Schnittstellen zur Umwelt und damit auch die Ein- und Ausgangsgrößen, die über die Schnittstellen ausgetauscht werden, fest. Als Eingangsgrösse (Input) werden die Einwirkungen durch die Umwelt beziehungsweise anderer Einflüsse auf das zu betrachtende System bezeichnet. Ausgangsgrößen (Output) umfassen die Einwirkung des Systems auf die Umwelt beziehungsweise auf andere Systeme. Ergänzend hierzu beschreiben die inneren Größen die Kopplung der Komponenten innerhalb des Systems (Arnold, Isermann, Kuhn, Tempelmeier, 2004).

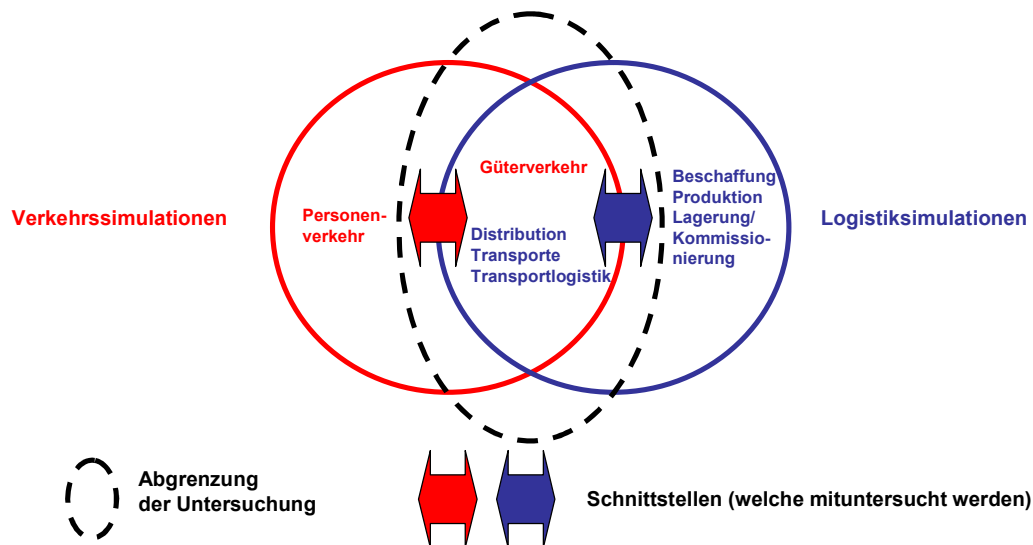


Abb. 2.13 Systemgrenzen des logistischen Systems

Die wichtigsten Gemeinsamkeiten und Unterschiede sind:

- Die Verkehrssimulation untersucht die Verkehrsflüsse von Strassen-, Bahn-, Luft- und Personenverkehr, wie auch von Güterverkehrstransporten. Es wird jedoch nicht der innerbetriebliche Fluss von Waren oder Gütern betrachtet, sondern das ganze Verkehrssystem, sei dies die Verkehrsflüsse, die Stauproblematik, Lichtsignalanlagen, neue Verkehrsführungen und vieles mehr. Ziel der Untersuchungen ist die Ausgestaltung und Optimierung des Verkehrsnetzes.
- Im Unterschied dazu werden in der Logistiksimulation unter anderem Beschaffungs-, Produktions- und Distributionsstrategien eines Unternehmens optimiert (beispielsweise Transport- und Tourenpläne, Supply Chain Management Strategien). In der Trans-

portlogistik werden die Güter- und Personentransporte meistens aus der Sicht der Betriebe analysiert. Die Logistiksimulation wird vor allem auch genutzt um die Produktivität der Intralogistik zu erhöhen, resp. zu optimieren (Produktion, Lager, Kommissionieren, usw.).

- Sowohl Logistik- als auch Verkehrssimulationstools werden für die Planung und Optimierung eingesetzt. Während die Verkehrssimulation den Schwerpunkt eher bei der Planung hat, liegt der Schwerpunkt der Logistiksimulation eher bei der Optimierung.
- Verkehrssimulationsinstrumente weisen einen deutlich höheren Spezialisierungsgrad auf als Logistiksimulationsinstrumente. Diese haben einen deutlich breiteren Anwendungsbereich und sind offener ausgestaltet.
- Sowohl Logistik- als auch Verkehrssimulationen verwenden ähnliche Simulationsansätze und basieren auf diskreten Simulationsansätzen. Während bei den Logistiksimulationen diskrete, ereignisorientierte Simulationsansätze im Vordergrund stehen, sind es bei Verkehrssimulationen diskrete, zeitorientierte Ansätze.
- Während bei Logistiksimulationen das Useroptimum (aus Unternehmenssicht, Systembenützer) im Vordergrund steht, ist es bei Verkehrssimulationen meist das Systemoptimum (aus Infrastrukturbetreibersicht).

Obwohl Unterschiede zwischen Verkehrs- und Logistiksimulation existieren, ist die Problematik bei beiden eigentlich dieselbe. Beide steuern eine Zeit- und Kostenoptimierung an. Diese beiden Ziele stehen oftmals im Gegensatz zueinander, die Minimierung der Zeit führt in der Regel zu höheren Kosten und umgekehrt. Zeitersparnisse müssen oft durch kostenintensive Investitionen erkaufte werden. Beispielsweise kann ein Lieferant mit hohem Ressourceneinsatz in kurzer Zeit alle Waren ausliefern, was aber zu höheren Kosten führt. In der Optimierung im Simulator werden die verschiedenen Ziele über eine Zielfunktion gewichtet und bewertet.

2.3.3 Unterschiede der Simulation zu statischen Modellen

Der Unterschied zwischen statischen und dynamischen Modellen ist, dass der Zeitablauf bei dynamischen Modellen mit abgebildet wird. Bei statischen Modellen bleiben hingegen alle Parameter im Zeitverlauf gleich (Hoffmann, Schrott, 2003), es betrachtet somit nur einen einzelnen Zeitpunkt.

Grundsätzlich existieren alle realen Systeme im Zeitablauf. Je nach Aufgabenstellung hat der Zeitverlauf aber eine unterschiedliche Bedeutung. Scheint die Bedeutung für die Fragestellung unerheblich zu sein, so kann das Modell mit dem statischen Ansatz implementiert werden (Adam, 1996). Die optimale Routenwahlfindung kann zum Beispiel über den statischen Ansatz abgebildet werden, wenn die Verkehrsteilnehmer ihre Routenwahlentscheidung unter gleich bleibenden Bedingungen treffen. Die Bewegung der Fahrzeuge durch das Netz wird demnach nicht betrachtet, weshalb statische Ansätze eher für planerische Fragestellungen angewendet werden, bei denen das langfristige Mittel des Netzzustands im Fokus der Betrachtung steht (Matschke, 2005). Statische Modelle gestatten zudem grundsätzlich nur Aussagen über einen Gleichgewichtszustand eines Systems.

Sobald aber dynamische Größen berücksichtigt werden, muss ein dynamisches Modell erstellt werden, welches den Zeitverlauf mitberücksichtigt. Dies ist zum Beispiel der Fall, wenn in obigem Beispiel die optimale Routenwahlfindung abhängig von der aktuellen Verkehrslage ist, z.B. von Stausituationen oder Unfällen. Dies bedeutet, dass die Bewegung der Fahrzeuge durch das Netz modelliert wird und somit Engpässe und Rückstauungen abbildbar sind. Auf diese Weise ist eine differenzierte, tageszeitabhängige Analyse der Verkehrssituation möglich (Matschke, 2005).

Alle Fragestellungen, welche mit statischen Modellen gelöst werden können, können auch mit dynamischen Modellen gelöst werden wobei hier bei grossen Netzen Einschränkungen zu machen sind. Dynamische Modelle erlauben es zudem, die Auswirkungen von sich zeitlich ändernden Parameter zu berücksichtigen. Der Nachteil liegt nur darin, dass der Aufbau eines dynamischen Modells zeitintensiver, und die Rechenzeit in der Regel höher ist.

3 Problemstellungen in der Logistik, Güterverkehrs- und Transportplanung

3.1 Einleitung und Strukturierung der Fragestellungen

Problemstellungen der Logistik sowie in der Güterverkehrs- und Transportplanung haben in den letzten Jahren stark an Bedeutung gewonnen. Dies im Zusammenhang mit der Globalisierung, den steigenden Anforderungen an die Effizienz und Qualität von Logistik- und Transportprozessen (vgl. auch Kapitel 1) und den zunehmenden Aus- und Überlastungen von Infrastrukturen.

Für die Beurteilung des Potentials von Simulationswerkzeugen ist es wichtig, zuerst die heutigen und künftigen Problemstellungen aufzuzeigen. Nachfolgend werden die Problemstellungen identifiziert und strukturiert, die Hauptziele abgeleitet und die Beitragspotentiale der Simulation qualitativ beurteilt.

Die Problemstellungen wurden nach folgenden Bereichen strukturiert:

- Standortplanung
- Anlagen- und Infrastrukturplanung
- Betriebsplanung von Verkehrsanlagen
- Logistikstrategien / -konzepte, Transportkonzepte
- Massnahmenplanungen und Auswirkungenanalysen.

In der Tabelle auf der folgenden Seite werden verschiedene mögliche Problemstellungen nach Bereich aufgezeigt. Dies geschieht mehr im Sinne von Beispielen zur Veranschaulichung ohne Anspruch auf eine vollständige Aufzählung möglicher Problemstellungen. Nachfolgend wird pro Anwendungsbereich ein Beispiel gegeben, was im Rahmen der Problemstellungen simuliert werden kann.

- Bei einer **Standortplanung** geht es um die Identifizierung eines unter bestimmten Anforderungen (Erreichbarkeit, Kosten, etc.) bestgeeigneten Standortes oder um die Bestimmung von Standortnetzwerken. Die Anforderungen sind dabei abhängig vom Anlagentyp (Produktionsanlagen, Umschlagsanlagen, Distributionszentren, Lager, Verkaufsstätten, Werkhöfe etc.). Neben der Kostenminimierung (Logistik- und Transportkosten) sind auch die Auslastungsoptimierung und die Qualität (z.B. Bedienungsqualität für eine Marktregion) von entscheidender Bedeutung. Mittels Simulation können verschiedene standortabhängige Effekte wie der Transportaufwand, Verkehrsfluss, Wartezeiten, Umschlagskosten, Lagerkosten etc. abgeschätzt werden. Bei Einzelstandorten ist der Komplexitätsgrad gering bis mittel, bei Standortnetzen eher hoch. Simulationsanwendungen bei welchen Standorteffekte eine wichtige Rolle gespielt haben sind zum Beispiel der Standortvergleich von Schwerverkehrszentren oder Standortstrategien der Schweizerischen Paketpost. Mit der Simulation können in der Regel nicht alle standortrelevanten Faktoren simuliert werden (z.B. Akzeptanz der Standortgemeinde, Verfügbarkeit des Grundstückes, etc.). Diese müssen separat analysiert und in die Gesamtbeurteilung einbezogen werden. Das Beitragspotential der Simulation für die Entscheidungsfindung beurteilen wir insgesamt als gering bis mittel.
- Bei einer **Anlagen- und Infrastrukturplanung** geht es um die optimale Ausgestaltung und Dimensionierung von Verkehrsnetzen (Strasse, Schiene), Güterverkehrsknoten (Umschlagterminals, Bahnhöfe, Distributionszentren, etc.), Produktionsanlagen und Güterverkehrsanbindungen. Mittels Simulation können die Prozesse und Abläufe simuliert und verschiedene Kenngrößen wie Auslastungsgrade, Wartezeiten, Reisezeiten, Durchlaufzeiten, Kosten etc. ermittelt werden. Wichtige Ziele sind die Kosten- und Kapazitätsoptimierung. Der Komplexitätsgrad ist oft mittel bis hoch. Simulationsanwendungen für die Anlagen- und Infrastrukturplanung sind zum Beispiel die Warenanlieferung für das geplante Polizei- und Justizzentrums Kanton Zürich, Umschlagterminals in Seehäfen, Schwerverkehrszentren und im Inland, Warenlifte, Rangierbahnhöfe etc. Es besteht hier auch ein Zusammenhang mit der Betriebsplanung von Verkehrs-

anlagen (Fragestellungen Gruppe C). Das Beitragspotential beurteilen wir als mittel bis hoch.

- Bei einer **Betriebsplanung** geht es um die optimale betriebliche Gestaltung von bestehenden oder geplanten Güterverkehrs- und Transportinfrastruktur (Schwerverkehrsmanagement, Bahnbetriebskonzepte und Knotensteuerungen). Mittels Simulation können die Betriebsabläufe simuliert und die entscheiderelevanten Kenngrößen ermittelt werden. Wichtige Ziele sind die Kapazitäts- und Kostenoptimierung. Simulationsanwendungen für die Betriebsplanung sind zum Beispiel das Schwerverkehrsdosiersystem am Gotthard, Speditionszentren, Flugpläne von Fluggesellschaften, Flughafenterminal Basel-Mulhouse-Freiburg, etc. Das Beitragspotential beurteilen wir als hoch.
- Bei der **Erarbeitung von Logistikstrategien/-konzepten** und Transportkonzepten geht es um die Ausgestaltung und Optimierung von Logistik- und Transportkonzepten (Beschaffung, Produktion, Distribution, Entsorgung) mit dem Ziel der Kostenminimierung, Qualitätsverbesserung und der Auslastungsoptimierung. Mittels Simulation können die Logistik- und Transportabläufe abgebildet und wichtige Kenngrößen wie Durchlaufzeiten, Transportzeiten, Stückkosten etc. ermittelt werden. Simulationsanwendungen sind das Logistiknetz der Schweizerischen Post, die Saatgutverteilung der Novartis, die Tourenoptimierung für die Migros, Distributionsszenarien bei einem Logistikdienstleister, das Tendermanagement für Gütertransporte, etc. Das Beitragspotential beurteilen wir als hoch.
- Bei der **Massnahmenplanung und Auswirkungsanalysen** geht es um die Analyse von Effekten von privaten oder staatlichen Massnahmen. Das Massnahmenspektrum umfasst im wesentlichen Verkehrstelematikanwendungen, ökonomische und regulatorische Massnahmen. Mittels Simulation können die Verkehrs- und Transportabläufe abgebildet werden. Wichtige Zielgrößen sind Auslastungsoptimierung und Qualitätsverbesserungen. Simulationsanwendungen sind zum Beispiel das Reservationssystem für den alpenquerenden Güterverkehr, die Einführung von Verkehrsinformationsdiensten, die Einführung von Road Pricing etc. Das Beitragspotential beurteilen wir als mittel bis hoch.

Tab. 3.4 Fragestellungen in der Güterverkehrs- und Transportplanung

	Potentieller Auftraggeber		Hauptziele			Komplexitätsgrad			Beitragspotential Simulation		
	Öffentliche Hand	Private	Kostenminimierung	Qualitätsverbesserung	Auslastungs-/Kapazitätsoptimierung	gering	mittel	hoch	gering	mittel	gross
A Standortplanung											
Standortplanung für Produktionsstätten		X	X	(X)	(X)	X	X	(X)			
Standortplanung für Umschlaganlagen	X	X	X	(X)	(X)	X	X	(X)			
Standortplanung für Distributionszentren und Lager		X	X	(X)	(X)	X	X	(X)			
Standortplanung für Vertriebskonzepte		X	X	(X)	(X)	X	X	(X)			
Standortplanung für Werkhöfe	X	(X)	X	(X)	(X)	X	X	(X)			
B Anlagen- und Infrastrukturplanung (Planung von Netzen)											
Planung von Verkehrsnetzen	X		X	(X)	X		(X)	X			
Planung für Umschlaganlagen des Kombinierten Verkehrs	X	X	X	(X)	X		(X)	X			
Planung für Distributionszentren / Logistikzentren		X	X	X	X		(X)	X			
Planung Strassenanlieferung für Gebäude und Areale	X	X	X	(X)	X		X	(X)			
Planung Schienenanlieferung für Gebäude und Areale	X	X	X	(X)	X		X	(X)			
Planung von Warenliften	X	X	X	(X)	X		X	(X)			
Planung Krananlagen		X	X	(X)	X		X	(X)			
Planung von Rangier- und Güterbahnhöfen	X		X	(X)	X		(X)	X			
Planung von Schwerverkehrszentren	X	(X)	X	(X)	X		(X)	X			
Planung von LKW-Parkierungsanlagen	X	X	X	(X)	X		X	(X)			
Planung von Verkehrsknoten	X		X	(X)	X		(X)	X			
C Betriebsplanung von Verkehrsanlagen											
Schwerverkehrsmanagement auf Strassennetzen	X		(X)	(X)	X		(X)	X			
Schwerverkehrsmanagement an Grenzübergängen	X		(X)	(X)	X		(X)	X			
Planung von Knotensteuerungen	X		(X)	(X)	X		(X)	X			
Planung von Dosierungssystemen	X		(X)	(X)	X		(X)	X			
Planung von Bahnangebots-/Betriebskonzepten	(X)	X	X	X	X		(X)	X			
D Logistikstrategien/-konzepte, Transportkonzepte											
Optimierung Logistik- und Transportstrategien (Beschaffung, Produktion, Distribution)		X	X	X	(X)		(X)	X			
Optimierung von Bedienungskonzepten		X	X	X	(X)		(X)	X			
Optimierung von Lieferkonzepten		X	X	X	(X)		(X)	X			
Tourenplanung und -optimierung		X	X	X	(X)		(X)	X			
Prozess- und Ablaufoptimierungen		X	X	X	(X)		(X)	X			
Visualisierung von Prozessen und Abläufen		X	X	X	X		(X)	X			
E Massnahmenplanungen und Auswirkungsanalysen											
Auswirkungen von LKW Routen/LKW-Spuren	X		(X)	X	X		X	(X)			
Auswirkungen von Verkehrstelematikanwendungen	X	(X)	(X)	X	X		(X)	X			
Auswirkungen von Zutrittsystemen	X	(X)	(X)	X	X		X	(X)			
Auswirkungen von Reservationssystemen	X		(X)	X	X		X	(X)			
Auswirkungen von Road Pricing	X	(X)	(X)	X	X		(X)	X			

gering < 30% der benötigten Entscheidungsgrundlagen
mittel 30%-70% der benötigten Entscheidungsgrundlagen
gross > 70% der benötigten Entscheidungsgrundlagen

Hauptziele bei diesen Problemstellungen sind in der Regel die Kostenminimierung, die Qualitätsverbesserung und sowie die Auslastungs-/Kapazitätsoptimierung.

Der Komplexitätsgrad der Fragestellungen (Vernetzungsgrad, Anzahl Einflussfaktoren, etc.) kann bei diesen Fragestellungen sehr unterschiedlich sein. Eher geringer ist der Komplexitätsgrad bei Standortplanungen. Bei den übrigen Fragestellungen ist er eher mittel bis hoch.

3.2 Beitragspotential der Simulation

Aus Tab. 3.4 gehen für die massgebenden Problemstellungen und auch die eingeschätzten Beitragspotentiale der Simulation hervor.

Das Beitragspotential der Simulation ist bei Problemstellungen der Logistik, Güterverkehrs- und Transportplanung grundsätzlich mittel bis hoch. Mit zunehmender Komplexität der Problemstellungen steigt das Beitragspotential von Simulationsanwendungen. Simulationen kommen in der Regel dann zum Einsatz, wenn statische Methoden keine genügenden Ergebnisse mehr liefern.

Das grösste Beitragspotential liegt bei der Betriebsplanung von Verkehrsanlagen und bei der Erarbeitung von Logistikstrategien/-konzepten.

Etwas geringer erscheint es bei der Anlagen- und Infrastrukturplanung sowie bei Massnahmenplanungen und Auswirkungsanalysen. In diesen Bereichen werden oft auch statische oder klassische Modelle eingesetzt, die nur ausnahmsweise eine dynamische Komponente haben.

Am geringsten erscheint das Beitragspotential bei Standortplanungen zu sein. Hier werden – wenn überhaupt – vorwiegend statische Modelle eingesetzt (zum Beispiel für Erreichbarkeitsanalysen). Simulationen kommen dann zum Einsatz wenn es um die Optimierung von Standortgruppen (z.B. Terminalnetz, Netz von Distributionsplattformen) geht.

4 Typisierung und Strukturierung der Simulationswerkzeuge im Bereich Güterverkehrs- und Transportplanung

4.1 Einleitung

Simulationsinstrumente bieten die Möglichkeit, Fragestellungen aus dem Bereich Güterverkehrs- und Transportplanung zu untersuchen und Probleme zu lösen. Die dabei erarbeiteten Animationstools können zusätzlich den Ablauf des Verkehrs und der Transporte visualisieren, um das Verständnis des Prozesses zu erleichtern.

Zurzeit gibt es ein grosses Angebot von Simulationswerkzeugen, welche im Bereich Güterverkehrs- und Transportplanung angewandt werden können. Einige von ihnen wurden im Kapitel 2 genannt und kurz besprochen. Da der Markt der Simulationswerkzeuge sehr breit ist, stellt sich das Problem der Wahl des besonders passenden Werkzeugs für eine bestimmte Fragestellung aus der Reihe der vorhandenen Tools.

Methoden zur Auswahl des passenden Simulationswerkzeugs wurden beispielsweise in den Arbeiten von Banks, 1991 und Teweldeberhan, Verbaeck, Valentin, Bardonnnet, 2002 gegeben. Diese Methoden bestehen aus 2 Phasen. Im ersten Schritt wird die Zahl der Simulationstools reduziert. Danach werden die Möglichkeiten der verbliebenen Kandidaten mit den Bedürfnissen der Benutzer verglichen und das passende Tool ausgewählt.

Da es nicht einfach ist, ein „bestes“ oder passendes Werkzeug auszuwählen, sollen nachfolgend einige Entscheidungshilfen dafür gegeben werden. Die einzelnen Merkmale und Eigenschaften der Simulationswerkzeuge werden dazu miteinander verglichen. Im Weiteren werden die Werkzeuge nach Anwendungszielen bzw. Anwendungszweck kategorisiert. Schliesslich wird aus den gemachten Überlegungen ein praktisches Vorgehen zur Auswahl des passenden Werkzeuges abgeleitet.

4.2 Simulationswerkzeuge

Die Simulationswerkzeuge, welche zur Verkehrs- und Transportsimulation angewandt werden können, sind in den Abschnitten 2.2.2 und 2.2.3 dargestellt und in Tab. 4.5 auf Seite 44 aufgelistet. Die Tabelle ist nach Verkehrs- und Transportsimulationswerkzeugen unterteilt. Die Werkzeuge sind alphabetisch geordnet. Die Liste zeigt die gemäss Recherche am häufigsten angewandten Tools. Die Recherche basiert auf den Literaturquellen aus Simulationstagen, -konferenzen und weiteren Publikationen. Die Transportsimulationswerkzeuge sind immer auch Logistiksimulationswerkzeuge.

Tab. 4.5 *Simulationswerkzeuge im Bereich Verkehr und Transport*

Verkehrssimulationswerkzeuge	Transportsimulationswerkzeuge
AIMSUN	AnyLogic
BABSI	ARENA
CAPS	AutoMod
CRASY	DISMOD
DYNAMEQ	Enterprise Dynamics (ED)
IYCAPS	ED TransSim
OPENTRACK	FlexSim
RAILPLAN	ORion-PI
RAILSYS	Plant Simulation
SCUSY	ProModel
SIMCONT	SIMMOD
SIMU VII	Simscrip
VISSIM	Simul8
	Witness

Weitere Informationen zu den Simulationswerkzeugen im Bereich der Güterverkehrs- und Transportplanung sind hier ersichtlich:

- Abb. 2.12 auf Seite 33: Klassifikation der Transportsimulationswerkzeuge gemäss Anwendungsbezug und Allgemeingültigkeit
- Abschnitt 2.2.3: Kurze Beschreibung der Verkehrssimulationswerkzeuge
- Im Anhang I Übersicht Simulationswerkzeuge mit Anwendungsbereichen: Übersicht der oben genannten Werkzeuge mit ihren Anwendungsbereichen und den wichtigsten Merkmalen

4.3 Merkmale und Eigenschaften

Folgende Merkmalsgruppen sollen zur Typisierung bzw. Strukturierung der Simulationstools verwendet werden:

- Merkmale über den Einsatz des Tools (Hauptanwender, Anwendungsziel, -bereich, -zweck, Simulationstyp)
- Datenmerkmale (Input- und Outputdaten)
- Simulationsmerkmale (Detailstufe, Visualisierungsart, Flexibilität, Spezialisierungsgrad, Simulationszeitraum, -umfang)
- Merkmale über die Anwendung des Simulationstools (Aufbau-, Anwendungsaufwand, Kosten, Komplexität, Rechenzeit)
- Merkmale, welche zur Software gehören (Typ, Zugänglichkeit, Installationsmöglichkeit, Betriebssystem)

Eine detaillierte Auflistung der Merkmale und ihrer Eigenschaften zeigt Tab. 4.6:

Tab. 4.6 *Merkmale und Eigenschaften*

Merkmal	Eigenschaft
Anwendungsziel	Planen
	Optimieren
	Verifizieren
Anwender	Planer (öff. Hand, Verkehrsplaner)
	Logistikdienstleister
	Simulationsexperte

Anwendungsbereich	Schiene
	Strasse
	Wasser
	Luft
	Kombi
	Umschlag
	Produktion
	Lager
	Supply-Chain-Management
	offen
Anwendungszweck	Standortplanung
	Anlage- und Infrastrukturplanung
	Betriebsplanung von Verkehrsanlagen
	Logistikstrategien/-konzepte, Transportkonzepte
	Massnahmenplanungen und Auswirkungsanalysen
Simulationstyp	diskret, zeitorientiert
	diskret, ereignisorientiert
	diskret, Agent
	hybrid
Inputdaten	Netze
	Nachfrage
	Simulationseinheit
	Kapazitäten
	Produktionsprogramm
	Verfügbarkeit
	weitere...
Outputdaten	Belastungen
	Auslastungen
	Kosten
	Durchlaufzeiten
	(Transport-) Qualität
	Transportverfügbarkeit
	weitere...
Detailstufe (bewegliche Einheiten)	Sendung
	Ladeeinheit
	Fahrzeug
	Bahnwagen
	Zug
	Personen
	weitere Betriebsmittel (Kran etc.)
Visualisierung	animiert/dynamisch, 2D
	animiert/dynamisch, 3D
	statisch
	keine
Flexibilität	starr (unveränderbare Algorithmen)
	parametrisierbare Algorithmen
	eigene Algorithmen
	vorgegebene und eigene Algorithmen

Spezialisierungsgrad	gering
	mittel
	hoch
Simulationszeitraum	Minuten/Stunden
	Tage/Wochen
	Monate/Jahre
Simulationsumfang	kleines/r Netz/Umschlagplatz, kleine Projekte
	mittleres/r Netz/Umschlagplatz, kleine Projekte
	grosses/r Netz/Umschlagplatz, kleine Projekte
Aufbauaufwand	Gross (>100 Tage)
	Mittel (>30 Tage)
	Klein (>30 Tage)
Anwendungsaufwand	Gross (>5 Tage)
	Mittel (<5 Tage)
	Klein (<1 Tag)
Komplexität	Gross
	Mittel
	Klein
Rechenzeit	Gross (Tage)
	Mittel (Stunden)
	Klein (Sekunden, Minuten)
Softwaretyp	Open Source
	Freeware
	Runtime Version
	Kostenpflichtig
Zugänglichkeit Software	auf dem Markt erhältlich
	Nutzungsrecht über Internet
	nicht zugänglich
Installation Software	Lokale Installation
	Serverinstallation
Betriebssystem	Windows
	Mac
	Linux
	Andere

Diese Merkmale werden im Folgenden benutzt, um die Simulationswerkzeuge zu charakterisieren und beurteilen.

4.4 Beurteilung der Simulationswerkzeuge

Für die Beurteilung der Simulationswerkzeuge, welche im Bereich Güterverkehrs- und Transportplanung angewandt werden können, wurde eine Merkmalstabelle erstellt (siehe Anhang II Typisierung der Simulationswerkzeuge). Jede Zeile dieser Tabelle entspricht einem beurteilten Simulationswerkzeug. In den Spalten sind die Merkmale, bzw. Eigenschaften für die Beurteilung der Simulationstools festgehalten. Diese Merkmale entsprechen den Beurteilungskriterien aus Tab. 4.6.

Die Beurteilung der Simulationswerkzeuge wurde aufgrund der Informationen aus der Literatur, dem Internet und Anfragen bei Softwareherstellern und/oder -vertretern durchge-

führt. Das Ergebnis dieser Beurteilung befindet sich im Anhang II Typisierung der Simulationswerkzeuge.

4.5 Strukturierung der Simulationswerkzeuge

Da die Anzahl der Merkmale gross ist, ist es schwierig, die Werkzeuge in eine Gesamtstruktur einzubinden, in der alle Merkmale berücksichtigt sind. Deshalb ist es sinnvoll, die Werkzeuge in verschiedene Gruppen zu unterteilen, z.B. bezüglich Anwendungsziel, -zweck oder Simulationstyp.

Gemäss Anwendungsziel können die beurteilten Simulationswerkzeuge beispielsweise in 3 Gruppen (Planen, Verifizieren und Optimieren) unterteilt werden (vgl. Abb. 4.14). Aus der Abbildung wird ersichtlich, dass es im Vergleich zu den Verkehrssimulationswerkzeugen mehr universelle Transportsimulationswerkzeuge gibt, welche alle drei Anwendungsziele beinhalten.

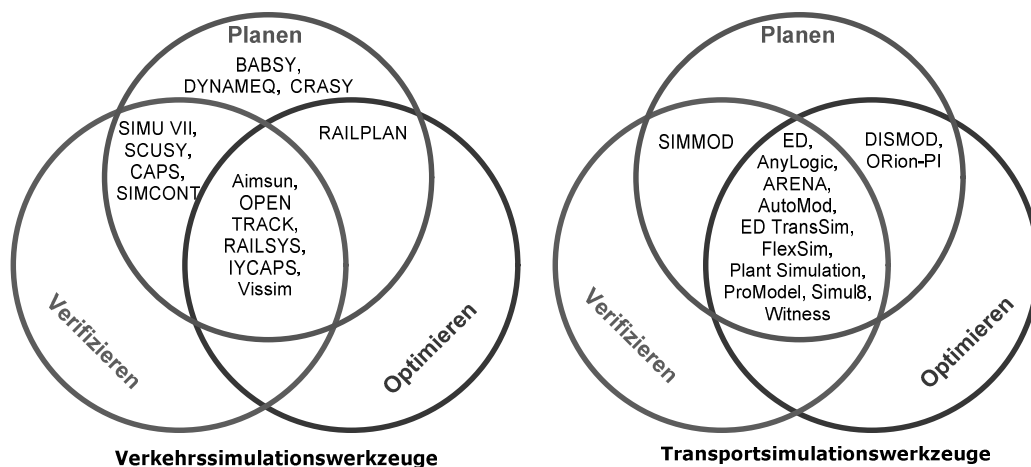


Abb. 4.14 Gruppierung der Werkzeuge gemäss Anwendungsziel

Tab. 4.7 zeigt eine Zusammenstellung der Simulationswerkzeuge geordnet nach Anwendungszweck. Die Tabelle enthält nur die auf dem freien Markt zugänglichen Werkzeuge. BABSI, CAPS, CRASY, IYCAPS und SIMCONT werden deshalb nicht aufgeführt.

Tab. 4.7 Anordnung der Werkzeuge gemäss Fragestellungen

Fragestellungen	Werkzeuge für Verkehrssimulation	Werkzeuge für Transportsimulation
Standortplanung	-	AnyLogic, ARENA, AutoMod, DISMOD, Enterprise Dynamics, ED TransSim, Flexsim, ORion-PI, Plant Simulation, ProModel, Simul8, Witness
Anlagen- und Infrastrukturplanung	Aimsun, DYNAMIQ, OPENTRACK, RAILSYS, SCUSY, SIMU VII, Vissim	ARENA, AutoMod, Enterprise Dynamics, Flexsim, Plant Simulation, ProModel, Simul8, Witness
Betriebsplanung von Verkehrsanlagen	Aimsun, DYNAMIQ, OPENTRACK, RAILPLAN, RAILSYS, SCUSY, SIMU VII, Vissim	SIMMOD
Logistikstrategien/-konzepte, Transportkonzepte	-	AnyLogic, ARENA, AutoMod, DISMOD, Enterprise Dynamics, ED TransSim, Flexsim, ORion-PI, Plant Simulation, ProModel, SIMMOD, Simul8, Witness
Massnahmenplanungen und Auswirkungsanalysen	Aimsun, DYNAMIQ, OPENTRACK, RAILSYS, SCUSY, SIMU VII, Vissim	AnyLogic, ARENA, AutoMod, Enterprise Dynamics, FlexSim, Plant Simulation, ProModel, Simul8, Witness

Eine Gruppierung gemäss Simulationstyp ergibt die in Abb. 4.15 dargestellte Struktur.

Die Verkehrssimulationswerkzeuge sind zeitorientiert; die Transportsimulationswerkzeuge sind meistens ereignisorientiert.

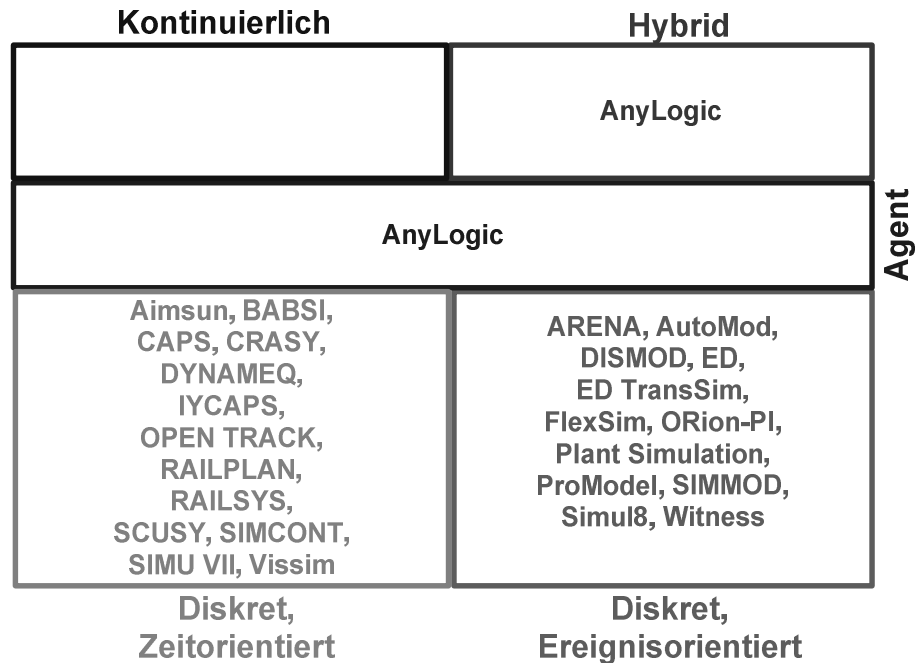


Abb. 4.15 Gruppierung der Werkzeuge gemäss Simulationstyp

Die weiteren Erkenntnisse aus der Beurteilung der Werkzeuge sind in der folgenden Tab. 4.8 zusammengefasst.

Die Unterscheidung der Güterverkehrs- und Transportplanung zeigt, dass

- für die Güterverkehrsplanung eher spezialisierte Werkzeuge existieren, während für die Transportplanung (inkl. Logistik) häufig offenere, universellere Werkzeuge zum Einsatz kommen.
- die grössten Unterschiede zwischen Güterverkehrs- und Transportplanungswerkzeugen in den Bereichen „Anwender“, „Flexibilität“ und „Simulationsumfang“ bestehen. Die Güterverkehrswerkzeuge werden in der Regel vom Planer bedient, sind bezüglich Anwendung weniger flexibel und für den Simulationsumfang spezialisiert. Bei den Transportsimulationstools werden die Modelle häufig durch den Simulationsexperten aufgebaut, da sie komplexer aber dafür auch flexibler sind. Einmal erstellte Modelle können danach auch durch den Planer bedient werden.
- sich die Güterverkehrs- und Transportplanungswerkzeuge im Aufbauaufwand, Anwendungsaufwand und in der Installation der Software kaum unterscheiden.
- für einfache Fragen eher spezialisierte Werkzeuge eingesetzt werden, für komplexe Fragen eher offenere Werkzeuge.
- ein Tool umso komplexer ist, je universeller es einsetzbar ist.
- die „Benutzerfreundlichkeit“ direkt abhängig von der Projektgrösse bzw. -dauer ist.
- 3D-Visualisierungen zwar schön anzusehen, aber meist nicht der effizienteste Weg zur Lösung des Problems sind.
- Open Source Software bis jetzt noch fehlen, erste Anzeichen für Anwendungen jedoch bereits ersichtlich sind (SIMMOD).
- eine Beurteilung der Werkzeuge in „gut“ bzw. „schlecht“ nicht möglich ist; die Beurteilung hängt massgeblich vom Projekt und dessen Bedürfnissen ab.

Tab. 4.8 Gemeinsamkeiten/Unterschiede zwischen den Verkehrs- und Transportsimulationswerkzeugen

Merkmal	Gemeinsamkeit	Unterschiede zwischen	
		Verkehrssimulationstools	Transportsimulationstools
Anwendungsziel	Planen, Optimieren, Verifizieren	Beinhalten 1-2 Anwendungsziele gleichzeitig	Es gibt mehrere Transportsimulationswerkzeuge, welche alle 3 Ziele abdecken
Anwender	selten Logistikdienstleister	Planer, Berater	Simulationsexperte
Anwendungsbe-reich	Umschlag	Schiene, Strasse, Wasser	Produktion, Lager, Supply-Chain Management; Schiene, Strasse für DISMOD, ED, ED TransSim
Anwendungs-zweck	Anlage- und Infrastrukturplanung, Massnahmenplanungen und Auswirkungsanalysen	Betriebsplanung von Verkehrsanlagen	Standortplanung, Logistikstrategien/-konzepte, Transportkonzepte
Simulationstyp	Diskret	Zeitorientiert	Ereignisorientiert
Inputdaten	Netze, Nachfrage, Simulationseinheit, Kapazitäten	zusätzlich für Verkehr: Betriebsprogramme (z.B. Bahn)	zusätzlich für Transport: Verfügbarkeit, Produktionsprogramm
Outputdaten	Belastungen, Auslastungen, Kosten, Durchlaufzeiten	-	zusätzlich für Transport: Transportqualität, -verfügbarkeit
Detailstufe	Ladeinheit, Fahrzeug, Zug, Personen, Kran, etc.	Die beweglichen Einheiten hängen vom Anwendungsbe-reich des Tools ab (z.B. Fahrzeuge für Strassen, Zug/Bahnwagen für Schiene, ...)	Es ist möglich beliebige bewegliche Einheiten abzubilden
Visualisierung	2D dynamische Animation	-	Oft 3D dynamische Animation möglich
Flexibilität	-	weniger flexible (oft unveränderbare) Algorithmen	Flexible (vorgegebene und eigene) Algorithmen
Spezialisierungs-grad	Hoch	-	Unterschiedlich, aber meistens hoch
Simulationszeit-raum	Minuten/Stunden	meistens auf Minuten/Stunden limitiert, aber auch auf Tage/Wochen möglich	bedecken alle Zeiträume (Sekunden - Jahre)
Simulationsum-fang	-	Die Werkzeuge sind meistens klar spezialisiert auf den Simulationsumfang: kleine, mittlere, grosse Projekte (ausser SIMU VII)	mit allen Werkzeugen kann man Projekte verschiedener Schwierigkeitsstufe machen
Aufbauaufwand	Mittel oder klein	-	-
Anwendungsauf-wand	Mittel (<5 Tage) oder klein (<1 Tage)	-	-
Komplexität	Mittel	/ oder klein	/ oder gross
Rechenzeit	Klein (Sekunden, Minuten)	-	für grössere Projekte auch Mittel (Stunden)
Softwaretyp	Kostenpflichtig	-	SIMMOD ist nicht kostenpflichtig
Zugänglichkeit Software	sind auf dem Markt erhältlich	nicht zugänglich sind BABSI, CAPS, CRASY, IYCAPS, SimCont	für SIMMOD ist Nutzungsrecht über Internet erforderlich
Installation Software	für fast alle Werkzeuge ist eine lokale Installation nötig	-	-
Betriebssystem	Windows-Betriebssystem	OPENTRACK ist für Mac; SIMU VII ist auch unter Linux lauffähig	AnyLogic ist auch unter Linux lauffähig

4.6 Auswahl des Simulationstools

Die Auswahl des Simulationstools erfolgt in der Praxis sinnvollerweise in drei Schritten:

1. Aufnehmen der Bedürfnisse der Anwender und Entscheid, ob ein Simulationstool angeschafft werden soll.
2. Potentielle Simulationstools zum Vergleich auswählen und Lieferanten anfragen.
3. Bewertung und Auswahl des passenden Simulationstools anhand einer Nutzwertanalyse.

Im ersten Schritt sollen die Bedürfnisse der Anwender aufgenommen werden. Folgende Informationen sind beispielhaft von Bedeutung:

- Verkehrs- oder Transportsimulationsbereich
- Anwendungsbereich / zu lösende Fragestellung(en)
- Anwendungshäufigkeit (einmalig, unregelmässig, regelmässig)
- Anwendungsspektrum (nur für eine Fragestellung, für mehrere ähnliche Fragestellungen, für verschiedenste Fragestellungen)
- Maximaler Kostenrahmen
- Bedürfnisse an die Visualisierung (Graphiken, Animationen)
- Kenntnisse der Anwender im Bereich Programmierung allgemein oder im Zusammenhang mit Simulationstools.

Auf der Basis der Bedürfnisse wird ersichtlich, ob ein Simulationstool selbst angeschafft, oder ob die Fragestellung durch einen externen Berater gelöst werden soll. In der Verkehrssimulation, aber vor allem auch im Bereich der Transportsimulation, empfiehlt sich letzteres, wenn die Anwendung nur einmalig ist. Die Einarbeitungszeit und die Vergessenskurve in einer Simulationsumgebung sind bei unregelmässiger Anwendung sehr gross.

Wird die Anschaffung eines Simulationstools entschieden, so werden im zweiten Schritt nun auf der Basis der Anwenderbedürfnisse mehrere Simulationstools ausgewählt, welche potentiell in Betracht zu ziehen sind und deshalb miteinander verglichen werden sollen. Die Auswahl kann beispielhaft auf der Basis der folgenden Informationen getroffen werden:

- Merkmalliste der Simulationstools (siehe Anhang II Typisierung der Simulationstools), in welcher die Eigenschaften der einzelnen Tools miteinander verglichen werden
- Liste der Simulationstools zur Lösung von einzelnen Fragestellungen (siehe Tab. 4.7 auf Seite 47)

Es sollen dabei nur diejenigen Tools ausgewählt werden, welche die Anwenderbedürfnisse am besten abdecken. Auf dem Markt nicht frei zugängliche Tools wie BABSI, CAPS, CRASY, IYCAPS und SIMCONT sind bei Eigenanwendung von vornherein auszuschliessen. Je breiter das geplante Anwendungsspektrum ist, umso offener müssen die Simulationstools sein. Soll hingegen nur eine einzige Fragestellung gelöst werden können, so sind auch spezialisierte Tools in Betracht zu ziehen.

Im Bereich der Verkehrsplanung gibt es eine Reihe spezialisierter Tools, welche beispielsweise der Abb. 4.16 entnommen werden können. Bei den Transportsimulatoren ist der Grossteil der Tools universell einsetzbar (z.B. AnyLogic, ARENA, AutoMod, ED, FlexSim, Plant Simulation, ProModel, Simul8, Witness). Spezialisierte Tools sind beispielsweise:

- SIMMOD – für Flugzeugtransporte,
- DISMOD – für Bereiche Schiene, Strasse, Wasser und SCM,
- ED TransSim für Simulation und Optimierung der Hofverkehre auf Speditionsanlagen bzw. in Distributionszentren

- ORion-PI – für Simulation und Optimierung der Wertschöpfungskette unter Berücksichtigung von Kosten und Zeiten.

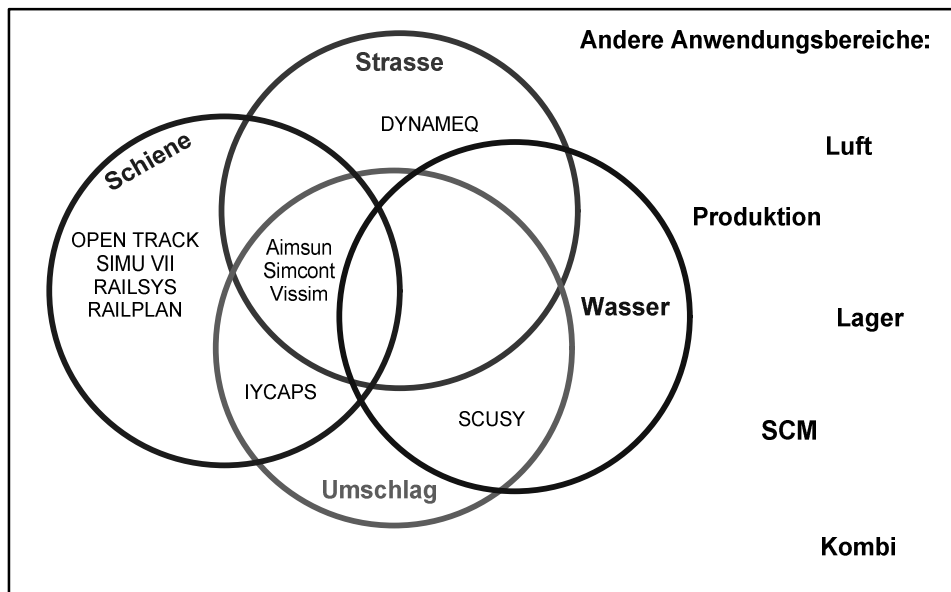


Abb. 4.16 Abgrenzung der Verkehrssimulationswerkzeuge gemäss Anwendungsbereich

Nachdem die zu vergleichenden Werkzeuge ausgewählt sind, können nun die Lieferanten angefragt werden, um zusätzliche Informationen zu erhalten. Von Interesse sind dabei unter anderem:

- Anzahl Referenzen für diese Fragestellung
- Support (Reaktionszeit, Ort)
- Kosten Simulator (Software, Wartung, Schulung, Unterstützung bei Modellaufbau)
- Schulungsangebot.

Im letzten Schritt wird schliesslich das beste Simulationswerkzeug anhand einer Nutzwertanalyse ausgewählt. Wichtige zu vergleichende Merkmale der Simulationswerkzeuge sind:

- Visualisierungsmöglichkeiten
- Bedienungsfreundlichkeit
- Modellierungsaufwand
- Anwendungsbreite und -offenheit
- Kenntnisse des Anwenders
- Support des Lieferanten
- Kosten der Software (Anschaffung und Wartung)
- Kosten für Unterstützung bei Modellaufbau
- Kosten für Schulung
- Schulungsangebot.

Die Gewichtung der einzelnen Merkmale ist abhängig vom Anwender und seinen Bedürfnissen.

Generell empfiehlt sich, das Werkzeug in einer ersten Phase erst zu mieten, bevor es gekauft wird. Insbesondere im Bereich der Transportsimulation ist es vorteilhaft, das erste Projekt in Zusammenarbeit mit einem Experten durchzuführen. Dies ist die effizienteste Weise, sich in die komplexe Materie der Simulation einzuarbeiten.

