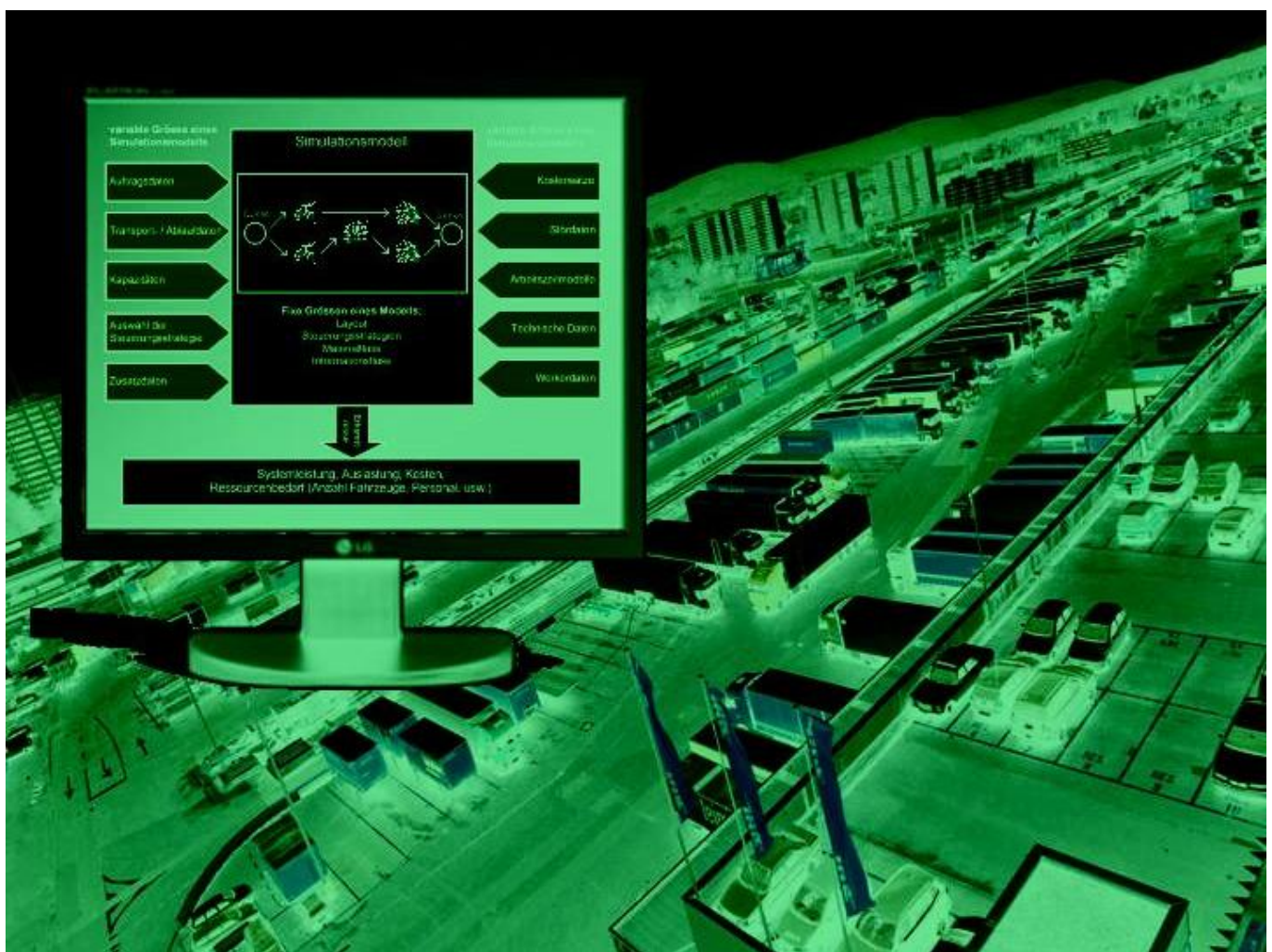


Einsatz von Simulationswerkzeugen in der Güterverkehrs- und Transportplanung



Impressum

Datum

12.10.2010

Version

1.6

Grundlagen

SVI 2004/088

Einsatz von Simulationswerkzeugen in der Güterverkehrs- und Transportplanung

Rapp Trans AG, Zürich

Martin Ruesch, Philipp Hegi

ZHAW Zürcher Hochschulen für Angewandte Wissenschaften

IAS Institut für Angewandte Simulation

Marcel Burkhard, Tatiana Starostina, Adrian Lötscher

Bezug des Berichts: <http://mobilityplatform.ch>

Herausgeber

SVI Schweizerische Vereinigung der Verkehrsingenieure und Verkehrsexperten

www.svi.ch

Verfassende des Leitfadens

Rapp Trans AG, Zürich

Martin Ruesch, Philipp Hegi

ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften

IAS Institut für Angewandte Simulation

Marcel Burkhard, Tatiana Starostina, Adrian Lötscher

Dieser Leitfaden wurde am 09.11.2010 durch den Vorstand der Schweizerischen Vereinigung der Verkehrsingenieure und Verkehrsexperten genehmigt und zur Veröffentlichung frei gegeben.

Der Leitfaden darf unter Angabe der Quelle vollständig oder auszugsweise kopiert und in Unterlagen sowie Berichte eingefügt werden.

Inhaltsverzeichnis

1.	Einführung	1
1.1	Was ist Simulation?	1
1.2	Simulation in der Güterverkehrs- und Transportplanung	2
1.3	Ziel des Leitfadens und Zielpublikum	3
1.4	Rolle der Beteiligten	3
2.	Simulieren – ja oder nein?	4
2.1	Anwendungsbereiche im Güterverkehr und in der Transportplanung	4
2.2	Anwendungsziele	5
2.3	Nutzen und Kosten von Simulationen	5
2.4	Entscheidungskriterien für die Durchführung einer Simulation	7
3.	Klassifizierung und Wahl des Simulationswerkzeugs	9
3.1	Klassifizierung	9
3.2	Kriterien für die Wahl von Simulationswerkzeugen	12
4.	Eine Simulationsstudie durchführen	14
4.1	Ablauf	14
4.2	Schritt 1: Problemanalyse	15
4.3	Schritt 2: Informations- und Materialflüsse	15
4.4	Schritt 3: Datenbeschaffung und Datenaufbereitung	17
4.5	Schritt 4: Steuerungskonzeption	18
4.6	Schritt 5: Modellbildung	19
4.7	Schritt 6: Verifikation / Validation	19
4.8	Schritt 7: Experimente	20
4.9	Schritt 8: Auswertungen	20
4.10	Schritt 9: Dokumentation	21
5.	Anwendungsbeispiele	23
5.1	Simulation und Analyse der Warenanlieferung und der Warenverteilung in einem neu geplanten Gebäude	23
5.2	Simulation Reservationssystem Alpenquerender Güterverkehr	31
6.	Weiterführende Literatur	40
7.	Wichtige Begriffe	44