4.7 Folgerungen

- Die Güterverkehrs- und Transportplanungsbranche hat bereits den Vorteil der Anwendung von Simulationswerkzeugen erkannt. Es existiert eine Reihe von Simulationswerkzeugen, welche in diesen Branchen angewandt werden können, um verschiedene Fragestellungen, wie z.B. Standort-, Anlagen- und Infrastrukturplanung, Betriebs- und Logistikkonzepte zu untersuchen.
- Es konnte eine Merkmalraaster für die Typisierung von Simulationswerkzeugen entwickelt werden. Eine Typisierung der Simulationswerkzeuge nach verschiedenen Merkmalen ist möglich; die Zahl der Typisierungsmerkmale ist jedoch gross. Die Zuordnung der Werkzeuge zu einzelnen Merkmalen ist nicht immer eindeutig möglich. Die Typisierung der Simulationswerkzeuge ist eine wichtige Grundlage für die Auswahl und Beschaffung.
- Verkehrs- und Transportsimulationswerkzeuge weisen Gemeinsamkeiten jedoch auch zahlreiche Unterschiede auf. Wichtige Unterscheidungsmerkmale sind zum Beispiel der Anwendungszweck, der Simulationstyp, die Flexibilität, der Spezialisierungsgrad und die Zugänglichkeit.
- Zwischen den Verkehrs- und Transportsimulationswerkzeugen bestehen folgende Unterschiede:
 - Die Transportsimulationswerkzeuge sind meistens ereignisorientiert, die Verkehrssimulationswerkzeuge sind zeitorientiert.
 - Die Transportsimulationswerkzeuge sind universeller und flexibler einsetzbar als Verkehrssimulationswerkzeuge. Es gibt eine Reihe von Simulatoren, wie z.B. AnyLogic, ARENA, Enterprise Dynamics, FlexSim, Plant Simulation, ProModel, usw., welche für beliebige Fragestellungen in der Güterverkehrs- und Transportplanung einsetzbar sind. Der Anwender ist mit diesen Werkzeugen in der Lage nebst den bereits sehr umfangreichen Simulationsbaustein-Bibliotheken eigene, individuell zugeschnittene Bausteine zu entwickeln bzw. aus den mitgelieferten Bausteinen abzuleiten.
 - Die anderen Transportsimulationswerkzeuge, wie ED TransSim, DISMOD, SIMMOD sind spezifische Werkzeuge für den Bereich Transport. Sie erlauben es, bestimmte Transportfragestellungen zu simulieren (bspw. Flughafen, Distributionsnetz, Speditionsanlage), sind aber nicht geeignet, alle möglichen Fragestellungen zu beantworten.
 - Verkehrssimulationswerkzeuge weisen meist einen höheren Spezialisierungsgrad auf und sind weniger offen in der Handhabung. Aimsun und Vissim erreichen für die Simulation des Strassenverkehrs und OpenTrack für den Bahnverkehr eine gewisse Universalität während andere Tools wie zum Beispiel SimCont (auf Umschlaganlagen des Kombinierten Verkehrs) stark spezialisiert sind.
- Bei der Auswahl eines Simulationswerkzeuges empfiehlt sich ein schrittweises Vorgehen unter Berücksichtigung der wichtigsten Auswahlkriterien. Die Auswahl hängt von den Bedürfnissen der Anwender, den Eigenschaften des Simulationstools und dem Support des Herstellers ab. Die Gewichtung der Auswahlkriterien hängt von den Anwenderbedürfnissen ab.
- In der Regel wird eher ein allgemeines Transportsimulationswerkzeug ausgewählt falls kein bereichsspezialisiertes Werkzeug existiert, die Fragestellung komplex ist, eine spezielle Animation gewünscht wird oder die Zahl der Anwendungen hoch ist.
- Anwender haben sich in der Praxis für eine effiziente Bearbeitung oft auf eine beschränkte Anzahl von Simulationswerkzeugen spezialisiert. Die Frage der Wahl eines Simulationswerkzeuges stellt sich damit nur periodisch.

5 Evaluation durchgeführter Simulationen

5.1 Einleitung

5.1.1 Ziele/Vorgehen

Mit der Evaluation von durchgeführten Simulationen sollen ein Überblick und eine Synthese über bisher durchgeführte Simulationen in der Verkehrs- und Transportplanung erstellt werden.

Folgenden Leitfragen sollen mit der Evaluation beantwortet werden:

- Wo, wie und wofür wurden/werden Simulationswerkzeuge im Verkehrs- und Transportwesen (inkl. Transportlogistik) bisher eingesetzt? Welche Erfahrungen wurden/werden damit gemacht?
- Welchen Beitrag können Simulationswerkzeuge zu Problemlösungen in der Güterverkehrs- und Transportplanung leisten?
- Worin liegt der Nutzen des Einsatzes von Simulationswerkzeugen und welches sind die Kosten? Wo liegen deren Anwendungsmöglichkeiten und -grenzen?

Grundlagen für die Evaluation durchgeführter Simulationen bildeten eine schriftliche Befragung mit einer Projektsammlung und Experteninterviews

5.1.2 Schriftliche Befragung mit Projektsammlung

Vorgehen

Die Sammlung von Projekten als Grundlage für die Evaluation erfolgte mittels einer schriftlichen Befragung. Für eine systematische Erfassung von Simulationsprojekten wurde ein Projektblatt entwickelt (vgl. folgender Abschnitt). Das Ausfüllen eines Projektblattes sollte nicht mehr als 30 Minuten in Anspruch nehmen. Das Projektblatt wurde auch in die englische Sprache übersetzt, um auch aus dem nicht deutschsprachigen Raum der Schweiz und dem Ausland Antworten zu erhalten. Auf eine Übersetzung ins Italienische und Französische wurde verzichtet, da Simulationentwickler und -anwender in der Regel über gute Englischkenntnisse verfügen.

Aufgrund von persönlichen Kontakten und weiteren Kenntnissen der Forschungsstelle und der Begleitkommission, Internetrecherchen und Verbandslisten wurde eine Liste von Ansprechpersonen bzw. Firmen erstellt, die Simulationstools entwickeln und/oder anwenden und für die Projektsammlung in Frage kommen.

Diesen Ansprechpersonen wurde per E-Mail das Projekterfassungsblatt sowie ein beispielhaft ausgefülltes Projektblatt zugestellt, mit der Bitte, für eines oder auch mehrere Projekte, für die eine Simulation in der Güterverkehrs- bzw. Transportplanung durchgeführt wurde, je ein Projektblatt auszufüllen.

Fragebogen/Projektblatt

Bei der Festlegung der zu erfassenden Projektinformationen wurde auch auf die Merkmalsliste der Typisierung zurückgegriffen (vgl. Kap. 4).

Damit das Ausfüllen des Projektblattes nicht mehr als 30 Minuten benötigt, wurde das Projektblatt so aufgebaut, dass möglichst viele Antworten per ankreuzen gegeben werden konnten. Zugleich erleichtert dies die Auswertung der Antworten. Wo nötig (falls die Auswahl an Antworten nicht das ganze mögliche Spektrum abdeckt oder bei Fragen ohne Antwortvorgaben) wurde die Möglichkeit gegeben, einen persönlichen Antworttext einzugeben.

Der Fragebogen bzw. das Projektblatt gliedert sich in 5 Bereiche:

- Angaben zum Projekt (für das eine Simulation durchgeführt wurde)
- Angaben zur Simulationsanwendung

- Angaben zum verwendeten Simulationswerkzeug
- Angaben zu Erfahrungen/Beurteilungen des Simulationswerkzeuges
- Weitere Angaben

Die folgenden Abbildungen zeigen das Projektblatt:

Projekt	
Projektname	Projektname
Projektbeschreibung	kurzer Projektbeschrieb: um was geht es, was wurde simuliert
Projektbearbeiter	Projektleiter: Projektleiter Sachbearbeiter: Sachbearbeiter
Auftraggeber	Verantwortlicher Auftraggeber
Anwendungsbereich	☐ Schiene ☐ Strasse ☐ Wasser ☐ Luft ☐ Kombi ☐ Umschlag ☐ Produktion ☐ Lager ☐ Supply-Chain-Management ☐ anderes: anderer Bereich
Anwendungszweck	☐ Standortplanung ☐ Anlage- und Infrastrukturplanung ☐ Betriebsplanung von Verkehrsanlagen ☐ Logistikstrategien/-konzepte ☐ Massnahmenplanungen und Auswirkungsanalysen ☐ weitere: anderer Anwendungszweck
Anwendungsziel	☐ Planen ☐ Optimieren ☐ Verifizieren ☐ Nachweis der Machbarkeit ☐ anderes Ziel der Simulation: Ziel der Simulation

Simulationsanwendung					
Anwendung	☐ einmalig ☐ kontinuierlich ☐ On Line ☐ Off Line ☐ regelmässige Abstände				
Anwender	wer wendet die Simulation an: ☐ Hersteller des Simulationswerkzeuges ☐ Ersteller des Simulationsmodells ☐ Auftraggeber ☐ Kunde des Auftraggebers ☐ andere: andere Anwender				
Simulationsumfang	<table border="0"> <tr> <td> Modellgrösse: ☐ Anzahl Knoten: ☐ Anzahl Verbindungen: ☐ Anzahl Submodule/-routinen: ☐ weiteres: weiteres </td> <td> Simulationszeitraum ☐ Minuten ☐ Wochen ☐ Stunden ☐ Monate ☐ Tage ☐ Jahre ☐ anderer Zeitraum: anderer Zeitraum </td> </tr> <tr> <td> Berechnungszeit ☐ gross (Tage) ☐ mittel (Stunden) ☐ klein (Minuten/Sekunden) </td> <td> Aufbauaufwand ☐ klein (Tage, < 1 Monat) ☐ mittel (1 bis 6 Monate) ☐ gross (> 6 Monate) </td> </tr> </table>	Modellgrösse: ☐ Anzahl Knoten: ☐ Anzahl Verbindungen: ☐ Anzahl Submodule/-routinen: ☐ weiteres: weiteres	Simulationszeitraum ☐ Minuten ☐ Wochen ☐ Stunden ☐ Monate ☐ Tage ☐ Jahre ☐ anderer Zeitraum: anderer Zeitraum	Berechnungszeit ☐ gross (Tage) ☐ mittel (Stunden) ☐ klein (Minuten/Sekunden)	Aufbauaufwand ☐ klein (Tage, < 1 Monat) ☐ mittel (1 bis 6 Monate) ☐ gross (> 6 Monate)
Modellgrösse: ☐ Anzahl Knoten: ☐ Anzahl Verbindungen: ☐ Anzahl Submodule/-routinen: ☐ weiteres: weiteres	Simulationszeitraum ☐ Minuten ☐ Wochen ☐ Stunden ☐ Monate ☐ Tage ☐ Jahre ☐ anderer Zeitraum: anderer Zeitraum				
Berechnungszeit ☐ gross (Tage) ☐ mittel (Stunden) ☐ klein (Minuten/Sekunden)	Aufbauaufwand ☐ klein (Tage, < 1 Monat) ☐ mittel (1 bis 6 Monate) ☐ gross (> 6 Monate)				
Varianten/Szenarien	wurden Varianten bzw. Szenarien untersucht? ☐ Varianten, Anzahl: ☐ Szenarien, Anzahl: ☐ nein				
Prognosehorizont	☐ Optimierung IST-Zustand ☐ Kurzfristprognose ☐ Mittelfristprognose ☐ Langfristprognose ☐ anderer: anderer Prognosehorizont				

Simulationswerkzeug	
benutztes Simulationswerkzeug	Name, Version, Hersteller
Detailstufe	bewegliche Einheiten: ☐ Sendung ☐ Zug ☐ Ladeinheit ☐ Personen ☐ Fahrzeug ☐ weitere Betriebsmittel (Kran etc.) ☐ Bahnwagen ☐ weitere: weitere Einheiten

Erfahrungen/Beurteilung Simulationswerkzeug	
positive Erfahrungen	was ist bei der Anwendung des Simulationswerkzeuges positiv aufgefallen
negative Erfahrungen	was ist bei der Anwendung des Simulationswerkzeuges negativ aufgefallen
Wahl Werkzeug	Hauptgründe für die Wahl des benutzten Werkzeugs, welche alternativen Werkzeuge wurden evaluiert
Nutzen der Simulationsresultate	Nutzen/Beitrag der Simulation zur Problemlösung, Beschrieb Output
weitere Erfahrungen	weitere Erfahrungen

weiteres	
weitere Informationen	Website, Publikationen
generelle Bemerkungen zur durchgeführten Simulation	generelle Bemerkungen
ausgefüllt durch	Ausfüller
ausgefüllt am	Datum
Rückfragen Erstellung	Ersteller des Simulationsmodells
Rückfragen Anwendung	Anwender des Simulationsmodells

Abb. 5.17 Projektblatt

Anfragen/Rücklauf

Die Projektanfragen mit der Projektsammlung fanden im Zeitraum zwischen Juni 2008 und Januar 2009 statt. Wie die folgende Grafik zeigt, wurden 58 Ansprechpersonen angeschrieben (inklusive Forschungsstelle), 22 haben geantwortet. Von diesen 22 Antworten waren 12 positiv, d.h. es wurde für eines oder mehrere Projekte ein Projektblatt ausgefüllt. Insgesamt kamen so Projektblätter für 25 Projekte zusammen.

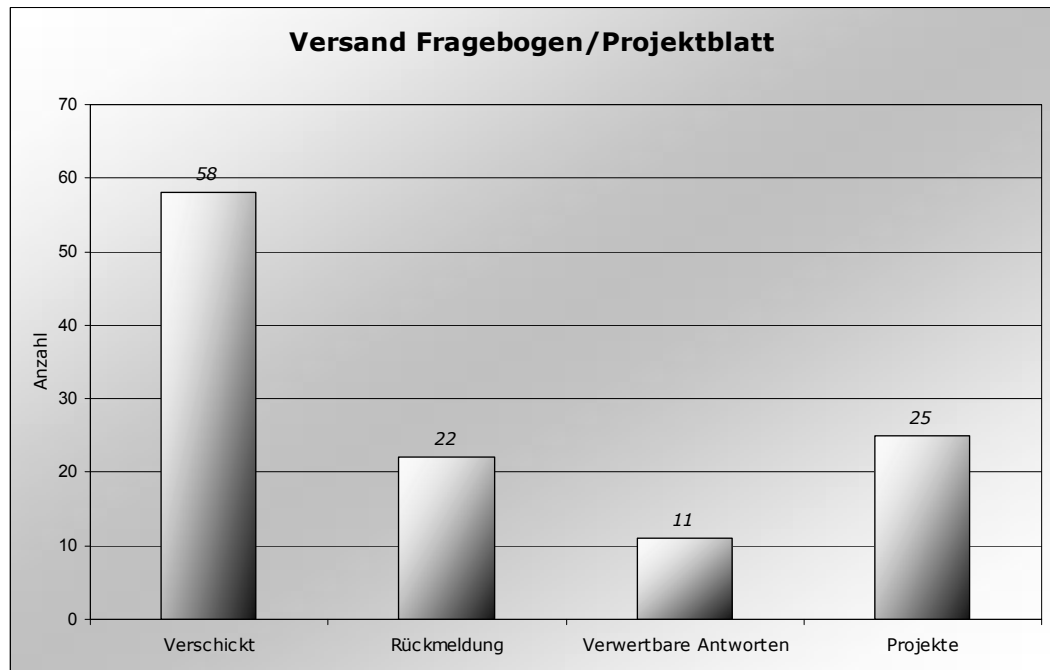


Abb. 5.18 Rücklauf und gesammelte Projekte

Im Rahmen einer Nachfassaktion wurde der Aufruf zum Ausfüllen der Projektblätter wiederholt und der Eingabetermin verlängert. Als Anreiz zur Teilnahme an der Umfrage wurde den Zielpersonen der Nutzen des Projektes für die Simulation aufgezeigt und ein Berichtsexemplar des Schlussberichts in Aussicht gestellt.

Als Gründe für die Verweigerung der Teilnahme an der Umfrage sind folgende anzuführen:

- Vertraulichkeit des Projektes (keine Freigabe durch Kunden), insbesondere bei Projekten von privaten Auftraggebern
- Keine Simulation im Bereich der Güterverkehrs- und Transportplanung durchgeführt (z.B. eher in der reinen Logistiksimulation wie z.B. einer Produktionsplanung einer Fabrik)

Der Rücklauf wurde in die Kategorien Ort, Unternehmensart und Simulationsbereich eingeteilt. Damit können die Ergebnisse besser eingeschätzt werden.

Zwei Drittel der Projekte stammen aus der Schweiz, ein Drittel aus dem Ausland. Der grösste Anteil von Projekten wurde von Hochschulen eingereicht, wobei der Hauptanteil von der Forschungsstelle stammt. Von den 25 Projekten stammen 13 (52%) von der Forschungsstelle.

Die Aufteilung zwischen Verkehrs- und Logistiksimulation ist nicht immer ganz eindeutig durchführbar. Die vorgenommene Zuordnung zeigt eine ausgeglichene Aufteilung.

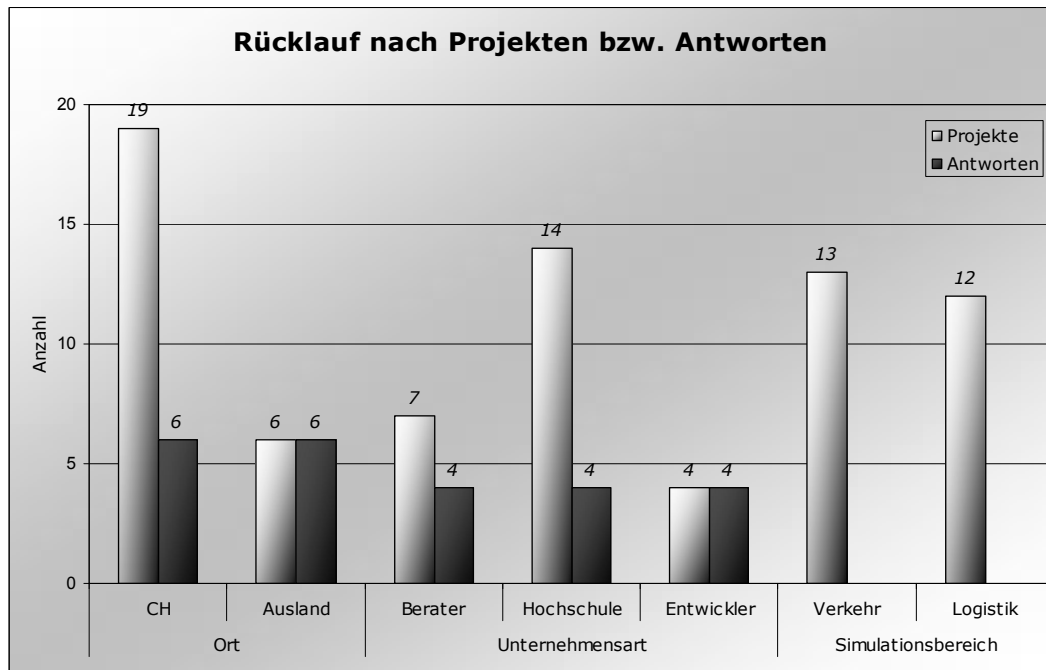


Abb. 5.19 Rücklauf nach Ort, Unternehmensart und Simulationsbereich

Die ausgefüllten Projektblätter zeichnen sich durch gute Projektbeschreibungen aus. Die quantitativen Angaben wurden gut und vollständig ausgefüllt. Bei den qualitativen Angaben wie „Erfahrungen mit dem Simulationstool“ oder „Gründe für die Wahl des Simulationstools“ wurden teilweise gar keine Angaben gemacht. Generell können folgenden Aussagen bezüglich der Qualität des Rücklaufs gemacht werden:

- Qualität der Antworten: gut
- Quantität der Antworten: genügend

Die evaluierten Simulationen gehen aus der nachfolgenden Tabelle hervor:

Tab. 5.9 Evaluierte Simulationen

Projektname	Simulationsbereich	Simulationsanwender	Simulationstool
Entladesimulation	Logistiksimulation	ZHAW, Institut für Angewandte Simulation	Plant Simulation, 7.6, Siemens Product Lifecycle Management Software Inc.
Logistikcenter-Netz	Logistiksimulation	ZHAW	StaSim, Orgaplan Logistik GmbH
Planungsstrategien für weltweite Saatgutverteilung	Logistiksimulation	Swiss Simulation Engineering GmbH	Simscrip II.5 mit MASTER-Code Generator, CACI Ltd.
PLATO: Abbildung Logistiknetzwerk Post	Logistiksimulation	SDZ	PLATO, SDZ in Dortmund (DE)
Produktions- und Logistikoptimierung	Logistiksimulation	ASE GmbH	Flexsim, 4.1
Simulation von Distributionsszenarien bei einem Logistikdienstleister	Logistiksimulation	Axxom Software AG	ORion-PI® Value Network Optimization, Version 2.3, Axxom Software AG
Simulation, Tendermanagement und Controlling der Inbound-Transporte	Logistiksimulation	LOCOM Consulting GmbH / LOCOM Software GmbH	LogisticsDesigner 1.3.0, LOCOM Software GmbH
Tourenoptimierung mit Simulation für die Genossenschaft Migros Basel	Logistiksimulation	ZHAW, Institut für Angewandte Simulation	ProModel
Tourenoptimierung mit Simulation für die	Logistiksimulation	ZHAW, Institut für Angewandte Simulation	ProModel

Genossenschaft Migros Winterthur			
Tourenplanung mit Simulation bei Migros Ostschweiz	Logistiksimulation	ZHAW, Institut für Angewandte Simulation	ProModel
Tourenttransportplaner	Logistiksimulation	ZHAW, Institut für Angewandte Simulation	Plant Simulation, 7.6, Siemens Product Lifecycle Management Software Inc.
TransSim: Simulation von ausser- und innerbetrieblichen Abläufen in einem Speditionszentrum	Logistiksimulation	Incontrol Enterprise Dynamics GmbH	Enterprise Dynamics, ED 7.2
CHAUFFEUR II: LKW-Kolonnenbildung (autonome Folgefahrzeuge)	Verkehrssimulation	PTV AG	VISSIM, PTV AG
Erforschung kabelloses Aufzugssystem mittels Simulation	Verkehrssimulation	Swiss Simulation Engineering GmbH	Simscrip II.5 mit MASTER-Code Generator, CACI Ltd.
Mikrosimulation Dosierrsystem am Gott-hard	Verkehrssimulation	Rapp Trans AG	Aimsun, Version 2004, TSS (http://www.aimsun.com/site/content/category/2/7/61/)
OVID, Teilprojekt Güterverkehrsmikromodellierung	Verkehrssimulation	Universität Karlsruhe, Institut für Wirtschaftspolitik und Wirtschaftsforschung	Eigenentwicklung, Nutzung von Routen der ILOG, SA., Gentilly, France (CLP Solver, Dispatcher Modul)
Reservationssystem Alpenquerender Güterverkehr	Verkehrssimulation	Rapp Trans AG	Aimsun, Version 2004, TSS (www.aimsun.com)
SimConT Simulation einzelner Funktionen von Binnenland Container Terminals	Verkehrssimulation	BOKU - University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Vienna Department of Economics and Social Sciences Production and Logistics in Forest based Industry	Arena, 8.0, Rockwell Software Ltd., AnyLogic, 6.2, XJ Technologies
Simulation Flugplan Swissair - benefit of reserve a/c	Verkehrssimulation	ZHAW, Institut für Angewandte Simulation	ProModel, 7.0, ProModel Corporation
Simulation geplantes Passagierterminal Basel-Mulhouse-Freiburg	Verkehrssimulation	Swiss Simulation Engineering GmbH	Simscrip II.5 mit MASTER-Code Generator, CACI Ltd.
Simulation GVZ Graz-Werndorf	Verkehrssimulation	SMA und Partner AG	OpenTrack
Simulation Warenanlieferung und Personenströme neues Polizei- und Justizzentrum Zürich	Transport-simulation	ZHAW, Institut für Angewandte Simulation	ProModel, 7.0, ProModel Corporation
STABILO	Verkehrssimulation	SBB Infrastruktur	OpenTrack v1.5, OpenTrack Railway Technology GmbH
Standortvergleich Schwerverkehrszentren (SVZ) Stans und Erstfeld	Verkehrssimulation	Rapp Trans AG	Aimsun, Version 2004, TSS (http://www.aimsun.com/site/content/category/2/7/61/)
Verkehrssimulationen Novartis Campus St. Johann	Verkehrssimulation	Rapp Trans AG	Aimsun, Version 2003, TSS (www.aimsun.com)

5.1.3 Experteninterviews

Ergänzend zu der schriftlichen Befragung mit Projektsammlung wurden als Grundlage für die Evaluation Experteninterviews geführt. Die Experteninterviews dienten dazu, Lücken aus der schriftlichen Befragung zu schliessen, Unsicherheiten zu klären und den Leitfaden für Simulationsprojekte in der Güterverkehrs- und Transportplanung (vgl. Anhang VI) zu verifizieren und zu optimieren. Als methodischer Ansatz wurden strukturierte Interviews auf der Basis eines Interviewleitfadens gewählt.

Es wurden telefonisch oder persönlich 8 Interviews mit Experten durchgeführt, welche Modellbauer, Modellanwender oder Auftraggeber für Simulationsprojekte sind. Softwareentwickler standen für die Interviews nicht im Vordergrund. Die Interviews dauerten rund 1 bis 2 Stunden.

Folgende Experten erklärten sich für ein Interview bereit:

Tab. 5.10 Interviewte Experten

Experte	Institution/Firma	Logistik-simulation	Verkehrs-simulation	Eingesetzte Simulationsinstrumente
Michael Balmer	Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme, ETH Zürich		X	MATSim, UrbanSim, VISSIM (am IVT)
Willi Bernhard	Swiss Simulation Engineering GmbH, Muttenz	X		Simscript II.5, Simul8
Meinrad Engeler	ASE Analysis Simulation Engineering GmbH, Zürich	X		FlexSim, Simlog, ExtendSim, Anylogic
Hans Engeli	Schweizerische Post, Post Logistics, Bern	X		PLATO
Manfred Gronalt	Universität für Bodenkultur, Institut für Produktionswirtschaft und Logistik, Wien	(X)	X	SIMCONT
Daniel Hürlimann	OpenTrack Railway Technology GmbH, Zürich		X	OpenTrack
Adrian Leuenberger	Unique Flughafen Zürich AG, Zürich-Flughafen	X	(X)	Arena, CAST, SIMMOD
Albert Steiner	Institut für Datenanalyse und Prozessdesign, ZHAW, Winterthur		X	Aimsun, SimWalk, NOMAT

In den Interviews wurden Fragen zu folgenden Bereichen gestellt:

- Fragen zu Erkenntnissen aus der Evaluation
- Fragen zu Nutzen, Kosten, Anwendungsmöglichkeiten und -grenzen
- Fragen zum Leitfaden
- Weitere Fragen (zum Simulationsbedarf, Entwicklung der Simulationsinstrumente, etc.)

Der Interviewleitfaden mit den detaillierten Fragen geht aus dem Anhang 0 hervor. Die Interviews wurden im Juni 2009 durchgeführt.

Die Interviews lieferten wichtige Erkenntnisse zur Evaluation von Simulationsprojekten (vgl. Kap. 5.2 und 5.3) und zur Synthese über Simulationsanwendungen in der Güterverkehrs- und Transportplanung (vgl. Kap. 6).

5.2 Auswertung/Analyse und Ergebnisse

5.2.1 Projektsammlung und Interviews

Die 25 eingegangenen Projektblätter wurden quantitativ und qualitativ ausgewertet. Aufgrund der erheblichen Anzahl von Projekten der Forschungsstelle (Anteil 52 %) können die Auswertungen stark vom Projektsample geprägt sein. Darum müssen die folgenden Resultate immer vor dem Hintergrund der eingegangenen Projekte (vgl. Tabelle 5.9) interpretiert werden. Bei den Ergebnissen, bei welchen der Einfluss des Samples gross ist wurde speziell darauf hingewiesen.

Die nachfolgenden Auswertungen, Analysen und Ergebnisse stützen sich auf die schriftliche Befragung mit Projektsammlung und wurden mit den Interviewergebnissen ergänzt und vervollständigt. Zuerst werden immer die Ergebnisse der schriftlichen Befragung dargestellt und beurteilt. Wenn entsprechende Antworten zu den Fragebereichen auch aus den Interviews vorlagen, wurden diese ergänzt.

Bei der Auswertung ist immer auch zu beachten, dass bei zahlreichen Fragen Mehrfachantworten möglich waren und die Summe der Antworten nicht notwendigerweise 25 beträgt.

Anwendungsbereich

Die meisten Simulationen wurden für den Bereich „Strasse“ durchgeführt, gefolgt von „Umschlag“. Simulationen für den Bereich Schiene wurden weniger für den Bereich „Wasser“ wurden eher selten durchgeführt bzw. sind weniger gut vertreten. Die Auswertung nach Anwendungsbereichen ist jedoch stark vom Projektsample abhängig.

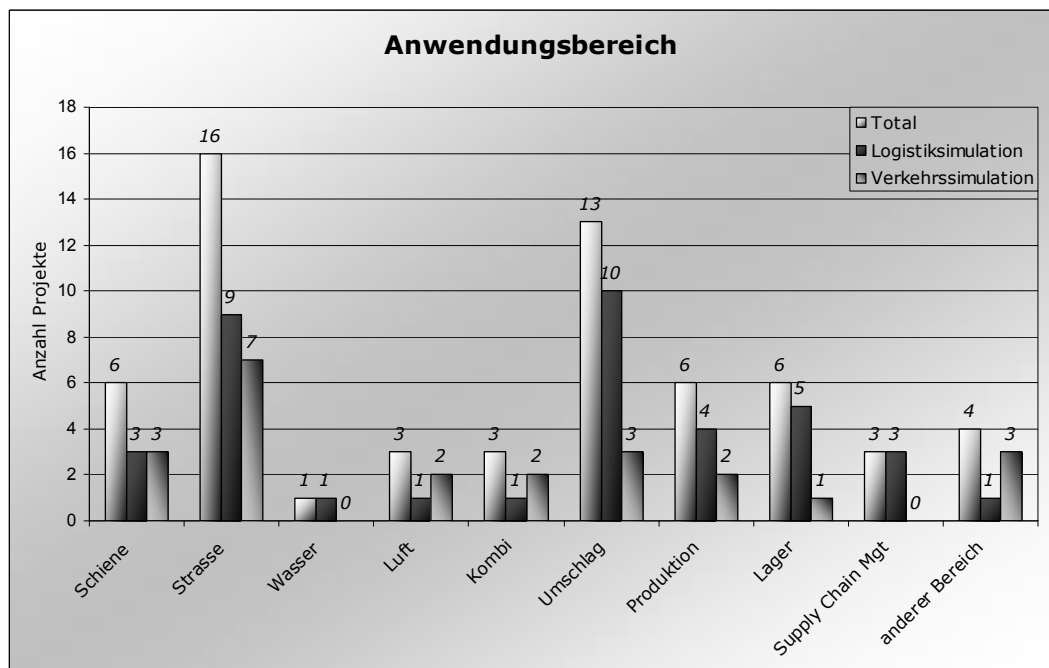


Abb. 5.20 Anwendungsbereich

Erwartungsgemäss bestehen die grössten Unterschiede zwischen Verkehrs- und Logistiksimulationen darin, dass die Logistiksimulationen häufiger in den Bereichen Umschlag, Produktion, Lager und SCM eingesetzt werden als die Verkehrssimulationen.

Anwendungszweck

Simulationen werden am häufigsten für die Erarbeitung von Logistikstrategien bzw. -konzepten verwendet, die Massnahmenplanung wurde am zweithäufigsten genannt. Die

Anlageplanung und die Betriebsplanung liegen an dritter Stelle. Bei dieser Frage waren Mehrfachantworten möglich. Die analysierten Simulationsprojekte decken damit grundsätzlich alle in Betracht kommenden Anwendungszwecke ab.

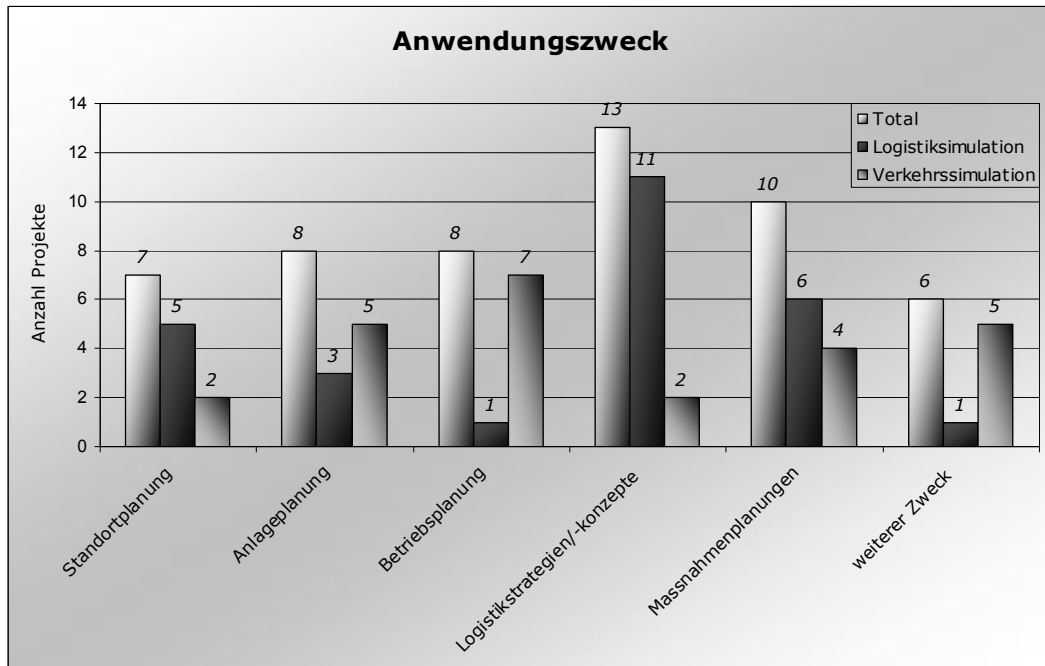


Abb. 5.21 Anwendungszweck

Verkehrssimulationen werden hauptsächlich für Betriebs- und Anlageplanung eingesetzt, Logistiksimulationen vor allem für Logistikstrategien und -konzepte sowie Standortplanungen. Generelle Massnahmenplanungen werden durch Logistik- und Verkehrssimulationen unterstützt.

Anwendungsziel

Das häufigste Anwendungsziel ist das Planen, gefolgt von Optimieren, Verifizieren und Machbarkeitsnachweis. Bei dieser Frage waren Mehrfachantworten möglich. Die analysierten Simulationsprojekte decken damit alle wichtigen Anwendungsziele ab.

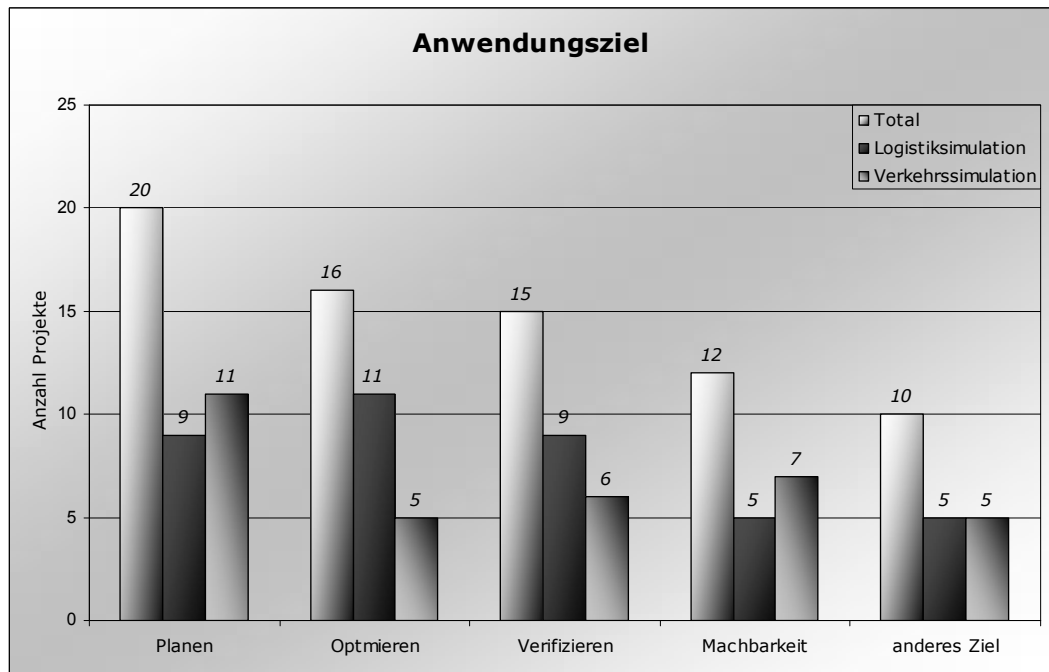


Abb. 5.22 Anwendungsziel

Die Unterschiede zwischen Verkehrs- und Logistiksimulationen bestehen darin, dass die Verkehrssimulation häufiger für die Planung und Machbarkeitsnachweise und die Logistiksimulation häufiger für das Optimieren und Verifizieren eingesetzt werden

Bei 10 der 25 Simulationsprojekte standen auch andere Ziele im Vordergrund; genannt wurden Ziele wie Dynamische Überprüfung der Touren im Simulator, Investitionsrisiken minimieren, Nachweis der Stabilität, optimale Bewirtschaftung, Standortvergleich SVZ, Funktionsweise herausfinden und Verkaufsförderung.

Auf die Frage warum Simulationsmodelle vor allem zum Planen und weniger zum Optimieren und Verifizieren eingesetzt werden, ergaben sich aus den Interviews folgende Hinweise:

- Eine deutliche Mehrheit der Experten ist der Meinung, dass bei Simulationen das Planen gegenüber dem Verifizieren und Optimieren im Vordergrund steht.
- Die Planung steht an erster Stelle weil die Planung der erste unumgängliche Schritt bei einem neuen Vorhaben ist. Zudem besteht die Möglichkeit mit Fallstudien und Zukunftsszenarien zu arbeiten.
- Die Einflussmöglichkeiten auf Investitionskosten/-risiken und Betriebskosten/-risiken sind in der Planung grösser als bei der Verifizierung und Optimierung.
- Zum Verifizieren und insbesondere Optimieren bestehender Systeme braucht es ein zusätzliches Budget. In guten Zeiten haben die wenigsten Interesse an einer Optimierung und in schlechten Zeiten fehlt das Budget.
- Teilweise fehlt auch das Wissen, dass die Simulation auch für die Verifizierung und Optimierung eingesetzt werden kann.

Auf die Frage ob sich dies in Zukunft ändern könnte, ergaben sich aus den Interviews folgende Hinweise:

- Planen dürfte das Hauptanwendungsziel bleiben, doch werden Verifizieren und insbesondere das Optimieren als Anwendungsziele an Bedeutung gewinnen. Der Hauptgrund liegt darin, dass neue Infrastruktur aufgrund der knappen Mittel und Flächen schwierig zu realisieren ist und das Augenmerk mehr und mehr auf einer besseren Nutzung der bestehenden Infrastruktur liegt (z.B. Flughafen Zürich-Kloten).

- Die steigenden Rechnerleistungen ermöglichen immer mehr Richtung Optimierung zu gehen.
- Das Verifizieren von Lösungen ist wichtig um Unsicherheiten bei der betrieblichen Machbarkeit und betriebliche Risiken zu erkennen bzw. auszuschliessen. Das Verifizieren kann auch dann Sinn machen, wenn man Verkehrs- und Logistikabläufe besser verstehen will.
- Die Simulationsanwendungsmöglichkeiten für die Verifizierung und die Optimierung sollten stärker kommuniziert werden.

Häufigkeit der Anwendung

Meist wurden die Simulationen nur einmal angewendet (16 Simulationsprojekte), neun Simulationen werden jedoch in regelmässigen Abständen wieder angewendet. Kontinuierliche sowie on-/offline-Anwendungen sind von untergeordneter Bedeutung. Diese Angaben sind jedoch stark von den erhaltenen Antworten abhängig und müssen vorsichtig interpretiert werden.

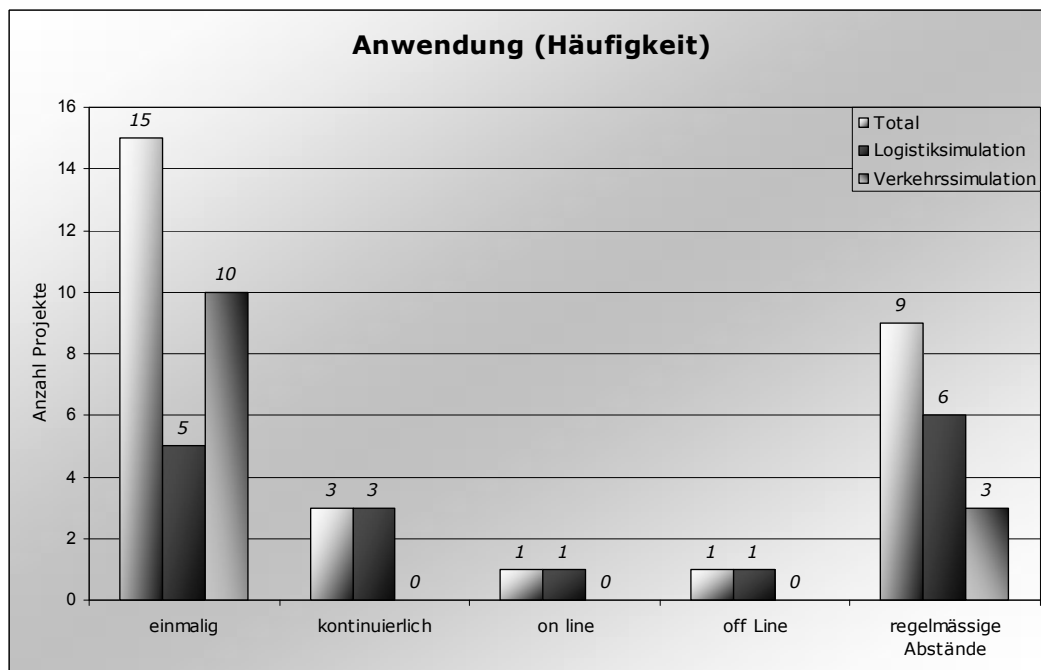


Abb. 5.23 Anwendung (Häufigkeit)

Verkehrssimulationen werden meist nur einmalig angewendet, Logistiksimulationen weit häufiger auch in regelmässigen Abständen.

Auf die Frage warum die meisten Simulationsmodelle oft nur einmalig eingesetzt werden ergaben sich folgende Hinweise aus den Experteninterviews:

- Dass Simulationsmodelle oft nur einmalig angewendet werden, hat damit zu tun, dass Simulationen oft projektspezifisch, also für eine spezielle Fragestellung, durchgeführt werden. Der Anwendungsfokus ist oft eng. Ist das Projekt realisiert braucht es keine Simulation mehr bzw. allenfalls noch für Projektanpassungen oder -erweiterungen bzw. für eine Optimierung.
- Simulationsanwendungen werden dann mehrfach angewendet, wenn grössere zusammenhängende Netze simuliert werden (z.B. S-Bahn Zürich, Verkehrsnetze ganzer Regionen) und sich laufend Fragen des zweckmässigen Ausbaus, der Optimierung von Infrastruktur und Betrieb stellen.

- Ein weiterer Grund für Mehrfachanwendungen ist der Einsatz von Simulationswerkzeugen für die laufende Betriebsoptimierung oder die Unterstützung des operativen Betriebes (z.B. Flughafen Zürich-Kloten).

Auf die Frage nach Handlungsfeldern, damit Simulationsmodelle häufiger mehrmalig eingesetzt werden, ergaben sich aus den Interviews folgende Hinweise:

- Aufgrund des meist grossen Modellaufbauaufwandes (im Gegensatz zur späteren Anwendung) wären Mehrfachanwendungen grundsätzlich sinnvoll. Anpassungen am Modell sind oft mit wenig Aufwand zu realisieren.
- Die Mehrfachanwendung von Simulationsmodellen kann unterstützt werden durch den Bau von möglichst flexiblen, vielseitig einsetzbaren und einfach benutzbaren Simulationsmodellen.
- Auch der Trend, mit Simulationsbausteinen oder -modulen zu arbeiten fördert die Mehrfachanwendung. Teile des Modells können auf neue Aufgabenstellungen übertragen werden.

Anwender

In den meisten Fällen werden die Simulationen auch vom Ersteller des Simulationsmodells angewendet. In knapp der Hälfte der evaluierten Simulationen wird die Simulation vom Auftraggeber selbst angewendet, nur in den wenigsten Fällen wird eine Simulation vom Hersteller des Simulationswerkzeuges oder einem Kunden des Auftraggebers angewendet.

Verkehrssimulationen werden meist vom Ersteller des Simulationsmodells angewendet, Logistiksimulationen häufig auch vom Auftraggeber.

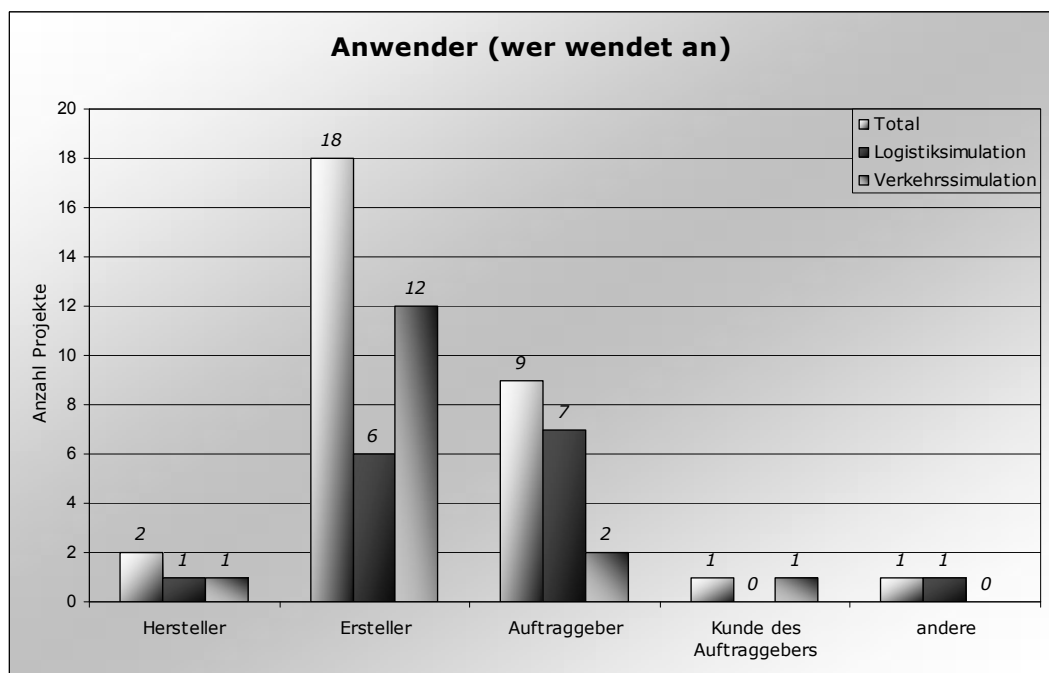


Abb. 5.24 Anwender

Hier ist anzumerken dass die Aufbau von Simulationsmodellen und oft auch die Anwendung ein grosses Know How und eine grosse Erfahrung erfordert. Das Know How muss gepflegt und weiterentwickelt werden. Dies kann nur sichergestellt werden wenn laufend Simulationsmodelle aufgebaut und angewendet werden.

Aus den Interviews hat sich auch gezeigt, dass die Modellbauer oft auch die Modellanwender sind. Das gilt insbesondere für offene und wenig spezialisierte Softwarepakete (z.B. Anylogic, Arena, Plant Simulation) oder aber für spezialisierte aber komplexe Soft-

warepakete (z.B. OpenTrack). Reine Modellanwender sind dort zu finden, wo die Modellbildung relativ stark strukturiert und vorgegeben ist (z.B. Vissim oder Aimsun).

Simulationszeitraum

Der Simulationszeitraum der evaluierten Projekte umfasst Minuten bis Jahre, wobei am häufigsten „Tage“ genannt wurde. Der Simulationszeitraum „Minuten“ ist eher von geringerer Bedeutung.

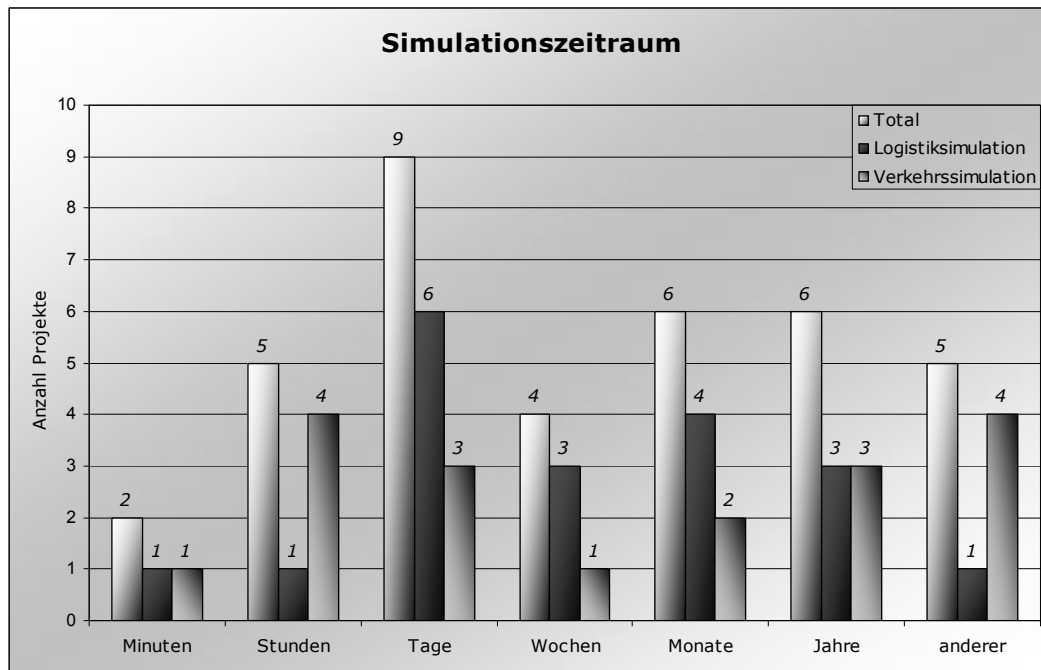


Abb. 5.25 Simulationszeitraum

Tendenziell werden für Verkehrssimulationen eher kürzere Simulationszeiträume gewählt als für Logistiksimulationen. Aufgrund der geringen Stichprobe kann dies jedoch nicht abschliessend beurteilt werden.

Berechnungszeit, Aufbauwand und Verwendung von Varianten und Szenarien

Die Berechnungszeit der Simulationsanwendungen liegt zwischen mittel (Stunden) und klein (Sekunden/Minuten).

Der Aufbauaufwand für ein Simulationsmodell ist klein (Tage) bis mittel (bis 6 Monate). Nur in Einzelfällen erfordert der Aufbauaufwand mehr als 6 Monate.

Rund 75% der der evaluierten Simulationsanwendungen verwenden Varianten oder Szenarien. Bei rund 60% der Projekte werden Varianten und Szenarien kombiniert.

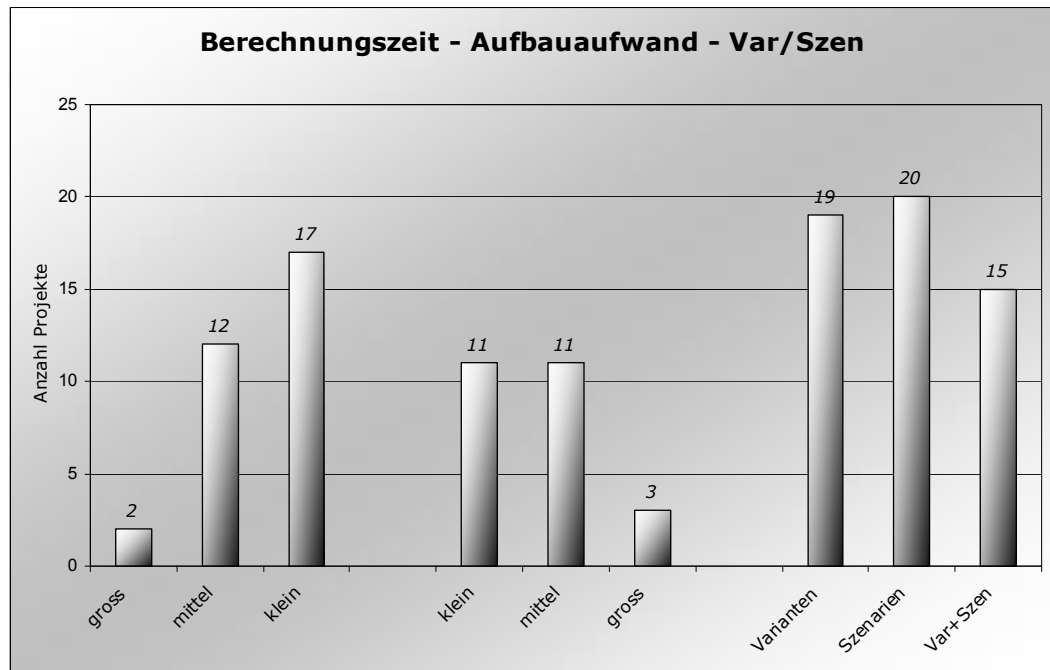


Abb. 5.26 Berechnungszeit, Aufbauaufwand und Verwendung von Varianten und Szenarien

Prognosehorizont

Als Prognosehorizont wird neben dem Ist-Zustand meist eine Mittelfristprognose für die Simulation angewendet. Kurzfrist- und Langfristprognosen werden eher weniger angewendet. Erwartungsgemäss ist der Prognosehorizont stark projektabhängig. Beispielsweise sind bei Verkehrssimulationen aufgrund der eher langfristigen Infrastrukturplanung tendenziell längere Prognosezeiträume zu erwarten als bei der Logistiksimulation.

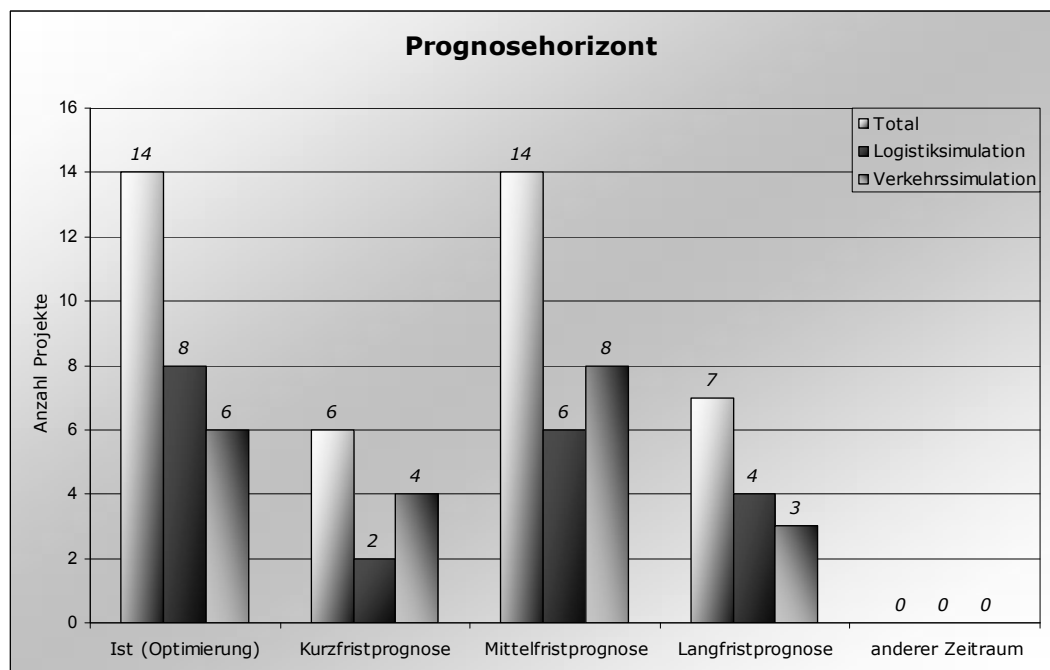


Abb. 5.27 Prognosehorizont

Detailstufe

Am häufigsten werden Simulationen auf Stufe Fahrzeug bzw. Ladeeinheiten durchgeführt, jedoch werden auch für die anderen wichtigen Detailstufen Simulationen angewendet.

det. Aufgrund der hohen Zahl an Projekten der Forschungsstelle muss die Interpretation der Ergebnisse jedoch vorsichtig angegangen werden.

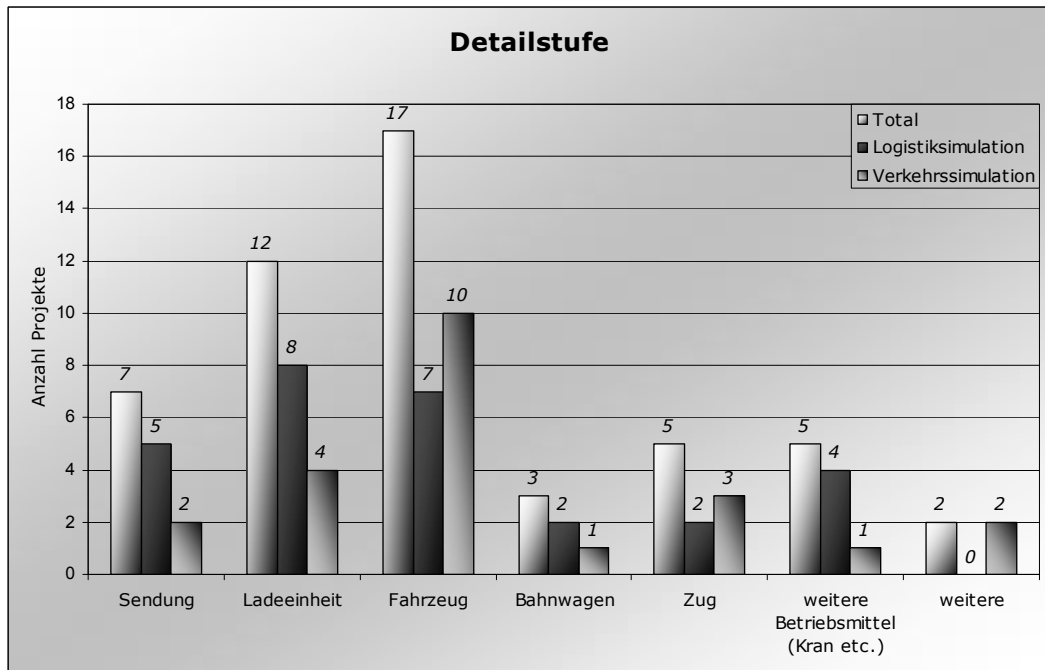


Abb. 5.28 Detailstufe

Verkehrssimulationen werden meist auf Stufe Fahrzeug, Ladeeinheit oder Zug durchgeführt, Logistiksimulationen verwenden häufiger die Einheiten Sendung, Ladeeinheit und Fahrzeug.

Erfahrungen/Beurteilung Simulationswerkzeug

Wenn Angaben zu Erfahrungen mit dem Werkzeug gemacht wurden, waren es meist positive. Die positiven Erfahrungen mit den Simulationswerkzeugen sind die vielfältige Einsetzbarkeit und die einfache Bedienung. Weiter wurde auch die Abbildungsmöglichkeit für verschiedene Zustände, Szenarien und Rahmenbedingungen genannt.

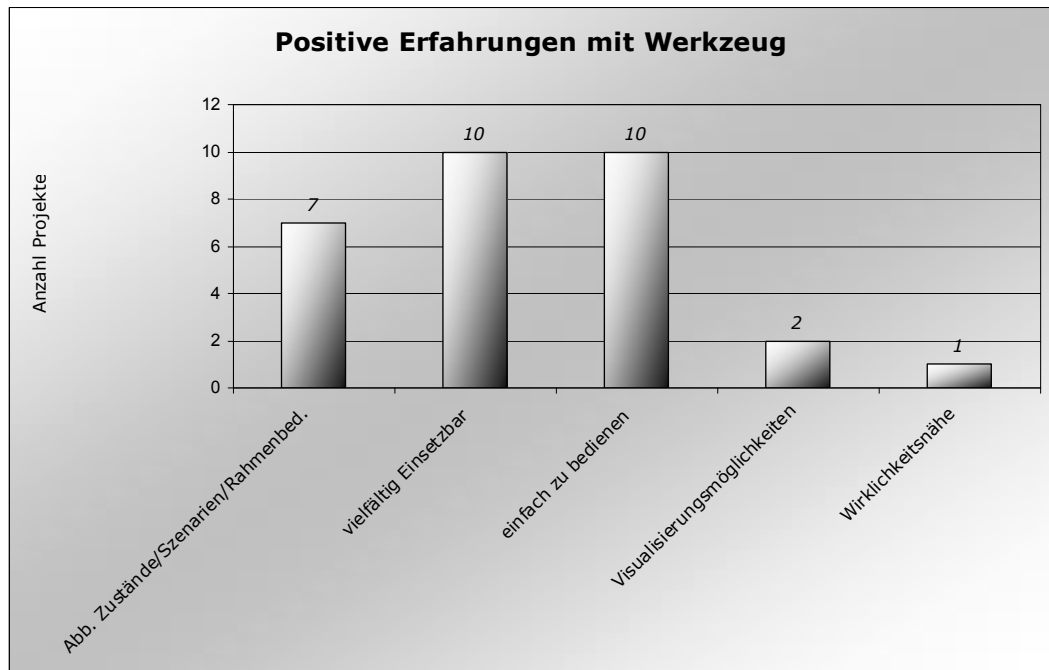


Abb. 5.29 Positive Erfahrungen mit Simulationswerkzeugen

Negative Erfahrungen wurden weniger genannt. Negative Erfahrungen mit den Simulationswerkzeugen sind zum Beispiel die mangelnde Dokumentation für die Bedienung, die im Kontrast zur Komplexität des Werkzeugs steht, sowie dass die Komplexität des Modells an die Grenzen des Machbaren des Werkzeugs stösst. Weiter wurde genannt dass Änderungen am Modell oft nur durch den Ersteller des Simulationsmodells vorgenommen werden können, was zu Abhängigkeiten bei der Bearbeitung führt.

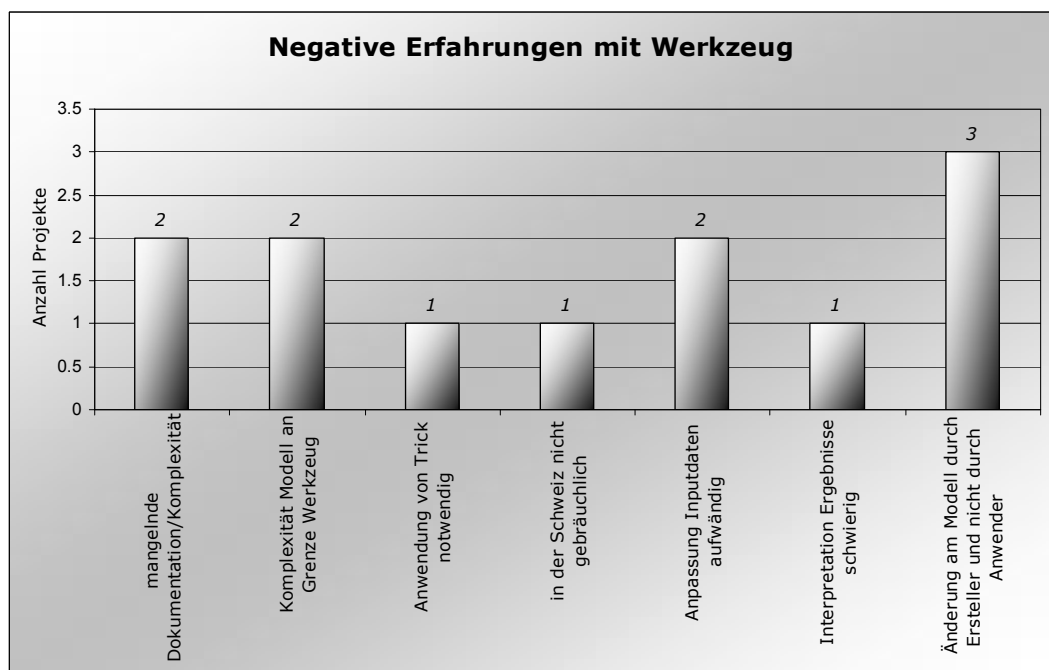


Abb. 5.30 Negative Erfahrungen mit Simulationswerkzeugen

Wahl des Simulationswerkzeugs

Für die Wahl des Werkzeugs werden aus der Projektevaluation und im Rahmen der Interviews folgende Gründe genannt:

- Erreichung Ziele/Beantwortung Fragestellung (Erwartete Resultate, Aussagekraft der Ergebnisse)
- Modellzusammenhänge mit Abbildung der massgebenden Wirkungsketten (Abbildbarkeit von Steuerungsregeln)
- Detaillierungsgrad in Raum und Zeit
- Einsatzflexibilität (bez. Unterschiedlicher Anwendungsfälle)
- Visualisierungsanforderungen und -möglichkeiten
- Kosten/Preis (Software, Schulung, Einarbeitung)
- Kooperation/Support Softwarehersteller
- Programmierfähigkeit/Programmierungsmöglichkeiten
- Benutzerfreundlichkeit
- Verfügbarkeit des Simulationsinstrumentes
- Vorwissen/Vorkenntnisse des Anwenders (wegen Einarbeitungsaufwand und „richtiger“ Anwendung)
- Projektgrösse unter Berücksichtigung von Kosten und Nutzen
- Kompatibilität mit bestehenden Simulatoren, welche im Einsatz sind.
- Referenzen, bisherige Anwendungen mit dem Simulationswerkzeug

Die Experten sind sich einig, dass heute bei der Wahl des Simulationswerkzeuges zum Teil zu stark auf die Visualisierungsmöglichkeiten abgestützt wird. Diese können zwar wichtig sein, jedoch sind andere Faktoren (vgl. erstgenannte in obiger Aufzählung) wichtiger. Entscheidend ist auch, ob ein Simulationswerkzeug nur für eine Anwendung eingesetzt wird oder ob das Simulationstool verschiedenste Anwendungen abdecken soll (Regelfall).

Nutzen der Simulation

Die Frage nach dem Nutzen der Simulation wurde durch die verschiedenen Anwender (Projektsammlung) und die Experten sehr unterschiedlich beantwortet. Grundsätzlich liefern die Simulationen Entscheidungsgrundlagen für die Planung, Optimierung und Verifizierung.

Dabei stehen folgende Nutzen von Simulationsanwendungen im Vordergrund:

- Nachweis der Machbarkeit eines Vorhabens (technisch, betrieblich)
- Planungsergebnisse zuverlässiger eingrenzen (Planungssicherheit erhöhen)
- Prozesse verstehen und transparenter machen (Lernprozess)
- Prozesse visualisieren (insbesondere dynamische Prozesse, einfache Resultatdarstellung)
- Wirkungszusammenhänge der Mobilität, Verkehr und Transport aufzeigen
- Kapazitäten der Anlage/des Systems planen und Kapazitätsengpässe identifizieren
- Testen von aussergewöhnlichen Situationen (Störungen, Gefahren)
- Schneller und genauer planen
- Optimierung der Infrastrukturnutzung und des Betriebs

Grundsätzlich tragen die Simulationsanwendungen dazu bei, neutral und auf der Basis von Fakten die Entscheidungsgrundlagen für Verkehrs- und Transportvorhaben zu verbessern. Dies ist vor allem dann von entscheidender Bedeutung, wenn die Komplexität hoch ist und analytische und statische Verfahren für die Wirkungsabschätzung nicht zum Ziel führen. Damit können insbesondere auch grössere Investitionen abgesichert und der Betrieb optimiert werden.

5.2.2 Zusammenfassung der Erkenntnisse zum Einsatz von Simulationswerkzeugen und zu den gemachten Erfahrungen

Einsatz von Simulationswerkzeugen

- Die untersuchten Projekte decken ein breites Spektrum von Logistik- und Verkehrssimulationswerkzeugen ab. Sie unterstützen vor allem Logistikstrategien/-konzepte und Massnahmenplanungen, jedoch auch Anlage-, Betriebs- und Standortplanungen.
- Die hauptsächlichen Anwendungsziele sind Planen und Optimieren, gefolgt von Verifizieren und Machbarkeitsprüfungen.
- Einmalige Anwendungen der Simulationswerkzeuge dominieren gegenüber Anwendungen in regelmässigen Abständen. Der kontinuierliche Einsatz ist selten.
- Die Anwender sind mehrheitlich die Simulationsmodellersteller und die Auftraggeber, jedoch selten der Softwarehersteller oder der Kunde des Auftraggebers.
- Der Simulationszeitraum ist bei Logistiksimulationen vor allem Tage bis Jahre, währenddem dieser bei Verkehrssimulationen oft Stunden und Tage beträgt.
- Aufbauaufwand und Berechnungszeiten werden mehrheitlich als klein bis mittel eingeschätzt. Arbeiten mit Varianten und Szenarien ist stark verbreitet.
- Als Prognosehorizont dominieren der Ist-Zustand (Optimierung) und Mittelfristprognosen.
- Der Detaillierungsgrad der Simulationsanwendungen ist hoch; die Simulationen werden auf der Ebene Sendung, Ladeeinheit und Fahrzeug durchgeführt.
- Massgebende Gründe für die Wahl des Simulationswerkzeuges sind die Verfügbarkeit, Programmierfähigkeit/Vielseitigkeit, die Projekteignung und die Visualisierungsmöglichkeiten.

Erfahrungen

- Die Erfahrungen mit den Simulationsanwendungen sind mehrheitlich positiv. Geschätzt werden die vielfältige Einsetzbarkeit, die einfache Bedienbarkeit, die Möglichkeit der effizienten Abbildung verschiedenster Varianten und Szenarien und die Visualisierungsmöglichkeiten.
- Negative Erfahrungen betreffen die ungenügende Dokumentation von Simulationsanwendungen, die Grenzen von Modellen zur Abbildung von komplexen Systemen, der hohe Datenbedarf für die Inputdaten und die Abhängigkeiten des Simulationsmodell-anwenders vom Simulationsmodellersteller.

5.2.3 Weitere Erkenntnisse aus den Interviews

Weitere Erkenntnisse aus den Interviews (unter anderem zum Aufwand, Abstraktionsgrad, Verifizierung / Validierung, Zahlungsbereitschaft, Vorteile und Nachteile gegenüber statischen Modellen, Beitrag zur Problemlösung, Anwendungsgrenzen, Herausforderungen, Erfolgs- und Misserfolgskriterien, Entwicklungen in der Simulation) wurden direkt in das Kapitel 6 Synthese über Simulationen in der Güterverkehrs- und Transportplanung integriert.

6 Synthese über Simulationen in der Güterverkehrs- und Transportplanung

6.1 Einleitung

Die folgenden Kapitel enthalten eine Synthese über Simulationen in der Güterverkehrs- und Transportplanung. Basis sind die Ergebnisse aus den Kapiteln 2 bis 5 sowie die Erkenntnisse aus den Interviews. Als Bestandteil der Synthese wurde auch ein Leitfaden für Simulationsanwendungen entwickelt. Der vollständige Leitfaden geht aus dem Anhang V hervor.

Die Syntheseergebnisse (inkl. Leitfaden) wurden im Rahmen eines halbtägigen Workshops am 25. Juni 2009 in den Räumlichkeiten der ZHAW (Wädenswil) im Technopark in Zürich mit 12 Simulationsexperten diskutiert. Das Workshopprogramm und die Workshopteilnehmer können dem Anhang V entnommen werden.



Abb. 6.31 Expertenworkshop im Technopark, Zürich

6.2 Genereller Einsatz von Simulationswerkzeugen

- Simulationen werden vorwiegend für die Optimierung und Gestaltung von komplexen Logistik- und Verkehrssystemen eingesetzt. Wesentliche Gründe sind der Nachweis der betrieblichen Machbarkeit, die zielgerichtete Optimierungsmöglichkeit, die Möglichkeit von Sensitivitätsanalysen und die Visualisierung.
- Simulationen werden dann angewendet, wenn analytische und statische Verfahren zu keinen eindeutigen Lösungen mehr führen
- Es besteht theoretisch eine breite Palette von Simulationsansätzen. In der Praxis dominieren jedoch Simulationsanwendungen, die auf diskreten ereignisorientierten Simulatoren aufbauen.
- Das Potenzial der Simulation im Bereich der Güterverkehrs- und Transportplanung liegt in der Entwicklung gezielter, einfach anzuwendender Simulationstools, die auch Personen, die nicht in der Simulation geschult wurden, eine Unterstützung in der Planung bzw. Optimierung der logistischen Aufgaben bieten.
- Probleme / Entwicklungsbedarf: Der Markt für Simulationswerkzeuge ist insbesondere für Logistiksimulationstools klein, entsprechend sind die Werkzeuge immer in einem Beta-Entwicklungsstadium. Trotzdem sind viele Simulationswerkzeuge auf dem Markt. Die Konzentration auf ein paar wenige Simulatoren hat nicht stattgefunden, Standards wurden bis heute keine gesetzt. In der Folge werden die Werkzeuge nur langsam weiterentwickelt. Bei Verkehrssimulationstools scheint die Verbreitung und Marktstellung einzelner Simulationstools (Vissim, Aimsun, OpenTrack) stärker; evt. auch aufgrund der Spezialisierung der Anwendung.

- Der Markt verlangt nach Simulatoren die eine sehr schnelle Modellerstellung zulassen. Dem kann zum einen durch erhöhte Benutzerfreundlichkeit, zum anderen durch erhöhte Spezialisierung Rechnung getragen werden.
- Bei der Entwicklung von komplexen Modellen mit vielen bewegten Elementen ist die Rechenkapazität nach wie vor ein wichtiger eingrenzender Faktor für die Simulationsanwendungen. Der Einsatz der Simulationstechnik in zeitkritischen Anwendungen erfordert kurze Simulationsläufe.
- Simulationstechnik erfordert hohe Fachkompetenz in der Anwendung der verschiedenen Simulatoren. Viele Simulatoren fordern nach wie vor gute Programmierkenntnisse und noch wichtiger, ein ausgeprägtes Verständnis für System und Dynamik. Simulationsentwickler werden „on the job“ ausgebildet und der Weg zum Spezialisten ist lang.

6.3 Typisierung und Strukturierung von Simulationswerkzeugen

- Es konnte eine Merkmalraaster für die Typisierung von Simulationswerkzeugen entwickelt werden. Eine Typisierung der Simulationswerkzeuge nach verschiedenen Merkmalen ist möglich; die Zahl der Typisierungsmerkmale ist jedoch gross. Die Zuordnung der Werkzeuge zu einzelnen Merkmalen ist nicht immer eindeutig möglich. Die Typisierung der Simulationswerkzeuge ist eine wichtige Grundlage für die Auswahl und Beschaffung.
- Verkehrs- und Transportsimulationswerkzeuge weisen Gemeinsamkeiten jedoch auch zahlreiche Unterschiede auf. Wichtige Unterscheidungsmerkmale sind zum Beispiel der Anwendungszweck, der Simulationstyp, die Flexibilität, der Spezialisierungsgrad und die Zugänglichkeit.
- Zwischen den Verkehrs- und Transportsimulationswerkzeugen bestehen folgende Unterschiede:
 - Die Transportsimulationswerkzeuge sind meistens ereignisorientiert, die Verkehrssimulationswerkzeuge sind zeitorientiert.
 - Die Transportsimulationswerkzeuge sind universeller und flexibler einsetzbar als Verkehrssimulationswerkzeuge. Es gibt eine Reihe von Simulatoren, wie z.B. AnyLogic, ARENA, Enterprise Dynamics, FlexSim, Plant Simulation, ProModel, usw., welche für beliebige Fragestellungen in der Güterverkehrs- und Transportplanung einsetzbar sind. Der Anwender ist mit diesen Werkzeugen in der Lage nebst den bereits sehr umfangreichen Simulationsbaustein-Bibliotheken eigene, individuell zugeschnittene Bausteine zu entwickeln bzw. aus den mitgelieferten Bausteinen abzuleiten.
 - Die anderen Transportsimulationswerkzeuge, wie ED TransSim, DISMOD, SIMMOD sind spezifische Werkzeuge für den Bereich Transport. Sie erlauben es, bestimmte Transportfragestellungen zu simulieren (bspw. Flughafen, Distributionsnetz, Speditionsanlage), sind aber nicht geeignet, alle möglichen Fragestellungen zu beantworten.
 - Verkehrssimulationswerkzeuge weisen meist einen höheren Spezialisierungsgrad auf und sind weniger offen in der Handhabung. Aimsun und Vissim erreichen für die Simulation des Strassenverkehrs und OpenTrack für den Bahnverkehr eine gewisse Universalität während andere Tools wie zum Beispiel SimCont (auf Umschlaganlagen des Kombinierten Verkehrs) stark spezialisiert sind.
- Bei der Auswahl eines Simulationswerkzeuges empfiehlt sich ein schrittweises Vorgehen unter Berücksichtigung der wichtigsten Auswahlkriterien. Die Auswahl hängt von den Bedürfnissen der Anwender, den Eigenschaften des Simulationstools und dem Support des Herstellers ab. Die Gewichtung der Auswahlkriterien hängt von den Anwenderbedürfnissen ab.
- In der Regel wird eher ein allgemeines Transportsimulationswerkzeug ausgewählt falls kein bereichsspezialisiertes Werkzeug existiert, die Fragestellung komplex ist, eine spezielle Animation gewünscht wird oder die Zahl der Anwendungen hoch ist.
- Anwender haben sich in der Praxis für eine effiziente Bearbeitung oft auf eine beschränkte Anzahl von Simulationswerkzeugen spezialisiert. Die Frage der Wahl eines Simulationswerkzeuges stellt sich damit nur periodisch.

6.4 Anwendungsmöglichkeiten und Potentiale von Simulationen

Anwendungsmöglichkeiten

- Die Güterverkehrs- und Transportplanungsbranche hat bereits den Vorteil der Anwendung von Simulationswerkzeugen erkannt. Es existiert eine Reihe von Simulationswerkzeugen, welche in diesen Branchen angewandt werden können, um verschiedene Fragestellungen, wie z.B. Standort-, Anlagen- und Infrastrukturplanung, Betriebs- und Logistikkonzepte zu untersuchen.
- Die Verkehrssimulation untersucht die Verkehrsflüsse von Strassen-, Bahn-, Luft- und Personenverkehr, wie auch von Güterverkehrstransporten. Es wird jedoch nicht der innerbetriebliche Fluss von Waren oder Gütern betrachtet, sondern das ganze Verkehrssystem, sei dies die Verkehrsflüsse, die Stauproblematik, Lichtsignalanlagen, neue Verkehrsführungen und vieles mehr. Ziel der Untersuchungen ist die Ausgestaltung und Optimierung des Verkehrsnetzes.
- Im Unterschied dazu werden in der Logistiksimulation unter anderem Beschaffungs-, Produktions- und Distributionsstrategien eines Unternehmens optimiert (beispielsweise Transport- und Tourenpläne, Supply Chain Management Strategien). In der Transportlogistik werden die Güter- und Personentransporte analysiert, meistens aus der Sicht der Betriebe. Die Logistiksimulation wird vor allem auch genutzt um die Produktivität der Intralogistik zu erhöhen, resp. zu optimieren (Produktion, Lager, Kommissionieren, usw.).
- Sowohl Logistik- als auch Verkehrssimulationstools werden für die Planung und Optimierung eingesetzt. Während die Verkehrssimulation den Schwerpunkt eher bei der Planung hat, liegt der Schwerpunkt der Logistiksimulation eher bei der Optimierung.
- Verkehrssimulationsinstrumente weisen einen deutlich höheren Spezialisierungsgrad auf als Logistiksimulationsinstrumente. Diese haben einen deutlich breiteren Anwendungsbereich und sind offener ausgestaltet.
- Sowohl Logistik- als auch Verkehrssimulationen verwenden ähnliche Simulationsansätze und basieren auf diskreten Simulationsansätzen. Während bei den Logistiksimulationen diskrete, ereignisorientierte Simulationsansätze im Vordergrund stehen, sind es bei Verkehrssimulationen diskrete, zeitorientierte Ansätze.
- Während bei Logistiksimulationen das Useroptimum (aus Unternehmenssicht, Systembenützer) im Vordergrund steht, ist es bei Verkehrssimulationen meist das Systemoptimum (aus Infrastrukturbetreibersicht).

Beitrag zur Problemlösung

- Das Beitragspotential der Simulation ist bei Problemstellungen der Logistik, Güterverkehrs- und Transportplanung grundsätzlich mittel bis hoch. Mit zunehmender Komplexität der Problemstellungen steigt das Beitragspotential von Simulationsanwendungen.
- Das grösste Beitragspotential liegt bei der Betriebsplanung von Verkehrsanlagen und bei der Erarbeitung von Logistikstrategien/-konzepten.
- Etwas geringer erscheint es bei der Anlagen- und Infrastrukturplanung sowie bei Massnahmenplanungen und Auswirkungsanalysen. In diesen Bereichen werden oft auch statische oder klassische Modelle eingesetzt, die nur ausnahmsweise eine dynamische Komponente haben.
- Am geringsten erscheint das Beitragspotential bei Standortplanungen zu sein. Hier werden – wenn überhaupt – vorwiegend statische Modelle eingesetzt (zum Beispiel für Erreichbarkeitsanalysen). Simulationen kommen dann zum Einsatz wenn es um die Optimierung von Standortgruppen (z.B. Terminalnetz, Netz von Distributionsplattformen) geht.

Tab. 6.11 Beitragspotentiale

Anwendungsbereiche	Massnahmen / Projekte	Beitragspotential		
		gering	mittel	gross
Standortplanung	Umschlaganlagen, Produktionsstätten, Distributionszentren, Lager, Vertriebsstellen, Werkhöfe etc.			
Anlagen- und Infrastrukturplanung	Umschlaganlagen, Distributionszentren, Anlieferungen von Gebäuden und Arealen, Lifte und Krananlagen, Rangier- und Güterbahnhöfe, Schwerverkehrszentren, LKW-Parkierungsanlagen, Verkehrsnetze und -knoten			
Betriebsplanung von Verkehrsanlagen	Strassenverkehrsmanagement, Knotensteuerungen, Bahnbetriebsplanung, etc.			
Logistikstrategien/ -konzepte, Transportkonzepte	Optimierung Logistik- und Transportstrategien, Bedienungskonzepte und Lieferkonzepte, Tourenplanung und -optimierung, Prozess- und Ablaufoptimierung, Prozess- und Ablaufvisualisierung etc.			
Massnahmenplanungen und Auswirkungsanalysen	Verkehrsmanagement, Verkehrstelematikanwendungen, LKW-Routen, Zutrittsysteme, Reservationssysteme, Road Pricing etc.			

6.5 Anwendungsgrenzen von Simulationen

Beim Einsatz von Simulationsinstrumenten sind folgende Anwendungsgrenzen zu beachten:

- Es ist immer zu prüfen, ob zur Problemlösung nicht auch analytische und statische Methoden angewendet werden können. Wenn mit solchen Methoden einfacher und exakter Resultate erzeugt werden können, kann auf eine Simulation verzichtet werden.
- Die abgebildeten Elemente, Wirkungszusammenhänge und der Abstraktionsgrad sind zentral für die Anwendungsgrenzen. Simulationsmodelle für strategische Fragestellungen können daher in der Regel nicht auch für operationelle Fragestellungen eingesetzt werden. Der Auflösungsgrad ist zu unterschiedlich.
- Die Komplexität der Realität kann die Anwendungsgrenzen mitbestimmen. Wenn die Anzahl der Einflussfaktoren sehr gross ist und die Wirkungszusammenhänge nicht ausreichend bekannt sind, hilft auch eine Simulation nicht weiter. Vor einer Simulation müssten dann zuerst die Relevanz der Einflussfaktoren und die Wirkungszusammenhänge erforscht werden.
- Weitere Anwendungsgrenzen ergeben sich aus der Datenlage. Wenn die benötigten Daten nicht vorhanden sind, die Datenerhebung zu aufwendig oder die Datenqualität ungenügend ist, muss auf die Simulation verzichtet oder die Simulation muss stark vereinfacht werden und es müssen entsprechende Unsicherheiten in den Resultaten in Kauf genommen werden. Dies gilt grundsätzlich auch dann, wenn aufgrund mangelnder Datenlage sehr viele Annahmen getroffen werden müssen.

6.6 Kosten und Nutzen von Simulationen

Kosten

- Bei den Kosten sind immer die Gesamtkosten aus Personal-, Software-, Wartungs- und Schulungskosten zu berücksichtigen.
- Die Softwarekosten hängen unter anderem vom eingesetzten Simulationswerkzeug, der Lizenzierungsart (Entwicklungs- oder Runtime-Lizenz) und der Häufigkeit des Simulationswerkzeugeinsatzes ab. Die Softwarekosten reichen von CHF 0 (Open Source) bis in der Regel unter CHF 100'000.

- Soll ein Simulationsmodell periodisch oder regelmässig eingesetzt werden, so fallen auch Wartungs- und Schulungskosten für die Ausbildung und den Betrieb an. Bei komplexen Simulationsinstrumenten können die Schulungs- und Einarbeitungskosten beträchtlich sein.
- Bei einem Simulationsprojekt sind in der Regel die Personalkosten massgebend.
- Die Kosten verteilen sich in der Regel wie folgt auf die vier Hauptphasen eines Simulationsprojektes:

Tab. 6.12 Aufwand nach Phasen

Phase	Aufwand bei Güterverkehrs-simulation	Aufwand bei Transport-simulation
Problemanalyse und Konzeption	Ø20% (10-30%)	Ø15% (10-30%)
Datenerhebung und -aufbereitung	Ø25% (15-35%)	Ø25% (15-40%)
Modellbau, Verifikation und Validierung	Ø40% (30-50%)	Ø40% (30-60%)
Experimentieren und Dokumentieren	Ø15% (10-25%)	Ø20% (15-30%)

- Der Anteil der Kosten an den Planungs- und Investitionskosten ist abhängig von der Projektgrösse und schwankt stark. Mit zunehmender Projektgrösse nimmt der Anteil ab.
- Der Anteil an den Investitionskosten liegt in der Regel zwischen Promillen (Grossprojekte) und 1 bis 2 Prozenten (mittlere bis kleiner Vorhaben), kann im Einzelfall aber auch höher sein.
- Der Anteil an den Planungskosten liegt in der Regel in der Grössenordnung von 5 bis 20%.

Zahlungsbereitschaft

- Die Zahlungsbereitschaft für die Durchführung von Simulationsanwendungen ist sehr unterschiedlich. Bei Grossprojekten von Verkehrsanlagen mit Investitionskosten von mehreren 100 Millionen bis mehrere Milliarden (z.B. Ausbau des Eisenbahnnetzes) ist sie eher hoch, da mit verhältnismässig geringem Aufwand sehr hohe Einsparungen erzielt werden können. Insbesondere bei der Verwendung öffentlicher Mittel ist es wichtig, eine ausreichende Sicherheit für den Investitionsbedarf zu haben. Bei kleineren und mittleren Projekten ist die Zahlungsbereitschaft geringer. Das gilt für Verkehrs- aber auch für Logistikprojekte.
- Oft fehlt auf der Ebene der Entscheidungsträger heute auch das Verständnis für die Simulation und deren Möglichkeiten, insbesondere dann wenn sie sich auch der Komplexität der Problemstellung nicht bewusst sind. Dies wirkt sich negativ auf die Zahlungsbereitschaft aus. Es ist daher notwendig über Information und Ausbildung die Sensibilisierung für Simulationsanwendungen zu fördern.

Nutzen

Grundsätzlich tragen die Simulationsanwendungen dazu bei, auf der Basis von Fakten die Entscheidungsgrundlagen für Verkehrs- und Transportvorhaben zu verbessern. Dies ist vor allem dann von entscheidender Bedeutung wenn die Komplexität hoch ist und analytische und statische Verfahren für die Wirkungsabschätzung nicht zum Ziel führen. Damit können insbesondere auch grössere Investitionen abgesichert und der Betrieb optimiert werden.

Nutzen bezüglich Kosten und Qualität

- Minimierung von Investitionskosten und -betriebskosten
- Optimierung der Infrastrukturnutzung und des Betriebs
- Erhöhung der Verkehrs- und Transportqualität (Zuverlässigkeit, Zeitersparnisse, etc.)
- Vermeidung von Fehlinvestitionen

Nutzen bezüglich Verbesserung der Planung und der Entscheidungsgrundlagen:

- Nachweis der Machbarkeit eines Vorhabens (technisch, betrieblich)
- Planungsergebnisse zuverlässiger eingrenzen (Planungssicherheit erhöhen)
- Prozesse verstehen und transparenter machen (Lernprozess)
- Prozesse visualisieren (insbesondere dynamische Prozesse, einfache Resultatdarstellung)
- Wirkungszusammenhänge der Mobilität, Verkehr und Transport aufzeigen
- Kapazitäten der Anlage/des Systems planen und Kapazitätsengpässe identifizieren
- Testen von aussergewöhnlichen Situationen (Störungen, Gefahren)
- Schneller und genauer planen

Die Simulation kann damit einen wichtigen Beitrag zur Gesamtbeurteilung und Entscheidungsfindung von Massnahmen in der Güterverkehrs- und Transportplanung leisten. Die Simulation unterstützt Problem- und Schwachstellenanalysen sowie Wirkungsanalysen von Massnahmen und Projekten. Neben Simulationsergebnissen spielen jedoch immer auch andere Überlegungen eine Rolle (technische, wirtschaftliche, unternehmensstrategische, politische, etc.). Simulation gibt Sicherheit, dass die richtigen Massnahmen gewählt wurden.

Vorteile und Nachteile gegenüber statischen Modellen

Gegenüber statischen Modellen bestehen folgende Vor- und Nachteile:

Tab. 6.13 Vergleich Simulation mit statischen Modellen

Vorteile gegenüber statischen Modellen	Nachteile gegenüber statischen Modellen
- Simulationsmodelle zeigen einen Verlauf über die Zeit, sie liegen daher näher bei der Realität (Warteschlangenphänomene lassen sich besser abbilden) - Simulation oft einzige Lösung: Abbildung von komplexen Zusammenhängen, welche analytisch nicht mehr erklärt werden können - Animation, Sichtbarkeit der Elemente - Erklärbarkeit und Nachvollziehbarkeit - Man kann sehr viele Einflussfaktoren berücksichtigen - Verbesserung Akzeptanz der Ergebnisse - Bessere Ergebnisse für Verkehrs- und Transportnetze, welche an der Auslastungsgrenze betrieben werden	- Hoher Modellbauaufwand (bei detaillierten Modellen und grossen Netzen) - Komplexität von Verkehrs- und Logistikprozessen nicht vollständig abbildbar - Beschränkte Rechenleistung für grosse Netze - Höherer Datenbedarf für Abbildung Angebot und Nachfrage (bei Simulationen mit geringem Abstraktionsgrad) - Simulationstheorie steht teilweise noch etwas auf wackligen Beinen - Abbildung der Dynamik ist sehr anspruchsvoll - Sehr spezialisiertes Wissen - Aufwendige Pflege/Wartung

Sobald logistische und betriebliche Prozesse eine wichtige Rolle spielen und der Infrastrukturausbau im Hintergrund steht, geraten statische Modelle an ihre Grenzen. Zum Beispiel lassen sich die Auswirkungen von Verkehrsmanagement Massnahmen (Wechseltextanzeigen, Verkehrsinformation, etc.) besser mit dynamischen Modellen abbilden.

6.7 Kriterien für die Wahl von Simulationswerkzeugen

Die grosse Vielfalt an verfügbaren Simulationswerkzeugen bedingt eine auf die massgebenden Kriterien abgestützte Evaluation. Aus der Untersuchung ergeben sich folgende massgebenden Kriterien für die Wahl:

- Erreichung Ziele/Beantwortung Fragestellung (Erwartete Resultate, Aussagekraft der Ergebnisse)
- Modellzusammenhänge mit Abbildung der massgebenden Wirkungsketten (Abbildbarkeit von Steuerungsregeln)
- Detaillierungsgrad in Raum und Zeit
- Anwendungsspektrum und Einsatzflexibilität (bez. Unterschiedlicher Anwendungsfälle)
- Anwendungshäufigkeit
- Visualisierungsanforderungen und -möglichkeiten
- Kosten/Preis (Software, Schulung, Einarbeitung)

- Kooperation/Support Softwarehersteller
- Programmierfähigkeit/Programmierungsmöglichkeiten
- Benutzerfreundlichkeit
- Verfügbarkeit des Simulationsinstrumentes
- Vorwissen/Vorkenntnisse des Anwenders (wegen Einarbeitungsaufwand und „richtiger“ Anwendung)
- Projektgrösse unter Berücksichtigung von Kosten und Nutzen
- Kompatibilität mit bestehenden Simulatoren, welche im Einsatz sind.
- Referenzen, bisherige Anwendungen mit dem Simulationswerkzeug

Je nach Situation kommt diesen Beurteilungskriterien ein unterschiedliches Gewicht zu. Im Rahmen eines Beurteilungsverfahrens (Nutzwertanalyse, Kosten-/Nutzenüberlegungen, etc.) sind die für die Fragestellung relevanten Kriterien zu beurteilen.

6.8 Herausforderungen, Erfolgs- und Misserfolgsfaktoren

Herausforderungen bei der Durchführung von Simulationsprojekten

Aus der Untersuchung ergeben sich folgende Herausforderungen:

- Prüfung und Entscheid, ob Simulation wirklich die geeignetste Methode ist (kann Fragestellung überhaupt sinnvoll simuliert werden)
- Absteckung Untersuchungsziele (zu beantwortende Fragen), Untersuchungsrahmen und Randbedingungen (mit Auftraggeber)
- Erreichung der Projektziele und Erfüllung der Kundenbedürfnisse (die während dem Projekt ändern können)
- Abbildung der relevanten Wirkungszusammenhänge
- Verstehen der Prozessabläufe und der Zusammenhänge (sehr gute Kenntnisse der Realität)
- Finden des richtigen Abstraktionsgrades (gilt insbesondere für die Logistik- und Transportsimulation)
- Effektiver und effizienter Modellbau
- Bildung von plausiblen Szenarien
- Datenbeschaffung (Quantität, Qualität, Unsicherheiten)
- Treffen von vernünftigen Annahmen bei nicht vorhandenen Daten oder schlechten Daten
- Umgang mit unvorhergesehenem Systemverhalten
- Zusammenarbeit/Integration des Auftraggebers in das Projekt
- Einhaltung der Projekttermine (insbesondere dann wenn Simulationsprojekt zu einem sehr späten Planungszeitpunkt ausgelöst wird)

Erfolgs- und Misserfolgsfaktoren

- Aufgrund der Untersuchungen sind für ein erfolgreiches Simulationsprojekt folgende Erfolgs- und Misserfolgsfaktoren entscheidend:

Tab. 6.14 Erfolgs- und Misserfolgskriterien

Erfolgsfaktoren	Misserfolgskriterien
- Gute und validierte Daten	- Schlechte, nicht validierte Daten
- „Richtiges“ Modell, gute Erklärbarkeit, gute Validierung am IST-Zustand (Modell-Test)	- Schlechtes Modell oder nicht geeignet für Fragestellung (inkl. ungenügende Modellwahl)
- Kenntnis / Verständnis der Realität, Praxisbezug	- Falscher Detaillierungsgrad
- Simulations Know How beim Anwender und Auftraggeber	- Zu wenig Kontakt mit Auftraggeber
- Frühzeitige Durchführung der Simulation	- Zu hohe Erwartungen des Auftraggebers
- Gute Aufbereitung der Resultate/Präsentation	- Zuviel in ein Modell verpacken zu wollen
- Gutes Team (Auftraggeber und Auftragnehmer sollen immer zusammen arbeiten)	- Ungeeignete Modellanwender, ungenügendes Know How
- Rasche gemeinsame Klärung von neuen und überraschenden Fragestellungen zu Daten	- Ziele nicht von Anfang klar oder sich verändernde Ziele während Modellaufbau
- Auftraggeber an Modellentwicklung beteiligen	- Sich verändernde Fragestellung über Projektdauer so das Modell nicht mehr passt
- Ausreichend Zeit für Modellbau	- Falsches Verständnis was Simulation leisten kann
- Guter Dialog Informatiker und Ingenieure	- Weniger stabile und robuste Ergebnisse
- Offenheit gegenüber Resultaten	

Da die Einflussmöglichkeiten über die Planungsdauer stark abnehmen muss eine Simulation bereits in einem frühen Projektstadium durchgeführt werden.