1. Einführung

1.1 Was ist Simulation?

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

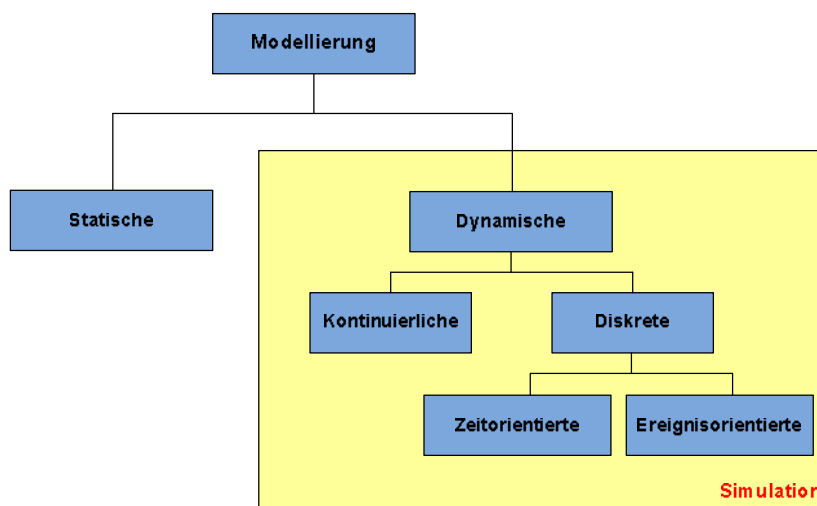
Unter Simulation im engeren Sinne versteht man das Nachbilden eines Systems mit seinen dynamischen Prozessen in einem experimentierfähigen Modell, um zu Erkenntnissen zu gelangen, die auf die Wirklichkeit übertragbar sind.

Simulation im engeren Sinn

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

Simulation im weiteren Sinn

Abbildung 1: Modellierung und Simulation



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.

Verschiedene Simulationsarten

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.

Unterschiede zur statischen Modellierung

Die dynamische Modellierung wird auch als Simulation bezeichnet.

Steigender Handlungsbedarf in Logistik, Güterverkehrs- und Transportplanung

1.2 Simulation in der 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 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 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 Reservationsystem für den alpenquerenden Güterverkehr, die Einführung von Verkehrsinformationsdiensten, die Einführung von Road Pricing.

1.3 Ziel des Leitfadens und Zielpublikum

Der Leitfaden gibt einen Überblick über

Überblick über die Durchführung von Simulationen

- 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.

Mit dem Leitfaden werden folgende Hauptziele verfolgt:

Leitfaden richtet sich an Berater, Planer und Entscheidungsträger

- 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

Im Zusammenhang mit Simulationen haben Berater und Planer folgende Aufgaben:

Aufgaben der Berater und Planer

- 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

Im Zusammenhang mit Simulationen haben Entscheidungsträger folgende Aufgaben:

Aufgaben der Entscheidungsträger

- 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.

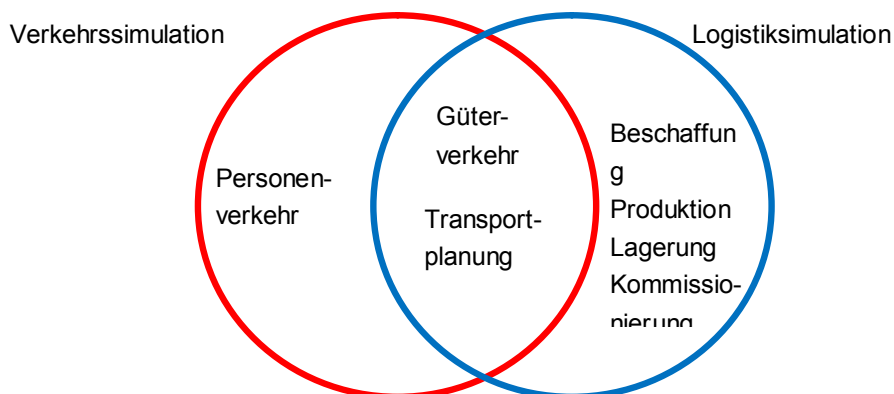
2. Simulieren – ja oder nein?

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.

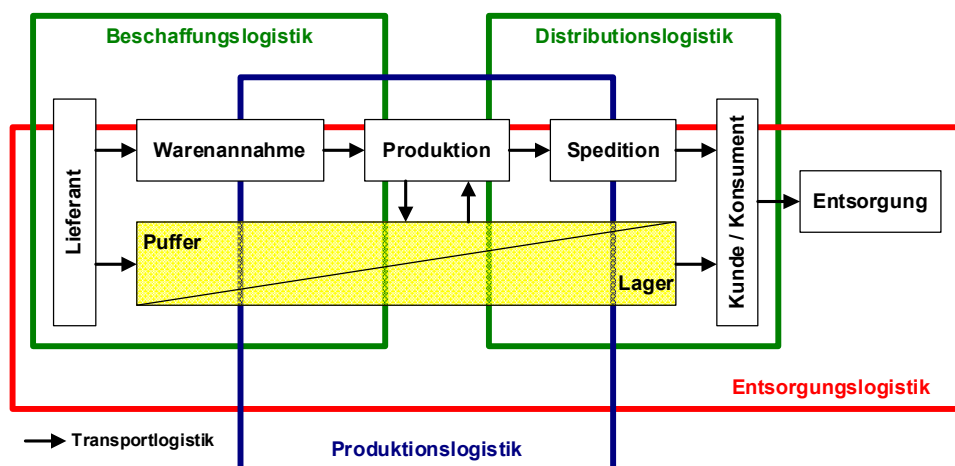
Abbildung 3: Bereiche der Verkehrs- und Logistiksimulation



Güterverkehrssimulation

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 Warenumschlag und der Zwischenlagerung der Waren.

2.2 Anwendungsziele

Güterverkehrs- und Transportsimulationen werden durchgeführt um Verkehrsflüsse, Transporte und Warenumschnitte zu planen, zu optimieren und zu verifizieren.

Planen, Optimieren und Verifizieren

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 im Güterverkehr

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

Aufgabenstellungen in der Transportplanung

Tabelle 1: Aufgabenstellungen für Simulationen

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

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

2.3 Nutzen und Kosten von Simulationen

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:

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 0.25% bis 0.5% 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.

Soll ein Simulationsmodell periodisch oder regelmässig eingesetzt werden, so fallen auch Wartungs- und Schulungskosten für die Ausbildung und den Betrieb an.