6.9 Leitfaden für Simulationen in der Güterverkehrs- und Transportplanung (separater Anhang)

Aufgrund der Erfahrungen mit Simulationsanwendungen und den Projekterkenntnissen wurde ein Leitfaden für Simulationsprojekte in der Güterverkehrs- und Transportplanung erstellt. Dieser zeigt auf:

- die Anwendungsbereiche für Simulationen in der Güterverkehrs- und Transportplanung
- das Spektrum der Simulationswerkzeuge und der Kriterien für die Auswahl
- den Ablauf und das Vorgehen bei Simulationsprojekten (inkl. Fallbeispiele).

Zielgruppe des Leitfadens sind Berater, Planer und Entscheidungsträger aus dem Verkehrs-, Logistik- und Transportbereich, welche sich mit der Erstellung von Pflichtenheften für Simulationsanwendungen oder der Durchführung von Simulationsanwendungen befassen.

Der Leitfaden umfasst folgende Teile:

- Kurze Einführung in der Simulation
- Simulieren: ja oder nein?
- Klassifizierung und Wahl des Simulationswerkzeugs
- Vorgehen für die Durchführung einer Simulationsstudie
- Simulationsbeispiele
- Weiterführende Literatur

Im Anhang VI befindet sich der vollständige Leitfaden. Sowohl die Interviewteilnehmer als auch die Workshopteilnehmer erachten den Leitfaden als sinnvoll für den Einstieg und die Sensibilisierung für Simulationsanwendungen in der Güterverkehrs- und Transportplanung. Insbesondere auch der Ablaufplan und die schrittweise Vorgehensweise werden als zweckmässig erachtet. Wesentliche Schritte sind die Definition des Abstraktionsgrades und die Validierung des Simulationsmodelles.

6.10 Entwicklungen in der Simulation

Weiterentwicklung von Simulationsinstrumenten

Aufgrund der Interviews und des Workshops konnten folgende Weiterentwicklungs-

tendenzen identifiziert werden.

- Die weiter zunehmenden Rechenleistungen der Hardware werden die Simulationsanwendungsmöglichkeiten verbessern und die Rechenzeiten beschleunigen. Dies ermöglicht komplexere Modelle. Der Einsatz für Optimierungsfragestellungen wird sich dadurch verbessern. Auch die Visualisierungsmöglichkeiten werden vielfältiger werden.
- Ein Trend geht auch in Richtung OpenSource Simulatoren (z.B. MATSim, SIMMOD, SUMO). Dies gilt vor allem für die „offenen“ Simulationswerkzeuge.
- Um den Modellbau zu beschleunigen und den Modellbauaufwand zu reduzieren werden vermehrt Modellbaustein-Bibliotheken angelegt. Zum Beispiel wurde für FlexSim eine Containerterminal-Bibliothek angelegt.
- Ein Trend geht in die Richtung von Konfiguratoren (branchenspezifische Simulatoren), bei denen Simulatoren gemäss Kundenwunsch im Rahmen von vorgegebenen Produktkomponenten jeweils neu zusammengebaut werden können.
- Ein Trend geht in die Richtung von Emulatoren für die genauere Abbildung von Steuerungskonzepten. Dabei werden beispielsweise bereits existierende Steuerungsanlagen direkt mit dem Simulator gekoppelt und geplante Neuerungen können unter realitätsnahen Bedingungen getestet werden.
- Ein weiterer Trend geht in die Richtung agentenbasierte Simulationswerkzeuge, sowohl in der Logistik- als auch in der Verkehrssimulation. Die Simulationswerkzeuge werden in Zukunft internetbasiert arbeiten. Simulationsexperimente und Auswertungen werden vermehrt über Internetbrowser erfolgen und werden damit system- und ortsunabhängig.
- Simulationsinstrumente werden heute vermehrt auch als Trainingsinstrumente und zu Schulungszwecken eingesetzt, der Trend hierfür geht in Richtung „Simulation-Based-Education“ und zieht etwa gleich mit dem für „Serious-Games“.
- Ein weiterer Trend geht in Richtung Monoblockmodelle für die Simulation der Landnutzung, Mobilität, Verkehr und Logistik. Die Entwicklung braucht jedoch Zeit. Aufgrund des Entwicklungsaufwandes werden diese vermutlich zentral betrieben und unterhalten.

Potentiale für den operativen Einsatz

- Der Einsatz der Simulation entwickelt sich mehr auch Richtung operatives Geschäft, wo Simulationsmodelle zur täglichen Planung genutzt werden. Hoher Wert wird dabei auf Benutzerfreundlichkeit gelegt und die Steuerung erfolgt über Drittsoftware wie z.B. Excel als Frontend.
- Die gleichzeitige Abdeckung von strategischen und operativen Fragestellungen durch ein Simulationstool ist jedoch schwierig. Operativ muss man sich 100%ig verlassen können, das können die meist als Planungsinstrumente konzipierten Instrumente nicht bieten. Der Simulationsaufwand für eine totale Verlässlichkeit ist gross weil der Detaillierungsgrad solcher Modelle sehr hoch und der Abstraktionsgrad gering ist. Bei der Entwicklung muss man wissen was will. Man muss entscheiden, ob das Simulationsmodell für die Planung, den Betrieb oder sogar für beides angewendet werden soll (use cases). Die Algorithmen sind oft nicht identisch.
- In Zukunft wird es mehr Real Time Simulationen geben (z.B. Verkehrssteuerung aufgrund aktueller dynamischer Daten). Am Flughafen in Zürich werden zum Beispiel die Simulationsmodelle sehr oft für kurzfristige Prognose angewandt: es wird immer wieder die Situation für die nächste Welle (an Flugzeugen) untersucht und darauf gestützt die Personaleinsatzplanung gemacht.
- Für Problemstellungen im operativen Bereich gibt es vielfach bereits gut entwickelte Software, wie PPS- und ERP Systeme, Transportplanung, Kapazitätsplanung etc. Das Potential für Simulationsmodelle im operativen Einsatz wird vor allem bei Problemstellungen, die neu sind und noch keine Standard-Software irgendwelcher Art zur Verfügung steht, gesehen.
- Simulationsmodelle sind wahrscheinlich in der Entwicklung am besten darauf vorbereitet, komplett Neues abzubilden. Deshalb wird das Potential von Simulationen im operativen Bereich steigen.

Kombinierter Einsatz von Logistik-/Verkehrssimulationstools

- Ein Trend geht in Richtung Kopplung von mehreren Simulationstools. In der Verkehrssimulation beginnt man zum Beispiel mit der Kopplung von Bahnbetriebs-simulationsinstrumenten (OpenTrack) mit der Simulation der Bahnstromversorgung. Geplant ist die die Kopplung von Bahnbetriebssimulationsinstrumenten (OpenTrack) mit der Personenflusssimulationsinstrumenten (SimWalk) um das Zusammenspiel der Prozesse der haltenden Züge an den Bahnstationen (die sehr von der Ausgestaltung der Anlage abhängen) besser simulieren zu können
- Im Rahmen der Untersuchung wurde in den Interviews festgestellt, dass heute keine kombinierten Logistik-/Verkehrssimulationen durchgeführt werden. Als wesentliche Gründe wurden genannt: Komplexität, unterschiedliche Adressa-ten/Zuständigkeiten/Auftraggeber (Öffentliche Hand, Private), beschränkte Ressourcen, starke Trennung Logistik/Verkehr, unterschiedliche Instrumente und Modellie-rungsansätze.
- Aufgrund der unterschiedlichen Simulationsansätze müsste man eine integrative Me-thode finden, welche ein gemeinsames Optimum findet.
- Das Potential für kombinierte Logistik-/Verkehrssimulationsanwendungen wird als un-sicher eingeschätzt. Beispiele für Anwendungsfälle sind Umschlagterminals für den kombinierten Verkehr oder Distributionsplattformen, bei welchen man die innerbetrieb-lichen Prozesse, die Zu- und Weglieferung und den Verkehr auf dem umliegenden Strassennetz simulieren könnte. Voraussichtlich ist die Anzahl möglicher Anwen-dungsfälle jedoch beschränkt.

Entwicklung des Simulationsbedarfs

- Sämtliche Experten aus den Interviews und dem Workshop sind der Auffassung dass der Simulationsbedarf in Zukunft zunehmen wird. Wesentliche Gründe dafür sind die zunehmende Komplexität von Fragestellungen. Dies gilt sowohl für Verkehrs- als auch für Logistik- und Transportsimulationen. Dynamische Betrachtungen gewinnen an Be-deutung, wenn Verkehrs-, Logistik- und Transportanlagen immer häufiger an ihrer Ka-pazitätsgrenze betrieben werden.

7 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

7.1 Schlussfolgerungen

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurde der Stand der Technik im Bereich der Simulation in der Güterverkehrs- und Transportplanung aufgezeigt, sowie die zugrunde liegenden Simulationsgrundlagen und die verschiedenen Simulationsansätze erarbeitet. Weiter wurde eine Typisierung und Strukturierung der wichtigsten verfügbaren Simulationinstrumente erstellt. Zudem wurde das Beitragspotential der Simulation für relevante Problemstellungen in der Logistik, Güterverkehrs- und Transportplanung aufgezeigt. Aufgrund einer Evaluation durchgeführter Simulationen und Experteninterviews wurden Anwendungsmöglichkeiten und -grenzen sowie Kosten und Nutzen identifiziert. In einem neu erstellten Leitfaden werden dem Planer und Entscheidungsträger Hinweise für die Wahl und den Einsatz von Simulationswerkzeugen und die Durchführung von Simulationsstudien gegeben.

Die im Kapitel 1.3 aufgezeigten Leitfragen werden grundsätzlich in den Kapiteln 1 bis 6 untersucht und beantwortet.

Einsatz von Simulationswerkzeugen

Die Erkenntnisse aus dem Projekt haben als wichtige Schlussfolgerungen ergeben, dass

- Simulationen vorwiegend für die Optimierung und Gestaltung von komplexen Logistik- und Verkehrssystemen eingesetzt werden. Wesentliche Gründe sind der Nachweis der betrieblichen Machbarkeit, die zielgerichtete Optimierungsmöglichkeit, die Möglichkeit von Sensitivitätsanalysen und die Visualisierung.
- Simulationen dann angewendet werden, wenn analytische und statische Verfahren zu keinen eindeutigen Lösungen mehr führen. Es ist jedoch immer zu prüfen, ob nicht andere Verfahren und Methoden zu besseren Ergebnissen führen.
- theoretisch eine breite Palette von Simulationsansätzen besteht, in der Praxis jedoch diskrete, ereignisorientierte Simulatoren dominieren.
- bei der Entwicklung von komplexen Modellen mit vielen bewegten Elementen die Rechenkapazität nach wie vor ein wichtiger begrenzender Faktor für die Simulationsanwendungen ist.
- die Simulationstechnik eine hohe Fachkompetenz in der Anwendung der verschiedenen Simulatoren erfordert. Viele Simulatoren setzen nach wie vor gute Programmierkenntnisse und ein ausgeprägtes Verständnis für System und Dynamik voraus. Simulationentwickler werden „on the job“ ausgebildet und der Weg zum Spezialisten ist lang.

Typisierung und Strukturierung von Simulationswerkzeugen

Die Erkenntnisse aus dem Projekt haben als wichtige Schlussfolgerungen ergeben, dass

- eine Typisierung der Simulationswerkzeuge nach verschiedenen Merkmalen möglich ist, wobei die Zahl der Typisierungsmerkmale jedoch gross ist. Zudem ist die Zuordnung der Werkzeuge zu einzelnen Merkmalen nicht immer eindeutig möglich. Die Typisierung der Simulationswerkzeuge ist jedoch eine wichtige Grundlage für die Auswahl und Beschaffung.
- Verkehrs- und Transportsimulationswerkzeuge zahlreiche Gemeinsamkeiten haben, jedoch auch zahlreiche Unterschiede. Wichtige Unterscheidungsmerkmale sind zum Beispiel der Anwendungszweck, der Simulationstyp, die Flexibilität, der Spezialisierungsgrad und die Zugänglichkeit.
- Transportsimulationswerkzeuge meistens ereignisorientiert sind, die Verkehrssimulationswerkzeuge meist zeitorientiert.
- Logistiksimulationswerkzeuge hinsichtlich der Anwendung meist offener und universeller einsetzbar sind im Vergleich zu den Verkehrssimulationswerkzeugen, welche oft spezialisiert auf die Anwendungen zugeschnitten sind.

- bei der Auswahl eines Simulationswerkzeuges ein schrittweises Vorgehen unter Berücksichtigung der wichtigsten Auswahlkriterien zu empfehlen ist. Die Auswahl hängt von den Bedürfnissen der Anwender, den Eigenschaften des Simulationstools und dem Support des Herstellers ab. Die Gewichtung der Auswahlkriterien hängt von den Anwenderbedürfnissen ab. Anwender haben sich in der Praxis für eine effiziente Bearbeitung oft auf eine beschränkte Anzahl von Simulationswerkzeugen spezialisiert. Die Frage der Wahl eines Simulationswerkzeuges stellt sich damit nur periodisch.

Anwendungsmöglichkeiten und –grenzen

Die Erkenntnisse aus dem Projekt haben als wichtige Schlussfolgerungen ergeben, dass

- die Anwendungsbereiche für Simulationsinstrumente bei Logistikstrategien/-konzepten, Transportkonzepten und der Betriebsplanung von Verkehrsanlagen liegen, jedoch auch bei der Anlagen- und Infrastrukturplanung, Massnahmenplanung und Auswirkungsanalysen sowie der Standortplanung.
- die Verkehrssimulation die Verkehrsflüsse von Strassen-, Bahn-, Luft- und Personenverkehr, wie auch von Güterverkehrstransporten untersucht. Es wird jedoch nicht der innerbetriebliche Fluss von Waren oder Gütern betrachtet, sondern das ganze Verkehrssystem, seien dies die Verkehrsflüsse, die Stauproblematik, Lichtsignalanlagen, neue Verkehrsführungen und vieles mehr. Ziel solcher Untersuchungen ist die Ausgestaltung und Optimierung des Verkehrsnetzes.
- im Unterschied dazu in der Logistiksimulation unter anderem Beschaffungs-, Produktions- und Distributionsstrategien eines Unternehmens optimiert werden (beispielsweise Transport- und Tourenpläne, Supply Chain Management Strategien). Während in der Transportlogistik die Güter- und Personentransporte meistens aus der Sicht der Betriebe analysiert werden, wird die Logistiksimulation vor allem genutzt um die Produktivität der Intralogistik zu erhöhen, resp. zu optimieren (Produktion, Lager, Kommissionieren, usw.).
- sowohl Logistik- als auch Verkehrssimulationstools für die Planung und Optimierung eingesetzt werden. Während die Verkehrssimulation den Schwerpunkt eher bei der Planung hat, liegt der Schwerpunkt der Logistiksimulation eher bei der Optimierung.
- Verkehrssimulationsinstrumente einen deutlich höheren Spezialisierungsgrad aufweisen als Logistiksimulationsinstrumente. Diese haben einen deutlich breiteren Anwendungsbereich und sind offener ausgestaltet.
- sowohl Logistik- als auch Verkehrssimulationen ähnliche Simulationsansätze verwenden und auf diskreten Simulationsansätzen basieren. Während bei den Logistiksimulationen diskrete, ereignisorientierte Simulationsansätze im Vordergrund stehen, sind es bei Verkehrssimulationen diskrete, zeitorientierte Ansätze.
- bei Logistiksimulationen das Useroptimum (aus Unternehmenssicht, Systembenutzer) im Vordergrund steht, bei Verkehrssimulationen dagegen meist das Systemoptimum (aus Infrastrukturbetreibersicht).
- Anwendungsgrenzen sich vor allem aus der Datenverfügbarkeit und -qualität sowie der Komplexität der Wirkungszusammenhänge ergeben. Die Modelle sind nicht besser als der Input.

Kosten und Nutzen von Simulationen

Die Erkenntnisse aus dem Projekt haben als wichtige Schlussfolgerungen ergeben, dass

- die Kosten für ein Simulationsprojekt im Vergleich zu den Investitionskosten in der Regel bescheiden sind. Auch der Anteil an den Planungskosten einer Massnahme hält sich in Grenzen.
- die Kosten für die Software und Lizenzen sehr stark streuen können. Bei komplexeren Tools fällt insbesondere auch der Einarbeitungs- und Schulungsaufwand ins Gewicht.
- der Nutzen von Simulationen in einer Verbesserung der Entscheidungsgrundlagen, Kosteneinsparungen und Qualitätsverbesserungen liegt.
- die Simulation damit einen wichtigen Beitrag zur Gesamtbeurteilung und Entscheidungsfindung von Massnahmen in der Güterverkehrs- und Transportplanung leisten kann. Die Simulation unterstützt Problemanalysen und Schwachstellenanalyse sowie Wirkungs-

analysen von Massnahmen und Projekten. Neben Simulationsergebnissen spielen jedoch immer auch andere Überlegungen eine Rolle (technische, wirtschaftliche, unternehmensstrategische, politische, etc.). Simulation gibt Sicherheit, dass die richtigen Massnahmen gewählt wurden.

- die Hauptvorteile gegenüber statischen Modellen vor allem in der Abbildung der in der Realität wichtigen dynamischen Prozesse, in der Abbildung von komplexen Zusammenhängen, in der Visualisierung der Prozesse und in der besseren Erklärbarkeit und Nachvollziehbarkeit liegen. Sobald logistische und betriebliche Prozesse eine wichtige Rolle spielen und der Infrastrukturausbau im Hintergrund steht, geraten statische Modelle an ihre Grenzen. Zum Beispiel lassen sich die Auswirkungen von Verkehrsmanagement-Massnahmen (Wechseltextanzeigen, Verkehrsinformation, etc.) besser mit dynamischen Modellen abbilden.

Herausforderungen und Erfolgsfaktoren

Die Erkenntnisse aus dem Projekt haben als wichtige Schlussfolgerungen ergeben, dass

- die wesentlichen Herausforderungen bei einem Simulationsprojekt im richtigen Abstecken des Untersuchungsrahmens, im Finden des richtigen Abstraktionsgrades, in der Abbildung der relevanten Wirkungszusammenhänge und in der Datenbeschaffung und -qualität liegen.
- für eine erfolgreiche Abwicklung eines Projektes insbesondere gute validierte Daten, die Kenntnis der Realität, das „richtige“ Modell, die Integration des Auftraggebers in die Modellarbeiten, der frühzeitige Simulationsmodelleinsatz und das Simulations Know How beim Anwender und Auftraggeber entscheidend sind.
- unklare und sich verändernde Ziele, ein falscher Detaillierungsgrad und ein falsches Verständnis was Simulation leisten kann ein Simulationsprojekt gefährden können oder zu schlechten Resultaten führen.

Leitfaden

Die Erkenntnisse aus dem Projekt haben als wichtige Schlussfolgerungen ergeben, dass

- für die Sensibilisierung für Simulationen und die Abwicklung von Simulationsprojekten heute ein Leitfaden fehlt und ein Bedarf für einen solchen Leitfaden besteht.
- ein solcher Simulationsleitfaden sowohl für Berater, Planer und Entscheidungsträger die notwendigen Grundlagen vermittelt.
- ein solcher Simulationsleitfaden insbesondere für einen Neueinsteiger die notwendige Unterstützung für den Entscheid zur Simulation, die Wahl des Simulationswerkzeuges und Abwicklung von Simulationsprojekten gibt.
- die gewählte kompakte Form des Leitfadens mit Randspalten und Anwendungsbeispielen auf ein positives Echo gestossen ist.
- der Leitfaden auch für Simulationen in Bereichen ausserhalb des Güterverkehrs- und -transports angewendet werden kann.

Entwicklungen in der Simulation

Die Erkenntnisse aus dem Projekt haben als wichtige Schlussfolgerungen ergeben, dass

- verschiedene Entwicklungstrends zu beachten sind, welche die künftigen Simulationsmöglichkeiten verbessern werden. Verbesserungen sind insbesondere auch bezüglich Visualisierung, Beschleunigung Modellaufbau und Rechenzeiten sowie Detaillierungsgrad (agentenbasierte Ansätze) zu erwarten. Simulationsinstrumente werden zudem künftig vermehrt als Ausbildungsinstrumente eingesetzt. Längerfristig sind auch Gesamtsimulationssysteme für Mobilität, Verkehr, Logistik und Raumnutzung denkbar (so genannte Monoblockmodelle).
- Simulationsanwendungen mit so genannten Real Time Simulationen auch für den operativen Einsatz an Bedeutung gewinnen werden.
- ein weiteres Anwendungspotential in der Kopplung von verschiedenen Simulationsinstrumenten liegt. Auch kombinierten Anwendungen von Verkehrs- und Logistiksimulatoren wird ein gewisses Potential vorausgesagt.
- der Simulationsbedarf in Zukunft zunehmen wird. Ein wesentlicher Grund ist die zunehmende Komplexität von Fragestellungen. Dies gilt sowohl für Verkehrs- als auch

für Logistik- und Transportsimulationen. Dynamische Betrachtungen gewinnen an Bedeutung, wenn Verkehrs-, Logistik- und Transportanlagen immer häufiger an ihrer Kapazitätsgrenze betrieben werden.

7.2 Empfehlungen

Aus den Projektergebnissen lassen sich folgende Empfehlungen ableiten:

- Das Projekt liefert wichtige Erkenntnisse über Simulationsanwendungen in der Güterverkehrs- und Transportplanung. Diese sollten bei der Bearbeitung von infrastrukturellen und betrieblichen Massnahmen durch die involvierten Akteure berücksichtigt werden.
- Die Akteure im Bereich Verkehr und Logistik sollen vermehrt für das Problemlösungspotential von Simulationen und deren Anwendungsmöglichkeiten und -grenzen sensibilisiert werden.
- Die Erkenntnisse aus der Studie ist in die Ausbildungsgänge, Lehrmittel von Hochschulen, Universitäten und Verbänden einzubinden, um das Verständnis für und das Wissen über Simulationen zu verbessern. Dazu wurden bereits erste Schritte unternommen. Beispielsweise wurden die wichtigsten Erkenntnisse aus der Untersuchung in den Unterrichtsblock „Verkehrssysteme“ im Nachdiplomstudium Internationales Logistikmanagement der Fachhochschule Nordwestschweiz integriert. Das Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme der ETH Zürich befasst sich bereits seit mehreren Jahren mit der Simulation von Mobilität und Verkehr sowie der Raumentwicklung (MATSim, URBANSim, OpenTrack, VISSIM, etc.).
- Die Zusammenarbeit zwischen Verkehrs- und Logistiksimulationsexperten sollte verstärkt werden. Im Expertenworkshop vom 25. Juni 2009 kamen erstmals Experten aus den beiden Anwendungsbereichen zusammen. Eine Möglichkeit wäre, eine Simulationsplattform aufzubauen, in deren Rahmen sich die Experten halbjährlich treffen und über die neusten Anwendungen und Entwicklungen berichten.
- Zur Verbreitung der Ergebnisse dient zum einen der vorliegende Bericht, der über die Homepage des ASTRA (www.astra.admin.ch) nach Projektabschluss und Genehmigung des Berichts heruntergeladen werden kann. Andererseits werden die Ergebnisse an der SVI-Fachtagung vom 2. September 2009 einem breiteren Publikum vorgestellt. Weiter ist geplant, den Simulationsleitfaden als eigenständiges Dokument mit Unterstützung des SVI und weiteren Verbänden zu publizieren.

7.3 Forschungsbedarf

Im Rahmen der Projektarbeiten und während des Expertenworkshops vom 25. Juni 2009 wurde der folgende Forschungsbedarf zur Verbesserung und Erweiterung von Simulationsanwendungen identifiziert:

- Der weitere Forschungsbedarf zur Verbesserung und Erweiterung von Simulationsanwendungen liegt auf der Seite der Daten- und Verhaltensmodelle (Inkl. Systemverhalten und Modellbau) und weniger auf der Anwendungsseite.
- Eine wichtige Grundlage für Simulationen sind gute Entscheidungs- und Verhaltensmodelle. Im Rahmen von ergänzenden Forschungsarbeiten sollten diese verfeinert und erweitert werden (z.B. für das Spurwechsel- und -einfahrverhalten, Staubildung, Aktivitätenketten etc.). Damit können die empirischen Modellinputdaten und die Abbildung der Wirkungszusammenhänge verbessert werden.
- Es sollen die Kopplungsmöglichkeiten und –grenzen zwischen Simulation, operativer Planung und Instrumenten analysiert und vertieft werden. Das Potential der Simulation für die operative Planung sollte näher ausgelotet werden. Für die operative Steuerung von Prozessen sind Verbesserungen für die Kurzfrist-Prognosen zu untersuchen.
- Es sollen die Kopplungsmöglichkeiten zwischen Logistik- und Verkehrssimulation und die Anwendungspotentiale analysiert und vertieft werden. Aufgrund von fehlenden Fallsbeispielen konnten diese im Rahmen des vorliegenden Projektes nicht näher untersucht, sondern nur andiskutiert werden.

- Zur Verbesserung der Tourenplanung ist die dynamische Rückkopplung zwischen Verkehrsinformationssystem und Tourenplanung näher zu untersuchen.

Anhänge

I	Übersicht Simulationswerkzeuge mit Anwendungsbereichen	88
I.1	Verkehrssimulation.....	88
I.2	Logistiksimulation.....	92
II	Typisierung der Simulationswerkzeuge	96
III	Fragenkatalog Interviews	97
IV	Glossar	100
V	Expertenworkshop	104
V.1	Einleitung.....	104
V.2	Programm.....	104
V.3	Teilnehmer	105
VI	Leitfaden	106
VII	Literaturverzeichnis	107

I Übersicht Simulationswerkzeuge mit Anwendungsbereichen

I.1 Verkehrssimulation

Verkehrssimulationstools

Tool/Hersteller	Zweck	Anwendungsbereiche	Merkmale
Aimsun TSS-Transport Simulation Systems Passeig de Gràcia 12 08007 Barcelona SPAIN Tel. (+34) 933 171 693 Fax. (+34) 933 171 716 E-Mail: info@aimsun.com www.aimsun.com	Verkehrsmanagement und Verkehrsflussanalyse + MIV + Fahrräder + Fussgänger + ÖPNV	+ Strategien und Verkehrsmanagement + Infrastrukturanalyse und -optimierung + Verkehrssteuerung + Wirtschaftlichkeitsanalysen + Fahrzeugführungssysteme	+ Mikroskopisches Verkehrsflusssimulationsmodell + Dynamisch + Verkehrssteuerungs- und -beeinflussungselemente (LSA, Wechselschilder, Zuflusssteuerungen etc.) + Visualisierung und Auswertung der Resultate + Kleine bis mittlere Verkehrsnetze + Schnittstelle zu Verkehrsmodell-Software EMME + Routenwahl über Bestweg (Reisezeit) + Interaktion zwischen Fahrzeugen (Strecken und Knoten) + Individuelles Fahrzeugverhalten
BABSI Verkehrswissenschaftliches Institut Mies-van-der-Rohe-Str. 1 D-52074 Aachen Tel.: +49 (241) 802 51 90 Fax: +49 (241) 802 22 92 E-Mail: via@via.rwth-aachen.de www.via.rwth-aachen.de	Simulation der Fahrplannerstellung auf der Basis eines hierarchischen Trassenmanagements und Nachweis der Stabilität der Betriebsabwicklung	+ Bemessung Eisenbahninfrastruktur + Validierung neuer Fahrplan- und Betriebskonzepte	+ BABSI basiert auf dem Infrastrukturmodell SPURPLAN, das bei der Deutschen Bahn zur Fahrplankonstruktion verwendet wird + BABSI wird nicht verkauft; Projekte werden von VIA Aachen durchgeführt
CAPS Institut für Seeverkehrswirtschaft und Logistik (ISL) Universitätsallee GW1 Block A D-28359 Bremen Tel.: +49/4 21/2 20 96 0 Fax: +49/4 21/2 20 96 55 t.i.m.e.Port II Barkhausenstraße 2 D-27568 Bremerhaven Tel.: +49/4 71/30 98 38 0 Fax: +49/4 71/30 98 38 55 info@isl.org caps@isl.org www.isl.org	Ermittlung von Terminalkapazität und Containerbrückenbedarf	+ Bestimmung der Kajakapazität + Bestimmung der Lagerflächenkapazität + Bestimmung der maximalen und operativen Gesamtkapazität + Unterscheidung nach Schiffstypen: Jumbo, Medium und Feeder + Unterscheidung nach Containertypen, z.B. Standard-, Leer-, Kühl- und Gefahrgutcontainer	+ Ist die Kajakapazität für ein bestimmtes Umschlagvolumen ausreichend? + Mit wie vielen Containerbrücken ist die Abfertigung der simulierten Schiffe zu bewerkstelligen? + Wie hoch ist der Stellplatzbedarf für jeden Containertyp?

CRASY Institut für Seeverkehrs- wirtschaft und Logistik (ISL) Universitätsallee GW1 Block A D-28359 Bremen Tel.: +49/4 21/2 20 96 0 Fax: +49/4 21/2 20 96 55 t.i.m.e.Port II Barkhausenstraße 2 D-27568 Bremerhaven Tel.: +49/4 71/30 98 38 0 Fax: +49/4 71/30 98 38 55 info@isl.org crasy@isl.org www.isl.org	Simulation und Analyse von Abfertigungsstrate- gien mit unterschiedli- chen Brückensystemen.	Einsatz des Tools CRA- SY zur Analyse von beliebigen Containerbrü- ckentypen und zur opti- malen Planung von Schiffsabfertigungen	+ Eignung von Contai- nerbrückentypen für de- finierte Schiffstypen. + Planung und Analyse der Schiffsabfertigung
Dynameq INRO 5160 Décarie Boulevard, Suite 610 Montreal, Quebec H3X 2H9 Canada Tel.: (+1) 514-369-2023 Fax: (+1) 514-369-2026 E-Mail: sales@inro.ca www.inro.ca	Verkehrsmanagement und Verkehrsflussanaly- se + MIV	+ Strategien und Ver- kehrsmanagement + Infrastrukturanalyse und -optimierung + Verkehrssteuerung + Wirtschaftlichkeitsana- lysen + Fahrzeugführungssys- teme	+ Mikroskopisches Ver- kehrsflusssimulations- modell + Dynamisch + Verkehrssteuerungs- und -beeinflussungs- elemente (LSA, Wech- selschilder, Zufluss- steuerungen etc.) + Visualisierung und Aus- wertung der Resultate + mittlere bis grosse Ver- kehrsnetze + Schnittstelle zu Ver- kehrsmodell-Software EMME + Routenwahl über Gleichgewicht + Kein individuelles Fahr- zeugverhalten
IYCAPS Institut für Seeverkehrs- wirtschaft und Logistik (ISL) Universitätsallee GW1 Block A D-28359 Bremen Tel.: +49/4 21/2 20 96 0 Fax: +49/4 21/2 20 96 55 t.i.m.e.Port II Barkhausenstraße 2 D-27568 Bremerhaven Tel.: +49/4 71/30 98 38 0 Fax: +49/4 71/30 98 38 55 info@isl.org iycaps@isl.org www.isl.org	Ermittlung der Kapazität von vorhandenen oder geplanten Intermodal Yards: + Bestimmung der Ka- pazität von Intermodal Yards in Häfen + Bestimmung der An- zahl der benötigten Gleise + Bestimmung der An- zahl benötigter Ab- schlussstellen + Berücksichtigung der vorhandenen Infra- struktur + Berücksichtigung der Produktivität der La- gerplätze + Simulation auf Grund- lage realer Fahrpläne für ankommende und abfahrende Container transportierende Züge	Ermittlung der Kapazität von Bahnumschlagsan- lagen mit Bestimmung der Anzahl benötigter Gleise und Anschluss- punkte.	
OpenTrack OpenTrack Railway Tech- nology GmbH Gubelstr. 28 CH - 8050 Zürich Schweiz Tel.: +41 44 310 19 90	Objektorientierte Model- lierung von Infrastruktur- elementen und Betriebs- vorgängen im Eisen- bahnwesen	+ Fahrplan, Fahrzeiten + Stabilitäts- und Mach- barkeitsunter- suchungen + Nachweis von Infra- strukturbedarf + Planung von Umbau- phasen und Langsam-	Vordefinierte Züge bewe- gen sich unter den Rand- bedingungen der Fahr- plandaten auf einer defi- nierten Gleisanlage. Die Simulation berechnet sekundengenau die Be- wegungen aller Züge und bildet das exakte Verhal-

Fax: +41 86 044 310 19 90 Email: info@opentrack.ch www.opentrack.ch		fahrstellen + Untersuchungen zum Einsatz der Eisenbahnsicherungstechnik + Untersuchungen zum Verhalten des Netzes bei Störungen	ten der Sicherungsanlagen nach. Die während dem Simulationslauf gesammelten Prozessdaten können später in bahntypischen Auswertungen visualisiert werden (z.B. Grafische Fahrpläne, Belegungsdiagramme, Verspätungsstatistiken etc.) Module: + Grafikeditor für die Gleistopologie + Lokeditor + Datenbank für die Fahrplanverwaltung + Auswertungen
RailPlan Funkwerk Information Technologies GmbH Edisonstr. 3 D-24145 Kiel Tel.: +49 (0) 431 2481 488 E-Mail: info@funkwerk-it.com www.funkwerk-it.com	RailPlan erstellt leistungsfähige "Monte Carlo" Simulationen des Bahnbetriebs unter Verwendung detaillierter Infrastrukturmodelle, signaltechnischer Ausrüstung und traktionspezifischer Daten	Simulation des Zugbetriebs: Mit RailPlan erhalten Sie für Ihre Planung ein breites Anwendungsspektrum, zum Beispiel zur Ermittlung der Signalabstände und zur Optimierung der Standorte von Weichen und Kreuzungen sowie zur Bewertung der Umsetzbarkeit von Betriebsprogrammen	Das Simulationsprogramm berücksichtigt Gleisprofile, Geschwindigkeitsbegrenzungen und die Interaktion von Zügen mit dem Signalsystem, den Fahrplänen und der Zugkraft sowie der Regulierungsstrategie
RailSys Rail Management Consultants GmbH (RMCon) Lister Strasse 15 D-30163 Hannover Tel.: +49 5 11 26 29 26 0 Fax: +49 5 11 26 29 26 99 www.railsys.de	RailSys ist ein Programmsystem zur Analyse, Planung und Optimierung von Betriebsabläufen und -Anlagen in beliebig grossen Netzen spurgeführter Verkehrssysteme	+ Fahrplankonstruktion und Fahrplangestaltung + Fahrzeitberechnungen + Kapazitätsplanung + Infrastrukturplanung + Baubetriebs- und Sonderverkehrsplanung + Planung von Logistikkonzepten für Grossvorhaben + Entwurf, Prüfung und Anmeldung von Fahrplantrassen + Prüfung landesweiter integraler Taktfahrpläne + Ermittlung von Betriebsqualität, Pünktlichkeit und Anschlussicherung + Ausarbeitung von Dispositionsstrategien im Falle von Verspätungen und Betriebsstörungen + Ermittlung Investitions- und Betriebskosten + Erarbeitung von Ausschreibungsunterlagen für Ausschreibungen von Verkehren	Die Betriebsabläufe können wirklichkeitsnah auf Personalcomputern abgebildet werden. Die Bearbeitung kleinräumiger Problemstellungen ist ebenso möglich wie die Untersuchung von kompletten Netzen Alle Daten der Bereiche + Infrastruktur + Fahrzeuge und Zugtypen + Fahrplan- und Betriebsdaten + Dispositionsregeln werden mikroskopisch genau verwendet
SCUSY Institut für Seeverkehrswirtschaft und Logistik (ISL) Universitätsallee GW1 Block A D-28359 Bremen	Vergleich von Terminalbetriebssystemen und Analyse von Terminaloperationen durch Simulation von Containerumschlagssystemen + Gestaltung von Termi-	+ Planung neuer Terminals + Reorganisation existierender Terminals unter Einbezug von Layoutänderungen + Terminals mit inhomogenen	Planungstool, um zahlreiche Parameter und wechselseitige Beziehungen sämtlicher technischer, operationeller und verkehrsbezogener Komponenten zu simulieren und

Tel.: +49 4 21 2 20 96 0 Fax: +49 4 21 2 20 96 55 t.i.m.e.Port II Barkhausenstraße 2 D-27568 Bremerhaven Tel.: +49 4 71 30 98 38 0 Fax: +49 4 71 30 98 38 55 info@isl.org scusy@isl.org www.isl.org	nallayouts + Variation von Parametern und Ausstattung des Terminals + Technische und wirtschaftliche Auswertung der verschiedenen Szenarien + Entscheidungshilfe bezüglich des optimalen Betriebssystems	gener Ausstattung -> Entwicklung optimalen einsetzfähiges System + Auskunft über alternative Handlungsstrategien + Auskunft über Veränderungen in der Geräteausstattung	auszuwerten Einsatzgrenzen: + Für beliebige Terminalkonstellationen anwendbar + Einfache Handhabung durch dialogorientierte, grafische Benutzeroberfläche
SimCont Universität für Bodenkultur Wien Department für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften Institut für Produktionswirtschaft und Logistik Feistmantelstrasse 4 A- 1180 Wien Tel: +43 1 47654 4410 Fax: +43 1 47654 4417 E-Mail: info@simcont.net www.simcont.net	Strategisches Planungstool zur Ermittlung von optimalen Terminalkonfigurationen, die den Durchsatz des Containerterminals maximiert. Analyse und Optimierung von Funktionen, Komponenten und Parametern von Containerterminals.	Planung neuer Terminals bzw. Ausbau oder Redimensionierung existierender Terminals + Ermittlung des optimalen Layouts + Analyse des maximalen Stellplatzbedarfs + Ermittlung der optimalen Geräteausstattung + Geräteeinsatzplanung und Kapazitätsanalyse + Analyse neuer Strategien	Terminal Konfigurator: + Benutzerfreundliche Handhabung + Keine speziellen Kenntnisse erforderlich Simulation und Animation: + Keine Simulationskenntnisse erforderlich + Beliebige Parameterkonstellationen simulierbar Report Generator: + Graphische Darstellung (Diagramme) + Einfacher Export für Präsentationen + Einfache Dokumentationsform der durchgeführten Simulationsszenarien
SIMU VII IBS Ingenieurbüro für Bahnbetriebssysteme GmbH Roscherstraße 7 D-30161 Hannover Tel.: +49 5 11 348 53 60 Fax: +49 5 11 348 53 49 E-Mail: ibs@simu.de www.simu.de	Simulation grosser Eisenbahnnetze Das Programmsystem SIMU VII dient der Untersuchung von Infrastruktur und Fahrplangestaltung einer Bahn, mit Hilfe der Simulation von Bahnbetriebsabläufen	+ Fahrplangestaltung + Verspätungsanalyse + Infrastruktur	+ Der Anwender stellt Strecken- und Betriebsdaten zur Verfügung, die vom Programm erfasst und bearbeitet werden + Das Ergebnis ist eine Simulation des Betriebsablaufs, eine statistische Auswertung der Verspätungen und die Ausgabe der grafischen Ergebnisdarstellungen
VISSIM PTV Planung Transport Verkehr AG Stumpfstraße 1 D-76131 Karlsruhe Tel.: +49 7 21 96 51 0 Fax: +49 7 21 96 51 699 E-Mail: ptv@ptv.de www.vissim.de	Verkehrsmanagement und Verkehrsflussanalysen + MIV + Fahrräder + Fussgänger + ÖPNV	+ Strategien und Verkehrsmanagement + Infrastrukturanalyse und -optimierung + Verkehrssteuerung + Wirtschaftlichkeitsanalysen + Fahrzeugführungssysteme	+ Mikroskopisches Verkehrsflusssimulationsmodell + Dynamisch + Verkehrssteuerungs- und -beeinflussungselemente (LSA, Wechselschilder, Zuflusssteuerungen etc.) + Visualisierung und Auswertung der Resultate + Kleine bis mittlere Verkehrsnetze + Interaktion zwischen Fahrzeugen (Strecken und Knoten) + Individuelles Fahrzeugverhalten

I.2 Logistiksimulation

Logistiksimulation

Tool/Hersteller	Zweck	Anwendungsbereiche	Merkmale
AnyLogic XJ Technologies Company Office 410 49 Nepokorennnykh pr. 195220 St. Petersburg RUSSIAN FEDERATION www.xjtek.com	Simulation und Optimierungsprogramm für mehrere Zwecke	+ Logistik + Transport + Verkehr + Personenfluss + Business-Prozesse + System Dynamics + strategische Planung	+ Javabasierter Hybrid-Simulator, welcher den ereignisorientierten und agentenbasierten Ansatz unterstützt + Grosses Anwendungsgebiet + Objektorientierte Modellierung + Bibliothekselemente von mehreren agentenbasierten Bibliotheken + Stochastische Modellierung (ca. 30 Wahrscheinlichkeitsdistributen) + GIS-Integration + Umtausch von dynamischen Daten zwischen anderen Anwendungen + Integrierter Javabasierter OptQuest-Optimizador
ARENA Rockwell Automation 1201 South Second Street Milwaukee, WI 53204-2496 USA www.rockwellautomation.com	Diskreter, prozessorientierter Simulator	+ Fertigungsprozesse + Logistik + Transport + Customer Service	+ Arena-Blocks Modellierungsmethodologie + Hierarchische Modellierung + Grosse grafische Bibliothek + Detailplanung, Analyse und Optimierung der Produktionszellen + Modellierung, Analyse und Optimierung der geplanten Werkzeuge parallel zu den Produktionszellen
AutoMod SimPlant AG Niederlassung München Münchener Str.13 D-85540 München-Haar Deutschland www.automod.de	Modellierung und Optimierung von Herstellungsprozessen über Lagersimulation und Supply Chain Simulationen bis hin zur Online Kopplung/ Emulation	+ Luftfahrtindustrie + Automobileindustrie + Produktionsanlagen + Logistik + Supply Chain Management	+ Einfache Bedienbarkeit und Simulationsprogrammiersprache + Maßstäbliche Simulationsmodelle + Grossmögliche Exaktheit + Detaillierte 3-D Animation + Leistungsfähige Simulation + Zahlreiche Analyse-Möglichkeiten
DISMOD Fraunhofer Institut für Materialfluss und Logistik (IML) Joseph-von-Fraunhofer-Str. 2-4 D-44227 Dortmund Deutschland www.iml.fraunhofer.de	Diskretes Planungs- und Optimierungstool für Transportsysteme	+ Verkehr/Transport + Supply Chain Management + Umwelt/Ökologie + Geowissenschaften + Informationstechnik + Wirtschaft	+ Datenanalyse und Identifizierung von Schwachstellen + Optimierung der Distributionsstruktur mittels Szenarienrechnung + Kalkulation der resultierenden Transport- und Gesamtkostensituation + Detaillierte Optimie-

			– rung auf Sendungs- und Auftragsdaten + Vielzahl von Bewertungs- und Kostenfunktionen vorliegend + Datenaustausch über Datenbanken (Oracle-DB und MS-SQL-DB) + GIS basiert
Enterprise Dynamics Incontrol Enterprise Dynamics Papendorpseweg 77 3528 BJ Utrecht The Netherlands www.enterprisedynamics.com	Logistisches High-End-Simulationsprogramm zur Lösung komplexer logistischer Aufgabenstellungen	+ Automobilbau + Maschinenbau + Infrastrukturplanung + Lebensmittelbranche + Lagerlogistik und Distribution + Transport und Verkehr + Supply Chain Management + Railway Systems + Personalplanung	+ Einfache Modellerstellung + Objektorientierte Arbeiten: aus Bibliothekselementen werden die Modelle aufgebaut + Bibliothekselemente können Standard oder projektspezifisch sein + Keine Beschränkung der Möglichkeiten bei der Entwicklung spezifischer eigener Simulationsobjekte + Automatische 3D-Visualisierung
ED TransSim Incontrol Enterprise Dynamics Papendorpseweg 77 3528 BJ Utrecht The Netherlands www.enterprisedynamics.com Lehrstuhl für Verkehrssysteme und -logistik (VSL) Fakultät Maschinenbau TU Dortmund Leonhard-Euler Str. 2 44225 Dortmund Deutschland www.vsl.mb.uni-dortmund.de	Simulationsplattform mit zwei eigenständigen Simulationsbausteinen – ED TransSim-Node und ED TransSim-Net – zur Erörterung von Fragestellungen aus dem Bereich der Verkehrslogistik	+ Verkehrslogistik + Transportlogistik	+ Modellierung von Expeditions- und Logistikanlagen + Bibliothek mit layout-spezifischen Objekten, Fahrzeugtypen, Ressourcen und Steuerungsbausteinen + Modellierung von Be- und Entladepuffer, Rampen und Lagerplätzen eines Terminals mit dem kombinierten Verkehr + Bahneinschluss mit Portalkränen integriert + Datengenerator für Sendungen und Fahrzeuge (Simulation auf Basis realer Sendungsdaten möglich) + 2D und 3D Visualisierung
FlexSim Flexsim Software Products, Inc. Canyon Park Technology Center 1577 North Technology Way Building A, Suite 2300 Orem, Utah 84097 USA www.flexsim.com	Diskreter, ereignisorientierter, objektorientierter Simulator mit der Fluid Library für die Modellierung kontinuierlicher Ströme	+ Supply Chain Planung und Steuerung + Transport + Logistik + Produktion	+ Sehr einfache Anpassbarkeit, bzw. Neuentwicklung von Objekten für spezifische Aufgabestellungen + Sehr benutzerfreundliche, einfache Handhabung + Möglichkeit, in beliebiger Detailtiefe Anpassungen vornehmen zu können + Gute 3D Visualisierung + Gute Unterstützung für kontinuierliche Förderprozesse + Benutzt Windows MS Visual Studio 2005 für weitere Funktionen + Container Terminal Bibliothek

ORion-PI® Axxom Software AG Paul-Gerhardt-Allee 46 D-81245 München www.axxom.com	Die ORion-PI® Software-Familie optimiert und simuliert die gesamte Wertschöpfungskette unter Berücksichtigung von Kosten sowie Zeiten und/oder Prioritäten über alle Zeithorizonte hinweg	+ Personaleinsatzplanung + Logistikoptimierung + Produktionsplanung + Logistiknetzwerke	+ Strategische Netzwerkplanung und -optimierung + Grob- und Feinplanung sowie Optimierung + Absatzplanung und -prognose + Iteratives Eingreifen in den Planungsprozess und Visualisieren des Prozessablaufes, je nach gewünschtem Detaillierungsgrad + Darstellung und Vergleich unterschiedlicher Planungsszenarien + Layout-Design + Rezeptur- und Stücklistenoptimierung + Logistik- und Distributionsoptimierung + Kapazitätsplanung + Bedarfsorientierte Personalkapazitäts- und Einsatzplanung + Supply Chain Design und Management + Logistik Consulting
Plant Simulation Siemens Product Lifecycle Management Software Inc. Ingersheimer Str. 12 D-70499 Stuttgart www.ugs.de	Mit Plant Simulation werden Materialfluss, Ressourcenauslastung und Logistikketten auf allen Ebenen der Unternehmensplanung optimiert	+ Produktion + Logistik + Engineering	+ Simulation hochkomplexer Produktionssysteme und Steuerungsstrategien + Einfache Bedienbarkeit durch Windows + Automatisierte Optimierung von Systemparametern sowie Losgrößen- und Reihenfolgenplanung + Interaktive 2D und 3D Echtzeit-Visualisierung
ProModel ProModel Corporation 556 East Technology Ave Orem, UT 84097 USA www.promodel.com	Optimierung der Materialfluss-, Logistik- und Supply Chain Prozesse	+ Produktion + Lagerhaltung + Logistik	+ Visualisierung von komplexen Prozessabläufen in leicht verständlicher Form + Analysierung die Auswirkung unterschiedlicher Planungsalternativen + Optimierung der Prozessabläufe + Rasche Umsetzung der Aufgabenstellungen in Simulationsmodellen + Für eine vollständige Definition eines Simulationsmodells in ProModel sind 4 Grundbausteine nötig: Locations, Entities, Processing, System-Input
SIMMOD ATAC Corporation 755 N. Mathilda Avenue, Suite 200 Sunnyvale, CA 94085 Canada	Simulation des Flughafenbetriebes und Luftraumnutzung	+ Flughafen + Luftraum	+ Realitätsnahe Simulationen im Flughafenbetrieb sowie der Nutzung des umgebenden Luftraums + Analyse der beste-

www.atac.com			- henden Konfigurationen des Flughafens + Planungen von Ausbauzuständen oder neuen Flughäfen + Niedrige Kosten
Simul8 Simul8 Corporation 225 Franklin Street 26th Floor Boston MA 02110 USA www.simul8.com	Optimierung von Kosten und Prozessen Absicherung von Systemplanungen Schaffung von objektiven Entscheidungsgrundlagen	+ Geschäftsprozesse + Informationsflüsse + Prozessabläufe + Produktionsprozesse + Logistiksysteme + Supply-Chain-Netzwerke	+ Kostengünstig + Modern + Intuitiv zu bedienen + Branchenübergreifend einsetzbar + Objektorientierte Windows Konventionen + Flexibel durch Programmiermöglichkeit
Witness Lanner Simulation Technology GmbH Schiessstraße 35 D-40549 Düsseldorf www.lanner.com	Simulationsprogramm für alle Unternehmensbereiche: Materialflusssimulation, Prozesssimulation, Optimierung	+ Stahlindustrie + Autoindustrie + Logistik + Transport + Gesundheitswesen + Banken + Versicherung + E-Commerce + Call Centers	+ Wichtige Ressourcen werden nicht an der falschen Stelle gebunden + Hohe Interaktivität + Gesenkte Kosten und gesteigerte Produktivität + einfaches Baukastenprinzip + Grosse Auswahl von Logik- und Kontrolloptionen + Modulare und hierarchische Struktur + Offener Ansatz - leichte Anbindung an andere Software (CAD/ Tabellen usw.) + Optimierung mit WITNESS Optimizer + 2D und 3D Visualisierung

II Typisierung der Simulationswerkzeuge

Merkmalliste_v2.5_10.11.2009.xls

[illegible]

X* nur für Cargo-Flugzeuge

III Fragenkatalog Interviews

<i>Fragenbereich / Fragen</i>	
1	Fragen zu Erkenntnissen aus der Evaluation
1.1	Wieso werden die meisten Simulationsmodelle oft nur einmalig angewandt? Wo sehen Sie Handlungsfelder, damit Simulationsmodelle regelmässig angewandt werden?
1.2	Simulationsmodelle werden häufig für strategische Fragestellungen eingesetzt. Wo sehen Sie Potential, Simulationsmodelle auch für den operativen Einsatz zu nutzen?
1.3	Simulationsmodelle werden vor allem zum Planen, weniger zum Optimieren und Verifizieren eingesetzt. Sehen Sie Trends, dass sich dies in Zukunft ändern könnte?
1.4	Welche sind aus Ihrer Sicht die massgebenden Gründe für die Wahl eines Simulationswerkzeuges?
1.5	Wieso werden heute keine kombinierten Logistik-/Verkehrssimulationen durchgeführt?
1.6	Wieso ist die Zahlungsbereitschaft für Simulationsprojekte eher gering?
2	Fragen zu Nutzen, Kosten, Anwendungsmöglichkeiten und -grenzen
2.1	Warum setzen Sie bei Ihrer Arbeit Simulationswerkzeuge ein?
2.2	Welche Simulationsinstrumente setzen Sie ein?
2.3	Welche Hauptvorteile gegenüber statischen Modellen bestehen?
2.4	Welche Hauptnachteile gegenüber statischen Modellen bestehen?
2.5	Wo liegt der Nutzen von Simulationsanwendungen? Welcher Zusatznutzen entsteht durch den Einsatz der Simulation (bspw. bessere Datengrundlage, klar definierte Prozesse, usw.)?
2.6	Wo liegen die Anwendungsgrenzen?
2.7	Welchen Beitrag haben die Simulationsergebnisse für die Gesamtbeurteilung, die Problemlösung bzw. den Entscheid geleistet (gering, mittel, hoch)?
2.8	Wie beurteilen Sie den Aufwand für Simulationen (Kosten Software, Schulung/Weiterbildung, Unterhalt/Betrieb, etc.)? Wie hoch ist der Anteil an den Planungskosten? Wie hoch ist der Anteil an den Investitionskosten?
2.9	Welches sind die Herausforderungen bei der Durchführung von Simulationsprojekten?
3	Fragen zum Leitfaden
3.1	Halten Sie den beiliegenden Leitfaden für die Durchführung von Simulationsprojekten für zweckmässig? Welche Anpassungs- und Ergänzungsvorschläge haben Sie?
3.2	Zur Durchführung von Simulationsprojekten werden häufig umfangreiche Daten in guter Qualität benötigt. Stimmen Sie mit dem Leitfaden überein, dass die Datenbereitstellung einer der kritischen Punkte ist? Wie stellen Sie die Datenqualität sicher? Verwenden Sie in der Regel echte bzw. hochgerechnete Daten, oder beschreiben Sie die Daten hauptsächlich über statistische Verteilungen? Warum?
3.3	Ein weiterer kritischer Punkt in der Durchführung von Simulationsstudien ist das Finden des richtigen Abstraktionsgrades. Wie gehen Sie vor, den richtigen Abstraktionsgrad zu finden? Wie schätzen Sie Ihre Modelle bezüglich Abstraktionsgrad ein?
3.4	Ein dritter kritischer Punkt in Simulationsprojekten ist die Verifizierung und Validierung der Modelle. Stimmen Sie mit dieser Aussage überein? Führen Sie die Verifizierung und Validierung der Simulationsmodelle wie im Leitfaden vorgeschlagen durch? Oder wählen Sie ein anderes Vorgehen? Wenn ja, welches und warum?
3.5	Welche Vorkehrungen müssen aus Ihrer Sicht vorgenommen werden, damit ein Simulationsprojekt eine Erfolgsstory wird? Welches sind die massgebenden Erfolgsfaktoren?
3.6	Welches sind die massgebenden kritischen Faktoren, Hindernisse und Stolpersteine die ein Simulationsprojekt gefährden können oder zu schlechten Resultaten führen?
3.7	Welche weiteren Bemerkungen haben Sie zum Leitfaden? (Verständlichkeit, Nachvollziehbarkeit, Nützlichkeit, etc.)
4	Weitere Fragen
4.1	Wie beurteilen Sie die Entwicklung des Simulationsbedarfs? In der Logistiksimulation? In der Verkehrssimulation?
4.2	Welche relevanten Weiterentwicklungen von Simulationsinstrumenten sehen sie?
4.3	Wie beurteilen Sie die Entwicklung der Hardware auf die Simulation (in Bezug auf Detaillierungsgrad der Modelle, Grösse der Modelle, Anwendungsspektrum usw.)
4.4	Sehen Sie ein Potential, dass in Zukunft auch kombinierte Logistik-/Verkehrssimulationen durchgeführt werden?
4.5	Haben Sie noch weitere Bemerkungen oder Hinweise zu Simulationen in der Güterverkehrs- und Transportplanung?

IV Glossar

Begriff	Bedeutung
Abholung und Lieferung	Dienstleistung hinsichtlich der Aufnahme von Fracht auf dem Firmengelände des Absenders und die Lieferung zum Firmengelände des Empfängers. (EN 14943, 2005)
Absatzgebiet	Ort, an dem Waren zum Verkauf angeboten werden. (EN 14943, 2005)
Absender	Einzelperson oder Organisation, die die Erstellung eines Konnossements vorbereitet oder veranlasst, das den Transporteur anweist, Waren von einem Standort zu einem anderen zu transportieren. (EN 14943, 2005)
Auslastung	Verhältnis verbrauchten und der verfügbaren Kapazität. (EN 14943, 2005)
Beschaffungslogistik	Gesamtheit der logistischen Aufgaben und Massnahmen zur Vorbereitung und Durchführung des Warenflusses vom Lieferant zum Unternehmen. (www.logistik-lexikon.de)
Container	Spezieller Behälter zur Beförderung von Fracht, verstärkt und stapelbar, der horizontalen oder vertikalen Transport ermöglicht. (nach EN 14943, 2005)
Deterministisches Modell	Die Kausalität deterministischer Modelle wird in Form von Ursache-Wirkungs-Beziehungen ausgedrückt. Das Modellierungsergebnis deterministischer Modelle ist eindeutig durch die Anfangsbedingungen der System- und Inputvariablen definiert. Modellläufe mit gleichem Input führen demnach zu gleichen Modellergebnissen. Es steht im Gegensatz zum stochastischen Modell. (Hoffmann, Schrott, 2003) Modelle, die keine Unsicherheiten enthalten, z.B. Inventarmodelle ohne Berücksichtigung des Sicherheitsbestands. (EN 14943, 2005)
Diskretes Modell	Ist ein Modell, in dem endlich viele Zustandsveränderungen innerhalb eines endlichen Zeitintervalls betrachtet werden. (Banks, 1998)
Distributionslogistik	Gesamtheit der logistischen Aufgaben und Massnahmen zur Vorbereitung und Durchführung des Warenflusses von der letzten Operation bis hin zum Kunden. (www.logistik-lexikon.de)
Dynamisches Modell	Dynamische Modelle sind zeitabhängige Modelle, welche die Reaktion des Systems auf veränderte Umweltbedingungen beschreiben und somit nicht an Gleichgewichtsbedingungen gebunden sind. (Hoffmann, Schrott, 2003)
Empfänger	Im Transportdokument benannte Partie, an die die Waren, das Frachtgut oder die Container geliefert werden. (EN 14943, 2005)
Engpass	Stufe eines Prozesses, die die Leistung einschränkt. (Logistik Glossar EN 14943: 2005)
Entsorgungslogistik	Prozess der Gestaltung, Planung und Steuerung des Rücklaufs und der Wiederverwendung gebrauchter Produkte und Verpackungen zum Einsparen von Ressourcen und zum Schutz der Umwelt. (EN 14943, 2005)
Frachtgut	Zusammenstellung/Menge von Waren (befördert durch ein Transportmittel), die von einem Ort zum anderen transportiert werden. (EN 14943, 2005)
Gut (Güter)	Ist ein Mittel zur Befriedigung menschlicher Bedürfnisse. Güter sind als Verkehrsobjekte bedeutsam im Verkehrswesen, insbes. Sachgüter (z.B. Waren, Produkte, Rohstoffe), Arbeit und Dienstleistungen, sowie immaterielle Realgüter, insbes. Information und Energie. (Ammoser, Hoppe, 2006)
Güterverkehr	Ist der Prozess der Ortsveränderung von materiellen Gütern im Sinne einer Verkehrsdienstleistung oder die Kurzbezeichnung für die Gütertransportbranche als speziellen dienstorientierten Verkehrszweig. (Ammoser, Hoppe, 2006)
Hybride Simulation	Ist eine Kombination aus kontinuierlicher und diskreter Simulation. (VDI-Richtlinie 3633, 1993)
Innerbetrieblicher Transport	Transport von Waren innerhalb der Grenzen einer Betriebseinheit. Dies kann z.B. innerhalb der Fabrik, des Lagerhauses, des Orts der Versandvorbereitung usw. oder an anderen Stellen auf dem Betriebsgelände sein. (EN 14943, 2005)
Intralogistik	Umfasst die Organisation, Durchführung und Optimierung der Materialflüsse innerhalb eines Unternehmens. (www.logistik-lexikon.de)

Begriff	Bedeutung
Kapazität	Leistungsfähigkeit einer Ressource innerhalb einer vorgegebenen Zeit, gemessen anhand von Qualität und Menge. (EN 14943, 2005)
Kommissionierung	Zusammenstellen der zu einem Kundenauftrag gehörenden Waren in einem Lager. (EN 14943, 2005)
Kontinuierliches Modell	Ist ein Modell, in dem sich die Werte der Zustandsvariablen innerhalb eines endlichen Zeitintervalls unendlich oft ändern. (Cellier, 1991)
Kran	Hebevorrichtung zum Anheben, Herablassen und Bewegen von Waren in einer oder mehreren horizontalen Richtungen. (EN 14943, 2005)
Ladungseinheit	Ladung, die aus Teilen oder Verpackungen besteht, die durch ein oder mehrere Mittel zusammengehalten und für Umschlag, Transport, Stapeln und Lagern als Einheit in Form gebracht oder ausgestattet werden. (EN 14943, 2005)
Lager	Physischer Ort eines Lagerpunkts. (EN 14943, 2005)
Lagerung	Vorgang, Waren vorrätig oder in geeigneten Räumen zu halten, um die Zeit zwischen der Ankunft und Einsatz zu überbrücken. (EN 14943, 2005)
Lieferkette (Supply Chain)	Ist ein unternehmensübergreifendes, virtuelles Organisationsgebilde (Netzwerk), das als gesamtheitlich zu betrachtendes Leistungssystem spezifische Wirtschaftsgüter für einen definierten Zielmarkt hervorbringt. Weitere Synonyme sind Versorgungskette, logistische Kette, Wertschöpfungskette. (Ballou, 2004)
Lieferzeit	Zeitspanne zwischen Bestellung und Lieferung. (EN 14943, 2005)
Lieferzuverlässigkeit	Über einen bestimmten Zeitraum gemessenes Verhältnis zwischen der Menge an Waren, die innerhalb dieser Zeitspanne zum vom Lieferanten zugesagten Termin geliefert wurde, und der Gesamtmenge an Waren, die für diesen Zeitraum der Lieferung vorgesehen war. (EN 14943, 2005)
Logistik	Planung, Ausführung und Steuerung der Bewegung und der Bereitstellung von Personen und/oder Waren und der unterstützenden Tätigkeiten in Bezug auf diese Bewegung und Bereitstellung innerhalb eines zum Erreichen spezieller Ziele organisierten Systems. (EN 14943, 2005)
Logistiksimulation	Werkzeug zur Beherrschung logistischer Fragestellungen.
Makrologistisches System	Das Verkehrssystem einer Region, einer Volkswirtschaft oder der Weltwirtschaft. Dazu gehören das Verkehrsnetz aus Strassen, Schienen, Luft- und Wasserwegen, sowie als Prozesse der öffentliche und individuelle Güter- und Personenverkehr. Mit der entsprechenden Makrologistik befasst sich die Verkehrswissenschaft als Teil der Volkswirtschaftslehre. (Arnold, Isermann, Kuhn, Tempelmeier, 2004)
Mikrologistisches System	Bezieht sich auf das logistische System eines Unternehmens. Dazu gehören alle Transporte, Lagerungsprozesse und Warenumschnitte von einer Unternehmung. Eigentlich sind diese Prozesse aber nur Dienstleistungen für die primären Leistungsprozesse. Weiter können in einem System, welches den Autobahnverkehr darstellen soll, die Fahrzeuge als mikroskopische Elemente betrachtet werden. (Arnold, Isermann, Kuhn, Tempelmeier, 2004)
Modell	Vereinfachte Nachbildung eines geplanten oder existierenden Systems mit seinen Prozessen in einem anderen begrifflichen oder gegenständlichen System, welches sich hinsichtlich der untersuchungsrelevanten Eigenschaften nur innerhalb eines vom Untersuchungsziel abhängigen Toleranzrahmens vom Vorbild unterscheidet. (VDI-Richtlinie 3633, 1993)
Modellierung	Der Begriff der Modellierung ist definiert als der Prozess der Modellgenerierung und/oder Anwendung von Modellen zur Lösung wissenschaftlicher Fragestellungen. (Hoffmann, Schrott, 2003)
Multiagentenmodell	Ist ein Multiagentensystem in einer simulierten Umwelt und virtuellen Zeit, das ein reales Multiagentensystem nachbilden soll. Es besteht damit aus mehreren Agenten. Durch ihr Verhalten und ihre Interaktionen untereinander und mit ihrer Umwelt entstehen Muster und Verhalten auf einer höheren, aggregierten Ebene. Organisationsstrukturen können dabei ebenfalls Bestandteil eines Modells sein. (Klügl, 2001)
Nachfrage	Bedarf an einem bestimmten Produkt/einer bestimmten Produktgruppe oder einem Bestandteil. (EN 14943, 2005)
Produktionslogistik	Gesamtheit der logistischen Aufgaben und Massnahmen bei Vorbereitung und Durchführung des Warenflusses über alle Stufen der Produktion und Leistungserstellung. (www.logistik-lexikon.de)

Begriff	Bedeutung
Prozess	Reihe von miteinander verbundenen Handlungen und/oder Tätigkeiten, die einen bestimmten Eingang (Informationen und/oder Material, Bestandteil, Arbeit, Energie usw.) in einen bestimmten Ausgang (neue Informationen und/oder Produkte) umwandeln. (EN 14943, 2005)
Pünktlichkeit	Mass (in Prozent) der Einhaltung des vom Kunden ursprünglich ausgehandelten gewünschten Liefertermins.
Routenplanung	Festlegung der Route(n), die Menschen, Waren, Materialien und/oder Transportmittel innerhalb und ausserhalb des Unternehmens befolgen müssen. (EN 14943, 2005)
Sendung	Getrennt identifizierbare Zusammenstellung von einer oder mehreren transportierten oder zusammen zu transportierenden Ware(n). (EN 14943, 2005)
Simulation	Nachbildung eines Systems mit seinen dynamischen Prozessen in einem experimentierfähigen Modell, um zu Erkenntnissen zu gelangen, die auf die Wirklichkeit übertragbar sind. (VDI-Richtlinie 3633, 1993)
Simulationslauf	Nachbildung des Verhaltens eines Systems mit einem ablauffähigen Modell über einen bestimmten Zeitraum (Simulationszeit). (Reiners, 2006)
Simulationssystem	Anzahl von Objekten mit definierten Interaktionen, die auf ein logisches Ende hinwirken. (Schmidt, Taylor, 1970)
Simulationsexperiment	Gezielte empirische Untersuchung des Verhaltens eines Systems und der darauf ablaufenden Prozesse durch wiederholte Simulationsläufe mit systematischer Variation einer oder mehrerer Modellparameter. (Reiners, 2006)
Simulator	Werkzeug zur Simulation. Unterstützt bei der Abbildung des Modells im Rechner und enthält Komponenten, die bei der Nachbildung des dynamischen Verhaltens eines realen Systems helfen. (Reiners, 2006)
Spediteur	Partei, die im Namen eines Transporteurs oder Empfängers den Transport von Waren einschliesslich der damit verbundenen Dienstleistungen und/oder Formalitäten arrangiert. (EN 14943, 2005)
Spedition	Unternehmen, dass gewerbsmäßig die Besorgung von Gütertransporten durch Frachtführer (z. B. Eisenbahn) oder durch Verfrachter von Seeschiffen für Rechnung eines Anderen (des Versenders) in eigenem Namen übernimmt. (www.logistik-lexikon.de)
Statisches Modell	Ist ein Modell, in dem alle Parameter im Zeitablauf konstant sind. Es betrachtet nur einen einzelnen Zeitpunkt. (Hoffmann, Schrott, 2003)
Steuerung	Regelungen oder Mechanismen, die sicherstellen, die die Prozesse entsprechend der Planung verlaufen. (EN 14943, 2005)
Stochastisches Modell	Ist ein Modell, in dem mindestens ein Parameter eine Zufallsvariable ist bzw. mindestens eine Eingabefunktion eine Zufallsfunktion ist. Das Modellierungsergebnis stochastischer Modelle ist kein absolut vorhersagbarer Wert, sondern die Wahrscheinlichkeit eines bestimmten Ergebnisses. Mehrere Modellläufe mit gleichem Input führen demnach zu unterschiedlichen Modellergebnissen. Stochastische Modelle unterscheiden sich demnach von den deterministischen Modellen. (Hoffmann, Schrott, 2003)
Stückgut	Im Gegensatz zu vereinheitlichten, in Containern beförderten und Ro-Ro-Frachtgütern herkömmlich verstaute Frachtgüter (konventionelles Frachtgut). (EN 14943, 2005)
Supply Chain Management (Wertschöpfungskettenorganisation)	Umfasst Aktivitäten und Maßnahmen zur Planung, Organisation und Kontrolle der stofflichen, juristischen, kommerziellen und strategischen Beziehungen von in einer Wertschöpfungskette durch Produktions- und Lieferverbindungen miteinander verflochtenen Instanzen (umfasst Unternehmen und Unternehmensbereiche). (Ammoser, Hoppe, 2006)
Systemumgebung	Alle existierenden Faktoren, die eine Änderung im System verursachen können.
Tourenlieferung	Lieferungen von einem einzelnen Transporteur an mehrere Empfänger, die auf dem Weg zu einem endgültigen Zielort ansässig sind. (EN 14943, 2005)
Transport	Unterstützte Bewegung von Menschen und/oder Gütern. (EN 14943, 2005) Teil des Verkehrs, in dem die Personen und/oder Güter eine Distanz zwischen zwei Orten mit einem Transportmittel überbrücken (Arnold, Isermann, Kuhn, Tempelmeier, 2004).

Begriff	Bedeutung
Transportlogistik	Befasst sich mit reinen Verkehrs- und Transportsystemen zur Beförderung von Waren, Gütern und Objekten. (www.logistik-lexikon.de)
Transportmittel	Besondere Schiffe, Fahrzeuge oder andere Geräte, die zum Transport von Waren oder Personen eingesetzt werden. (EN 14943, 2005)
Transportnetzwerk	Entsteht durch die Anordnung von Knoten (Quellen und Senken von Ladungen) und deren Verknüpfung über Kanten (Netzwerkprozesse). Knoten stellen somit Lagerorte und Kanten Transporte dar.
Umschlag	Handlung, durch die Waren von einem Transportmittel zu einem anderen im Verlauf von einem Transportvorgang umgelagert werden. (EN 14943, 2005)
Umschlagpunkt	Ein Platz, an dem es zum Verkehrsträgerwechsel kommt. (EN 14943, 2005)
Verkehr	Ist die realisierte Ortsveränderung von Personen, Gütern und Nachrichten. (Ammoser, Hoppe, 2006)
Versender	Einzelperson oder Organisation, die ein Konnossemente erstellt, durch die ein Transporteur angewiesen wird, Waren von einem Ort zu einem anderen zu transportieren.

V Expertenworkshop

V.1 Einleitung

V.1.1 Zweck

- Verifizierung Ergebnisse, Schlussfolgerungen und Empfehlungen (inkl. Forschungsbedarf, Zukünftiges Potential kombinierte Logistik/Verkehrssimulation, etc.)
- Vorstellung Leitfaden für Simulationsanwendungen (uch Verifizierung)

V.1.2 2 Zielgruppe

- Simulationsexperten
 - Modellbauer (Private, Hochschulen, Verwaltung)
 - Modellanwender (Private, Hochschulen, Verwaltung)
- Nicht zur Zielgruppe gehören Softwareentwickler für Simulationsinstrumente und Problemträger (potentielle Kunden für Simulationsanwendungen)

V.1.3 3 Datum und Ort, Dauer

- 25. Juni 2009, 12 bis 18 Uhr (inkl. Stehlunch und Apéro)
- Ort: Institut für Facility Management / Weiterbildungsstufe, Technopark Zürich, Technoparkstrasse 1, CH-8005 Zürich
- Sitzungszimmer 1 (4.OG) im Haus Zeppelin (Lift beim Haupteingang nehmen, bis 4.OG fahren; Zeppelin, 4.OG rechts)
- Dauer: 5 Stunden (12 Uhr bis ca. 17 Uhr, bis 18 Uhr Apéro)

V.2 Programm

Zeit	Programmpunkt
12:00 - 13:00	Eintreffen Workshop-Teilnehmer und Business Lunch (Sandwiches und Getränke)
13:00 - 13:20	Begrüssung und Einleitung Martin Ruesch, Rapp Trans AG Prof. Marcel Burkhard, Institut für Angewandte Simulation, ZHAW, Wädenswil
13:20 - 13:45	Praxisbeispiele Logistiksimulation Prof. Marcel Burkhard, Adrian Lötscher, Institut für Angewandte Simulation, ZHAW, Wädenswil
13:45 - 14:10	Praxisbeispiele Verkehrssimulation Martin Ruesch, Rapp Trans AG, Zürich
14:10 - 14:40	Ergebnisse Projekt Einsatz von Simulationswerkzeugen in der Güterverkehrs- und Transportplanung Martin Ruesch, Rapp Trans AG, Zürich Prof. Marcel Burkhard, Institut für Angewandte Simulation, ZHAW, Wädenswil
14:40 - 15:10	Pause
15:10 - 16:00	Diskussion Ergebnisse Projekt Einsatz von Simulationswerkzeugen in der Güterverkehrs- und Transportplanung Workshopteilnehmer
16:00 - 16:10	Vorstellung Leitfaden für die Logistik- und Verkehrssimulation Dr. Tatiana Starostina, Institut für Angewandte Simulation, ZHAW, Wädenswil Prof. Marcel Burkhard, Institut für Angewandte Simulation, ZHAW, Wädenswil
16:10 - 16:30	Diskussion Simulationsleitfaden Workshopteilnehmer
16:30 - 17:00	Trends in der Simulation Prof. Willi Bernhard, Swiss Simulation Engineering GmbH, MuttENZ
17:00 - 17:10	Abschluss Workshop Martin Ruesch, Rapp Trans AG, Zürich Prof. Marcel Burkhard, Institut für Angewandte Simulation, ZHAW, Wädenswil
17:10 - ca. 18:00	Apéro

V.3 Teilnehmer

Extern:

Name	Institution/Firma	Telefon	E-Mail
Michael Balmer	Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme, ETH Zürich	+41 44 633 27 80	balmer@ivt.baug.ethz.ch
Hans Engeli	Schweizerische Post, PostLogistics	+41 58 448 72 81	hans.engeli@post.ch
Ernst Habegger	Schweizerische Post, PostLogistics	+41 58 448 72 80	Ernst.habegger@postlogistics.ch
Daniel Hürlimann	OpenTrack Railway Technology GmbH	+41 44 310 19 90	huerlimann@opentrack.ch
Claudius Jenni	PTV Swiss AG	+41 31 359 24 52	claudius.jenni@ptvswiss.ch
Adrian Leuenberger	Unique (Flughafen Zürich AG)	+41 43 816 75 11	adrian.leuenberger@unique.ch
Thomas Schmid	Migros-Genossenschaftsbund, Logistik-Transport, Leiter Nationale Planung	+41 44 277 61 97	Thomas.Schmid-TRSP@mbg.ch
Albert Steiner	IDP Institut für Datenanalyse und Prozessdesign, ZHAW	+41 58 934 78 01	albert.steiner@zhaw.ch
Meinrad Engeler Uri Schtalheim	ASE (Analysis Simulation Engineering) GmbH	+41 44 253 15 74	meinrad.engeler@ase.ch uri.schtalheim@ase.ch

Intern (Forschungsstelle und Begleitkommission):

Name	Institution/Firma	Telefon	E-Mail
Martin Ruesch	Rapp Trans AG, Zürich	+41 43 2687 60 43	martin.ruesch@rapp.ch
Marcel Burkhard	Institut für Angewandte Simulation, ZHAW	+41 58 934 58 01	Marcel.Burkhard@zhaw.ch
Adrian Lötscher	Institut für Angewandte Simulation, ZHAW	+41 58 934 58 50	Adrian.Loetscher@zhaw.ch
Tatiana Starostina	Institut für Angewandte Simulation, ZHAW	+41 58 934 56 38	Tatiana.Starostina@zhaw.ch
Willi Bernhard	Swiss Simulation Engineering, Fernfachhochschule Schweiz	+41 61 721 85 56	w.bernhard@swissimulation.ch

VI Leitfaden

Auch als separates Dokument erhältlich. Siehe Schluss des Berichtes.

SVI_SIM_Leitfaden_v3.5_31.08.2009.doc

VII Literaturverzeichnis

-
- [1] Adam D. (1996): Planung und Entscheidung. Modelle - Ziele - Methoden. Gabler Verlag, Wiesbaden.
-
- [2] Ammoser H., Hoppe M. (2006): Glossar Verkehrswesen und Verkehrswissenschaften, erschienen in der Reihe Diskussionsbeiträge aus dem Institut für Wirtschaft und Verkehr, Dresden, ISSN 1433-626x
-
- [3] Arnold D., Isermann H., Kuhn A., Tempelmeier H. (2004): Handbuch Logistik, 2. Auflage, Springer - Verlag, Berlin.
-
- [4] Ballou R.H. (2004): Business Logistics / Supply Chain Management. Planning, Organizing, and Controlling the Supply Chain. 5. Aufl., Upper Saddle River, New York.
-
- [5] Banks J. (1991): Selectiong Simulation Software. In Proceedings of the 1991 Winter Simulation Conference, ed. B.L. Nelson, W.D. Kelton, G.M. Clark, p. 15 - 20.
-
- [6] Banks J. (1998): Handbook of Simulation: Principles, Methodology, Advances, Applications, and Practice. New York, J.Wiley & sons: Engineering & Management Press.
-
- [7] Biederbick C. (2006): Simulation 2006. Script. Wirtschaftsinformatik 4 – Decision Support & OR Lab.
-
- [8] Bossel H. (1992): Modellbildung und Simulation. Konzepte, Verfahren und Modelle zum Verhalten dynamischer Systeme. Vieweg Verlag, Braunschweig, Wiesbaden.
-
- [9] Bousonville T., Hans C., Schumacher J. (1999): Simulation und Visualisierung von Zulieferketten und deren Übertragbarkeit auf Entsorgungslogistik. Beiträge der 10. Konferenz „Simulation und Visualisierung“, Magdeburg, S. 315-328.
-
- [10] Bullinger H.-J. (1994): Planung der Materialbereitstellung in der Montage. Teubner, Stuttgart.
-
- [11] Burkhard M.(2003): Logistiksimulation: Kurzeinführung ins Thema. Institut für Angewandte Simulation, Wädenswil.
-
- [12] Cellier F.E. (1991): Continuous system modelling. Springer-Verlag, New York.
-
- [13] Davidsson P., Henesey L., Ramstedt L., Törnquist J., Wernstedt F. (2005): An analysis of agent-based approaches to transport logistics. Transportation Research Part C 13 (2005), p. 255 - 271.
-
- [14] Delfmann W. (1999): Industrielle Distributionslogistik, in: Weber, J., Baumgarten, H. (Hrsg.): Handbuch Logistik: Management von Material- und Warenflussprozessen, Schäffer-Poeschel, Verlag Stuttgart, S.181 - 201.
-
- [15] Duinkerken M.B., Lodewijks G., Ottjes J.A., (2006): Comparison of routing strategies for AGV systems using simulation. Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference, L. F. Perrone, F. P. Wieland, J. Liu, B. G. Lawson, D. M. Nicol, and R. M. Fujimoto, eds., p.1525-1530.
-
- [16] EN 14943 (2005): Transportdienstleistungen – Logistik - Glossar; Deutsche Fassung EN 14943:2005
-
- [17] Graudina V., Grundspenkis J. (2005): Technologies and Multi-Agent System Architectures for Transportation and Logistics Support: An Overview. Proceedings of International Conference on Computer Systems and Technologies – CompSysTech'2005, Technical University, Varna, Bulgaria, p. IIIA.6-1 - IIIA.6-6.
-
- [18] Hoffmann T., Schrott L. (2003): Glossary zu Begriffen der Modellierung und Systemanalyse in der Geomorphologie. Geographisches Institut der Universität Bonn.
-
- [19] HEUREKA (2005). Optimierung in Verkehr und Transport. Publikation der Papers der Konferenz vom März 2005. Karlsruhe.
-
- [20] Jansen R., Berken M., Kötter U. (1998): Handbuch Entsorgungslogistik. Deutscher Fachverlag.
-
- [21] Jünemann, R., Schmidt, T. (1999): Materialflusssysteme. 2. Aufl., Springer, Berlin u.a.
-
- [22] Klügl F. (2001): Multiagentensimulation . Konzepte, Werkzeuge, Anwendung (Agententechnologie). Addison-Wesley Verlag, 1. Auflage.
-
- [23] Lee B.K., Seo J.H., Park S.O., Jung B.J., Kim K.H. (2006): A simulation study for designing a rail terminal in a container port. Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference, L. F. Perrone, F. P. Wieland, J. Liu, B. G. Lawson, D. M. Nicol, and R. M. Fujimoto, eds., p.1388-1397.
-
- [24] Lieberman E., Rathi A. (ohne Datum). Traffic Simualtion KLD Associaties. New York
-
- [25] Matschke I. (2005): Untersuchung der verkehrlichen Auswirkungen dynamischer Reisezeitinformation mittels mikroskopischer Simulation. Workshop "Evaluierungsmethoden verkehrstele-
-

- matischer Maßnahmen" des Instituts für Straßen- und Verkehrswesen der TU Graz, 25./ 26. April 2005, Graz, Österreich.
- [26] Motta M., Riha I., Weidt S. (2004): Simulation eines Regionallagerkonzeptes. Technical Report 03032, Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik, Dortmund.
- [27] Ni D. (2006): A framework for new generation transportation simulation. Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference, L. F. Perrone, F. P. Wieland, J. Liu, B. G. Lawson, D. M. Nicol, and R. M. Fujimoto, eds., p. 1508 - 1514.
- [28] Noche W., Wenzel S. (1991): Marktspiegel Simulationstechnik in Produktion und Logistik, TÜV Verlag, Reinland, Köln.
- [29] Pawlaszczyk D. (2006): Scalable multi agent based simulation – considering efficient simulation of transport logistics networks. In Tagungsband zur 12. Fachtagung „Simulation in Produktion und Logistik 2006“, S. Wenzel (Hrsg.)
- [30] Pursula, Matti (1999): Simulation of Traffic Systems – an overview. Journal of Geographic Information and Decision Analysis, vol. 3, pp. 1-8). Helsinki.
- [31] Raffel W.-U. (2001): Simulationstheorie. Freie Universität Berlin.
- [32] Reiners T. (2006): Wirtschaftsinformatik. <http://mlecture.uni-bremen.de/intern/ss2006/fb07/vak-07-g1-03-2/20060703/folien.pdf>
- [33] Schmidt, J. W., Taylor, R. E. (1970): Simulation and Analysis of Industrial Systems, Richard D. Irwin, Homewood, Illinois, 1970.
- [34] Stec M. (2006): Fast creation of realistic and efficient free path network within a simulation model of a shop floor and a supply chain system. Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference, L. F. Perrone, F. P. Wieland, J. Liu, B. G. Lawson, D. M. Nicol, and R. M. Fujimoto, eds., p. 1531-1536.
- [35] Tewoldeberhan T.W., Verbaeck A., Valentin E., Bardonnnet G. (2002): An evaluation and selection methodology for discrete-event simulation software. Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference, E. Yücesan, C.-H. Chen, J.L. Snowdon, J.M. Charnes eds., p. 67-75.
- [36] VDI-Richtlinie 3633 (1993): Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen – Begriffsdefinitionen. VDI-Richtlinie 3633, Blatt 1, VDI-Gesellschaft Fördertechnik Materialfluss Logistik 2005, Berlin.
- [37] VDI-Richtlinie 3633 (2007): Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen: Maschinennahe Simulation. VDI-Richtlinie 3633, Blatt 8, VDI-Gesellschaft Fördertechnik Materialfluss Logistik 2005, Berlin.
- [38] Weidmann U., Giger P., Hürlimann D. (2007): Ein Vierteljahrhundert Bahnbetriebssimulation an der ETH Zürich – von den Anfängen zum Marktdurchbruch. In: Eisenbahnrevue International 3/2007, S. 130-133.
- [39] Wenzel S. (2007): Modellbildung und Simulation in der Logistik. In: Seminar für Führungskräfte: Operations Research, Modellbildung und Simulation - Ein Schlüssel zur Transformation!, ITIS Institut für Technik intelligenter Systeme e.V. an der Universität der Bundeswehr München.
- [40] Wenzel S., Bernhard J., Nickel S., Hietel D., Lavrov A., Deersberg G., Schwarze-Benning K., Körner H.-J., Appelt W., Hinrichs E. (2002): SILVER, Simulationsbasierte Systeme zur Integration logistischer und verfahrenstechnischer Entscheidungsprozesse, Fraunhofer-Institut, http://silver.itwm.fhg.de/AB1_GesamtBerichtV1.1.pdf
- [41] Wortmann D. (2002): Aktueller Stand und Perspektiven der Logistiksimulation. In Pradel, U.-H.; Süssenguth, W. (Hrsg.): Praxishandbuch Logistik, Loseblatt, Grundwerk Köln 2001, Stand Dezember 2002, Kap. 11.15.
- [42] <http://www.asim-gi.org>
- [43] <http://www.eurosim2007.org> (EUROSIM Congress on Modelling and Simulation)
- [44] <http://www.iplnet.ch> (Nationales Kompetenznetz "Integrale Produktion und Logistik" der Fachhochschulen der Schweiz IPLnet)
- [45] <http://www.isima.fr/ecosim/simul/simul.html>
- [46] <http://www.logistik-lexikon.de>
- [47] http://www.simul8.com/support/simulation_links/
- [48] <http://www.wintersim.org> (Winter Simulation Konferenz (1995-2006))
- [49] <http://www.wintersim.org/prog06.htm> (Winter Simulation Konferenz, Sammlung von Beiträgen, 2006)

Projektabschluss



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

ARAMIS SBT

Formular Nr. 3: Projektabschluss

erstellt / geändert am: 27.8.2009

Grunddaten

Projekt-Nr.: SVI 2004 / 088

Projekttitel: Einsatz von Simulationswerkzeugen in der Güterverkehrs- und Transportplanung

Enddatum: 31.9.2009

Projektleiter

Name: Vorname:

Amt, Firma, Institut:

Strasse, Nr.:

PLZ: Email:

Ort: Telefon:

Kanton, Land: Fax:

Texte:

Zusammenfassung der Projektresultate: Im Rahmen des Forschungsprojektes wurde der Stand der Technik im Bereich der Simulation in der Güterverkehrs- und Transportplanung aufgezeigt, sowie die zugrunde liegenden Simulationstheorie und die verschiedenen Simulationsansätze erarbeitet. Weiter wurde eine Typisierung und Strukturierung der wichtigsten verfügbaren Simulationsinstrumente erstellt. Zudem wurde das Beitragspotential der Simulation für relevante Problemstellungen in der Logistik, Güterverkehrs- und Transportplanung aufgezeigt. Aufgrund einer Evaluation durchgeführter Simulationen und Experteninterviews wurden Anwendungsmöglichkeiten und -grenzen sowie Kosten und Nutzen identifiziert. In einem neu erstellten Leitfaden werden dem Planer und Entscheidungsträger Hinweise für die Wahl und den Einsatz von Simulationswerkzeugen und die Durchführung von Simulationsstudien gegeben. Der Leitfaden enthält auch zwei konkrete Anwendungsbeispiele. Im Projekt wird festgestellt, dass bislang kaum Schnittstellen zwischen der Verkehrs- und Logistiksimulation bestehen.

Zielerreichung: Das Projekt hatte zum Ziel die Möglichkeiten und Grenzen des Einsatzes von Simulationswerkzeugen in der Güterverkehrs- und Transportplanung aufzuzeigen. Sämtliche in der Zielsetzung gestellten Leitfragen konnten beantwortet werden. Damit konnten die Ziele des Forschungsauftrags vollumfänglich erreicht werden.

Folgerungen und Empfehlungen: Das Projekt liefert wichtige Erkenntnisse über Simulationsanwendungen in der Güterverkehrs- und Transportplanung. Diese sollten bei der Bearbeitung von infrastrukturellen und betrieblichen Massnahmen durch die involvierten Akteure berücksichtigt werden.

ARAMIS SBT: projektav_final.doc

Seite 1 / 3



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

- Die Akteure im Bereich Verkehr und Logistik sollen vermehrt für das Problemlösungspotential von Simulationen und deren Anwendungsmöglichkeiten und -grenzen sensibilisiert werden.
- Die Erkenntnisse aus der Studie sind in die Ausbildungsgänge, Lehrmittel von Hochschulen, Universitäten und Verbänden einzubinden, um das Verständnis für und das Wissen über Simulationen zu verbessern. Dazu wurden bereits erste Schritte unternommen. Beispielsweise wurden die wichtigsten Erkenntnisse aus der Untersuchung in den Unterrichtsblock „Verkehrssysteme“ im Nachdiplomstudium Internationales Logistikmanagement der Fachhochschule Nordwestschweiz integriert. Das Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme der ETH Zürich befasst sich bereits seit mehreren Jahren mit der Simulation von Mobilität und Verkehr sowie der Raumentwicklung (MATSim, URBANSim, OpenTrack, VISSIM, etc.).
- Die Zusammenarbeit zwischen Verkehrs- und Logistiksimulationsexperten sollte verstärkt werden. Im Expertenworkshop vom 25. Juni 2009 kamen erstmals Experten aus den beiden Anwendungsbereichen zusammen. Eine Möglichkeit wäre, eine Simulationsplattform aufzubauen, in deren Rahmen sich die Experten halbjährlich treffen und über die neusten Anwendungen und Entwicklungen berichten.
- Zur Verbreitung der Ergebnisse dient zum einen der vorliegende Bericht, der über die Homepage des ASTRA (www.astra.admin.ch) nach Projektabschluss und Genehmigung des Berichts heruntergeladen werden kann. Andererseits werden die Ergebnisse an der SVI-Fachtagung vom 2. September 2009 einem breiteren Publikum vorgestellt. Weiter ist geplant, den Simulationsleitfaden als eigenständiges Dokument mit Unterstützung des SVI und weiteren Verbänden und Ämtern zu publizieren.
- Der identifizierte Forschungsbedarf sollte in das Mehrjahresprogramm der SVI einfließen.

Publikationen:

Rapp Trans AG, ZHAW/Institut für Angewandte Simulation (2009): Einsatz von Simulationswerkzeugen in der Güterverkehrs- und Transportplanung. Schweizerische Vereinigung der Verkehrsingenieure und Verkehrsexperten. Zürich/Wädenswil

Es ist geplant den Simulationsleitfaden aus dem Bericht auszukoppeln und zusätzlich separat mit Unterstützung der SVI und weiteren Verbänden und Ämtern zu publizieren.

Beurteilung der Begleitkommission:

Diese Beurteilung der Begleitkommission ersetzt die bisherige separate fachliche Auswertung.

Beurteilung:

Die Begleitkommission hat die Ergebnisse der Forschungsarbeit am 27. August 2009 genehmigt. Das Projekt liefert wichtige Erkenntnisse zu den Anwendungsmöglichkeiten und -grenzen von Simulationswerkzeugen sowie deren Kosten und Nutzen im Rahmen von Simulationsanwendungen. Hilfreich sind auch der Überblick über die theoretischen Simulationsgrundlagen, die Typisierung der Simulationswerkzeuge sowie die Darstellung der relevanten Problemstellungen mit den eingeschätzten Potentialen der Simulationswerkzeuge. Als gelungen und wertvoll für die Praxis wird der erstellte Simulationsleitfaden beurteilt.

Der Ersatz der ursprünglich vorhergesehenen neuen Simulationen durch Experteninterviews schien im Lichte der Ergebnisse der Projektevaluationen und den Schwierigkeiten bei der Drittfianzierung gerechtfertigt. Die Begleitkommission stützte diese Projektanpassung und ist der Auffassung, dass dies keinen Einfluss auf das Erreichen der Projektziele hatte.

Es zeigt sich, dass Forschungsprojekte nicht zu spezifisch auf aktuelle Projekte (hier: Gateway Zürich) ausgerichtet werden sollen, da bei Projektverzögerungen oder -änderungen die Forschungsinhalte und das -vorgehen angepasst werden müssen.

Umsetzung:

Der Leitfaden mit Einsatz- und Anwendungsempfehlungen für Simulationswerkzeuge kann direkt in der Praxis genutzt werden. Er liefert dem Praktiker Hinweise bei welchen Fragestellungen Simulationswerkzeuge welchen Nutzen haben, nach welchen Kriterien Simulationswerkzeuge auszuwählen sind und wie bei Simulationsprojekten vorzugehen ist. Der Leitfaden richtet sich an Berater, Bearbeiter und Entscheidungsträger und schafft ein gemeinsames Verständnis für Simulationen.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

weitergehender
Forschungsbedarf:

Im Rahmen der Projektarbeiten und während des Expertenworkshops vom 25. Juni 2009 wurde der folgende Forschungsbedarf zur Verbesserung und Erweiterung von Simulationsanwendungen identifiziert:

- Generell zeigt sich, dass in der Simulation der weitere Forschungsbedarf vor allem auf der Seite der Daten- und Verhaltensmodelle (Inkl. Systemverhalten und Modellbau) und weniger auf der Anwendungsseite liegt.
- Eine wichtige Grundlage für Simulationen sind gute Entscheidungs- und Verhaltensmodelle. Im Rahmen von ergänzenden Forschungsarbeiten sollten diese verfeinert und erweitert werden (z.B. für das Spurwechsel- und -einfahrverhalten, die Staubildung, die Aktivitätsketten etc.). Damit können die empirischen Modellinputdaten und die Abbildung der Wirkungszusammenhänge verbessert werden.
- Es sollen die Kopplungsmöglichkeiten und -grenzen zwischen Simulation, operativer Planung und Instrumenten analysiert und vertieft werden. Das Potential der Simulation für die operative Planung sollte näher ausgelotet werden. Für die operative Steuerung von Prozessen sind Verbesserungen für die Kurzfrist-Prognosen zu untersuchen.
- Es sollen die Kopplungsmöglichkeiten zwischen Logistik- und Verkehrssimulation und die Anwendungspotentiale analysiert und vertieft werden. Aufgrund von fehlenden Fallsbeispielen konnten diese im Rahmen des vorliegenden Projektes nicht näher untersucht, sondern nur diskutiert werden.
- Zur Verbesserung der Tourenplanung ist die dynamische Rückkopplung zwischen Verkehrsinformationssystem und Tourenplanung näher zu untersuchen.

Einfluss auf
Normenwerk:

Es ist keine Norm vorgesehen. Es soll jedoch ein Leitfaden für Simulationsanwendungen publiziert werden.