Wartungs- und Schulungskosten

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.

Leistungserbringung intern oder extern?

2.4 Entscheidungskriterien für die Durchführung einer Simulation

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.

Wann ist eine Simulation sinnvoll?

Im Folgenden werden einige Gründe aufgezählt, weshalb eine Untersuchung am System nicht möglich ist, und simuliert werden sollte:

Wenn die Untersuchung am System nicht möglich ist

- 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).

Gründe, weshalb analytische Methoden nicht zum Ziel führen, können sein:

Wenn analytische Methoden nicht zum Ziel führen

- 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.

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.

Wenn Daten in entsprechender Qualität verfügbar sind

Es ist wichtig in einer frühen Projektphase zu entscheiden, ob simuliert werden soll. Es empfiehlt sich deshalb, zuerst andere Verfahren ausser der 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 z.B. Berechnungen mit Microsoft Excel oder Access, spezialisierte Tools oder Optimierungsalgorithmen.

Zu beachten

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

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.

Die Klassifizierung der Werkzeuge dient der Wahl des richtigen Werkzeuges

Tabelle 3: Häufig eingesetzte Simulationstools

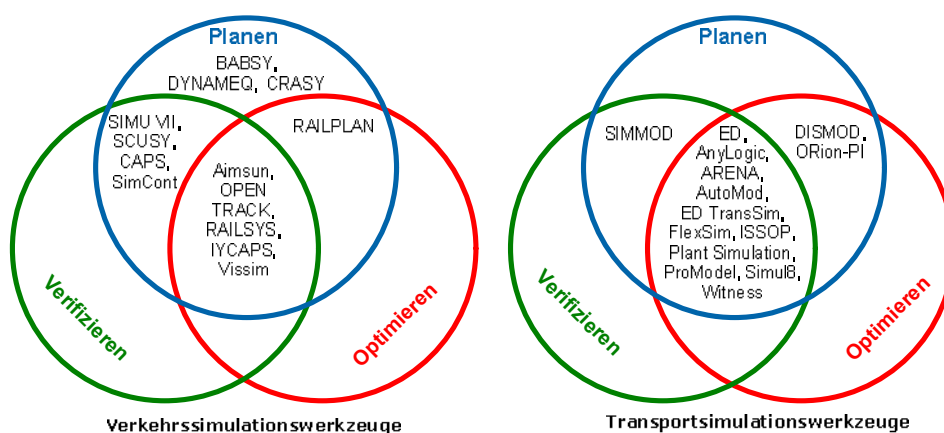
Verkehrssimulationswerkzeuge	Transportsimulationswerkzeuge
AIMSUN: www.aimsun.com	AnyLogic: www.xjtek.com
BABSI: www.via.rwth-aachen.de	ARENA: www.rockwellautomation.com
CAPS: www.isl.org	AutoMod: www.automod.de
CRASY: www.isl.org	DISMOD: www.iml.fraunhofer.de
DYNAMEQ: www.inro.ca	ED: www.enterprisedynamics.com
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 Verkehrs- und Transportsimulation

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.

Klassifizierung gemäss Anwendungsziel

Abbildung 5: Gruppierung der Werkzeuge gemäss Anwendungsziel



Klassifizierung gemäss
Anwendungsbereichen

Tabelle 4 zeigt die Anwendungsbereiche der Verkehrssimulationswerkzeuge.

Tabelle 4: Anwendungsbereiche der Verkehrssimulationstools

Anwendungsbereiche	Werkzeug	Beschreibung
Strasse	DYNAMEQ	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
	IYCAPS	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 Terminalbetriebs-systeme 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 agenten-basierten 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.

Nicht alle Fragestellungen können mit allen Simulationswerkzeugen beantwortet werden. Die nachfolgende Tabelle gibt dazu Auskunft. Auch hier ist zu beachten, dass eine Zuordnung nicht immer eindeutig ist.

Klassifizierung gemäss Fragestellungen

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, DYNAMIQ, OPENTRACK, RAILSYS, SCUSY, SIMU VII, Vissim, SimCont	ARENA, AutoMod, Enterprise Dynamics, Flexsim, Plant Simulation, ProModel, Simul8, Witness
Betriebsplanung von Verkehrsanlagen	Aimsun, DYNAMIQ, 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, DYNAMIQ, OPEN TRACK, RAILSYS, SCUSY, SIMU VII, SimCont, Vissim	AnyLogic, ARENA, AutoMod, Enterprise Dynamics, FlexSim, Plant Simulation, ProModel, Simul8, Witness

3.2 Kriterien für die Wahl von Simulationswerkzeugen

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

Vorgehen zur Auswahl des Simulationswerkzeugs

Bedürfnisse der Anwender aufnehmen

Zur Auswahl des Simulationswerkzeugs gemäss den Bedürfnissen 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 Simulationswerkzeugs 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

Es wird das beste Simulationswerkzeug anhand einer Nutzwertanalyse bestimmt. Wichtige zu vergleichende Merkmale der Simulationswerkzeuge sind:

Auswahl des besten Werkzeuges
anhand Nutzwertanalyse

- 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.

Der Aufwand eines Simulationsprojektes steigt wesentlich, wenn ein ungeeignetes Tool ausgewählt wird. Zudem sinkt die Aussagekraft der Ergebnisse.

Zu beachten

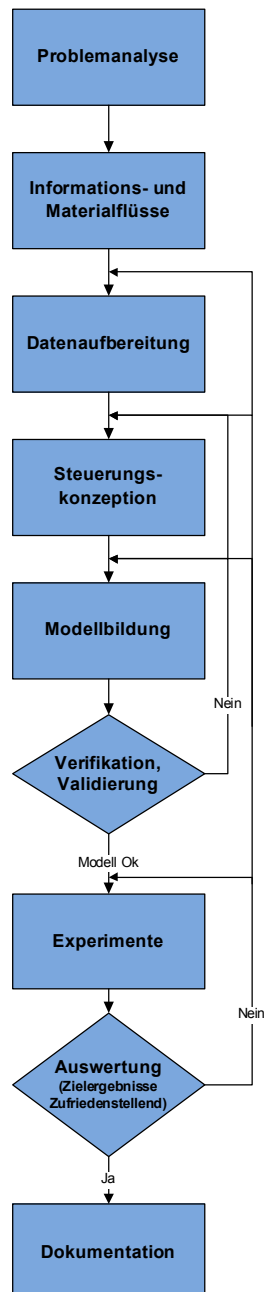
4. Eine Simulationsstudie durchführen

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: Verlaufschema einer Simulationsstudie



Rückkoppelungen

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

4.2 Schritt 1: Problemanalyse

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

Zusätzlich wird der Handlungsspielraum für Konzepte und Massnahmen abgesteckt.