Präsident Begleitkommission:

Name:	Rihs	Vorname:	Hans Ruedi
Amt, Firma, Institut:	SMA und Partner AG		
Strasse, Nr.:	Gubelstrasse 28		
PLZ:	8050	Email:	hr.rihs@sma-partner.ch
Ort:	Zürich	Telefon:	044 317 50 60
Kanton, Land:	Zürich	Fax:	044 317 50 77

Unterschrift Präsident Begleitkommission:

H2 RL

Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen

Forschungsberichte auf Antrag der Vereinigung Schweizerischer Verkehrsingenieure (SVI)

Rapports de recherche sur proposition de l'Association suisse des ingénieurs en transports

(erschieden im Rahmen der Forschungsreihe des UVEK / parus dans le cadre des recherches du DETEC)

- 1980 **Velo- und Mofaverkehr in den Städten**
(R. Müller)
- 1980 **Anleitung zur Projektierung einer Lichtsignalanlage**
(Seiler Niederhauser Zuberbühler)
- 1981 **Güternahverkehr, Gesetzmässigkeiten**
(E. Stadtmann)
- 1981 **Optimale Haltestellenabstände beim öffentlichen Verkehr**
(Prof. H. Brändli)
- 1982 **Entwicklung des schweizerischen Strassenverkehrs***
(SNZ Ingenieurbüro AG)
- 1983 **Lichtsignalanlagen mit oder ohne Uebergangssignal Rot-Gelb**
(Weber Angehrn Meyer)
- 1983 **Güternahverkehr, Verteilungsmodelle**
(Emch + Berger AG)
- 1983 **Modèle Transyt 8: Traffic Network Study Tool; Programme Pretrans**
(...)
- 1983 **Parkraumbewirtschaftung als Mittel der Verkehrslenkung***
(Glaser + Saxer)
- 1984 **Le rôle des taxis dans les transports urbains (franz. Ausgabe)**
(Transitec)
- 1984 **Park and Ride in Schweizer Städten***
(Balzari & Schudel AG)
- 1986 **Verträglichkeit von Fahrrad, Mofa und Fussgänger auf gemeinsamen Verkehrsflächen***
(Weber Angehrn Meyer)
- 1986 **Transyt 8 / Pretrans; Modell Programmsystem für die Optimierung von Signalplänen von städtischen Strassennetzen**
(...)
- 1987 **Verminderung der Umweltbelastungen durch verkehrsorganisatorische und –technische Massnahmen***
(Metron AG)
- 1987 **Provisorischer Behelf für die Umweltverträglichkeits-Prüfung von Verkehrsanlagen***
(Büro BC, Jenni + Gottardi AG, Scherrer)
- 1988 **Bestimmungsgrössen der Verkehrsmittelwahl im Güterverkehr***
(Rapp AG)
- 1988 **EDV-Anwendungen im Verkehrswesen**
(IVT, ETH Zürich)
- 1988 **Forschungsvorschläge Umweltverträglichkeitsprüfung von Verkehrsanlagen**
(Büro BC, Jenni & Gottardi AG, Scherrer)
- 1989 **Vereinfachte Methode zur raschen Schätzung von Verkehrsbeziehungen***
(P. Widmer)

- 1990 **Planungsverfahren bei Ortsumfahrungen**
(Toscano-Bernardi-Frey AG)
- 1990 **Anteil der Fahrzeugkategorien in Abhängigkeit vom Strassentyp**
(Abay & Meyer)
- 1991 **Busbuchten, ja oder nein?***
(Zwicker und Schmid)
- 1991 **EDV-Anwendung im Verkehrswesen, Katalog 1990**
(IVT, ETH Zürich)
- 1991 **Mofa zwischen Velo und Auto**
(Weber Angehrn Meyer)
- 1991 **Erhebung zum Güterverkehr**
(Abay & Meier, Albrecht & Partner AG, Holinger AG, RAPP AG, Sigmaplan AG)
- 1991 **Mögliche Methoden zur Erstellung einer Gesamtbewertung bei Prüfverfahren***
(Basler & Partner AG)
- 1992 **Parkierungsbeschränkungen mit Blauer Zone und Anwohnerparkkarte**
(Jud AG)
- 1992 **Einsatzkonzepte und Integrationsprobleme der Elektromobile***
(U. Schwegler)
- 1992 **UVP bei Strassenverkehrsanlagen, Anleitung zur Erstellung von UVP-Berichten***
(Büro BC, Jenni & Gottardi AG, Scherrer)
erschieden auch als Mitteilungen zur UVP Nr. 7/Mai 1992 des BUWAL
- 1992 **Von Experten zu Beteiligten - Partizipation von Interessierten und Betroffenen beim Entscheiden über Verkehrsvorhaben***
(J. Dietiker)
- 1992 **Fehlerrechnung und Sensitivitätsanalyse für Fragen der Luftreinhaltung: Verkehr - Emissionen - Immissionen***
(INFRAS)
- 1993 **Indikatoren im Fussgängerverkehr***
(RAPP AG)1993
- 1993 **Velofahren in Fussgängerzonen***
(P. Ott)
- 1993 **Vernetztes bzw. ganzheitliches Denken bei Verkehrsvorhaben**
(Jauslin + Stebler, Rudolf Keller AG)
- 1993 **Untersuchung des Zusammenhanges von Verkehrs- und Wandermobilität**
(synergo, Jenni + Gottardi AG)
- 1993 **Einsatzmöglichkeiten und Grenzen von flexiblen Nutzungen im Strassenraum**
(Sigmaplan AG)
- 1993 **EIE et infrastructures routières, Guide pour l'établissement de rapports d'impact ***
(Büro BC, Jenni + Gottardi AG, Scherrer)
erschieden als Mitteilungen zur UVP Nr. 7(93) / Juli 1993 des BUWAL / parus comme informations concernant l'étude de l'impact sur l'environnement EIE No. 7(93) / juillet 1993 de l'OFEFP
- 1993 **Handlungsanleitung für die Zweckmässigkeitsprüfung von Verkehrsinfrastrukturprojekten, Vorstudie**
(Jenni + Gottardi AG)
- 1994 **Leistungsfähigkeit beim Fahrstreifenabbau auf Hochleistungsstrassen**
(Rutishauser, Mögerle, Keller)
- 1994 **Perspektiven des Freizeitverkehrs, Teil 1: Determinanten und Entwicklungen***
(R + R Burger AG, Büro Z)

- 1995 **Verkehrsentwicklungen in Europa, Vergleich mit den schweizerischen Verkehrsperspektiven**
(Prognos AG / Rudolf Keller AG)
erschieden als GVF-Auftrag Nr. 267 des GS EVED Dienst für Gesamtverkehrsfragen / paru au SG DFTCE Service d'étude des transports No. 267
- 1996 **Einfluss von Strassenkapazitätsänderungen auf das Verkehrsgeschehen**
(SNZ Ingenieurbüro AG)
- 1997 **Zweckmässigkeitsbeurteilung von Strassenverkehrsanlagen***
(Jenni + Gottardi AG)
- 1997 **Verkehrsgrundlagen für Umwelt- und Verkehrsuntersuchungen**
(Ernst Basler + Partner AG)
- 1998 **Entwicklungsindices des Schweizerischen Strassenverkehrs***
(Abay + Meier)
- 1998 **Kennzahlen des Strassengüterverkehrs in Anlehnung an die Gütertransportstatistik 1993**
(Albrecht & Partner AG / Symplan Map AG)
- 1998 **Was Menschen bewegt. Motive und Fahrzwecke der Verkehrsteilnahme**
(J. Dietiker)
- 1998 **Das spezifische Verkehrspotential bei beschränktem Parkplatzangebot***
(SNZ Ingenieurbüro AG)
- 1998 **La banque de données routières STRADA-DB somme base de modèles de trafic**
(Robert-Grandpierre et Rapp SA / INSER SA / Rosenthaler & Partner AG)
- 1998 **Perspektiven des Freizeitverkehrs. Teil 2: Strategien zur Problemlösung**
(R + R Burger und Partner, Büro Z)
- 1998 **Kombinierte Unter- und Überführung für FussgängerInnen und VelofahrerInnen**
(Büro BC / Pestalozzi & Stäheli)
- 1998 **Kostenwirksamkeit von Umweltschutzmassnahmen**
(INFRAS)
- 1998 **Abgrenzung zwischen Personen- und Güterverkehr**
(Prognos AG)
- 1999 **Gesetzmässigkeiten im Strassengüterverkehr und seine modellmässige Behandlung**
(Abay & Meier / Ernst Basler + Partner AG)
- 1999 **Aktualisierung der Modal Split-Ansätze**
(P. Widmer)
- 1999 **Management du trafic dans les grands ensembles**
(Transportplan SA)
- 1999 **Technology Assessment im Verkehrswesen : Vorstudie**
(RAPP AG Ing. + Planer Zürich)
- 1999 **Verkehrstelematik im Management des Verkehrs in Tourismusgebieten**
(ASIT / IC Infraconsult AG)
- 1999 **„Kernfahrbahnen“ Optimierte Führung des Veloverkehrs an engen Strassenquerschnitten***
(Metron Verkehrsplanung und Ingenieurbüro AG)
- 2000 **Sensitivitäten von Angebots- und Preisänderungen im Personenverkehr**
(Prognos AG)
- 2000 **Delphi-Umfrage Zukunft des Verkehrs in der Schweiz**
(P. Widmer / IPSO Sozial-, Marketing- und Personalforschung)
- 2000 **Der Wert der Zeit im Güterverkehr**
(Jenni + Gottardi AG)
- 2000 **Floating Car Data in der Verkehrsplanung**
(Rudolf Keller & Partner Verkehrsingenieure AG + Rosenthaler + Partner AG)

- 2000 **Verlässlichkeit als Entscheidvariable: Experimente mit verschiedenen Befragungssätzen**
(IVT - ETHZ)
- 2001 **Aktivitätenorientierte Personenverkehrsmodelle, Vorstudie**
(P. Widmer und K.W. Axhausen)
- 2001 **Zeitkostenansätze im Personenverkehr**
(G. Abay und K.W. Axhausen)
- 2001 **Véhicules électriques et nouvelles formes de mobilité**
(Transitec Ingénieurs-Conseils SA)
- 2001 **Besetzungsgrad von Personenwagen: Analyse von Bestimmungsgrössen und Beurteilung von Massnahmen zu dessen Erhöhung**
(RAPP AG Ingenieure + Planer)
- 2001 **Grobkonzept zum Aufbau einer multimodalen Verkehrsdatenbank**
(INFRAS)
- 2001 **Ermittlung der Gesamtleistungsfähigkeit (MIV + OEV) bei lichtsignalgeregelten Knoten**
(büro S-ce Simon-consulting-engineering)
- 2001 **Besteuerung von Autos mit einem Bonus/Malus-System im Kanton Tessin**
(U. Schwegler Büro für Verkehrsplanung)
- 2001 **GIS als Hilfsmittel in der Verkehrsplanung**
(büro widmer)
- 2001 **Umgestaltung von Strassen im Zuge von Erneuerungen**
(Infraconsult AG + Zeltner + Maurer AG)
- 2001 **Piloterhebung zum Dienstleistungsverkehr und zum Gütertransport mit Personenwagen**
(Prognos AG, Emch+Berger AG, IVU Traffic Technologies AG)
- 2002 **Parkplatzbewirtschaftung bei publikumsintensiven Einrichtungen - Auswirkungenanalyse**
(Metron AG, Neosys AG, Hochschule Rapperswil)
- 2002 **Probleme bei der Einführung und Durchsetzung der im Transportwesen geltenden Umweltschutzbestimmungen; unter besonderer Berücksichtigung des Vollzugs beim Strassenverkehrslärm**
(B+S Ingenieur AG)
- 2002 **Nachhaltigkeit und Koexistenz in der Strassenraumplanung**
(Berz Hafner + Partner AG)
- 2002 **Warum steht P. Müller lieber im Stau als im Tram?**
(Planungsbüro Jürg Dietiker / MOVE RAUM P. Regli / Landert Farago Davatz & Partner / Dr. A. Zeyer)
- 2002 **Nachhaltigkeit im Verkehr**
(Jenni + Gottardi AG)
- 2002 **Massnahmen zur Erhöhung der Akzeptanz längerer Fuss- und Velostrecken**
(Arbeitsgemeinschaft Büro für Mobilität / V. Häberli / A. Blumenstein / M. Wälti)
- 2002 **Carreiseverkehr: Grundlagen und Perspektiven**
(B+S Ingenieur AG / Gare Routière de Genève))
- 2002 **Potentielle Gefahrenstellen**
(Basler & Hofmann / Psychologisches Institut der Universität Zürich)
- 2003 **Evaluation kurzfristiger Benzinpreiserhöhungen**
(Infras / M. Peter / N. Schmidt / M. Maibach)
- 2002 **Verlässlichkeit als Entscheidungsvariable, Vorstudie**
(ETH Zürich, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme IVT)
- 2002 **Mischverkehr MIV / ÖV auf stark befahrenen Strassen**
(Verkehrsingenieurbüro TEAMverkehr)

- 2003 **Vorstudie zu den Wechselwirkungen Individualverkehr – öffentlicher Verkehr infolge von Verkehrstelematik-Systemen**
(Abay & Meier, Zürich)
- 2003 **Strassen mit Gemischtverkehr: Anforderungen aus der Sicht der Zweiradfahrer**
(WAM Partner, Planer und Ingenieure, Solothurn)
- 2003 **Erfolgskontrolle von Umweltschutzmassnahmen bei Verkehrsvorhaben**
(Metron Landschaft AG, Brugg / Quadra GmbH, Zürich / Metron Verkehrsplanung AG, Brugg)
- 2004 **Perspektiven für kurze Autos**
(Ingenieur- und Planungsbüro Bühlmann, Zollikon)
- 2004 **Lange Planungsprozesse im Verkehr**
(BINARIO TRE, Windisch)
- 2004 **Auswirkungen von Personal Travel Assistance (PTA) auf das Verkehrsverhalten**
(Ernst Basler und Partner AG, Zürich)
- 2004 **Methoden zum Erstellen und Aktualisieren von Wunschlinienmatrizen im motorisierten Individualverkehr**
(ETH Zürich, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme IVT)
- 2004 **Zeitkostenansätze im Personenverkehr**
(ETH Zürich, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme IVT / Rapp Trans AG, Zürich)
- 2004 **Determinanten des Freizeitverkehrs: Modellierung und empirische Befunde**
(ETH Zürich, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme IVT)
- 2004 **Verfahren von Technology Assessment im Verkehrswesen**
(Rapp Trans AG, Zürich / IKAÖ, Bern / Interface, Luzern)
- 2004 **Mobilitätsdatenmanagement für lokale Bedürfnisse**
(SNZ, Zürich / TEAMverkehr, Cham / Büro für Verkehrsplanung, Fischingen)
- 2004 **Auswirkungen neuer Arbeitsformen auf den Verkehr – Vorstudie**
(INFRAS, Bern)
- 2004 **Standards für intermodale Schnittstellen im Verkehr**
(synergo, Zürich / ILS NRW, Dortmund)
- 2005 **Verkehrsumlegungs-Modelle für stark belastete Strassennetze**
(büro widmer, Frauenfeld)
- 2005 **Wirksamkeit und Nutzen der Verkehrsinformation**
(B+S Ingenieure AG, Bern / Ernst Basler + Partner AG, Zürich / Landert Farago Partner, Zürich)
- 2005 **Spezialisierung und Vernetzung: Verkehrsangebot und Nachfrageentwicklung zwischen den Metropolitanräumen des Städtesystems Schweiz**
(synergo, Zürich)
- 2005 **Wirkungsketten Verkehr – Wirtschaft**
(ECOPLAN, Altdorf und Bern / büro widmer, Frauenfeld)
- 2005 **Cleaner Drive**
Hindernisse für die Markteinführung von neuen Fahrzeug-Generationen
(E'mobile, der Schweizerische Verband für elektrische und effiziente Strassenfahrzeuge, Urs Schwegler)
- 2005 **Spezifische Anforderungen an Autobahnen in städtischen Agglomerationen**
(Ingenieur- und Planungsbüro Dr. Walter Berg, Zürich)
- 2005 **Instrumente für die Planung und Evaluation von Verkehrssystem-Management-Massnahmen**
(Jenni + Gottardi AG, Zürich / Universität Karlsruhe)
- 2005 **Trafic de support logistique de grandes manifestations (Betriebsverkehr von Grossanlässen)**
(Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, EPFL)

- 2005 **Verkehrsdosierungsanlagen, Strategien und Dimensionierungsgrundsätze**
(Ingenieurbüro Walter Berg, Zürich)
- 2005 **Angebote und Erfolgskriterien im nächtlichen Freizeitverkehr**
(Planungsbüro Jud, Zürich)
- 2005 **Vor- und Nachlauf im kombinierten Ladungsverkehr**
(Rapp Trans AG, Zürich)
- 2005 **Finanzielle Anreize für effiziente Fahrzeuge - Eine Wirkungsanalyse der Projekte VEL2 (Tessin) und NewRide in Basel und Zürich**
(Rapp Trans AG, Zürich / Interface, Luzern)
- 2006 **Reduktionsmöglichkeiten externer Kosten des MIV am Beispiel des Förderprogramms VEL2 im Kanton Tessin**
(Università della Svizzera Italiana, Lugano / Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich)
- 2006 **Nachhaltigkeit im Verkehr**
Indikatoren im Bereich Gesellschaft
(Ernst Basler + Partner AG, Zollikon / Landert Farago Partner, Zürich)
- 2006 **Früherkennung von Entwicklungstrends zum Verkehrsangebot**
(Interface - Institut für Politikstudien, Luzern)
- 2006 **Publikumsintensive Einrichtungen PE: Planungsgrundlagen und Gesetzmässigkeiten**
(Metron Verkehrsplanung AG, Brugg / Transitec Ingenieurs-Conseils SA, Lausanne / Fussverkehr Schweiz, Zürich)
- 2006 **Erhebung des Fuss- und Veloverkehrs**
(IRAP, Hochschule für Technik, Rapperswil / Fussverkehr Schweiz, Zürich / Pestalozzi & Stäheli, Basel / Daniel Sauter, Urban Mobility Research, Zürich)
- 2006 **Verkehrstechnische Beurteilung multimodaler Betriebskonzepte auf Strassen innerorts**
(S-ce Simon consulting experts, Zürich)
- 2006 **Beurteilung von Busbevorzugungsmassnahmen**
(Metron Verkehrsplanung AG, Brugg)
- 2006 **Error Propagation in Macro Transport Models**
(Systems Consult, Monaco / B+S Ingenieur AG, Bern)
- 2007 **Fussgängerstreifenlose Ortszentren**
(Ingenieurbüro Ghielmetti, Winterthur / IAP, Zürich)
- 2007 **Kernfahrbahnen auf Ausserortsstrecken**
(Frossard GmbH, Zürich)
- 2007 **Road Pricing Modelle auf Autobahnen und in Stadtregionen**
(INFRAS, Zürich / Rapp Trans AG, Basel)
- 2007 **Entkopplung zwischen Verkehrs- und Wirtschaftswachstum**
(INFRAS, Zürich / Università della Svizzera Italiana, Lugano)
- 2007 **Genderfragen in der Verkehrsplanung Vorstudie**
(SNZ Ingenieure und Planer AG, Zürich)
- 2007 **Konfliktanalyse beim Mischverkehr**
(Sigmaplan AG, Bern)
- 2007 **Verfahren zur Berücksichtigung der Zuverlässigkeit in Evaluationen**
(Ernst Basler + Partner AG, Zürich / Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich)
- 2007 **Überlegungen zu einem Marketingansatz im Fuss- und Veloverkehr**
(Büro für Mobilität AG, Bern/Burgdorf / büro für utopien, Burgdorf/Berlin / LP Ingenieure AG, Bern / Masciardi communication & design AG, Bern)
- 2008 **Einbezug von Reisekosten bei der Modellierung des Mobilitätsverhaltens**
(Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT) ETH, Zürich / TRANSP-OR EPF Lausanne, Lausanne / IRE USI, Lugano)
- 2008 **Ausgestaltung von multimodalen Umsteigepunkten**
(Metron AG, Brugg / Universität Zürich Sozialforschungsstelle, Zürich)

- 2008 **Überbreite Fahrstreifen und zweistreifige Schmalfahrbahnen**
(IRAP HSR Hochschule für Technik, Rapperswil)
- 2008 **Fahrten- und Fahrleistungsmodelle: Erste Erfahrungen**
(Hesse+Schwarze+Partner, Zürich / büro widmer, Frauenfeld)
- 2008 **Quantitative Auswirkungen von Mobility Pricing Szenarien auf das Mobilitätsverhalten und auf die Raumplanung**
(Verkehrsconsulting Fröhlich, Zürich / TransOptima GmbH, Olten / Ernst Basler + Partner AG, Zürich)
- 2008 **Organisatorische und rechtliche Aspekte des Mobility Pricing**
(Ernst Basler + Partner AG)
- 2008 **Forschungspaket "Güterverkehr", Initialprojekt "Bestandesaufnahme und Konkretisierung des Forschungspakets"**
(Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich - ETH / Università della Svizzera Italiana / Universität St. Gallen)
- 2008 **Freizeitverkehr innerhalb von Agglomerationen**
(Hochschule Luzern - Wirtschaft, Luzern / ISOE, Frankfurt am Main / Interface Politikstudien, Luzern)
- 2008 **Gesetzmässigkeiten des Anlieferverkehrs**
(Sigmaplan AG / Rudolf Keller & Partner Verkehrsr Ingenieure AG)
- 2009 **Modal Split Funktionen im Güterverkehr**
(Rapp Trans AG, Zürich / IVT ETH, Zürich)
- 2009 **Mobilitätsmuster zukünftiger Rentnerinnen und Rentner: eine Herausforderung für das Verkehrssystem 2030?**
(büro widmer Frauenfeld / Institut für Psychologie, Universität Bern)
- 2008 **Mobilitätsmanagement in Betrieben - Motive und Wirksamkeit**
(synergo, Zürich / Tensor Consulting AG, Bern)
- 2009 **Monitoring und Controlling des Gesamtverkehrs in Agglomerationen**
(Ecoplan, Altdorf und Bern / Ernst Basler + Partner, Zürich)
- 2009 **Wie Strassenraumbilder den Verkehr beeinflussen**
(Zürcher Hochschule für angewandte Wissenschaften zhaw, Winterthur / Jenni + Gottardi AG, Thalwil)
- 2009 **Nettoverkehr von verkehrsintensiven Einrichtungen (VE)**
(Berz Hafner + Partner AG, Bern / Hornung Wirtschafts- und Sozialstudien, Bern / Künzler Bossert + Partner GmbH, Bern / Roduner BSB + Partner AG, Schliern)

* vergriffen: Diese Exemplare können auf Wunsch nachkopiert werden

*épuisé: Selon désir, ces rapports peuvent être copiés

Die Berichte können bezogen werden bei / Les rapports peuvent être commandés au:

VSS, Sihlquai 255, 8005 Zürich,
Tel. 044 269 40 20, Fax. 044 252 31 30, info@vss.ch

Forschungsberichte SVI, Publikationsliste, Stand 23. Oktober 2009

SVI 2004/088 Einsatz von Simulationswerkzeugen in der Güterverkehrs- und Transportplanung

Leitfaden für Simulationsprojekte in der Güterverkehrs- und Transportplanung



Version 3.5
Stand: 31.08.2009

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	3
1.1	Was ist Simulation?	3
1.2	Simulation in der Güterverkehrs- und Transportplanung	4
1.3	Ziel des Leitfadens und Zielpublikum	5
1.4	Rolle der Beteiligten	5
2	Simulieren – ja oder nein?	6
2.1	Anwendungsbereiche im Güterverkehr und in der Transportplanung	6
2.2	Anwendungsziele	7
2.3	Nutzen und Kosten von Simulationen	8
2.4	Entscheidungskriterien für die Durchführung einer Simulation	9
3	Klassifizierung und Wahl des Simulationswerkzeugs	11
3.1	Klassifizierung	11
3.2	Kriterien für die Wahl von Simulationswerkzeugen	14
4	Eine Simulationsstudie durchführen	16
4.1	Ablauf	16
4.2	Schritt 1: Problemanalyse	17
4.3	Schritt 2: Informations- und Materialflüsse	18
4.4	Schritt 3: Datenbeschaffung und Datenaufbereitung	19
4.5	Schritt 4: Steuerungskonzeption	20
4.6	Schritt 5: Modellbildung	21
4.7	Schritt 6: Verifikation / Validation	21
4.8	Schritt 7: Experimente	22
4.9	Schritt 8: Auswertungen	23
4.10	Schritt 9: Dokumentation	24
5	Anwendungsbeispiele	25
5.1	Simulation und Analyse der Warenanlieferung und der Warenverteilung in einem neu geplanten Gebäude	25
5.2	Simulation Reservationssystem Alpenquerender Güterverkehr	32
6	Weiterführende Literatur	40
7	Wichtige Begriffe	43

Impressum

Forschungsstelle und Projektteam

Martin Ruesch, Rapp Trans AG (Projektleitung)

Marcel Burkhard, IAS Institut für angewandte Simulation, ZHAW (Stv. Projektleitung)

Philipp Hegi, Rapp Trans AG

Tatiana Starostina, IAS Institut für angewandte Simulation, ZHAW

Adrian Lötscher, IAS Institut für angewandte Simulation, ZHAW

1 Einführung

1.1 Was ist Simulation?

Zuerst einmal soll der Begriff „Simulation“, so wie er hier zur Anwendung kommt, erklärt werden.

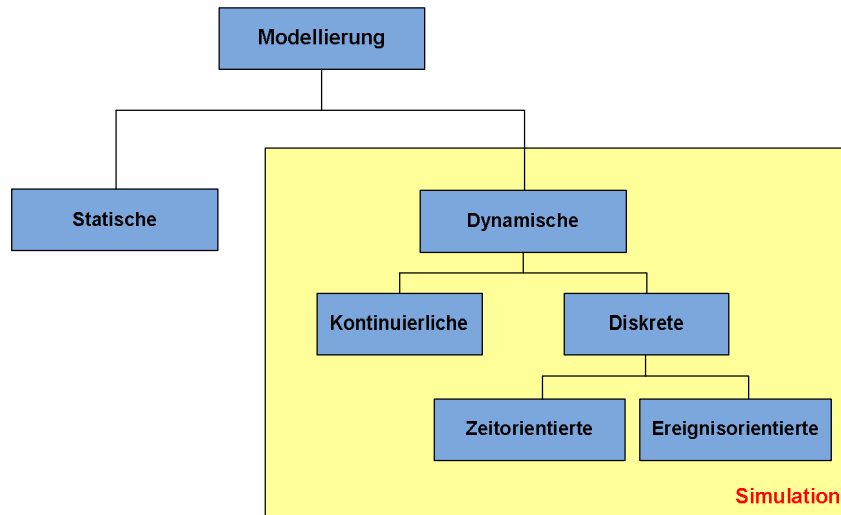
Simulation im engeren Sinn

Unter Simulation im engeren Sinne versteht man das Nachbilden eines Systems mit seinen dynamischen Prozessen in einem experimentierfähigen Modell, um zu Erkenntnissen zu gelangen, die auf die Wirklichkeit übertragbar sind.

Simulation im weiteren Sinn

Im weiteren Sinn wird unter Simulation das Vorbereiten, Durchführen und Auswerten gezielter Experimente mit einem Simulationsmodell verstanden (VDI-Richtlinie 3633, 1993).

Abbildung 1: Modellierung und Simulation



Verschiedene Simulationsarten

Innerhalb der Simulation kann zwischen kontinuierlicher Simulation und diskreter Simulation unterschieden werden. Bei der kontinuierlichen Simulation ändert sich die Zustandsgrösse stetig, ebenso die Zeit. Bei der diskreten Simulation ändern sich der Zustand wie auch die Zeit diskret (getaktet oder von Ereignis zu Ereignis). Hybride Simulationen enthalten kontinuierliche und diskrete Elemente.

Unterschiede zur statischen Modellierung

Ein Modell ist eine vereinfachte Nachbildung eines Teils der realen Umwelt. Durch eine Kombination von Aufbauprinzipien und mathematischen Ansätzen wird beschrieben, wie bestimmte Teile eines Systems auf Änderungen anderer Systemteile reagieren. Ein Verkehrsmodell versucht das tatsächliche Verkehrsgeschehen aufgrund bekannter Gesetzmässigkeiten abzubilden. Grundsätzlich kann zwischen statischer und dynamischer Modellierung unterschieden werden. Während bei der statischen Modellierung mit fixen Zustandsgrössen gearbeitet wird (z.B. Tagesverkehr, Spitzenstundenverkehr), werden bei der dynamischen Modellierung zeitabhängige Grössen eingesetzt.

Die dynamische Modellierung wird auch als Simulation bezeichnet.

1.2 Simulation in der Güterverkehrs- und Transportplanung

Steigender Handlungsbedarf in Logistik, Güterverkehrs- und Transportplanung

Problemstellungen der Logistik sowie in der Güterverkehrs- und Transportplanung haben in den letzten Jahren stark an Bedeutung gewonnen. Dies im Zusammenhang mit der zunehmenden Globalisierung, den steigenden Anforderungen an die Effizienz und Qualität von Logistik- und Transportprozessen und zunehmenden Aus- und Überlastungen von Infrastrukturen.

Abbildung 2: Steigende Auslastung der Verkehrsinfrastruktur



Optimierungsfragen gewinnen an Bedeutung

Im Güterverkehr und in der Transportplanung spielen Optimierungsfragen eine besondere Rolle. Gesucht sind in der Regel die aus betriebswirtschaftlicher Sicht besten Lösungen (User Optimum). Aber auch für die öffentliche Hand wird die Optimierung des Verkehrsystems immer wichtiger (System Optimum). Dynamische Betrachtungen gewinnen hier stark an Bedeutung und statische Modelle geraten an ihre Grenzen (z. B. bei der Abbildung hoch ausgelasteter Netze und von Stauphänomenen). Entsprechend wurden in den letzten Jahren solche dynamischen Simulationswerkzeuge immer weiter entwickelt. Während der Einsatz von Simulationswerkzeugen in der Logistik bereits stärker etabliert ist, werden sie in der Güterverkehrs- und Transportplanung nicht oder nur sehr zurückhaltend eingesetzt.

Relevante Bereiche für die Simulation

Simulationen werden in folgenden Bereichen durchgeführt:

- Standortplanung
- Anlagen- und Infrastrukturplanung
- Betriebsplanung von Verkehrsanlagen
- Logistikstrategien / -konzepte, Transportkonzepte
- Massnahmenplanungen und Auswirkungsanalysen¹

Mit zunehmender Komplexität der Problemstellungen steigt das Beitragspotential von Simulationsanwendungen. Simulationen kommen in der Regel dann zum Einsatz, wenn statische Methoden keine genügenden Ergebnisse mehr liefern.

¹ Bei Massnahmenplanungen und Auswirkungsanalysen geht es um die Analyse von Effekten von privaten oder staatlichen Massnahmen. Das Massnahmenspektrum umfasst im wesentlichen Verkehrstelematikanwendungen, ökonomische und regulatorische Massnahmen. Wichtige Zielgrössen sind Auslastungsoptimierung und Qualitätsverbesserungen. Simulationsanwendungen sind zum Beispiel das Reservationssystem für den alpenquerenden Güterverkehr, die Einführung von Verkehrsinformationsdiensten, die Einführung von Road Pricing.

1.3 Ziel des Leitfadens und Zielpublikum

Überblick über die Durchführung von Simulationen

Der Leitfaden gibt einen Überblick über

- die Anwendungsbereiche für Simulationen in der Güterverkehrs- und Transportplanung
- die Simulationswerkzeuge und Kriterien für die Auswahl
- den Ablauf und das Vorgehen bei Simulationsprojekten.

Insbesondere werden auch die Arbeitsschritte, Tätigkeiten und kritische Erfolgsfaktoren für Simulationsprojekte aufgezeigt und anhand von Anwendungsbeispielen erläutert.

Leitfaden richtet sich an Berater, Planer und Entscheidungsträger

Mit dem Leitfaden werden folgende Hauptziele verfolgt:

- Unterstützung von Beratern und Planern welche Simulationsanwendungen durchführen
- Information von Entscheidungsträgern, welche über die Durchführung von Simulationsanwendungen befinden und diese auch begleiten

Beiden Zielgruppen soll praxisnah die notwendigen Grundlagen für Simulationsanwendungen vermittelt werden.

1.4 Rolle der Beteiligten

Aufgaben der Berater und Planer

Im Zusammenhang mit Simulationen haben Berater und Planer folgende Aufgaben:

- Erstellung von Pflichtenheften oder Offerten
- Bereitstellung von Informationen und Daten für die Durchführung von Simulationen
- Strukturierung von Simulationsprojekten
- Durchführung von Simulationsprojekten
- Anwendung von Simulationsinstrumenten
- Visualisierung von dynamischen Prozessen
- Interpretation und Beurteilung von Simulationsergebnissen

Aufgaben der Entscheidungsträger

Im Zusammenhang mit Simulationen haben Entscheidungsträger folgende Aufgaben:

- Identifizieren des Handlungsbedarfs und Beurteilen der Möglichkeiten der Simulation
- Erstellung von Pflichtenheften für Simulationsprojekte
- Bereitstellung von Informationen und Daten für die Durchführung von Simulationen
- Beurteilung von Simulationsergebnissen
- Begleitung von Simulationsprojekten.

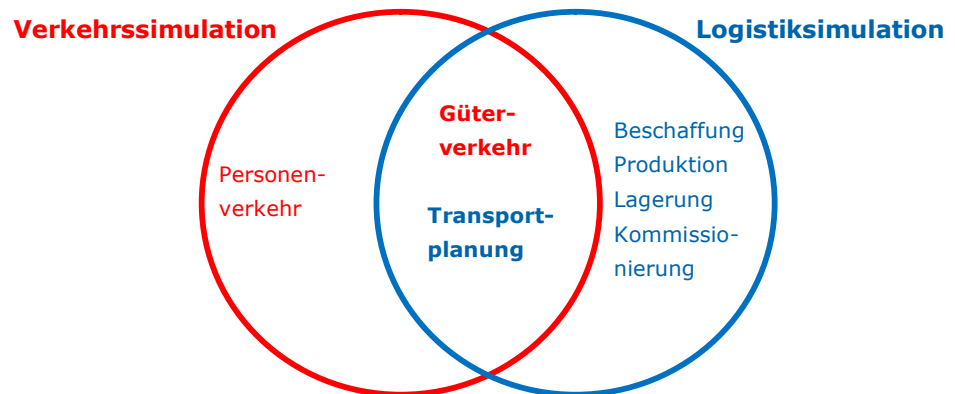
2 Simulieren – ja oder nein?

2.1 Anwendungsbereiche im Güterverkehr und in der Transportplanung

Bereiche der Verkehrs- und Logistiksimulation

Simulationsstudien werden heute in den Bereichen Verkehr und Logistik durchgeführt. Der vorliegende Leitfaden fokussiert dabei auf die Bereiche, wo sich Verkehrssimulation und Logistiksimulation überschneiden. Es sind dies die Bereiche Güterverkehr und Transportplanung. Der im Leitfaden beschriebene Vorgehensansatz ist grundsätzlich aber auch auf die anderen Bereiche anwendbar.

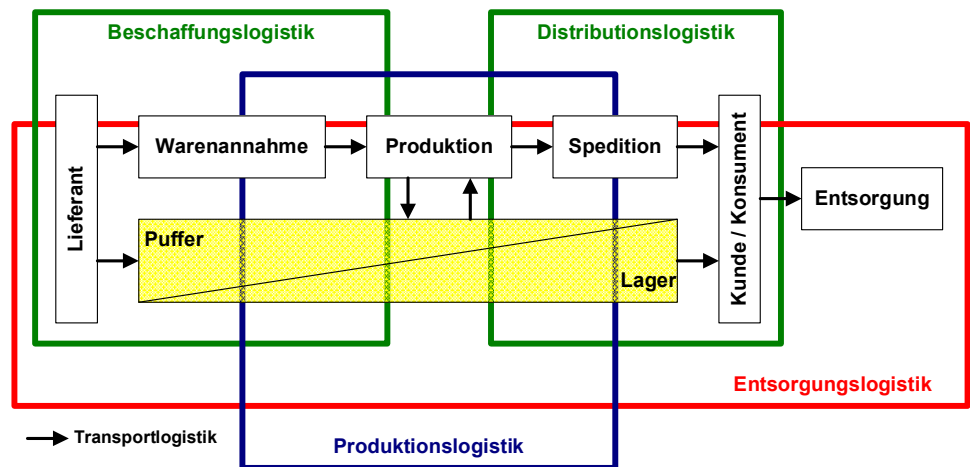
Abbildung 3: Bereiche der Verkehrs- und Logistiksimulation



Güterverkehrs-simulation

Die Güterverkehrssimulation untersucht die Güterverkehrsströme auf Verkehrsanlagen in den Anwendungsbereichen Schienen-, Strassen-, Luftverkehr, Schifffahrt und Umschlag. Sie untersucht das ganze Verkehrssystem, sei dies die Stauproblematik, Verkehrsmanagement (Verkehrslenkung, Verkehrsleitung/-steuerung, Verkehrsinformation, Verkehrskontrollen etc.) und vieles mehr, nicht aber den innerbetrieblichen Fluss von Waren oder Gütern.

Abbildung 4: Transportlogistik als wichtiger Teil der Logistik



Transportplanung Die Transportsimulation untersucht die zwischen- und innerbetrieblichen Flüsse von Waren oder Gütern. Sie befasst sich unter anderem mit den Transporten, dem Warenumschat und der Zwischenlagerung der Waren.

2.2 Anwendungsziele

Planen, Optimieren und Verifizieren Güterverkehrs- und Transportsimulationen werden durchgeführt um Verkehrsflüsse, Transporte und Warenumsätze zu planen, zu optimieren und zu verifizieren.

Aufgabenstellungen im Güterverkehr Im Güterverkehr liegen die Ziele in der Ausgestaltung und Optimierung des Verkehrsnetzes und von Güterverkehrsanlagen. Es stellen sich unter anderem folgende Aufgaben: Steuerung und Abbildung von Verkehrsflüssen, Abbildung von Warteschlangen und Stau, Verkehrsabläufe an Knoten bzw. in Strassen-netzen, Bestimmung Fahrplan und Betriebskonzepte Eisenbahn, Planung, Betrieb und Abbildung von Umschlaganlagen, Abbildung des Einflusses von Verkehrstelematik und Verkehrsmanagement auf Verkehrsflüsse und Erarbeiten von Massnahmenplanungen für Knoten und Teilnetze (z.B. Kreisel, LSA-Steuerungen, Dosierungssysteme, Reservationssysteme etc.).

Aufgabenstellungen in der Transportplanung Die Simulation im Bereich der Transportplanung wird unter anderem für die folgenden Aufgabenstellungen eingesetzt:

Tabelle 1: Aufgabenstellungen für Simulationen

Transport	Güterumschlag	Zwischenlagerung
+ Transportmengenanalyse (z.B. kann Kundenbedarf erfüllt werden?) + Analyse von Transportflüssen bezüglich Kapazität zur Identifizierung von Engpässen + Suche nach kürzesten Wegen + Minimierung der Transportzeiten + Minimierung der Transportkosten + Zuverlässigkeit (Maximierung, Optimierung)	+ Analyse von Warteschlangen an den Umschlagsplätzen + Planung oder Überprüfung der Kapazität der Umschlagsplätze + Optimierung der Pufferkapazität des Umschlagsplatzes + Optimierung der Umschlagsreihenfolgen der Güter + Funktionalitätsanalyse der Umschlagsplätze (Verfügbarkeit der Kräne, Aufzüge, Personal usw.)	+ Überprüfung der Lagerkapazität + Lagermengenanalyse + Optimierung der Lagerzeiten und Kosten

Zu beachten ist, dass diese Aufgabestellungen nicht isoliert betrachtet werden sollten, sondern in Kombination miteinander.

2.3 Nutzen und Kosten von Simulationen

Nutzen

Die Simulation verhilft bereits in einer frühen Projektphase zu vertieften Erkenntnissen und deckt frühzeitig Abhängigkeiten im zu gestaltenden System auf. Es ergeben sich unter anderem folgende Nutzen:

- **Untersuchung eines komplexen Systems:** Die Simulation ist ein mögliches Instrument zur Suche nach der Lösung, wenn die analytische Methode nicht anwendbar ist.
- **Funktionsnachweis:** Die Funktionalität eines Systems kann getestet werden, bevor es existiert.
- **Systemuntersuchungen im Zeitraffer:** Die Arbeit des Systems über eine längere Zeitperiode kann in wesentlich kürzerer Zeit simuliert werden. Simulationen im Zeitraffer zeigen oftmals die Ursachen von Engpassverhalten, welche in Realtime gar nicht erkannt werden können.
- **Anlagen und Prozessoptimierung:** Die Prozesse können nach verschiedenen Zielfunktionen optimiert werden, um die Produktivität des Systems zu steigern, oder Engpässe zu vermeiden oder zu eliminieren.
- **Vereinfachung der Systemanalyse:** Die Parameter und Daten können verändert werden, ohne dabei die Realität verändern zu müssen.
- **Sensitivitätsanalyse:** Durch die Veränderung einzelner Input-Parameter kann eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt werden, um den Einfluss der einzelnen Parameter auf das System zu ermitteln.
- **Visualisierung:** Während der Simulation werden die Prozesse visualisiert, so dass der aktuelle Stand der Simulation immer ersichtlich ist (z.B. der Transport- und Verkehrsablauf). Zudem werden die Ergebnisse der Simulation graphisch dargestellt (z.B. in Form von Diagrammen oder Funktionen).
- **Entscheidungshilfe:** Bei Planungsvorhaben kann die Simulation als Entscheidungshilfe bzw. zur Minimierung des Risikos dienen.
- **Verbesserung der Qualität des Systems:** Die Simulation kann zeigen, dass die Zuverlässigkeit, die Laufzeiten, die Schadenraten etc. verbessert werden können.
- **Kostenreduktion:** Die Simulation kann zeigen, dass reale Systemelemente oder Steuerungselemente vereinfacht oder eingespart werden können (z.B. Transport- und Verkehrsabläufe, Puffer- und Lagerbestände, Anlagensteuerung) sowie der Infrastrukturbedarf reduziert werden kann.

Zusammensetzung der Kosten

Die Kosten einer Simulationsstudie setzen sich aus Personal-, Software- sowie Wartungs- und Schulungskosten zusammen.

Personalkosten

Der Personalaufwand wird unter anderem durch die Fragestellung, die Systemgrenzen, die verfügbaren Daten- und Informationen und den Detaillierungsgrad beeinflusst. Damit die Kosten in Grenzen gehalten werden können, müssen Systemgrenzen und Abstraktionsgrad der Fragestellung angepasst werden. Die nachfolgende Tabelle zeigt den prozentuellen Anteil des Personalaufwandes in den einzelnen Projektphasen (gemäss Erfahrungswerten aus Projekten).

Tabelle 2: Anteile Personalaufwand nach Projektphasen (Erfahrungswerte)

Phase	Aufwand bei Güterverkehrssimulation	Aufwand bei Transportsimulation
Problemanalyse und Konzeption	Ø20% (10-30%)	Ø15% (10-30%)
Datenerhebung und -aufbereitung	Ø25% (15-35%)	Ø25% (15-40%)
Modellbau, Verifikation und Validierung	Ø40% (30-50%)	Ø40% (30-60%)
Experimentieren und Dokumentieren	Ø15% (10-25%)	Ø20% (15-30%)

Für Projekte mit einem Investitionsvolumen in der Grössenordnung 20-40 Mio muss für die planungsbegleitende Simulation mit einem Aufwand von ¼% bis ½% der Investitionssumme gerechnet werden.

Softwarekosten	Die Softwarekosten hängen unter anderem vom eingesetzten Simulationswerkzeug, der Lizenzierungsart (Entwicklungs- oder Runtime-Lizenz) und der Häufigkeit des Simulationswerkzeugeinsatzes ab. Die Softwarekosten reichen von CHF 0 bis in der Regel unter CHF 100'000.
Wartungs- und Schulungskosten	Soll ein Simulationsmodell periodisch oder regelmässig eingesetzt werden, so fallen auch Wartungs- und Schulungskosten für die Ausbildung und den Betrieb an.
Leistungserbringung intern oder extern?	Bevor eine Simulationsstudie durchgeführt wird, empfiehlt es sich abzuklären, ob einzelne Phasen einer Simulationsstudie extern an ein Beratungsbüro vergeben oder alle Phasen intern realisiert werden sollen. Die Durchführung einer Simulationsstudie benötigt Know-How, welches entweder aufgebaut oder durch regelmässige Anwendung konserviert werden muss.

2.4 Entscheidungskriterien für die Durchführung einer Simulation

Wann ist eine Simulation sinnvoll?	Die Durchführung einer Simulation ist sinnvoll, wenn die Untersuchung am realen System nicht möglich ist, analytische Methoden nicht zum Ziel führen und die für die Simulation benötigten Daten in entsprechender Qualität verfügbar sind oder mit vernünftigem Aufwand erhoben werden können.
Wenn die Untersuchung am System nicht möglich ist	Im Folgenden werden einige Gründe aufgezählt, weshalb eine Untersuchung am System nicht möglich ist, und simuliert werden sollte: • Eine Untersuchung am realen System wäre zu aufwendig bzw. zu teuer oder zu gefährlich (z.B. der Ausbau eines Verkehrssystems). • Ein System existiert noch nicht. Beispiele dazu sind der Bau eines neuen Güterumschlagsterminals oder einer Fabrik. • Das reale System kann nicht direkt beobachtet werden. • Es besteht eine Vielzahl von Varianten oder Handlungsoptionen. Die Prüfung der Auswirkungen dieser Varianten kann „von Hand“ nicht effizient bewältigt werden.

	• Es sollen komplexe Zusammenhänge dargestellt werden (z.B. Staubildung an einem Knoten in Abhängigkeit der Spurenzahl oder der Lichtsignalsteuerung).
Wenn analytische Methoden nicht zum Ziel führen	Gründe, weshalb analytische Methoden nicht zum Ziel führen, können sein: • Zu grosse Komplexität und zu grosse Ungenauigkeit wegen ungenügender Berücksichtigung aller relevanten Einflussgrössen • Fehlende mathematische Zusammenhänge und Formeln • Vielfältige zufällige Einflüsse (stochastische Systeme), deren Auswirkung nicht durch analytische Methoden berechnet werden können.
Wenn Daten in entsprechender Qualität verfügbar sind	Die Durchführung einer Simulation benötigt verschiedene Daten und Informationen über die abzubildenden Prozesse. Eine ungenügende Qualität der Daten beeinflusst das Resultat der Simulation negativ. Eine Simulation kann nur so genau wie ihre Daten sein. Die notwendigen Daten sollten bereits vorhanden oder mit vernünftigem Aufwand erhoben werden können.
Zu beachten	Es ist wichtig in einer frühen Projektphase zu entscheiden, ob simuliert werden soll. Es empfiehlt sich deshalb, zuerst andere Verfahren ausser Simulation zu prüfen und dann zu entscheiden, ob diese genügend sind oder ob eine Simulationsstudie nötig ist. Beispiele für andere Verfahren sind statische Modelle oder Berechnungen in Excel oder Access, spezialisierte Tools oder Optimierungsalgorithmen. Für die sinnvolle Simulationsanwendung ist es entscheidend, dass bereits in einem frühen Planungsstadium simuliert wird. Die Anpassungs- und Optimierungsmöglichkeiten nehmen mit fortschreitender Projektentwicklung ab.

3 Klassifizierung und Wahl des Simulationswerkzeugs

3.1 Klassifizierung

Die Klassifizierung der Werkzeuge dient der Wahl des richtigen Werkzeuges

Zurzeit gibt es ein grosses Angebot von Simulationswerkzeugen, welche im Bereich der Güterverkehrs- und Transportplanung angewandt werden können. Die Auswahl des richtigen Werkzeuges ist deshalb nicht einfach. Als Entscheidungsgrundlage soll die Klassifizierung der Werkzeuge (bezogen auf Verkehrs- und Transportsimulation, Anwendungsziel, Fragestellungen und Simulationstyp) dienen.

Klassifizierung gemäss Verkehrs- und Transportsimulation

Die nachfolgende Tabelle zeigt die für die Güterverkehrs- und Transportplanung am häufigsten eingesetzten Simulationswerkzeuge. Dabei besteht kein Anspruch auf Vollständigkeit.

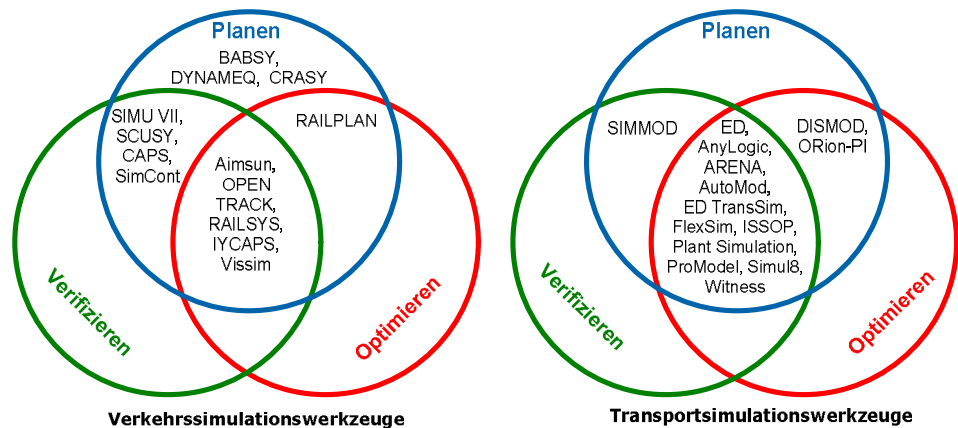
Tabelle 3: Häufig eingesetzte Simulationstools

Verkehrssimulationswerkzeuge	Transportsimulationswerkzeuge
AIMSUN: www.aimsun.com	AnyLogic: www.xjtek.com
BABSI: www.via.rwth-aachen.de	ARENA: www.rockwellautomation.com
CAPS: www.isl.org	AutoMod: www.automod.de
CRASY: www.isl.org	DISMOD: www.iml.fraunhofer.de
DYNAMEQ: www.inro.ca	ED: www.enterprisedynamics.com
IYCAPS: www.isl.org	ED TransSim: www.vsl.mb.uni-dortmund.de
OPENTRACK: www.opentrack.ch	FlexSim: www.flexsim.com
RAILPLAN: www.funkwerk-it.com	ORion-PI: www.axxom.com
RAILSYS: www.railsys.de	PlantSimulation: www.ugs.de
SCUSY: www.isl.org	ProModel: www.promodel.com
SIMCONT: www.simcont.org	SIMMOD: www.atac.com
SIMU VII: www.simu.de	Simul8: www.simul8.com
VISSIM: www.vissim.de	Witness: www.lannergroup.de

Klassifizierung gemäss Anwendungsziel

Nicht alle Simulationswerkzeuge decken alle Anwendungsziele (Optimieren, Planen und Verifizieren) ab. Abbildung 5 gibt dazu einen Überblick. Die Zuordnung der Simulationswerkzeuge zu den Anwendungszielen basiert auf einer Evaluation von 25 Simulationsprojekten und lässt einen gewissen Interpretationsspielraum zu. Der Überblick zeigt die Hauptanwendungsbereiche.

Abbildung 5: Gruppierung der Werkzeuge gemäss Anwendungsziel



Klassifizierung gemäss
Anwendungsbereichen

Tabelle 4 zeigt die Anwendungsbereiche der Verkehrssimulationswerkzeuge.

Tabelle 4: Anwendungsbereiche der Verkehrssimulationstools

Anwendungs- bereiche	Werkzeug	Beschreibung
Strasse	DYNAMIQ	Simulationstool für Verkehrsmanagement und Verkehrsflussanalyse
	AIMSUN	Simulationstool für Verkehrsmanagement und Verkehrsflussanalyse
	VISSIM	Simulationstool für Verkehrsmanagement und Verkehrsflussanalyse
Schiene	BABSI	Simulationstool zur Modellierung von Infrastrukturelementen und Betriebsvorgängen im Eisenbahnwesen
	OPENTRACK	Simulationstool zur Modellierung von Infrastrukturelementen und Betriebsvorgängen im Eisenbahnwesen
	SIMU VII	Simulationstool zur Modellierung von Infrastrukturelementen und Betriebsvorgängen im Eisenbahnwesen
	RAILPLAN	Simulationstool zur Modellierung von Infrastrukturelementen und Betriebsvorgängen im Eisenbahnwesen
	RAILSYS	Simulationstool zur Modellierung von Infrastrukturelementen und Betriebsvorgängen im Eisenbahnwesen
Umschlag	CAPS	Simulationstool zur Ermittlung von Terminalkapazität und Containerbrückenbedarf
	IYCABS	Simulationstool zur Ermittlung der Kapazität von Bahnumschlagsanlagen mit Bestimmung der Anzahl benötigter Gleise und Anschlusspunkte
	CRASY	Simulationstool zur Analyse von beliebigen Containerbrückentypen und zur optimalen Planung von Schiffsabfertigungen
	SCUSY	Simulationstool zur Modellierung der Terminalbetriebsysteme und Analyse von Terminaloperationen durch Simulation von Containerumschlagssystemen
	SIMCONT	Simulationstool zur Modellierung von Containerterminals

Tabelle 5 zeigt die Anwendungsbereiche der Transportsimulationstools.

Tabelle 5: Anwendungsbereiche der Transportsimulationstools

Anwendungsbereiche	Werkzeug	Beschreibung
Luft	SIMMOD	Simulation des Flughafenbetriebes und Luftraumnutzung
Supply Chain Management	ORion-PI	Optimierung und Simulation der gesamten Wertschöpfungsketten unter Berücksichtigung von Kosten sowie Zeiten
Strasse / Schiene / Wasser / Supply Chain Management	DISMOD	GIS-basierte Distributionsplanungstool zur Standortoptimierung und Strukturplanung in der Transportlogistik
Strasse / Umschlag / Lager / Supply Chain Management	ED TransSim	Simulationstool für Modellierung der ausser- und innerbetrieblichen Prozesse einer Speditionsanlage (ED TransSim-Node) und logistische Netze (ED TransSim-Net)
Universell einsetzbare Tools (Schiene / Strasse / Wasser / Luft / Umschlag / Produktion / Lager / Supply Chain Management / weitere)	AnyLogic	Java-basierter Hybrid-Simulator, unterstützt ereignis- und agentenbasierten Ansatz. Modelle können als Java-Applets im Internet präsentiert werden, eignet sich somit auch sehr gut für Schulungszwecke. Im Vergleich zu anderen universellen Simulatoren grösserer Aufwand zur Abbildung von Fördersystemen.
	ARENA	Diskreter, ereignisorientierter Simulator, einfach und sehr gut geeignet für die Modellierung von Prozessabläufen.
	AutoMod	Diskreter, ereignisorientierter Simulator zur Modellierung und Optimierung von Herstellungsprozessen über Lager- und Supply Chain Simulationen bis hin zur Online Kopplung/ Emulation. Besticht durch seine Möglichkeiten in der 3-D Animation.
	ED	Diskreter, ereignis- und objektorientierter Simulator. Gut geeignet für die Lösung komplexer logistischer Aufgabestellungen. Hat keine Beschränkung in der Entwicklung spezifischer eigener Simulationsobjekte. Automatische 3-D Visualisierung.
	FlexSim	Diskreter, ereignis- und objektorientierter Simulator. Gute Unterstützung für kontinuierliche Förderprozesse. Sehr einfache Anpassbarkeit, bzw. Neuentwicklung von Objekten für spezifische Aufgabestellungen. Benutzt MS Visual Studio für weitere Funktionen (C++). Gute 3-D Visualisierung.
	Plant Simulation	Diskreter, ereignis- und objektorientierter Simulator. Gleichzeitige 2-D und 3-D Animation möglich. Gut geeignet für Simulation hochkomplexer Produktionssysteme und Steuerungsstrategien. Unterstützt hierarchischen und modulartigen Aufbau. Kann somit vor allem für mittlere bis grosse Simulationen effizient eingesetzt werden.
	ProModel	Diskreter, ereignisorientierter Simulator. Sehr schnell und sehr effizient für mittlere und kleine Projekte, bei welchen es auf keinen modulartigen Aufbau des Modells ankommt.
	Simul8	Diskreter, ereignisorientierter Simulator. Kostengünstig und intuitiv zu bedienen. Flexibel durch Programmiermöglichkeit.
	Witness	Einfacher, diskreter Simulator. Spezialisiert auf die Abbildung von diskreten Produktionsprozessen. Besticht durch ein einfaches Baukastenprinzip und grosse Auswahl von Logik- und Kontrolloptionen.

Klassifizierung gemäss Fragestellungen

Nicht alle Fragestellungen können mit allen Simulationswerkzeugen beantwortet werden. Die untenstehende Tabelle gibt dazu Auskunft. Auch hier ist zu

beachten, dass eine Zuordnung nicht immer eindeutig ist.

Tabelle 6: Gruppierung der Werkzeuge nach Fragestellung

Fragestellungen	Werkzeuge für Verkehrssimulation	Werkzeuge für Transportsimulation
Standortplanung	-	AnyLogic, ARENA, AutoMod, DISMOD, Enterprise Dynamics, ED TransSim, Flexsim, ORion-PI, Plant Simulation, ProModel, Simul8, Witness
Anlagen- und Infrastrukturplanung	Aimsun, DYNAMEQ, OPENTRACK, RAILSYS, SCUSY, SIMU VII, Vissim, SimCont	ARENA, AutoMod, Enterprise Dynamics, Flexsim, Plant Simulation, ProModel, Simul8, Witness
Betriebsplanung von Verkehrsanlagen	Aimsun, DYNAMEQ, OPENTRACK, RAILPLAN, RAILSYS, SCUSY, SIMU VII, SimConT, Vissim	SIMMOD
Logistikstrategien/-konzepte, Transportkonzepte	-	AnyLogic, ARENA, AutoMod, DISMOD, Enterprise Dynamics, ED TransSim, Flexsim, ISSOP, ORion-PI, Plant Simulation, ProModel, SIMMOD, Simul8, Witness
Massnahmenplanungen und Auswirkungsanalysen	Aimsun, DYNAMEQ, OPEN TRACK, RAILSYS, SCUSY, SIMU VII, SimConT, Vissim	AnyLogic, ARENA, AutoMod, Enterprise Dynamics, FlexSim, Plant Simulation, ProModel, Simul8, Witness

(vgl. Kapitel 2.1)

3.2 Kriterien für die Wahl von Simulationswerkzeugen

Vorgehen zur Auswahl des Simulationswerkzeugs

Die Auswahl des Simulationswerkzeugs erfolgt in der Praxis sinnvollerweise in drei Schritten:

1. Aufnehmen der Bedürfnisse der Anwender und Entscheid, ob ein Simulationswerkzeug angeschafft werden soll
2. Potentielle Simulationswerkzeuge zum Vergleich auswählen und Lieferanten anfragen
3. Auswahl des passenden Simulationswerkzeugs anhand einer Nutzwertanalyse

Bedürfnisse der Anwender aufnehmen

Zur Auswahl des Simulationswerkzeugs gemäss der Bedürfnisse der Anwender sind folgende Kriterien wichtig:

- Verkehrs- oder Transportsimulation
- Anwendungsbereich / zu lösende Fragestellung(en)
- Anwendungshäufigkeit (einmalig, unregelmässig, regelmässig)
- Anwendungsspektrum (nur für eine Fragestellung, für mehrere ähnliche Fragestellungen, für verschiedenste Fragestellungen)

	• Maximaler Kostenrahmen • Bedürfnisse an die Visualisierung (Graphiken, Animationen) • Kenntnisse der Anwender im Bereich Programmierung allgemein oder im Zusammenhang mit Simulationswerkzeugen
Auswahl der potentiellen Werkzeuge zum Vergleich	Wird die Anschaffung eines Simulationswerkzeuges beschlossen, so werden im zweiten Schritt nun auf der Basis der Anwenderbedürfnisse mehrere Simulationswerkzeuge beurteilt. Je breiter das geplante Anwendungsspektrum ist, umso allgemeiner müssen die Simulationswerkzeuge sein. Soll hingegen nur eine einzige Fragestellung gelöst werden können, so sind auch spezialisierte Werkzeuge in Betracht zu ziehen. Sind die zu vergleichenden Werkzeuge ausgewählt, werden die Lieferanten für zusätzliche Informationen angefragt. Von Interesse sind dabei unter anderem: • Anzahl Referenzen für diese Fragestellung • Support (Reaktionszeit, Ort) • Kosten Simulator (Software, Wartung, Schulung, Unterstützung bei Modellaufbau) • Schulungsangebot
Auswahl des besten Werkzeuges anhand Netzwertanalyse	Es wird das beste Simulationswerkzeug anhand einer Nutzwertanalyse bestimmt. Wichtige zu vergleichende Merkmale der Simulationswerkzeuge sind: • Visualisierungsmöglichkeiten • Bedienungsfreundlichkeit • Modellierungsaufwand • Anwendungsbreite und -offenheit • Kenntnisse des Anwenders • Support des Lieferanten • Kosten der Software (Anschaffung und Wartung) • Kosten für Unterstützung bei Modellaufbau • Kosten für Schulung Die Gewichtung der einzelnen Merkmale ist abhängig vom Anwender und seinen Bedürfnissen.
Zu beachten	Der Aufwand eines Simulationsprojektes steigt wesentlich, wenn ein ungeeignetes Tool ausgewählt wird. Zudem sinkt die Aussagekraft der Ergebnisse.

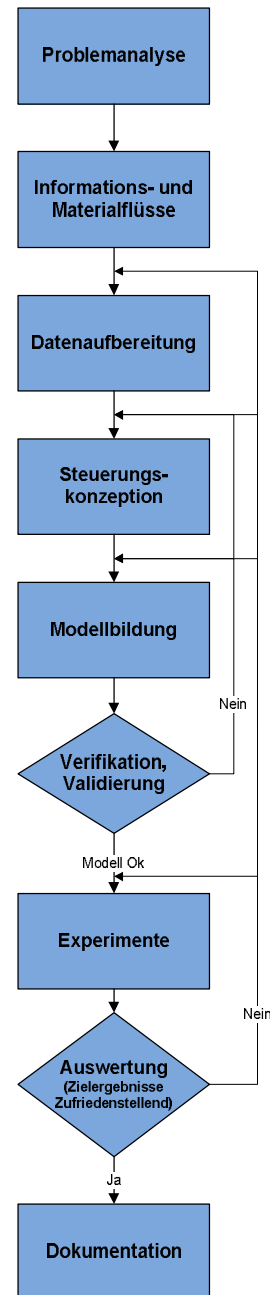
4 Eine Simulationsstudie durchführen

4.1 Ablauf

Genereller Ablauf

Das nachfolgende Schema zeigt den generellen Ablauf einer Simulationsstudie, wobei je nach Fragestellung und Simulationstool nicht immer alle Arbeitsschritte notwendig sind. Der Simulationsbedarf bzw. die Zweckmässigkeit der Simulation wurde bereits vorgängig nachgewiesen.

Abbildung 6: Verlaufschaema einer Simulationsstudie



Rückkoppelungen Rückkoppelungen ergeben sich dann, wenn die Modellvalidierung ungenügend oder die Simulationsergebnisse nicht zufrieden stellend sind.

4.2 Schritt 1: Problemanalyse

Zweck Bei der Problemanalyse geht es im Wesentlichen darum, die Kundenbedürfnisse und Probleme zu identifizieren, die Projektziele herzuleiten und die Randbedingungen zu formulieren.

Zusätzlich wird der Handlungsspielraum für Konzepte und Massnahmen abgesteckt.

Tätigkeiten Folgenden Tätigkeiten gehören zur Problemanalyse:

- Situationsanalyse
- Kundenbedürfnisse klären
- Zielformulierung (qualitativ und/oder quantitativ)
- Systemabgrenzung und Analyse System/Umfeld
- Detaillierungsgrad des Gesamtsystems festlegen
- Randbedingungen definieren
- Handlungsspielraum abstecken

Spezielle Methoden Speziell kommen folgenden Methoden zum Einsatz:

- Stärken-, Schwächen- und Ursachenanalyse
- Chancen- und Gefahrenanalyse

Resultat Die Ergebnisse der Problemanalyse sind:

- Erfassung der IST-Situation
- Beschreibung der Probleme und Ursachen
- Erkennen der Ziele und Handlungsspielräume
- Festlegen von Systemgrenzen und Randbedingungen
- Offerte durch Auftragnehmer erstellt

Zu beachten Typische Zielsetzungen von Simulationsprojekten sind:

- Optimierung bestehender bzw. geplanter Systeme
- Erbringen des Funktionsnachweises
- Aufzeigen von Einsparmöglichkeiten
- Ermittlung von Auslastungen

Systemgrenzen und Detaillierungsgrad des Gesamtsystems bestimmen massgeblich den Simulationsaufwand.

Eine enge Zusammenarbeit mit dem Auftraggeber ist notwendig.

4.3 Schritt 2: Informations- und Materialflüsse

Zweck Im zweiten Schritt geht es darum, die massgebenden Verkehrs-, Transport-, Informations- und Materialflüsse aufzuzeigen. Diese Analyse kann noch unabhängig vom zu wählenden Werkzeug sein.

Tätigkeiten Folgende Tätigkeiten gehören zum zweiten Schritt:

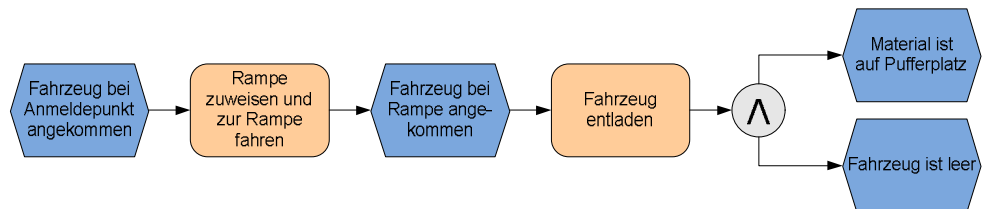
- Prozessanalyse und -darstellung (Kennzahlen, Animation, usw.)
- Güterstrom-/Warenstromanalyse
- Analyse Informationsflüsse und zu treffender Entscheidungen
- Klärung Datenstruktur

Spezielle Methoden Speziell zu erwähnen sind folgende Punkte:

- Ereignisorientierte Prozesskette (EPK)
- Prozessflussdiagramme

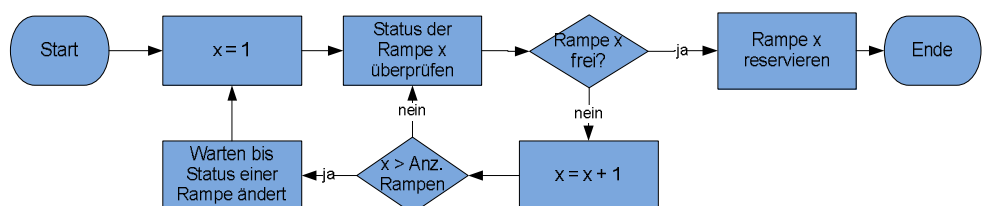
Die Ereignisgesteuerte Prozesskette (EPK) ist eine grafische Modellierungssprache zur Darstellung von Geschäftsprozessen. Sie bringt Ereignisse und Funktionen (Prozesse) in eine zeitliche Reihenfolge. Durch ihren Bezug zu Ereignissen eignet sich diese Methode insbesondere zur Beschreibung von ereignisorientierten diskreten Simulationsmodellen. Ein Beispiel einer EPK ist in Abbildung 7 ersichtlich.

Abbildung 7: Einfaches Beispiel einer EPK (Ereignisgesteuerte Prozesskette)



Prozessabläufe können auch anhand von Flussdiagrammen aufgezeigt werden. Die wesentlichen Elemente eines solchen Diagramms sind Prozesse und Entscheidungen. Im Unterschied zur EPK weisen Flussdiagramme weniger formale Regeln auf (in der EPK dürfen beispielsweise keine zwei Funktionen unmittelbar hintereinander folgen). Flussdiagramme können auf verschiedenen Detaillierungsstufen verwendet werden, beispielsweise zur Darstellung einer Übersicht über die Hauptprozesse oder für die detaillierte Beschreibung eines einzelnen Prozesses (siehe dazu Abbildung 8).

Abbildung 8: Beispiel eines Flussdiagramms



Resultat	Durch Auftraggeber und Auftragnehmer gemeinsam definierte Terminologie und Definitionen von Daten, Prozessen und Elementen, welche für das System bzw. den Auftraggeber geeignet sind. • Definition der benötigten Daten (Inputdaten, bzw. Lastdaten) • Definition der durch die Simulation ermittelten Daten (Outputdaten) • Definition der zu modellierenden Prozesse mit ihren Ressourcen und Regeln • Definition der zu modellierenden Informations- und Materialflüsse Nach diesem Schritt ist bestimmt, welche Daten für die Simulation aufbereitet werden müssen (siehe Schritt 3: Datenbeschaffung und Datenaufbereitung), und welche Prozesse in der Steuerungskonzeption spezifiziert werden müssen (siehe Schritt 4: Steuerungskonzeption).
Zu beachten	Folgende Punkte sind speziell zu beachten: • Es empfiehlt sich, Vollständigkeit und Richtigkeit der Diagramme gemeinsam durch Modellersteller und Auftraggeber zu überprüfen. • Es sind diejenigen Daten zu erfassen, welche hinsichtlich der Projektziele relevant sind, dem gewählten Detaillierungsgrad entsprechen und Simulationsabläufe beschreiben. • Unterscheidung zwischen „wichtigen“ und „unwichtigen“ Daten • Relevante Daten beeinflussen die Schlüsselfaktoren in einem System • Bei gewissen spezialisierten Verkehrssimulationen kann dieser Schritt wegfallen oder stark vereinfacht sein.

4.4 Schritt 3: Datenbeschaffung und Datenaufbereitung

Zweck	Im dritten Schritt werden die Daten beschafft , aufbereitet und das Mengengerüst erstellt.
Tätigkeiten	Die Datenbeschaffung und –aufbereitung umfasst folgende Tätigkeiten: • Grundlagenbeschaffung und Datenbezug • Datenerhebung bei Bedarf • Prüfung der Qualität und Verwendbarkeit der Daten • Treffen der notwendigen Annahmen (bei Datenlücken) • Datenaufbereitung inkl. statistische Analysen • Bei Bedarf Prognose für künftige Zustände erstellen • Erstellen Mengengerüst
Resultat	Nach der Datenbeschaffung und –aufbereitung liegen folgende Resultate vor: • Notwendige Modellinputdaten aufbereitet • Mengengerüst IST und künftige Zustände

Zu beachten

Speziell beachtet werden sollte:

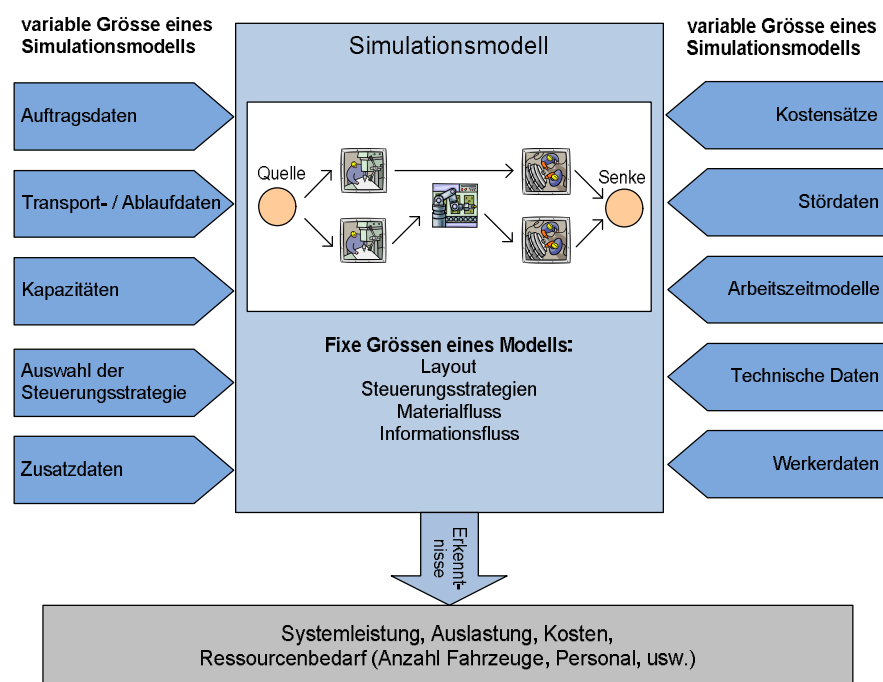
- Schrittweise Verfeinerung des Detaillierungsgrades der Daten
- Das Simulationsergebnis ist nur so gut wie die Eingangsdaten
- Dokumentation und Begründung der Annahmen

4.5 Schritt 4: Steuerungskonzeption

Zweck

Mit der Steuerungskonzeption sollen die toolspezifische Beschreibung und die Darstellung des zu simulierenden Systems erstellt werden.

Abbildung 9: Schematische Darstellung der Konzeption des Simulationsmodelles



Tätigkeiten

Die Steuerungskonzeption umfasst folgende Punkte:

- Definitive Wahl des Simulationswerkzeuges (falls nicht schon vorgängig bestimmt)
- Identifikation und Beschreibung der Modellbausteine
- Definition von Steuerungsstrategien
- Erstellung von Ablaufdiagrammen
- Entwurf Grobmodell

Resultat

Das Resultat der Steuerungskonzeption umfasst:

- Modellbausteine
- Modellbeschreibung

Zu beachten

Wichtige Punkte bei der Steuerungskonzeption sind:

- Bei Verkehrssimulationen ist der Spezialisierungsgrad hoch und darum die Steuerungskonzeption teilweise vorbestimmt
- Detaillierungsgrad der Simulation bestimmt massgeblich den Modellbildungsaufwand.

4.6 Schritt 5: Modellbildung

Zweck

Die Modellbildung ist die Umsetzung von Modell- und Steuerungskonzept in ein operatives Simulationsmodell.

Tätigkeiten

Die Modellbildung besteht aus folgenden Arbeitsschritten:

- Methoden/Ansätze festlegen
- Programmierung der Modellkomponenten
- Modellbau: Zusammenfügen der Komponenten
- Modelltest: Funktionskontrolle

Resultat

Nach der Modellbildung liegt das Simulationsmodell vor.

Zu beachten

Bei der Modellbildung gilt es folgende Punkte zu beachten:

- Je nach Simulationstool sind Methoden/Ansätze bzw. das Modellkonzept bereits vorgegeben (z.B. Verkehrssimulationstools)
- Strategie der zunehmenden Verfeinerung (v.a. Logistik-Simulation)
- Bei langen Rechenzeiten ist das Tuning des Simulationstools zu prüfen (andere Algorithmen wählen, Detaillierungsgrad ändern etc.)

4.7 Schritt 6: Verifikation / Validation

Zweck/Ziel

Mit der Verifikation bzw. Validation wird die Übereinstimmung des Modells mit der Wirklichkeit geprüft.

Tätigkeiten

In diesem Schritt sind folgende Tätigkeiten notwendig:

- Vergleich der Modellwerte mit IST-Werten
- Kalibration des Modells
- Beurteilung der qualitativen und quantitativen Übereinstimmung des Modells mit der Wirklichkeit
- Beurteilung der Übertragbarkeit der Modellergebnisse auf die Wirklichkeit

Resultat

Die Verifikation/Validierung ergibt folgende Resultate:

- Validiertes Simulationsmodell für die weitere Bearbeitung
- Angabe zur qualitativen Güte des Modells

Zu beachten

Wichtige Punkte bei der Verifikation/Validierung sind:

- wenn immer möglich Validation am Ist-Zustand
- Eine vollständige Übereinstimmung mit der Wirklichkeit ist kaum erreichbar. Das Modell muss mit dem realen System soweit übereinstimmen, dass die Projektziele erreicht werden.
- Bei ungenügender Übereinstimmung müssen das Modellkonzept und die Ausgangsdaten überprüft werden

4.8 Schritt 7: Experimente

Zweck

Ausgehend vom Basismodell werden die Lösungsvarianten mit dem Simulationsmodell untersucht.

Tätigkeiten

In diesem Schritt sind folgende Tätigkeiten durchzuführen:

- Definieren der zu simulierenden Lösungsvarianten
- Variieren von Parametern und Steuerungs- bzw. Verhaltensregeln, z.B. unterschiedliche Last, andere Kapazitäten, usw.
- Durchführung der Simulation für die verschiedenen Lösungsvarianten
- Plausibilitätskontrollen

Resultat

Die Experimente liefern:

- erweitertes Basismodell
- Experimentmatrix
- Simulationsergebnisse nach Lösungsvarianten

Zu beachten

Bei den Experimenten gilt es folgende Punkte zu beachten:

- iteratives Vorgehen bei der Lösungssuche (v.a. Logistik-Simulation)
- Optimierung der Lösungen aufgrund der Simulationsergebnisse
- trial and error Prinzip
- Rechenzeit eines Experimentlaufes

Die Rechenzeit eines Experimentlaufes hängt von verschiedenen Faktoren ab und kann je nach Modell zwischen Sekunden bis zu mehreren Stunden betragen. Eine lange Rechenzeit wirkt sich negativ auf die die Lösungssuche und die Optimierung der Lösung im Simulator aus. Gegebenenfalls ist zu überprüfen, ob die Rechenzeit durch entsprechende Massnahmen gesenkt werden kann. Faktoren welche sich auf die Rechenzeit auswirken sind unter anderem die Länge der zu simulierenden Zeitspanne, der Abstrahierungsgrad, die Anzahl der Knoten und die Anzahl der zu bewegendenden Elemente im Modell, die Komplexität der Steuerung des Material- und Informationsflusses sowie die Anforderungen an die Visualisierung.

4.9 Schritt 8: Auswertungen

Zweck Schritt 8 beinhaltet die Auswertung und die Analyse der Simulationsergebnisse.

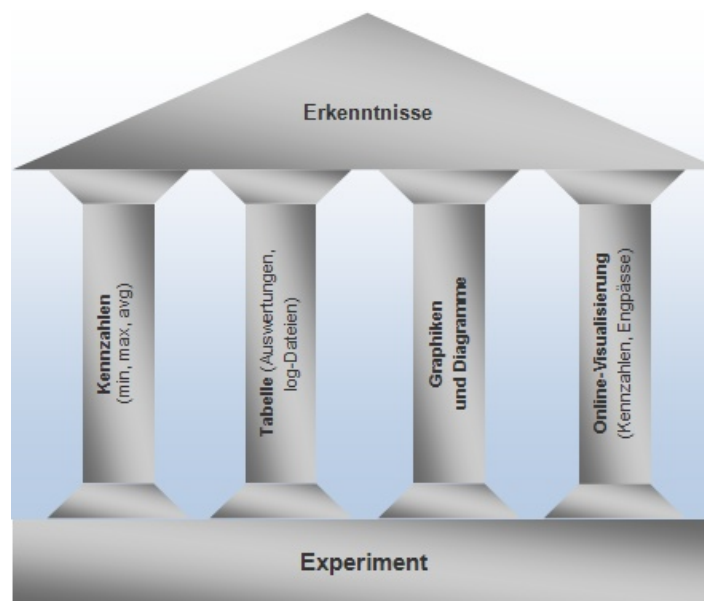
Tätigkeiten Die Auswertungen umfassen folgende Arbeiten:

- Statistische Analyse
- Kennzahlenermittlung
- Sensitivitätsanalyse
- Visualisierung
- Interpretation der Resultate

Resultat Die Auswertungen liefern die Antworten auf die Fragestellungen:

- Kennzahlen und grafische Darstellung der Ergebnisse
- Kritische Einflussgrößen
- Interpretation der Ergebnisse
- Erkenntnisse aus der Simulation

Abbildung 10: Darstellung der Ergebnisse und Erkenntnisse



Zu beachten Wichtige Punkte sind:

- Darstellung aufgrund Kundenbedürfnisse (nachvollziehbar, transparent, verständlich)
- Bei nicht zufrieden stellenden Ergebnissen sind die Daten, das Modellkonzept und die Umsetzung der Lösungsvarianten im Modell zu überprüfen
- Visualisierungen sind wichtig im Zusammenhang mit Öffentlichkeitsarbeit und sollten leicht verständlich sein

4.10 Schritt 9: Dokumentation

Zweck	Im 9. Schritt werden die wesentlichen Inhalte und Ergebnisse der Arbeitsschritte 1 bis 8 beschrieben und dargestellt.
Tätigkeiten	Die Dokumentation umfasst folgende Tätigkeiten: • Modelldokumentation • Experimentdokumentation • Empfehlung • Präsentation • Ablage und Archivierung
Resultat	Als Resultat ergibt sich eine umfassende Dokumentation der Simulationsanwendung.
Zu beachten	Zu beachten sind folgende Punkte: • Darstellung aufgrund Kundenbedürfnisse (nachvollziehbar, transparent, verständlich) • Festhalten von wichtigen (Zwischen-) Entscheiden

5 Anwendungsbeispiele

5.1 Simulation und Analyse der Warenanlieferung und der Warenverteilung in einem neu geplanten Gebäude

Problemanalyse

In einem neu geplanten Gebäude wird ein Anlieferungs- und Umschlagsbereich vorgesehen. Der gesamte Warentransport wird zentral über die Rampen im Innern des neuen Gebäudekomplexes abgewickelt. Die Anlieferung und der Abtransport der Waren aus diesem Bereich soll geregelt werden. Die Rampengrößen und Steuerung der Warenflüsse im Anlieferungsbereich hängen von folgenden Faktoren ab:

- Leistungsfähigkeit, Verfügbarkeit und Steuerung der Warenlifte
- Vorlaufzeit für die Rückführung und Bereitstellung der Waren auf den Rampen für den Abtransport
- Materialflussteuerung aus den Rampen in die verschiedenen Stockwerke des Gebäudes
- Organisation der Warentransporte über Zeitfenster

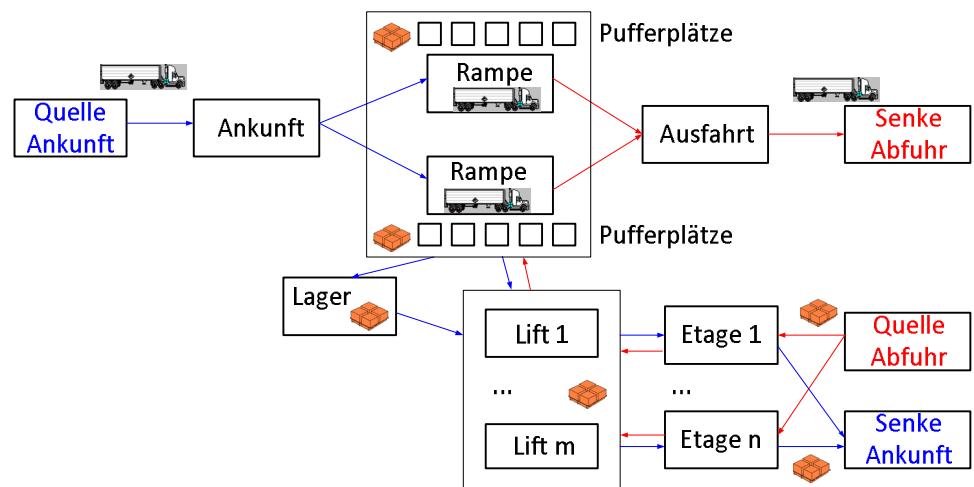
Da diese Einflussfaktoren statisch nicht beurteilt werden können, soll der Bereich Warenannahme mit einer Simulationsstudie dynamisch beurteilt werden.

Die Ziele der Simulation wurden wie folgt definiert:

- Funktionsnachweis des geplanten System
- Ermitteln der Leistungsgrenzen des Systems
- Aufzeigen von Engpässen und Erarbeitung von Massnahmen um diese zu beheben
- Bestimmen der Auswirkung von unterschiedlichen Szenarien für die Warenanlieferung und Warenrückführung
- Bestimmen, welchen Einfluss die einzelnen Systemparameter auf die Gesamtleistung haben (Leistungen und Verfügbarkeit der Lifte, Vorlaufzeiten für den Warenrücktransport, usw.)

Das System wird durch den Einfahrtsbereich der Fahrzeuge, die Rampen, die Lager und den dazwischen liegenden Bereiche für die Transporte abgegrenzt (siehe auch Abbildung 11). Unter anderem werden die Lifttransporte betrachtet.

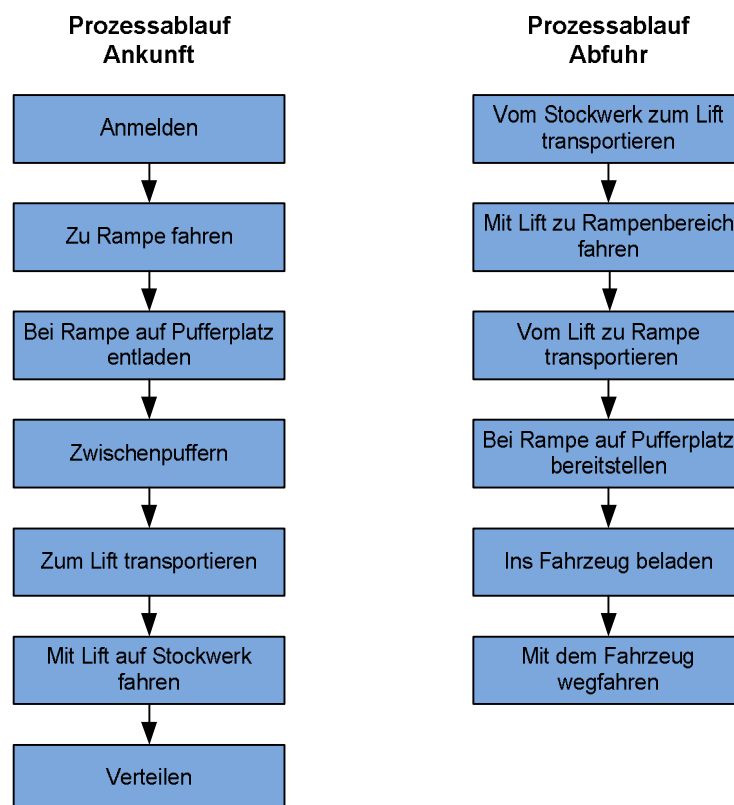
Abbildung 11: Schematische Darstellung des Systems



Informations- und
Materialflüsse

Nach der Problemanalyse wurden die Informations- und Materialflüsse analysiert, die zu betrachtenden Prozesse identifiziert und in einen Prozessablauf gebracht (siehe Abbildung 12).

Abbildung 12: Prozessabläufe



Die einzelnen Prozesse wurden anschliessend genauer beschrieben und die zu treffenden Entscheidungen definiert. Dies ist hier am Beispiel des Prozesses „Anmelden“ dargestellt (siehe Abbildung 13).

Abbildung 13: Beschreibung des Prozesses „Anmelden“

Prozess „Anmelden“	
Input:	Fahrzeug-Nr: x Fahrzeug-Typ: klein, gross Transporttyp: B
Entscheide:	1. Warten bis eine Rampe frei 2. Bei mehreren freien Rampen beste bestimmen 3. Rampe reservieren
Output:	Nr. der anzufahrenden Rampe Anzahl wartende Fahrzeuge im Zeitverlauf

Aus den einzelnen Prozessbeschrieben können auch die Input- und Outputdaten hergeleitet werden. Tabelle 7 zeigt eine Übersicht dazu.

Tabelle 7: Input und Outputdaten

Gruppe von Parametern	Parameter	Einheit
Inputdaten		
An- und Ablieferungsbereich	Auslagerzeit der TE aus dem Fahrzeug	Minuten
	Einlagerzeit der TE in das Fahrzeug	Minuten
	Bereitstellzeit der TE am Pufferplatz (Zeit, welche die TE auf dem Pufferplatz steht, bis sie abgeholt wird)	Minuten
	Vorlaufzeit der TE (Zeit, welche die TE auf dem Pufferplatz steht, bevor sie von einem Fahrzeug abgeholt und verladen wird)	Minuten
	Anzahl Pufferplätze pro Rampe	Anzahl
	Lagerkapazität	Anzahl TE
	Anzahl Personal, die bei dem Warenumschlag helfen	Anzahl
	Geschwindigkeit Personal	Meter/Minute
	Kapazität der Lifte	Anzahl TE
	Fahrzeit der Lift zwischen zwei Geschossen	Minuten
	Verfügbarkeit der Lifte	%
	weitere	...
An- und Ablieferungen	Fahrzeug-Typ (gross, klein)	Typ
	Transport-Typ (A, B, C, usw.)	Typ
	Ankunftszeit des Fahrzeugs (z.B. 7 Uhr)	Uhrzeit
	Anzahl der TE, die entweder zu Rampe 1 oder zu Rampe 2 fahren sollen	Anzahl TE
	Anzahl der TE, die mit dem bestimmten Fahrzeug abgeliefert sein sollen	Anzahl TE
Verteilung der TE auf die Stockwerke	Wahrscheinlichkeit, mit welcher die TE auf die verschiedenen Stockwerke angeliefert werden soll (pro Transporttyp und Stockwerk definiert)	%
Outputdaten		
	Anzahl Pufferplätzen im Bereich der Rampen und des Lagers über die Zeit	Anzahl Plätze
	Anzahl wartenden Fahrzeuge bei „Anmeldung“ über die Zeit	Anzahl Fahrzeuge
	Anzahl penderter Anforderungen der Lifte über die Zeit	Anzahl

Datenbeschaffung
und -aufbereitung

Die notwendige Datenerhebung und –aufbereitung wurde gemäss erarbeiteter Datenstruktur durch den Auftraggeber durchgeführt.

Die Datenaufbereitung hat gezeigt, dass nicht alle Daten vorhanden sind, bspw. Anzahl der Transporteinheiten (TE), welche auf die Stockwerke verteilt werden sollen. Deswegen wurde vorgeschlagen, diese Situation durch die Einschätzung der Wahrscheinlichkeitsverteilungen der angelieferten Mengen auf die Stockwerke zu beheben. Für jeden Transporttyp wurde festgelegt, mit welcher Wahrscheinlichkeit (in %) die TE auf die verschiedenen Stockwerke angeliefert werden soll.

Wahl des Simulators

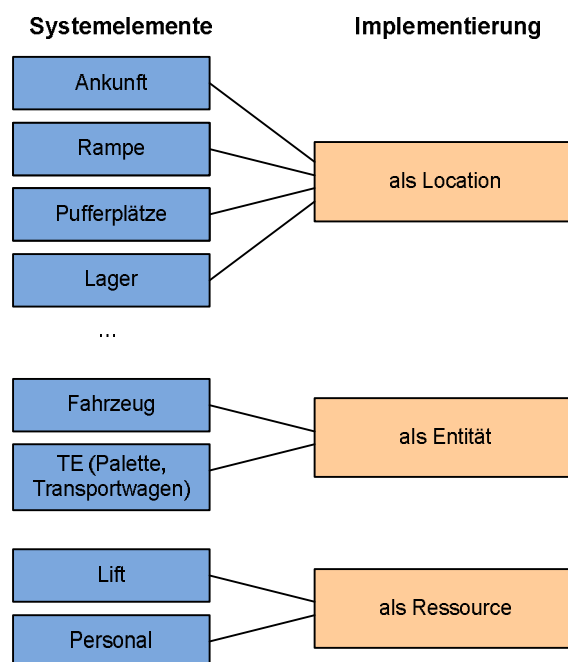
Als Simulationstool wurde ProModel ausgewählt. Gründe dafür waren:

- Die Fragestellung hat einen mittleren Komplexitätsgrad. ProModel erlaubt einen effizienten Modellaufbau für Fragestellungen mit diesem Komplexitätsgrad.
- Langjährige Erfahrung des Modellbaus mit diesem Simulator.

Steuerungskonzeption

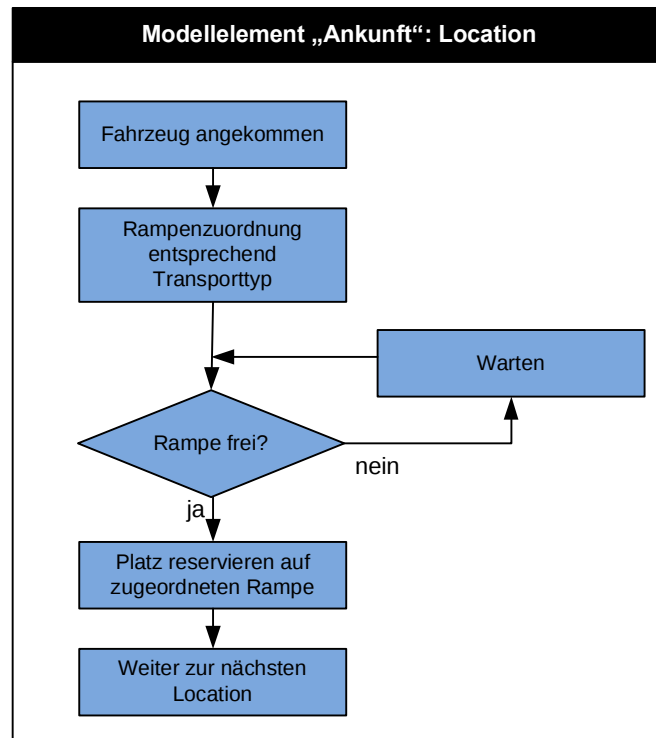
Aufbauend auf dem Konzept der Simulationsengine wurde das Steuerungskonzept erstellt. Es musste dabei entschieden werden, mit welchen Bausteinen von ProModel die einzelnen Systemelemente abgebildet werden (siehe Abbildung 14).

Abbildung 14: Modellelemente



In ProModel werden die Modellelemente über Programmcode benutzer-spezifisch gesteuert. Steuerungen die nicht trivial sind, sollten detailliert beschrieben werden. Dies kann z.B. im Rahmen von Ablaufdiagrammen erfolgen. In Abbildung 15 ist dies am Beispiel des Anmeldens bei der Ankunft dargestellt.

Abbildung 15: Modellelement „Ankunft“



Modellbildung

Die Modellbildung wurde in ProModel basierend auf der Datenstruktur und dem Steuerungskonzept durchgeführt. Die Modellbildung erfolgte in den folgenden Schritten:

1. Simulationslayout als CAD-Datei in ProModel importieren
2. Modellelemente in ProModel definieren (noch ohne Logik)
3. Übernahme der Inputdaten implementieren (von Excel nach ProModel)
4. Materialfluss von Quelle her ausgehend schrittweise einbauen und jeweilige Steuerungen implementieren. Die Senke verschiebt sich dadurch immer weiter nach hinten im Prozessablauf und das Modell ist zu jedem Zeitpunkt lauffähig und testbar.
5. Erfassen der Outputdaten und benutzerfreundliche Darstellung in Excel

Verifikation / Validation

Die Verifikation und Validierung wurde im Modell unter anderem folgendermassen durchgeführt:

- Regelmässige Verifikation und Validierung der neu eingebauten Funktionalität während dem Modellbau
- Quantitative Überprüfung der ein- und ausgehenden Mengen
- Verifikation, dass die Änderung eines Parameters auch den erwarteten Einfluss auf das Resultat der Simulation hat
- Kritische Überprüfung der Resultate der Simulation, insbesondere der Diagramme.

Experimente

Im Rahmen der Simulationsstudie wurden drei Szenarien betrachtet, welche durch den Auftraggeber definiert wurden:

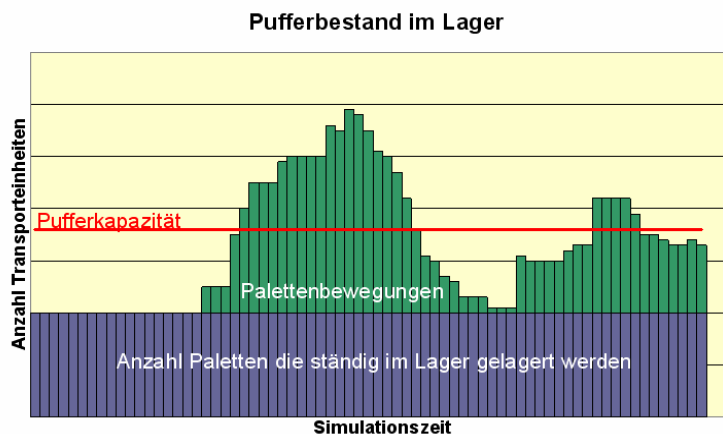
- Szenario 1: Normalbetrieb (alle Lifte sind 80% verfügbar, 60% aller Anlieferungen und Abtransporte finden am Morgen innerhalb von drei Stunden statt, die Waren können im Lager zwischengelagert werden)
- Szenario 2: Basiert auf Annahmen und Parameter von Szenario 1, aber ein Warenlift ist ausser Betrieb
- Szenario 3: Basiert auf Annahmen und Parameter von Szenario 1, aber alle Fahrzeuge kommen am Morgen innerhalb drei Stunden an.

Die Rechenzeit eines Szenarios beträgt bei ausgeschalteter Animation wenige Sekunden und bei eingeschalteter Animation ca. eine Minute. Die Ablaufgeschwindigkeit der Simulation kann im Modell reduziert werden, so dass interessante Situationen in Zeitlupe studiert werden können.

Auswertungen

Die oben definierten Outputdaten wurden während des Simulationsablaufs alle 15 Minuten (Simulationszeit) erfasst und als Tabellen und Diagramme aufbereitet. In der Abbildung 16 ist dieser Schritt am Beispiel des Pufferbestandes im Lager für das Szenario 1 aufgezeigt.

Abbildung 16: Pufferbestand im Lager



Weitere Diagramme wurden z.B. für folgende Auswertungen erstellt:

- Anzahl wartende Fahrzeuge über die Simulationszeit
- Pufferbestände an den Rampen und im Lager (Anzahl Transporteinheiten über die Simulationszeit)
- Max. pendente Anforderungen der Lifte (Anzahl pendenter Anforderungen des Liftes über die Simulationszeit)

Rückkoppelungen

In der ersten Phase des Projekts wurde durch den Auftraggeber kein Lager vorgesehen. Die Ergebnisse zeigten, dass bei den Pufferplätzen sehr grosse Engpässe entstehen. Diese Situation sollte verbessert werden. Deshalb schlug der Auftraggeber vor, in einer zweiten Phase ein Lager neben dem Rampenbereich einzubauen und die notwendige Lagergrösse zu bestimmen. Dies hatte die folgenden Tätigkeiten zur Folge:

- Definieren der Inputdaten für das Lager
- Definieren der Steuerungsstrategien für den Warenumschlag

- Einbauen der Änderungen im Modell (Simulationslayout aktualisieren, Lager und Steuerungen einbauen)
- Verifikation und Validierung der Änderungen
- usw.

Schritte 3 - 8 im Simulationsablaufschemata mussten somit nochmals durchgeführt werden.