Folgenden Tätigkeiten gehören zur Problemanalyse: Tätigkeiten

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

Speziell kommen folgenden Methoden zum Einsatz: Spezielle Methoden

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

Die Ergebnisse der Problemanalyse sind: Resultat

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

Typische Zielsetzungen von Simulationsprojekten sind: Zu beachten

- 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

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

Tätigkeiten

Folgende Tätigkeiten gehören zum zweiten Schritt:

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

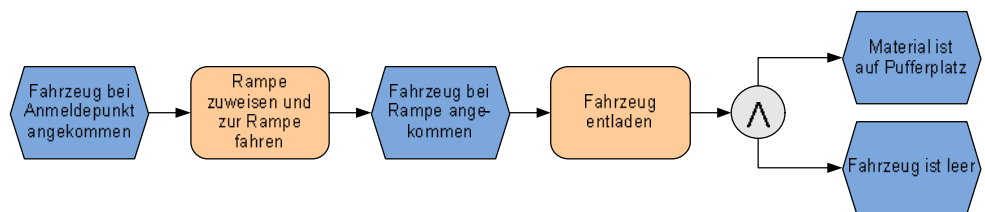
Spezielle Methoden

Speziell zu erwähnen sind folgende Punkte:

- Ereignisorientierte Prozesskette (EPK)
- Prozessflussdiagramme

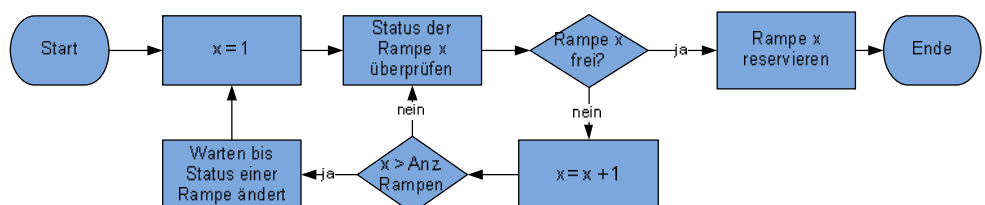
Die Ereignisgesteuerte Prozesskette (EPK) ist eine grafische Modellierungssprache zur Darstellung von Geschäftsprozessen. Sie bringt Ereignisse und Funktionen (Prozesse) in eine zeitliche Reihenfolge. Durch ihren Bezug zu Ereignissen eignet sich diese Methode insbesondere zur Beschreibung von ereignisorientierten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

Folgende Punkte sind speziell zu beachten:

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

Im dritten Schritt werden die Daten beschafft, aufbereitet und das Mengengerüst erstellt.

Zweck

Die Datenbeschaffung und -aufbereitung umfasst folgende Tätigkeiten:

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

Nach der Datenbeschaffung und -aufbereitung liegen folgende Resultate vor:

Resultat

- Notwendige Modellinputdaten aufbereitet
- Mengengerüst IST und künftige Zustände

Speziell beachtet werden sollte:

Zu beachten

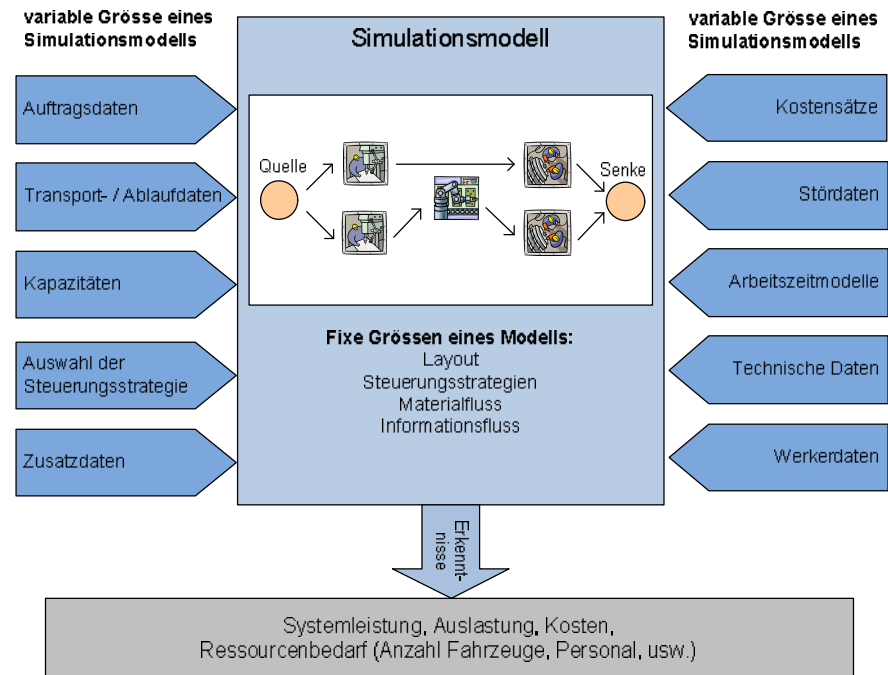
- Schrittweise Verfeinerung des Detaillierungsgrades der Daten
- Das Simulationsergebnis ist nur so gut wie die Eingangsdaten
- Dokumentation und Begründung der Annahmen

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 Simulationsmodells



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

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

Die Modellbildung besteht aus folgenden Arbeitsschritten:

Tätigkeiten

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

Nach der Modellbildung liegt das Simulationsmodell vor.

Resultat

Bei der Modellbildung gilt es folgende Punkte zu beachten:

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

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

In diesem Schritt sind folgende Tätigkeiten notwendig:

Tätigkeiten

- 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

Die Verifikation/Validierung ergibt folgende Resultate:

Resultat

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

Wichtige Punkte bei der Verifikation/Validierung sind:

Zu beachten

- 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 bewegenden Elemente im Modell, die Komplexität der Steuerung des Material- und Informationsflusses sowie die Anforderungen an die Visualisierung.