Dokumentation

Die ganze Dokumentation, welche zu dem Projekt gehört, wurde in den Schlussbericht eingebaut. Der Schlussbericht enthält:

- Ziele des Projekts
- Datengrundlage
- Simulationskonzept und Modellbeschreibung
- Experimente und Resultate
- Erkenntnisse aus der Simulation

Zum Schluss wurde eine Präsentation vorbereitet, welche alle wichtigen Resultate und Empfehlungen abbildet.

Ergebnisse

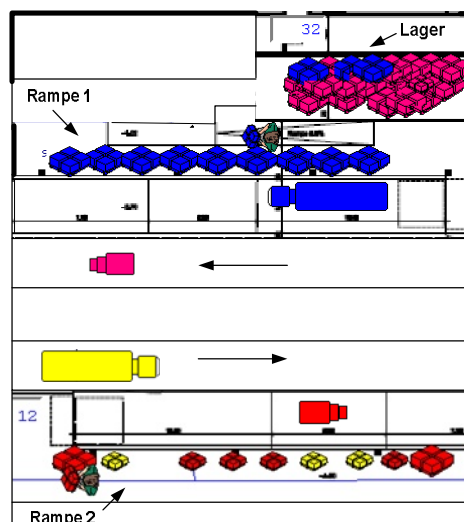
Die Resultate der Simulation haben gezeigt, dass die Einfahrt der Fahrzeuge und die Lifte keine Engpässe darstellen. Je nach Szenario treten hingegen Engpässe bei den Pufferkapazitäten an der Rampe bzw. im Lager auf (siehe Tabelle 8).

Tabelle 8: Zielgrösse

Zielgrösse	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3
Max. Pufferbestand Rampe 1	OK	OK	OK
Max. Pufferbestand Rampe 2	OK	OK	Nicht genug
Max. Pufferbestand Lager	Nicht genug	Nicht genug	Nicht genug

Die Situationen im Lager und bei den Rampen während der Simulation sind in der Abbildung 17 aufgezeigt.

Abbildung 17: Pufferbestand im Lager und auf den Rampen während der Simulation



Erfahrungen mit der
Simulation

Die Simulation hat gezeigt, dass die geplanten Pufferplatzkapazitäten knapp sind, bzw. erhöht werden sollten. Die Kapazitäten der Warenlifte waren keine Engpässe.

Die Simulation zeigte, dass ohne Lager grosse Engpässe im Bereich der Pufferplätze auftreten. Es wurde vorgeschlagen ein Lager einzuplanen, wobei die notwendigen Kapazitäten in der Simulation dynamisch hergeleitet wurden. Unter anderem wurde vorgeschlagen mehr Personal für die Bereiche des Warenumschlages zu planen um Umschlagszeiten der Transporteinheiten zu reduzieren und die Pufferbereiche im Bereich der Warenannahme zu entlasten.

Die Realisierung dieses Projektes dauerte ca. einen Monat. Die Simulation wurde mit dem Simulator „ProModel“ umgesetzt. Der Simulator ist einfach und trotzdem vielfältig einsetzbar und hervorragend geeignet für kleinere und mittlere Projekte. Die Stärken liegen vor allem im effizienten Modellbau, den einfachen, benutzerspezifischen Auswertungsmöglichkeiten und Exportfunktionen nach Excel.

5.2 Simulation Reservationssystem Alpenquerender Güterverkehr

Problemanalyse

Mit dem Reservationssystem für den Alpenquerenden Güterverkehr soll dem in- und ausländischen Transportgewerbe die Möglichkeit geboten werden, kostenlos eine Durchfahrt für einen Alpenübergang zu buchen. Es handelt sich um eine strassenseitige Bewirtschaftungsmassnahme, die einen Lösungsansatz zum Kapazitätsproblem bei einer weiteren Verkehrszunahme aufzeigt. Das Reservationssystem zielt auf eine bessere Verteilung des Verkehrs auf der Strasse und eine Glättung der Verkehrsspitzen. Wartezeiten und Staus können so reduziert werden. Zugleich ist das Reservationssystem eine neue Dienstleistung für das Strassentransportgewerbe. Es ermöglicht, lange Wartezeiten zu vermeiden und erhöht die Planbarkeit der Strassentransporte. Die vorgesehene Verknüpfung mit anderen Informationssystemen vereinfacht die Planung einer optimalen Routenwahl auf Strasse oder Schiene.

Für das Reservationssystem gelten folgende Vorgaben:

- Das Reservationssystem baut auf dem Tropfenzählersystem (TZS)² auf.
- Die Berechnung der Anzahl der möglichen Lastwagen-Durchfahrten ergibt sich aus der gesamten Durchfahrtskapazität abzüglich der für den Kurzstreckengüterverkehr von und nach der Südschweiz und den Personenwagenverkehr beanspruchten Durchfahrtskapazität
- Das Reservationssystem setzt die Benützung von Warteräumen voraus. Die Warteräume sind Bestandteile der Schwerverkehrszentren (SVZ).

Mit der Simulation sollten fundierte Aussagen über die Auswirkungen des

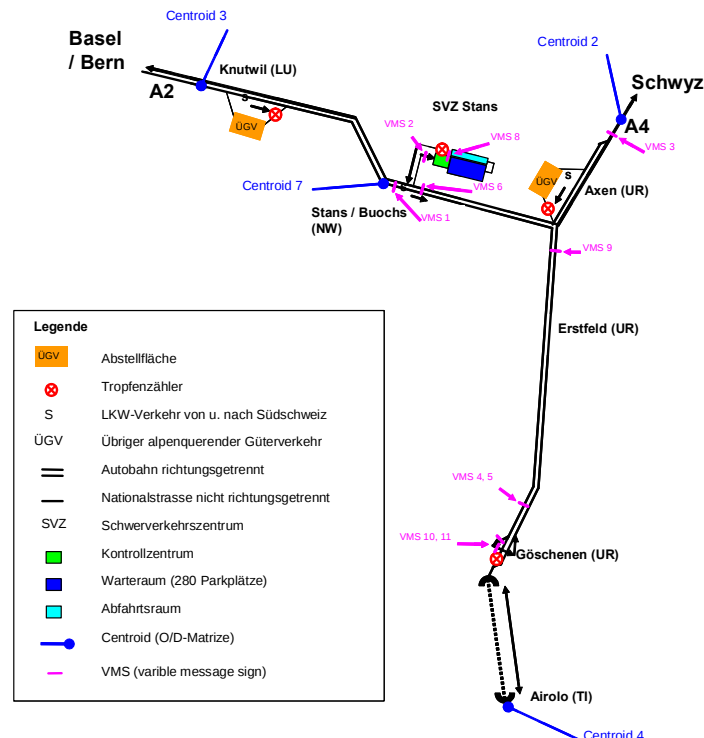
² Am Gotthard und am San Bernardino sind als Folge des Gotthard-Tunnelbrands von 2001 aus Sicherheitsgründen die Frequenzen für den Transitgüterverkehr begrenzt worden. Der Bund und die beteiligten Kantone bewirtschaften die Strassenkapazität mittels Tropfenzählersystem: Am Gotthard dürfen pro Stunde maximal 1000 PW-Einheiten in einer Richtung den Tunnel befahren; ein LKW entspricht drei PW-Einheiten.

Reservationssystem bei verschiedenen Verkehrsmengen sowie über die Praktikabilität des Systems gemacht werden.

Untersuchungen waren für folgende drei Bereiche vorgesehen:

- Unterschiedliches Fahrverhalten
 - Unterschiedliches Fahrerverhalten
 - Variabilität Ankunft in Warteraum
 - Variabilität Abfahrt nach Nummernaufruf
 - Anteil „Fehlfahrten“
 - Etc.
- Unterschiedliche Betriebsregeln
 - Mit/ohne Einbezug S-Verkehr³
 - Länge Reservations-Time Slots
 - Anteil reservierbare Kapazität
 - Obligatorische Reservation
 - Etc.
- Unterschiedliches Verkehrsaufkommen / Spezialtage
 - PW Normaltag / Spitzentag
 - LKW Normaltag / Spitzentag
 - Phase Rot
 - Unfall / Panne mit Tunnelsperrung
 - Etc.

Abbildung 18: Systemübersicht Reservationssystem



³ Die mit einem "S" gekennzeichneten LKW des Binnengüterverkehrs werden bei normalen Verkehrsverhältnissen im Tropfenzählersystem privilegiert behandelt.

Die Simulation beschränkte sich auf den Güterverkehr, der parallel laufende MIV wurde nicht integriert, war aber Bestimmungsgrösse für den zulässigen LW-Fluss durch den Gotthardtunnel.

Informations- und
Materialflüsse

Die folgende Abbildung zeigt schematisch das Verfahren für die Zuteilung der Abfahrtsnummern, wie es in der Simulation hinterlegt wird.

Abbildung 19: Verfahren der Zuteilung der Abfahrtsnummern

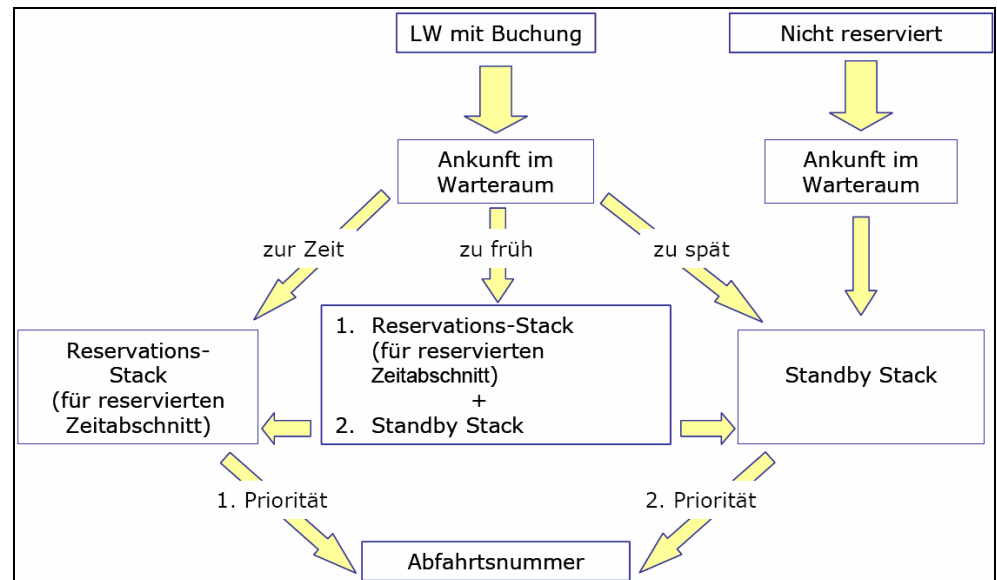


Tabelle 9: In-/Output Simulation Reservationssystem

Parameter	Einheit
INPUTDATEN	
Verkehrsaufkommen PW	PW/h, PW/Tag
Verkehrsaufkommen LKW	LW/h, LW/Tag
Anteil Reservierter Güterverkehr	%
Ankunftsverteilung Nahverkehr	%
Ankunftsverteilung Fernverkehr	%
Wartezeiten	Minuten
Steuerung Abflüsse	LKW/h
OUTPUTDATEN	
Wartezeiten	Minuten
Zeitgewinne	Minuten
Häufigkeit nach Wartezeitklassen	Anzahl Tage
Auslastung Abstellflächen	%

Datenbeschaffung
und -aufbereitung

Als Datengrundlage dienten die Verkehrszählungen aus dem Jahr 2000 (noch unregelt bzw. kein Tropfenzählersystem) an der Zählstelle in Göschenen.

Zusätzlich wurde an einem Tag das Verkehrsaufkommen detailliert erfasst (als

Grundlage für Tagesganglinien).

Aufgrund der geringen Menge an LKW's am Zähltag ergaben sich kaum Behinderungen der PW's; für den Standardtag wurde darum die PW-Menge erhöht.

Wahl des Simulators

Als Simulationstool wurde AIMSUN ausgewählt. Gründe dafür waren:

- Gute Eignung für die Abbildung von Verkehrsmanagement-Massnahmen
- Gute Erfahrungen und Ergebnisse mit ähnlichen Fragestellungen
- Langjähriger Einsatz und Erfahrung mit dem Simulationstool

Steuerungskonzeption

AIMSUN ist ein spezielles Simulationstool für Verkehrssimulationen, d.h. es ist nicht vollkommen frei programmierbar.

Für die Simulationen wurden für einen Standardtag folgende Parameter definiert:

- Verkehrsmengen (PW und LKW)
- Reservierte Fahrzeuge:
 - Anteil Reservierter ÜGV
 - Ankunftsverteilung Nah- und Fernverkehr
- Wartezeiten
 - Wartezeiten Ankunft Warteraum bis Nummernausgabe
 - Wartezeiten Nummernaufruf bis Abfahrt
- Steuerung Abflüsse bei
 - Dosierstelle Göschenen
 - Warteraum Axen
 - Schwerverkehrszentrum SVZ Stans
- Betriebsregeln:
 - Aufruf-Kadenz Abfahrtsnummer -> Metering Abfahrtsraum
 - Kapazität SVZ Stans
 - Einfahrt Warteraum SVZ Stans (aktiviert/deaktiviert)
 - Einbezug S-Verkehr
 - Phase Rot⁴
 - Betriebsunterbruch Gotthardtunnel
 - Abstandsverhalten im Gotthardtunnel
 - Enforcement-Center (Anzahl Plätze, Verweildauer etc.)
 - Überholverbote auf der Autobahn

Modellbildung

Aufgrund der in AIMSUN vorgegebenen Modellkomponenten wurde das System modelliert.

Da AIMSUN speziell für Verkehrssimulationen ausgelegt ist, sind verkehrsspezifische Komponenten wie Fahrzeugtypen oder Strassenelemente bereits definiert und benötigen keine spezielle Programmierung. Ebenfalls sind

⁴ Bei ausserordentlichen Verkehrssituationen, etwa bei einer Überlastung der Zollstationen in Chiasso oder einer Sperrung der Gotthard-Achse kommt ein weiteres Mittel der Kapazitätsbewirtschaftung zum Tragen: die Phase Rot. Das bedeutet, dass für den Schwerverkehr die Gotthard-Route und die San-Bernardino-Route geschlossen werden.

	verkehrsspezifische Algorithmen bereits vordefiniert, die jedoch bei Bedarf angepasst werden können.
Verifikation / Validation	Die Verifikation und Validierung wurde im Modell unter anderem folgendermassen durchgeführt: • Verifikation, dass die Änderung eines Parameters auch den erwarteten Einfluss auf das Resultat der Simulation hat • Kritische Überprüfung der Resultate der Simulation
Experimente	Im Rahmen der Simulationsstudie wurden drei Szenarien untersucht: <i>Untersuchungen zu unterschiedlichem Fahrverhalten:</i> • Variabilität Ankunft reservierter Fahrzeuge • Variabilität Abfahrt nach Nummernaufruf • Variabilität Anteil Fehlfahrten zu beantwortende Fragen: • Führen viele späte Ankünfte zu einem Kollaps des Systems? • Hat die Ankunftsverteilung einen wesentlichen Einfluss auf die Wartezeiten für reservierte/nicht reservierte Fahrzeuge? • Führen langsame Abfahrten zu einem nicht mehr kontrollierbaren instabilen Abfluss aus dem Warteraum? • Führen grosse Anteile Fehlfahrten zu unzumutbaren Behinderungen am Kontrollpunkt Göschenen? • Wie beeinflusst der Anteil Fehlfahrten die Gesamtreisezeit der (korrekt fahrenden) reservierten/nicht reservierten Lastwagen? <i>Untersuchungen zu unterschiedlichen Betriebsregeln:</i> • Einbezug S-Verkehr • Länge der Time-Slots • Beschränkung der Reservationsmenge • Obligatorische Reservierung zu beantwortende Fragen: • Wie gross ist die zusätzliche Wartezeit für den S-Verkehr? • Wie viel reduziert sich die Wartezeit für den Nah- und Fernverkehr? • Wie sind die Auswirkungen auf den nicht reservierten ÜGV? • Ergeben sich Änderungen der Wartezeiten für die verschiedenen Benutzerkategorien? • Gibt es Abhängigkeiten der idealen Time Slot Dauer von der Ankunftsverteilung? <i>Untersuchungen zu unterschiedlichem Verkehrsaufkommen:</i> • PW-Spitzentag

- LKW-Spitzentag

zu beantwortende Fragen:

- Gibt es Auswirkungen auf die Wartezeiten der reservierten LKW?
- Wie stark nehmen die Wartezeiten der nicht reservierten LKW zu?
- Wird die Systemleistungsfähigkeit durch das Reservationssystem beeinflusst?

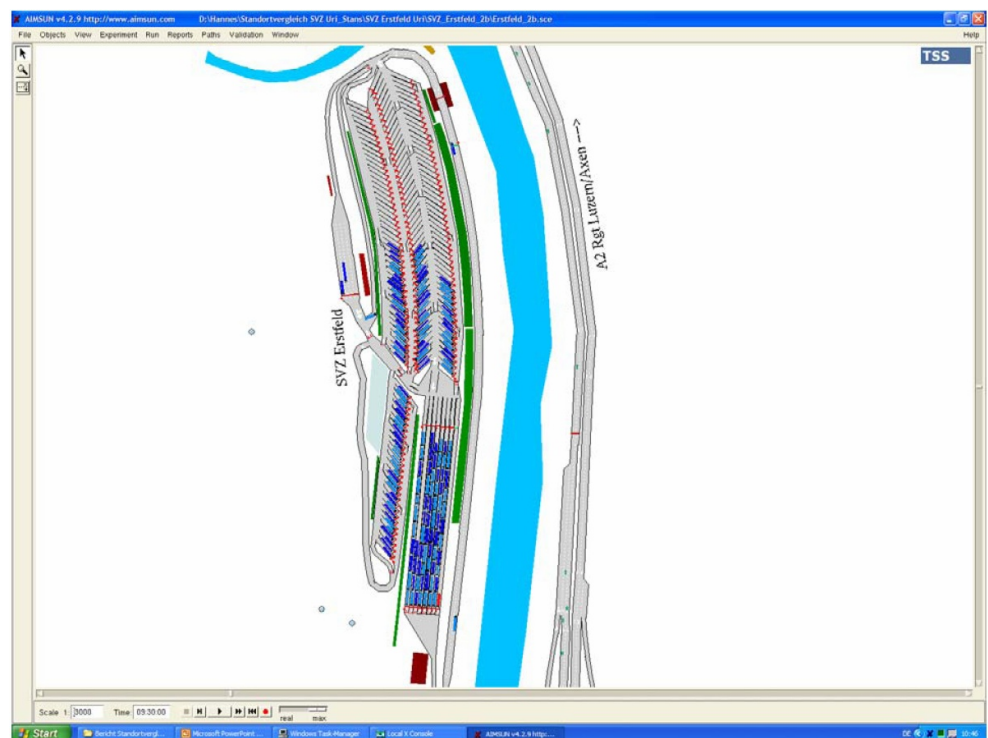
Auswertungen

Für die definierten Szenarios bzw. Fragestellungen wurden folgende Auswertungen vorgenommen:

- Wartezeiten Tropfenzählersystem ohne Reservationssystem
- Wartezeiten Tropfenzählersystem mit Reservationssystem
- Zeitgewinne/-verluste mit Reservationssystem
- Häufigkeit der Zeitgewinne
- Anzahl Tage mit Phase Rot (mit und ohne Reservationssystem)

Beispiele:

Abbildung 20: Ausschnitt SVZ Erstfeld, Zustand des Systems bei reduzierter Tropfenzählerkapazität



Die Abbildung zeigt die Visualisierung der Auslastung der Abstellplätze.

Tabelle 10: Vergleich der Zeitgewinne und –verluste mit und ohne Reservationssystem

	Spitzenwoche	Jahresdurchschnitt		
		Verkehr 2000	Verkehr 2000 + 30%	nur PW Zunahme 30%
	Minuten	Minuten	Minuten	Minuten
Zeitgewinn für reservierte Fahrzeuge gegenüber Regime o. Reservationssystem	170	31	132	41
Zeitverlust für nicht reservierte Fahrzeuge gegenüber Regime ohne Reservationssystem	25	6	21	10

Obige Tabelle zeigt die Zeitgewinne bzw. –verluste mit und ohne Reservationssystem für verschiedene Verkehrszustände (Spitzenwoche, Jahresdurchschnitt).

Tabelle 11: Häufigkeit der Zeitgewinne

Anzahl Tage (ohne Sonn- und Feiertage) mit Wartezeiten bzw. Zeitgewinnen von	Verkehr 2000				PW Zunahme 30%			
	Mit Reservationssystem Wartezeit ÜGV Tage/Jahr		Vergleich zu ohne Reservationssystem Zeit-gewinn RV Zeitverlust ÜGV Tage/Jahr		Mit Reservationssystem Wartezeit ÜGV Tage/Jahr		Vergleich zu ohne Reservationssystem Zeit-gewinn RV Zeitverlust ÜGV Tage/Jahr	
0 – 30 Minuten	252	274	261	286	222	270	238	272
30 - 60 Minuten	1	8	2	2	7	9	8	8
60-120 Minuten	10	24	11	18	17	27	24	26
> 2 Std.	43	0	32	0	60	0	36	0

In der obigen Tabelle sind die Häufigkeiten der Zeitgewinne nach Zeitintervallen dargestellt.

Dokumentation

Die Resultate der Simulation wurden in den Bericht zum Reservationssystem integriert. Detaillierte Beschreibungen der Simulation und ihrer Resultate sind in eigenen Fachberichten zu finden.

Ergebnisse

Die Modelluntersuchungen mit dem Verkehrsflussmodell lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Bereits bei Verkehrsmengen des Jahres 2000 führt das Reservationssystem an Tagen mit Verkehrsüberlastungen für die reservierten Fahrzeuge zu einem Zeitgewinn von knapp 3 Stunden. Im Jahresdurchschnitt beträgt der Zeitgewinn jedoch lediglich 30 Minuten. Nur an rund 40 Tagen pro Jahr bringt das Reservationssystem den reservierten Fahrzeugen einen Vorteil von über 2 Stunden.
- Die Zeitgewinne nehmen mit steigendem Wachstum der PW- und LW-Mengen zu. Sie betragen an mehr als der Hälfte aller Werktage über 2 Stunden bei einer Zunahme des Verkehrs von 30%.

- Wenn das Wachstum auf den PW-Verkehr beschränkt ist, ändern sich die LW-Wartezeiten nur in geringem Masse und der Nutzen des Reservationssystems ist nicht merklich höher als bei den Verkehrsmengen des Jahres 2000.
- Die Phase Rot wird durch das Reservationssystem häufiger beansprucht als mit dem Regime ohne Reservationssystem. Im Gegenzug werden die vorgelagerten Abstellflächen seltener beansprucht und deren Betrieb ist von kürzerer Dauer. Die Betriebszeit der vorgelagerten Abstellflächen wird um einen Drittel vermindert.
- Die Zeitgewinne gehen nur zum Teil zu Lasten der Fahrzeuge ohne Reservation und die entsprechenden Zeitverluste sind gering. Der grössere Teil der Zeitgewinne entsteht durch die seltenere und kürzere Inanspruchnahme der vorgelagerten Abstellflächen infolge Verlängerung der Phase Rot.

Die Simulationen zeigen, dass das Reservationssystem für Fahrzeuge mit einer Reservation zu einer Reduktion von Wartezeiten und somit zu einer besseren Planbarkeit der Fahrten führen kann. Auf der Basis der Verkehrsmengen des Jahres 2000 sind diese Vorteile allerdings gering. Dies insbesondere auch deshalb, weil nur relativ wenig Tage mit wirklich grossen Verkehrsaufkommen (Spitzenwochen) bestehen. Bei steigenden Verkehrsmengen nimmt die Anzahl der kritischen Tage zu. Somit steigen auch der Nutzen und das Potenzial eines Reservationssystems.

Mit dem Reservationssystem wird neben der Phase Rot ein zweites Instrument zur Verkehrslenkung geschaffen. Das Reservationssystem kann zur Vermeidung von Tagen mit Überlastungen beim SVZ Erstfeld und zur Vermeidung von Tagen mit Übernächter-Überhang dienen und somit den Tropfenzähler sinnvoll ergänzen.

Erfahrungen mit der Simulation

Die Realisierung des Projektes dauerte mehrere Monate. Die Programmierfähigkeit des Simulationstools erlaubte die Abbildung aller möglicher Zustände und Szenarien. Mit AIMSUN konnten die gewünschten Resultate mittels Simulation erzeugt werden.

AIMSUN war für die gegebene Fragestellung ein geeignetes Simulationstool. Die Erstellung von 2D- und 3D-Videos konnte einfach realisiert werden.

Die Zusammenarbeit mit dem Entwickler des Simulationstools (Transport Simulation Systems TSS) war gut.

6 Weiterführende Literatur

- Adam D. (1996): Planung und Entscheidung. Modelle - Ziele - Methoden. Gabler Verlag, Wiesbaden.
- Ammoser H., Hoppe M. (2006): Glossar Verkehrswesen und Verkehrswissenschaften, erschienen in der Reihe Diskussionsbeiträge aus dem Institut für Wirtschaft und Verkehr, Dresden, ISSN 1433-626x
- Arnold D., Isermann H., Kuhn A., Tempelmeier H. (2004): Handbuch Logistik, 2. Auflage, Springer - Verlag, Berlin.
- Ballou R.H. (2004): Business Logistics / Supply Chain Management. Planning, Organizing, and Controlling the Supply Chain. 5. Aufl., Upper Saddle River, New York.
- Banks J. (1991): Selectiong Simulation Software. In Proceedings of the 1991 Winter Simulation Conference, ed. B.L. Nelson, W.D: Kelton, G.M. Clark, p. 15 – 20.
- Banks J. (1998): Handbook of Simulation: Principles, Methodology, Advances, Applications, and Practice. New York, J.Wiley & sons: Engineering & Management Press.
- Biederbick C. (2006): Simulation 2006. Script. Wirtschaftsinformatik 4 – Decision Support & OR Lab.
- Bousonville T., Hans C., Schumacher J. (1999): Simulation und Visualisierung von Zulieferketten und deren Übertragbarkeit auf Entsorgungslogistik. Beiträge der 10. Konferenz „Simulation und Visualisierung“, Magdeburg, S. 315-328.
- Bullinger H.-J. (1994): Planung der Materialbereitstellung in der Montage. Teubner, Stuttgart.
- Cellier F.E. (1991): Continuous system modelling. Springer-Verlag, New York.
- Davidsson P., Henesey L., Ramstedt L., Törnquist J., Wernstedt F. (2005): An analysis of agent-based approaches to transport logistics. Transportation Research Part C 13 (2005), p. 255 – 271.
- Delfmann W. (1999): Industrielle Distributionslogistik, in: Weber, J., Baumgarten, H. (Hrsg.): Handbuch Logistik: Management von Material- und Warenflussprozessen, Schäffer-Poeschel, Verlag Stuttgart, S.181–201.
- Duinkerken M.B., Lodewijks G., Ottjes J.A., (2006): Comparison of routing strategies for AGV systems using simulation. Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference, L. F. Perrone, F. P. Wieland, J. Liu, B. G. Lawson, D. M. Nicol, and R. M. Fujimoto, eds., p.1525-1530.
- EN 14943 (2005): Transportdienstleistungen – Logistik - Glossar; Deutsche Fassung EN 14943:2005
- Graudina V., Grundspenkis J. (2005): Technologies and Multi-Agent System Architectures for Transportation and Logistics Support: An Overview. Proceedings of International Conference on Computer Systems and Technologies – CompSysTech'2005, Technical University, Varna, Bulgaria, p. IIIA.6-1 – IIIA.6-6.

- Hoffmann T., Schrott L. (2003): Glossary zu Begriffen der Modellierung und Systemanalyse in der Geomorphologie. Geographisches Institut der Universität Bonn.
- HEUREKA (2005). Optimierung in Verkehr und Transport. Publikation der Papers der Konferenz vom März 2005. Karlsruhe.
- Jansen R., Berken M., Kötter U. (1998): Handbuch Entsorgungslogistik. Deutscher Fachverlag.
- Jünemann, R., Schmidt, T. (1999): Materialflusssysteme. 2. Aufl., Springer, Berlin u.a.
- Klügl F. (2001): Multiagentensimulation . Konzepte, Werkzeuge, Anwendung (Agententechnologie). Addison-Wesley Verlag, 1. Auflage.
- Lee B.K., Seo J.H., Park S.O., Jung B.J., Kim K.H. (2006): A simulation study for designing a rail terminal in a container port. Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference, L. F. Perrone, F. P. Wieland, J. Liu, B. G. Lawson, D. M. Nicol, and R. M. Fujimoto, eds., p.1388-1397.
- Lieberman E., Rathi A. (ohne Datum). Traffic Simulation KLD Associates. New York
- Matschke I. (2005): Untersuchung der verkehrlichen Auswirkungen dynamischer Reisezeitinformation mittels mikroskopischer Simulation. Workshop "Evaluierungsmethoden verkehrstelematischer Maßnahmen" des Instituts für Straßen- und Verkehrswesen der TU Graz, 25./ 26.April 2005, Graz, Österreich.
- Motta M., Riha I., Weidt S. (2004): Simulation eines Regionallagerkonzeptes. Technical Report 03032, Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik, Dortmund.
- Ni D. (2006): A framework for new generation transportation simulation. Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference, L. F. Perrone, F. P. Wieland, J. Liu, B. G. Lawson, D. M. Nicol, and R. M. Fujimoto, eds., p. 1508–1514.
- Noche W., Wenzel S. (1991): Marktspiegel Simulationstechnik in Produktion und Logistik, TÜV Verlag, Reinland, Köln.
- Pawlaszczyk D. (2006): Scalable multi agent based simulation – considering efficient simulation of transport logistics networks. In Tagungsband zur 12.Fachtagung „Simulation in Produktion und Logistik 2006“, S. Wenzel (Hrsg.)
- Pursula, Matti (1999): Simulation of Traffic Systems – an overview. Journal of Geographic Information and Decision Analysis, vol. 3, pp. 1-8). Helsinki.
- Raffel W.-U. (2001): Simulationstheorie. Freie Universität Berlin.
- Reiners T. (2006): Wirtschaftsinformatik. <http://mlecture.uni-bremen.de/intern/ss2006/fb07/vak-07-g1-03-2/20060703/folien.pdf>
- Schmidt, J. W., Taylor, R. E. (1970): Simulation and Analysis of Industrial Systems, Richard D. Irwin, Homewood, Illinois, 1970.
- Stec M. (2006): Fast creation of realistic and efficient free path network within a simulation model of a shop floor and a supply chain system. Proceedings of the

2006 Winter Simulation Conference, L. F. Perrone, F. P. Wieland, J. Liu, B. G. Lawson, D. M. Nicol, and R. M. Fujimoto, eds., p. 1531-1536.

Tewoldeberhan T.W., Verbaeck A., Valentin E., Bardonnnet G. (2002): An evaluation and selection methodology for discrete-event simulation software. Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference, E. Yücesan, C.-H. Chen, J.L. Snowdon, J.M. Charnes eds., p. 67-75.

VDI-Richtlinie 3633 (1993): Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen – Begriffsdefinitionen. VDI-Richtlinie 3633, Blatt 1, VDI-Gesellschaft Fördertechnik Materialfluss Logistik 2005, Berlin.

VDI-Richtlinie 3633 (2007): Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen: Maschinennahe Simulation. VDI-Richtlinie 3633, Blatt 8, VDI-Gesellschaft Fördertechnik Materialfluss Logistik 2005, Berlin.

Wenzel S. (2007): Modellbildung und Simulation in der Logistik. In: Seminar für Führungskräfte: Operations Research, Modellbildung und Simulation - Ein Schlüssel zur Transformation!, ITIS Institut für Technik intelligenter Systeme e.V. an der Universität der Bundeswehr München.

Wenzel S., Bernhard J., Nickel S., Hietel D., Lavrov A., Deersberg G., Schwarzen-Benning K., Körner H.-J., Appelt W., Hinrichs E. (2002): SILVER, Simulationsbasierte Systeme zur Integration logistischer und verfahrenstechnischer Entscheidungsprozesse, Fraunhofer-Institut, http://silver.itwm.fhg.de/AB1_GesamtBerichtV1.1.pdf

Wortmann D. (2002): Aktueller Stand und Perspektiven der Logistiksimulation. In Pradel, U.-H.; Süssenguth, W. (Hrsg.): Praxishandbuch Logistik, Loseblatt, Grundwerk Köln 2001, Stand Dezember 2002, Kap. 11.15.

<http://www.asim-gi.org>

<http://www.eurosim2007.org> (EUROSIM Congress on Modelling and Simulation)

<http://www.iplnet.ch> (Nationales Kompetenznetz "Integrale Produktion und Logistik" der Fachhochschulen der Schweiz IPLnet)

<http://www.isima.fr/ecosim/simul/simul.html>

<http://www.logistik-lexikon.de>

http://www.simul8.com/support/simulation_links/

<http://www.wintersim.org> (Winter Simulation Konferenz (1995-2006))

<http://www.wintersim.org/prog06.htm> (Winter Simulation Konferenz, Sammlung von Beiträgen, 2006)

7 Wichtige Begriffe

Abholung und Lieferung	Dienstleistung hinsichtlich der Aufnahme von Fracht auf dem Firmengelände des Absenders und die Lieferung zum Firmengelände des Empfängers. (EN 14943, 2005)
Absatzgebiet	Ort, an dem Waren zum Verkauf angeboten werden. (EN 14943, 2005)
Absender	Einzelperson oder Organisation, die die Erstellung eines Konnossements vorbereitet oder veranlasst, das den Transporteur anweist, Waren von einem Standort zu einem anderen zu transportieren. (EN 14943, 2005)
Auslastung	Verhältnis verbrauchten und der verfügbaren Kapazität. (EN 14943, 2005)
Beschaffungslogistik	Gesamtheit der logistischen Aufgaben und Massnahmen zur Vorbereitung und Durchführung des Warenflusses vom Lieferant zum Unternehmen. (www.logistik-lexikon.de)
Container	Spezieller Behälter zur Beförderung von Fracht, verstärkt und stapelbar, der horizontalen oder vertikalen Transport ermöglicht. (nach EN 14943, 2005)
Deterministisches Modell	Die Kausalität deterministischer Modelle wird in Form von Ursache-Wirkungs-Beziehungen ausgedrückt. Das Modellierungsergebnis deterministischer Modelle ist eindeutig durch die Anfangsbedingungen der System- und Inputvariablen definiert. Modellläufe mit gleichem Input führen demnach zu gleichen Modellergebnissen. Es steht im Gegensatz zum stochastischen Modell. (Hoffmann, Schrott, 2003) Modelle, die keine Unsicherheiten enthalten, z.B. Inventarmodelle ohne Berücksichtigung des Sicherheitsbestands. (EN 14943, 2005)
Diskretes Modell	Ist ein Modell, in dem endlich viele Zustandsveränderungen innerhalb eines endlichen Zeitintervalls betrachtet werden. (Banks, 1998)
Distributionslogistik	Gesamtheit der logistischen Aufgaben und Massnahmen zur Vorbereitung und Durchführung des Warenflusses von der letzten Operation bis hin zum Kunden. (www.logistik-lexikon.de)
Dynamisches Modell	Dynamische Modelle sind zeitabhängige Modelle, welche die Reaktion des Systems auf veränderte Umweltbedingungen beschreiben und somit nicht an Gleichgewichtsbedingungen gebunden sind. (Hoffmann, Schrott, 2003)
Empfänger	Im Transportdokument benannte Partie, an die die Waren, das Frachtgut oder die Container geliefert werden. (EN 14943, 2005)
Engpass	Stufe eines Prozesses, die die Leistung einschränkt. (Logistik Glossar EN 14943: 2005)
Entsorgungslogistik	Prozess der Gestaltung, Planung und Steuerung des Rücklaufs und der Wiederverwendung gebrauchter Produkte und Verpackungen zum Einsparen von Ressourcen und zum Schutz der Umwelt. (EN 14943, 2005)
Frachtgut	Zusammenstellung/Menge von Waren (befördert durch ein Transportmittel), die von einem Ort zum anderen transportiert werden. (EN 14943, 2005)
Gut (Güter)	Ist ein Mittel zur Befriedigung menschlicher Bedürfnisse. Güter sind als Verkehrsobjekte bedeutsam im Verkehrswesen, insbes. Sachgüter (z.B. Waren, Produkte, Rohstoffe), Arbeit und Dienstleistungen, sowie immaterielle Realgüter,

	insbes. Information und Energie. (Ammoser, Hoppe, 2006)
Güterverkehr	Ist der Prozess der Ortsveränderung von materiellen Gütern im Sinne einer Verkehrsdienstleistung oder die Kurzbezeichnung für die Gütertransportbranche als speziellen dienstorientierten Verkehrszweig. (Ammoser, Hoppe, 2006)
Hybride Simulation	Ist eine Kombination aus kontinuierlicher und diskreter Simulation. (VDI-Richtlinie 3633, 1993)
Innerbetrieblicher Transport	Transport von Waren innerhalb der Grenzen einer Betriebseinheit. Dies kann z.B. innerhalb der Fabrik, des Lagerhauses, des Orts der Versandvorbereitung usw. oder an anderen Stellen auf dem Betriebsgelände sein. (EN 14943, 2005)
Intralogistik	Umfasst die Organisation, Durchführung und Optimierung der Materialflüsse innerhalb eines Unternehmens. (www.logistik-lexikon.de)
Kapazität	Leistungsfähigkeit einer Ressource innerhalb einer vorgegebenen Zeit, gemessen anhand von Qualität und Menge. (EN 14943, 2005)
Kommissionierung	Zusammenstellen der zu einem Kundenauftrag gehörenden Waren in einem Lager. (EN 14943, 2005)
Kontinuierliches Modell	Ist ein Modell, in dem sich die Werte der Zustandsvariablen innerhalb eines endlichen Zeitintervalls unendlich oft ändern. (Cellier, 1991)
Kran	Hebevorrichtung zum Anheben, Herablassen und Bewegen von Waren in einer oder mehreren horizontalen Richtungen. (EN 14943, 2005)
Ladungseinheit	Ladung, die aus Teilen oder Verpackungen besteht, die durch ein oder mehrere Mittel zusammengehalten und für Umschlag, Transport, Stapeln und Lagern als Einheit in Form gebracht oder ausgestattet werden. (EN 14943, 2005)
Lager	Physischer Ort eines Lagerpunkts. (EN 14943, 2005)
Lagerung	Vorgang, Waren vorrätig oder in geeigneten Räumen zu halten, um die Zeit zwischen der Ankunft und Einsatz zu überbrücken. (EN 14943, 2005)
Lieferkette (Supply Chain)	Ist ein unternehmensübergreifendes, virtuelles Organisationsgebilde (Netzwerk), das als gesamtheitlich zu betrachtendes Leistungssystem spezifische Wirtschaftsgüter für einen definierten Zielmarkt hervorbringt. Weitere Synonyme sind Versorgungskette, logistische Kette, Wertschöpfungskette. (Ballou, 2004)
Lieferzeit	Zeitspanne zwischen Bestellung und Lieferung. (EN 14943, 2005)
Lieferzuverlässigkeit	Über einen bestimmten Zeitraum gemessenes Verhältnis zwischen der Menge an Waren, die innerhalb dieser Zeitspanne zum vom Lieferanten zugesagten Termin geliefert wurde, und der Gesamtmenge an Waren, die für diesen Zeitraum der Lieferung vorgesehen war. (EN 14943, 2005)
Logistik	Planung, Ausführung und Steuerung der Bewegung und der Bereitstellung von Personen und/oder Waren und der unterstützenden Tätigkeiten in Bezug auf diese Bewegung und Bereitstellung innerhalb eines zum Erreichen spezieller Ziele organisierten Systems. (EN 14943, 2005)
Logistiksimulation	Werkzeug zur Beherrschung logistischer Fragestellungen.
Makrologistisches System	Das Verkehrssystem einer Region, einer Volkswirtschaft oder der Weltwirtschaft. Dazu gehören das Verkehrsnetz aus Strassen, Schienen, Luft- und Wasserwegen, sowie als Prozesse der öffentliche und individuelle Güter – und

	Personenverkehr. Mit der entsprechenden Makrologistik befasst sich die Verkehrswissenschaft als Teil der Volkswirtschaftslehre. (Arnold, Isermann, Kuhn, Tempelmeier, 2004)
Mikrologistisches System	Bezieht sich auf das logistische System eines Unternehmens. Dazu gehören alle Transporte, Lagerungsprozesse und Warenumschnitte von einer Unternehmung. Eigentlich sind diese Prozesse aber nur Dienstleistungen für die primären Leistungsprozesse. Weiter können in einem System, welches den Autobahnverkehr darstellen soll, die Fahrzeuge als mikroskopische Elemente betrachtet werden. (Arnold, Isermann, Kuhn, Tempelmeier, 2004)
Modell	Vereinfachte Nachbildung eines geplanten oder existierenden Systems mit seinen Prozessen in einem anderen begrifflichen oder gegenständlichen System, welches sich hinsichtlich der untersuchungsrelevanten Eigenschaften nur innerhalb eines vom Untersuchungsziel abhängigen Toleranzrahmens vom Vorbild unterscheidet. (VDI-Richtlinie 3633, 1993)
Modellierung	Der Begriff der Modellierung ist definiert als der Prozess der Modellgenerierung und/oder Anwendung von Modellen zur Lösung wissenschaftlicher Fragestellungen. (Hoffmann, Schrott, 2003)
Multiagentenmodell	Ist ein Multiagentensystem in einer simulierten Umwelt und virtuellen Zeit, das ein reales Multiagentensystem nachbilden soll. Es besteht damit aus mehreren Agenten. Durch ihr Verhalten und ihre Interaktionen untereinander und mit ihrer Umwelt entstehen Muster und Verhalten auf einer höheren, aggregierten Ebene. Organisationsstrukturen können dabei ebenfalls Bestandteil eines Modells sein. (Klügl, 2001)
Nachfrage	Bedarf an einem bestimmten Produkt/einer bestimmten Produktgruppe oder einem Bestandteil. (EN 14943, 2005)
Produktionslogistik	Gesamtheit der logistischen Aufgaben und Massnahmen bei Vorbereitung und Durchführung des Warenflusses über alle Stufen der Produktion und Leistungserstellung. (www.logistik-lexikon.de)
Prozess	Reihe von miteinander verbundenen Handlungen und/oder Tätigkeiten, die einen bestimmten Eingang (Informationen und/oder Material, Bestandteil, Arbeit, Energie usw.) in einen bestimmten Ausgang (neue Informationen und/oder Produkte) umwandeln. (EN 14943, 2005)
Pünktlichkeit	Mass (in Prozent) der Einhaltung des vom Kunden ursprünglich ausgehandelten gewünschten Liefertermins.
Routenplanung	Festlegung der Route(n), die Menschen, Waren, Materialien und/oder Transportmittel innerhalb und ausserhalb des Unternehmens befolgen müssen. (EN 14943, 2005)
Sendung	Getrennt identifizierbare Zusammenstellung von einer oder mehreren transportierten oder zusammen zu transportierenden Ware(n). (EN 14943, 2005)
Simulation	Nachbildung eines Systems mit seinen dynamischen Prozessen in einem experimentierfähigen Modell, um zu Erkenntnissen zu gelangen, die auf die Wirklichkeit übertragbar sind. (VDI-Richtlinie 3633, 1993)
Simulationslauf	Nachbildung des Verhaltens eines Systems mit einem ablauffähigen Modell über einen bestimmten Zeitraum (Simulationszeit). (Reiners, 2006)

Simulationssystem	Anzahl von Objekten mit definierten Interaktionen, die auf ein logisches Ende hinwirken. (Schmidt, Taylor, 1970)
Simulations-experiment	Gezielte empirische Untersuchung des Verhaltens eines Systems und der darauf ablaufenden Prozesse durch wiederholte Simulationsläufe mit systematischer Variation einer oder mehrerer Modellparameter. (Reiners, 2006)
Simulator	Werkzeug zur Simulation. Unterstützt bei der Abbildung des Modells im Rechner und enthält Komponenten, die bei der Nachbildung des dynamischen Verhaltens eines realen Systems helfen. (Reiners, 2006)
Spediteur	Partei, die im Namen eines Transporteurs oder Empfängers den Transport von Waren einschliesslich der damit verbundenen Dienstleistungen und/oder Formalitäten arrangiert. (EN 14943, 2005)
Spedition	Unternehmen, dass gewerbsmäßig die Besorgung von Gütertransporten durch Frachtführer (z. B. Eisenbahn) oder durch Verfrachter von Seeschiffen für Rechnung eines Anderen (des Versenders) in eigenem Namen übernimmt. (www.logistik-lexikon.de)
Statisches Modell	Ist ein Modell, in dem alle Parameter im Zeitablauf konstant sind. Es betrachtet nur einen einzelnen Zeitpunkt. (Hoffmann, Schrott, 2003)
Steuerung	Regelungen oder Mechanismen, die sicherstellen, dass die Prozesse entsprechend der Planung verlaufen. (EN 14943, 2005)
Stochastisches Modell	Ist ein Modell, in dem mindestens ein Parameter eine Zufallsvariable ist bzw. mindestens eine Eingabefunktion eine Zufallsfunktion ist. Das Modellierungsergebnis stochastischer Modelle ist kein absolut vorhersagbarer Wert, sondern die Wahrscheinlichkeit eines bestimmten Ergebnisses. Mehrere Modellläufe mit gleichem Input führen demnach zu unterschiedlichen Modellergebnissen. Stochastische Modelle unterscheiden sich demnach von den deterministischen Modellen. (Hoffmann, Schrott, 2003)
Stückgut	Im Gegensatz zu vereinheitlichten, in Containern beförderten und Ro-Ro-Frachtgütern herkömmlich verstaute Frachtgüter (konventionelles Frachtgut). (EN 14943, 2005)
Supply Chain Management (Wertschöpfungskettenorganisation)	Umfasst Aktivitäten und Maßnahmen zur Planung, Organisation und Kontrolle der stofflichen, juristischen, kommerziellen und strategischen Beziehungen von in einer Wertschöpfungskette durch Produktions- und Lieferverbindungen miteinander verflochtenen Instanzen (umfasst Unternehmen und Unternehmensbereiche). (Ammoser, Hoppe, 2006)
Systemumgebung	Alle existierenden Faktoren, die eine Änderung im System verursachen können.
Tourenlieferung	Lieferungen von einem einzelnen Transporteur an mehrere Empfänger, die auf dem Weg zu einem endgültigen Zielort ansässig sind. (EN 14943, 2005)
Transport:	Unterstützte Bewegung von Menschen und/oder Gütern. (EN 14943, 2005) Teil des Verkehrs, in dem die Personen und/oder Güter eine Distanz zwischen zwei Orten mit einem Transportmittel überbrücken (Arnold, Isermann, Kuhn, Tempelmeier, 2004).
Transportlogistik	Befasst sich mit reinen Verkehrs- und Transportsystemen zur Beförderung von Waren, Gütern und Objekten. (www.logistik-lexikon.de)

Transportmittel	Besondere Schiffe, Fahrzeuge oder andere Geräte, die zum Transport von Waren oder Personen eingesetzt werden. (EN 14943, 2005)
Transportnetzwerk	Entsteht durch die Anordnung von Knoten (Quellen und Senken von Ladungen) und deren Verknüpfung über Kanten (Netzwerkprozesse). Knoten stellen somit Lagerorte und Kanten Transporte dar.
Umschlag	Handlung, durch die Waren von einem Transportmittel zu einem anderen im Verlauf von einem Transportvorgang umgelagert werden. (EN 14943, 2005)
Umschlagpunkt	Ein Platz, an dem es zum Verkehrsträgerwechsel kommt. (EN 14943, 2005)
Verkehr	Ist die realisierte Ortsveränderung von Personen, Gütern und Nachrichten. (Ammoser, Hoppe, 2006)
Versender	Einzelperson oder Organisation, die ein Konnossemente erstellt, durch die ein Transporteur angewiesen wird, Waren von einem Ort zu einem anderen zu transportieren.

Rapp Trans AG / Institut für Angewandte Simulation

Martin Ruesch

Marcel Burkhard

Philipp Hegi

Tatiana Starostina

Adrian Lötscher