4.9 Schritt 8: Auswertungen

Zweck Die Auswertungen umfassen folgende Arbeiten:

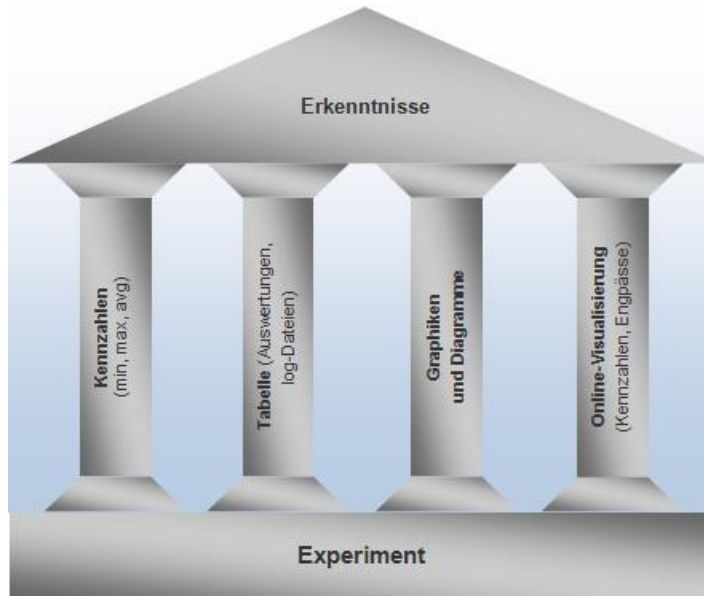
- Statistische Analyse
- Kennzahlenermittlung
- Sensitivitätsanalyse
- Visualisierung
- Interpretation der Resultate

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



Wichtige Punkte sind:

Zu beachten

- 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

Im 9. Schritt werden die wesentlichen Inhalte und Ergebnisse der Arbeitsschritte 1 bis 8 beschrieben und dargestellt.

Zweck

Die Dokumentation umfasst folgende Tätigkeiten:

Tätigkeiten

- Modelldokumentation
- Experimentdokumentation
- Empfehlung
- Präsentation
- Ablage und Archivierung

Als Resultat ergibt sich eine umfassende Dokumentation der Simulationsanwendung.

Resultat

Zu beachten sind folgende Punkte:

Zu beachten

- 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

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:

Problemanalyse

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

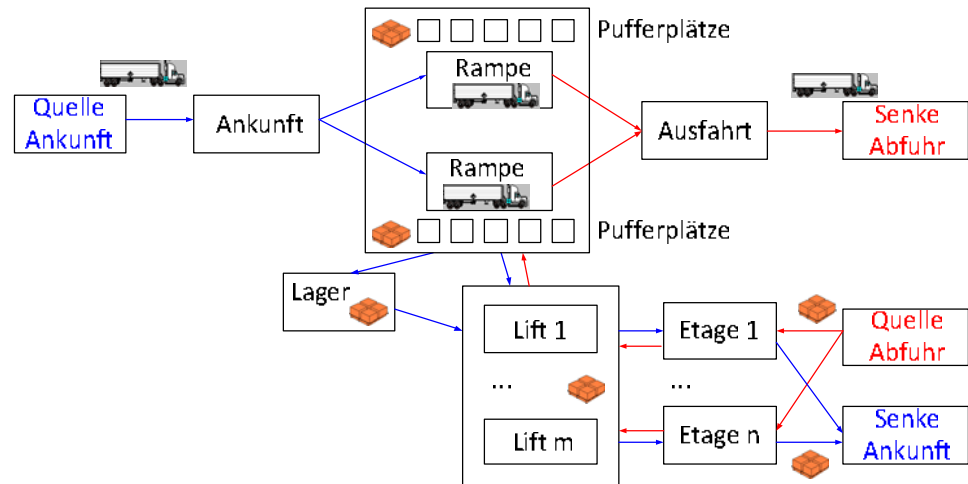
Da diese Einflussfaktoren statisch nicht beurteilt werden können, soll der Bereich Warenannahme mit einer Simulationsstudie dynamisch beurteilt werden.

Die Ziele der Simulation wurden wie folgt definiert:

- Funktionsnachweis des geplanten Systems
- 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.

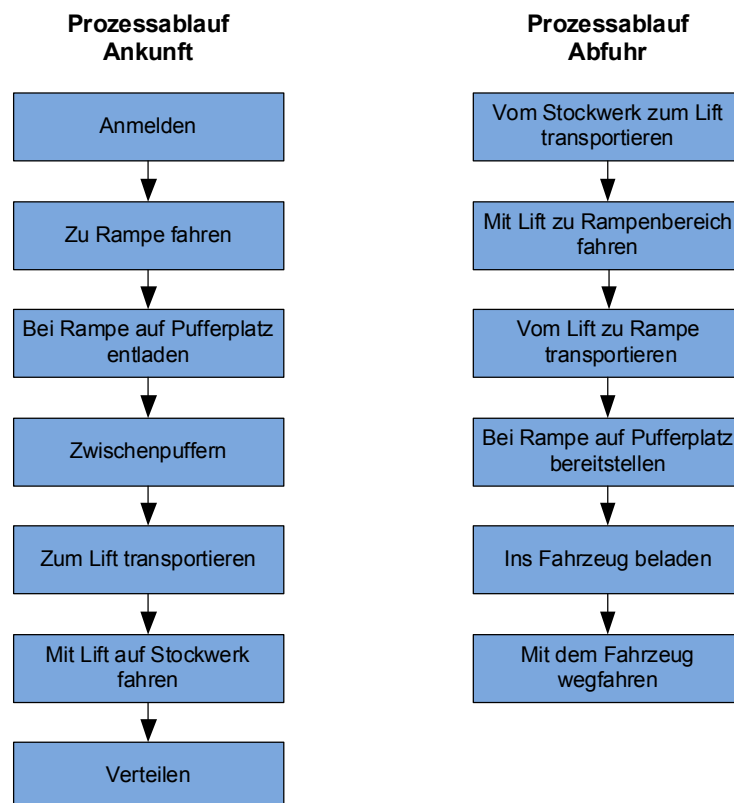
Abbildung 11: Schematische Darstellung des Systems



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:	Warten bis eine Rampe frei			
	Bei mehreren freien Rampen beste bestimmen			
	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 Warenumschatz 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 pender Anfordungen 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

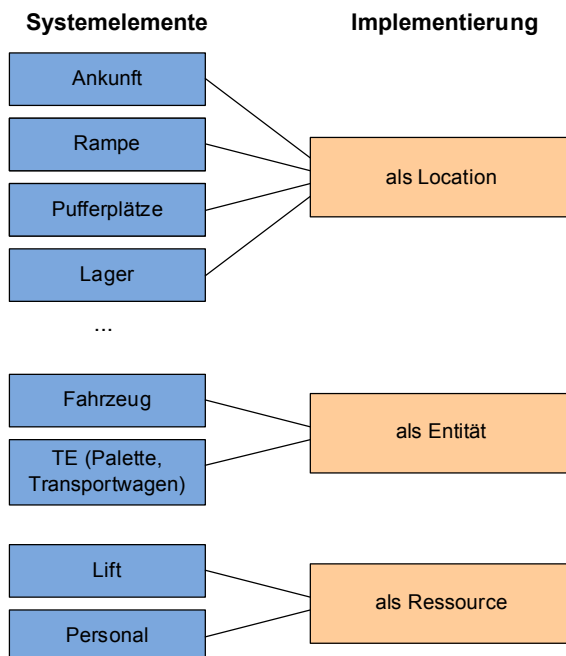
Als Simulationstool wurde ProModel ausgewählt. Gründe dafür waren:

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

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

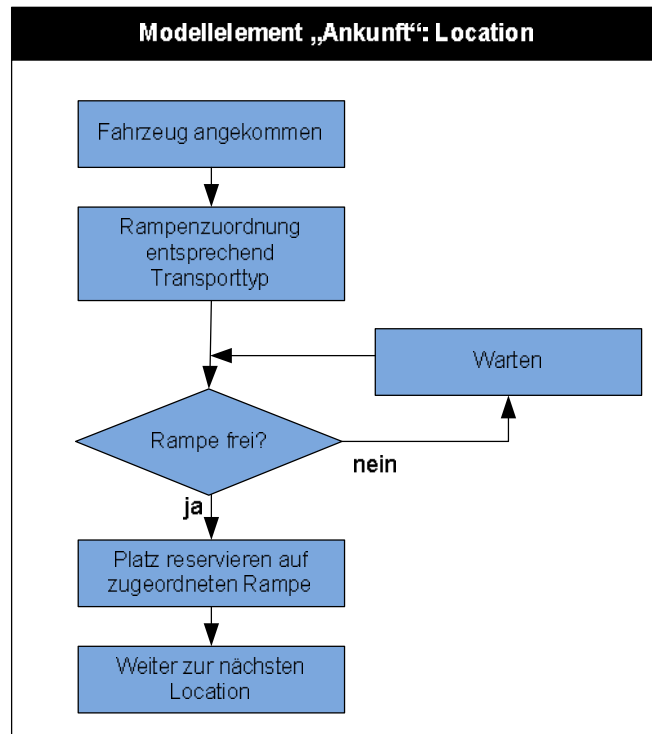
Steuerungskonzeption

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:

- Simulationslayout als CAD-Datei in ProModel importieren
- Modellelemente in ProModel definieren (noch ohne Logik)
- Übernahme der Inputdaten implementieren (von Excel nach ProModel)
- 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.
- 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:

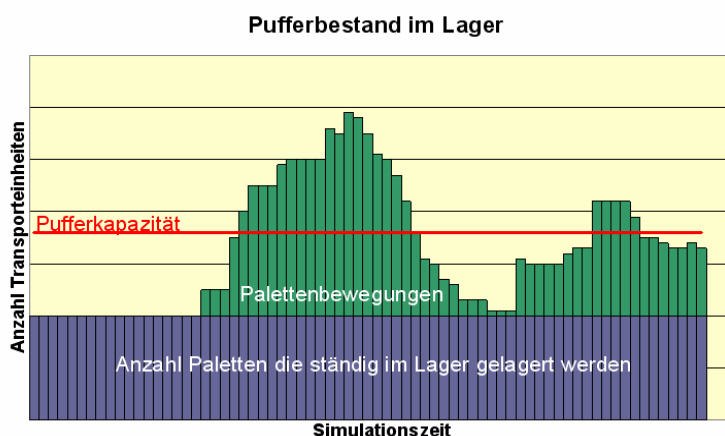
- Szenario 1: Normalbetrieb (alle Lifte sind 80% verfügbar, 60% aller Anlieferungen und Abtransporte finden am Morgen innerhalb von drei Stunden statt, die Waren können im Lager zwischengelagert werden)
- Szenario 2: Basiert auf Annahmen und Parameter von Szenario 1, aber ein Warenlift ist ausser Betrieb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

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.

Auswertungen

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)

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.

Rückkoppelungen

Dies hatte die folgenden Tätigkeiten zur Folge:

- Definieren der Inputdaten für das Lager
- Definieren der Steuerungsstrategien für den Warenumsatz
- 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 integriert. 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

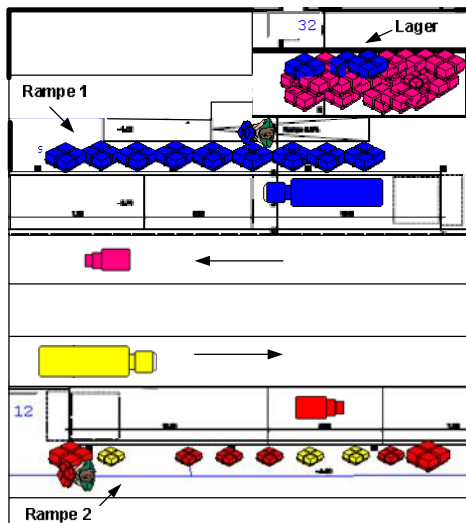
Die Resultate der Simulation haben gezeigt, dass die Einfahrt der Fahrzeuge und die Lifte keine Engpässe darstellen. Je nach Szenario treten hingegen Engpässe bei den Pufferkapazitäten an der Rampe bzw. im Lager auf (siehe Tabelle 8).

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



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

Erfahrungen mit der Simulation

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

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 strassen-seitige 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.

Problemanalyse

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

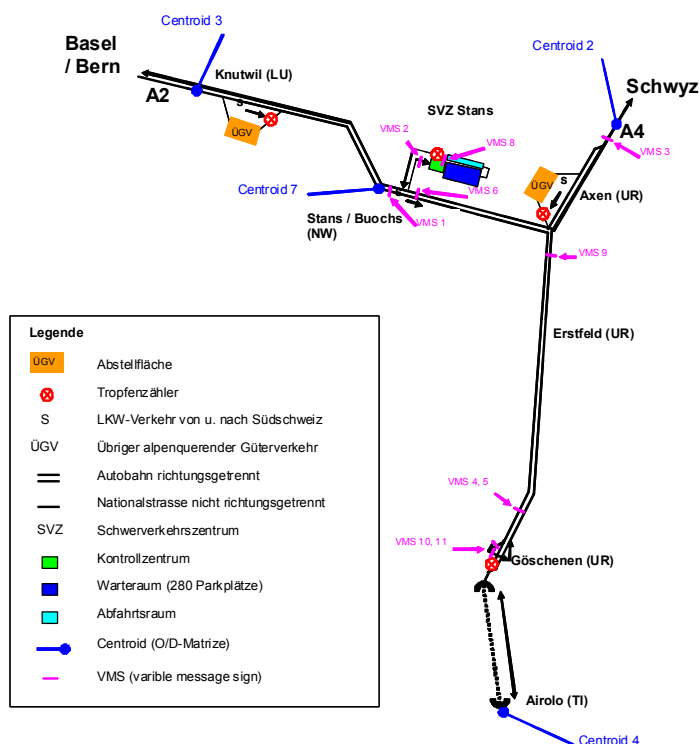
Untersuchungen waren für folgende drei Bereiche vorgesehen:

- 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
 - LW Normaltag / Spitzentag
 - Phase Rot
 - Unfall / Panne mit Tunnelsperrung
 - Etc.

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 LW entspricht drei PW-Einheiten.

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

Abbildung 18: Systemübersicht Reservationssystem



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.

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

Informations- und Materialflüsse

Abbildung 19: Verfahren der Zuteilung der Abfahrtsnummern

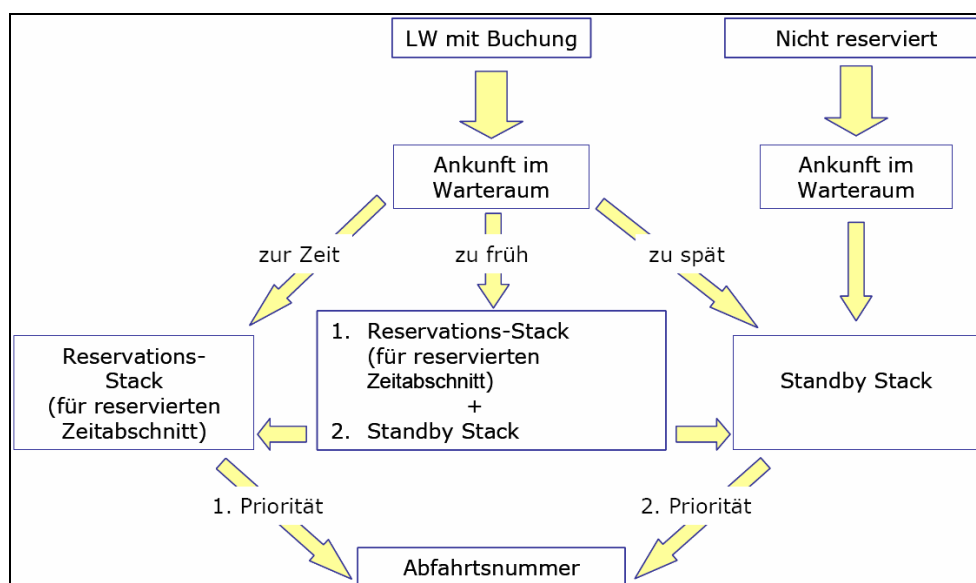


Tabelle 9: In-/Output Simulation Reservationssystem

Parameter	Einheit
INPUTDATEN	
Verkehrsaufkommen PW	PW/h, PW/Tag
Verkehrsaufkommen LW	LW/h, LW/Tag
Anteil Reservierter Güterverkehr	%
Ankunftsverteilung Nahverkehr	%
Ankunftsverteilung Fernverkehr	%
Wartezeiten	Minuten
Steuerung Abflüsse	LW/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 ungeregelt 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 LW'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 LW)
- 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

Aufgrund der in AIMSUN vorgegebenen Modellkomponenten wurde das System modelliert. Modellbildung

Da AIMSUN speziell für Verkehrssimulationen ausgelegt ist, sind verkehrsspezifische Komponenten wie Fahrzeugtypen oder Strassenelemente bereits definiert und benötigen keine spezielle Programmierung. Ebenfalls sind verkehrsspezifische Algorithmen bereits vordefiniert, die jedoch bei Bedarf angepasst werden können.

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

- Verifikation, dass die Änderung eines Parameters auch den erwarteten Einfluss auf das Resultat der Simulation hat
- Kritische Überprüfung der Resultate der Simulation

Im Rahmen der Simulationsstudie wurden drei Szenarien untersucht: Experimente

Untersuchungen zu unterschiedlichem Fahrverhalten:

- 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?

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.

- Wie beeinflusst der Anteil Fehlfahrten die Gesamtreisezeit der (korrekt fahrenden) reservierten/nicht reservierten Lastwagen?

Untersuchungen zu unterschiedlichen Betriebsregeln:

- Einbezug S-Verkehr
- Länge der Time-Slot
- 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?

Untersuchungen zu unterschiedlichem Verkehrsaufkommen:

- PW-Spitzentag
- LW-Spitzentag

zu beantwortende Fragen:

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

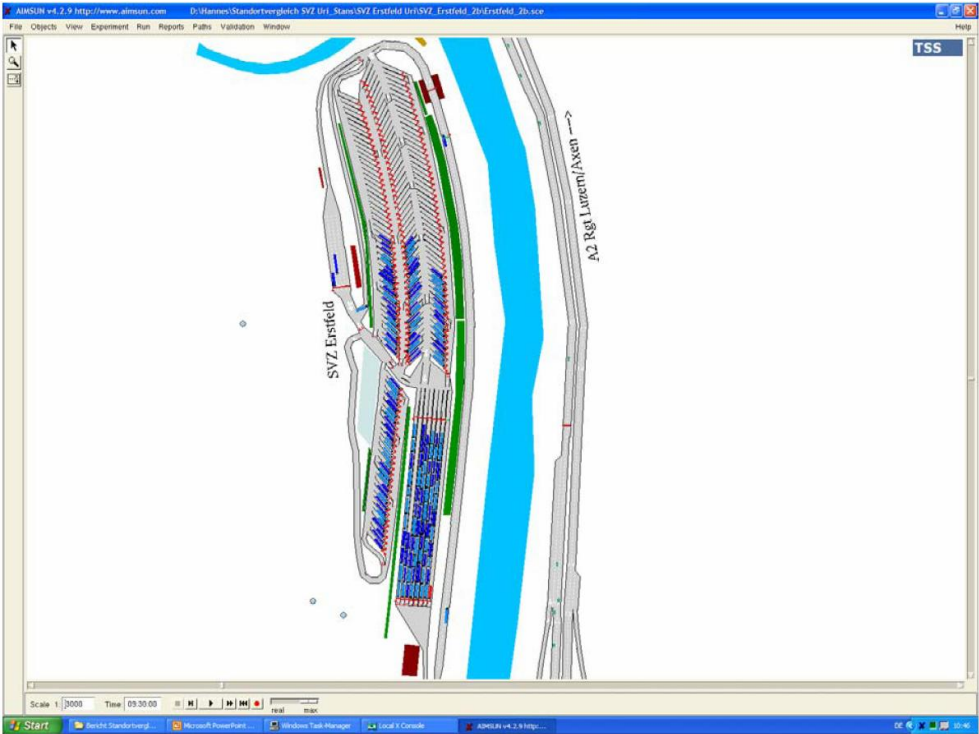
Auswertungen

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. Zeit- gewinnen von	Verkehr 2000				PW Zunahme 30%			
	Mit Reservations- system Wartezeit ÜGV Wartezeit RV Tage/Jahr Tage/Jahr		Vergleich zu ohne Reservationssystem Zeit-gewinn RV Zeitver- lust ÜGV Tage/Jahr Tage/Jahr		Mit Reservations- system Wartezeit ÜGV Wartezeit RV Tage/Jahr Tage/Jahr		Vergleich zu ohne Reservationssystem Zeit-gewinn RV Zeitver- lust ÜGV Tage/Jahr Tage/Jahr	
0 – 30 Minuten	252	274	261	286	222	270	238	272
30 - 60 Minu- ten	1	8	2	2	7	9	8	8
60-120 Minu- ten	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.

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.

Erfahrungen mit der Simulation

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., Rath 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/fohlen.pdf>

Ruesch M., Burkhard M., Hegi Ph., Starostina T. (2009): Einsatz von Simulationswerkzeugen in der Güterverkehrs- und Transportplanung. Rapp Trans AG, Zürich; ZHAW Zürcher Hochschulen für Angewandte Wissenschaften, IAS Institut für Angewandte Simulation, Wädenswil. SVI Forschungsauftrag 2004/088.

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., 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

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 der 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	<p>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)</p> <p>Modelle, die keine Unsicherheiten enthalten, z.B. Inventarmodelle ohne Berücksichtigung des Sicherheitsbestands. (EN 14943, 2005)</p>
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)
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)

Zusammenstellung/Menge von Waren (befördert durch ein Transportmittel), die von einem Ort zum anderen transportiert werden. (EN 14943, 2005)	Frachtgut
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)	Gut (Güter)
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)	Güterverkehr
Ist eine Kombination aus kontinuierlicher und diskreter Simulation. (VDI-Richtlinie 3633, 1993)	Hybride Simulation
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)	Innerbetrieblicher Transport
Umfasst die Organisation, Durchführung und Optimierung der Materialflüsse innerhalb eines Unternehmens. (www.logistik-lexikon.de)	Intralogistik
Leistungsfähigkeit einer Ressource innerhalb einer vorgegebenen Zeit, gemessen anhand von Qualität und Menge. (EN 14943, 2005)	Kapazität
Zusammenstellen der zu einem Kundenauftrag gehörenden Waren in einem Lager. (EN 14943, 2005)	Kommissionierung
Ist ein Modell, in dem sich die Werte der Zustandsvariablen innerhalb eines endlichen Zeitintervalls unendlich oft ändern. (Cellier, 1991)	Kontinuierliches Modell
Hebevorrichtung zum Anheben, Herablassen und Bewegen von Waren in einer oder mehreren horizontalen Richtungen. (EN 14943, 2005)	Kran
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)	Ladungseinheit
Physischer Ort eines Lagerpunkts. (EN 14943, 2005)	Lager
Vorgang, Waren vorrätig oder in geeigneten Räumen zu halten, um die Zeit zwischen der Ankunft und Einsatz zu überbrücken. (EN 14943, 2005)	Lagerung
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)	Lieferkette (Supply Chain)

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)

Gesamtheit der logistischen Aufgaben und Massnahmen bei Vorbereitung und Durchführung des Warenflusses über alle Stufen der Produktion und Leistungserstellung. (www.logistik-lexikon.de)	Produktionslogistik
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)	Prozess
Mass (in Prozent) der Einhaltung des vom Kunden ursprünglich ausgehandelten gewünschten Liefertermins.	Pünktlichkeit
Festlegung der Route(n), die Menschen, Waren, Materialien und/oder Transportmittel innerhalb und ausserhalb des Unternehmens befolgen müssen. (EN 14943, 2005)	Routenplanung
Getrennt identifizierbare Zusammenstellung von einer oder mehreren transportierten oder zusammen zu transportierenden Ware(n). (EN 14943, 2005)	Sendung
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)	Simulation
Nachbildung des Verhaltens eines Systems mit einem ablauffähigen Modell über einen bestimmten Zeitraum (Simulationszeit). (Reiners, 2006)	Simulationslauf
Anzahl von Objekten mit definierten Interaktionen, die auf ein logisches Ende hinwirken. (Schmidt, Taylor, 1970)	Simulationssystem
Gezielte empirische Untersuchung des Verhaltens eines Systems und der darauf ablaufenden Prozesse durch wiederholte Simulationsläufe mit systematischer Variation einer oder mehrerer Modellparameter. (Reiners, 2006)	Simulations-experiment
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)	Simulator
Partei, die im Namen eines Transporteurs oder Empfängers den Transport von Waren einschliesslich der damit verbundenen Dienstleistungen und/oder Formalitäten arrangiert. (EN 14943, 2005)	Spediteur
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)	Spedition
Ist ein Modell, in dem mindestens ein Parameter eine Zufallsvariable ist bzw. mindestens eine Eingabefunktion eine Zufallsfunktion ist. Das Modellierungsergebnis	Statisches Modell

	<p>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)</p>
Stückgut	<p>Im Gegensatz zu vereinheitlichten, in Containern beförderten und Ro-Ro-Frachtgütern herkömmlich verstaute Frachtgüter (konventionelles Frachtgut). (EN 14943, 2005)</p>
Supply Chain Management (Wertschöpfungs- kettenorganisation)	<p>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)</p>
Systemumgebung	<p>Alle existierenden Faktoren, die eine Änderung im System verursachen können.</p>
Tourenlieferung	<p>Lieferungen von einem einzelnen Transporteur an mehrere Empfänger, die auf dem Weg zu einem endgültigen Zielort ansässig sind. (EN 14943, 2005)</p>
Transport	<p>Unterstützte Bewegung von Menschen und/oder Gütern. (EN 14943, 2005)</p> <p>Teil des Verkehrs, in dem die Personen und/oder Güter eine Distanz zwischen zwei Orten mit einem Transportmittel überbrücken (Arnold, Isermann, Kuhn, Tempelmeier, 2004).</p>
Transportlogistik	<p>Befasst sich mit reinen Verkehrs- und Transportsystemen zur Beförderung von Waren, Gütern und Objekten. (www.logistik-lexikon.de)</p>
Transportmittel	<p>Besondere Schiffe, Fahrzeuge oder andere Geräte, die zum Transport von Waren oder Personen eingesetzt werden. (EN 14943, 2005)</p>
Transportnetzwerk	<p>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.</p>
Umschlag	<p>Handlung, durch die Waren von einem Transportmittel zu einem anderen im Verlauf von einem Transportvorgang umgelagert werden. (EN 14943, 2005)</p>
Umschlagpunkt	<p>Ein Platz, an dem es zum Verkehrsträgerwechsel kommt. (EN 14943, 2005)</p>
Verkehr	<p>Ist die realisierte Ortsveränderung von Personen, Gütern und Nachrichten. (Ammoser, Hoppe, 2006)</p>
Versender	<p>Einzelperson oder Organisation, die ein Konnossemente erstellt, durch die ein Transporteur angewiesen wird, Waren von einem Ort zu einem anderen zu transportieren.</p>

