

Bausteinbasierte Simulation logistischer Prozesse in RoRo-Terminals

Simulation of Logistics Processes in RoRo Terminals based on Building Blocks

Carsten Eckert, Felix Fliege,
Fachgebiet Entwurf und Betrieb maritimer Systeme, TU Berlin, Berlin (Germany)
Dirk Steinhauer,
Flensburger Schiffbaugesellschaft mbH & Co. KG, Flensburg (Germany)

Abstract: The growth in size and number of RoRo-vessels operating in European Shortsea Shipping has increased the pressure on cargo handling performance at port. An integrated approach in designing terminals and ships has to be followed and simulation becomes an important tool to avoid costly shortcomings in cargo operations. Since such analysis normally has to be done under time pressure and varying circumstances, it is important to have a flexible simulation tool that enables the designer to generate and modify the simulation model in a very short time. During the last years Flensburger Shipyard and the Department of Design and Operation of Maritime Systems at TU Berlin have developed a Toolbox that allows a combination of predefined blocks from a library to build up a simulation model of any arbitrary RoRo-Terminal. In this paper the development process of this toolbox and the basic principles followed are described. Finally an example illustrates the set up of a terminal model built by using the presented approach.

1 Einleitung

Das Verkehrsaufkommen im RoRo- und Fährverkehr über kurze Seestrecken ist durch ein dynamisches Wachstum gekennzeichnet. Größer werdende Schiffe bei konstant gehaltenen bzw. weiter verkürzten Hafentiegezeiten erfordern einen steigenden Durchsatz zwischen Terminal und Schiff. Zur Vermeidung kostspieliger Fehlinvestitionen ist das Zusammenwirken von Schiff, Terminal und deren Schnittstellen frühzeitig zu untersuchen. Simulationswerkzeuge sind dabei ein wirkungsvolles Planungsinstrument.

RoRo-Schiffe sind wie kaum ein anderer Schiffstyp auf effizienten Umschlag ausgelegt. Die Terminals werden in der Regel nur von einigen wenigen Diensten angelassen und die Zahl der in den Umläufen eingesetzten Schiffe ist überschaubar. Die Organisation der Terminals kann so den Schiffen angepasst werden. Die Infrastruktur

von RoRo-Terminals wird flexibel ausgelegt, sodass eine schnelle Anpassung an wechselnde Schiffseinheiten realisierbar ist. Kritisches Element bleiben die Schnittstellen zwischen Terminal und Schiff.

Eine integrierte Planung von Terminals und Schiffen stößt in der praktischen Umsetzung allerdings auf Hindernisse. Planungshorizonte für Infrastrukturen sind weiter, häufig befinden sich Hafen- und Schiffsbetrieb nicht in gemeinsamer Hand und Terminals fertigen unterschiedliche Kunden ab. Die Konzeption von Terminalanlagen und Schiffen erfolgt daher in verschiedenen Zeitfenstern und mit abweichenden Randbedingungen und Zielstellungen.

In diesem Marktsegment offensiv agierende Werften sind bestrebt, dem Kunden ein auf Route und Terminal abgestimmtes Schiff anzubieten. Da Planungskapazitäten in Terminals und Reedereien häufig nicht eingebunden werden können, müssen relevante Terminalabläufe von der Werft selbst modelliert werden. Will der Kunde die Simulationsmodelle anschließend für Planung und operativen Betrieb seiner Terminals nutzen, steigert dies auch den Wert des angebotenen Gesamtpaketes.

Die Flensburger Schiffbaugesellschaft mbH & Co.KG (FSG) und das Fachgebiet Entwurf und Betrieb der Technischen Universität Berlin entwickeln in langjähriger Zusammenarbeit ein bausteinbasiertes Werkzeug zur Simulation logistischer Prozesse in RoRo-Terminals, das für zahlreiche Fragestellungen der Terminalplanung und -steuerung eingesetzt werden kann (Loban 2005).

2 Anforderungen an das Simulationsmodell

An Schiffsabfertigungen gebundene Prozesse sind in aller Regel zeitkritisch, bei deren Komplexität bieten sich Simulationsmethoden zur Prozessanalyse an. Der erfolgreiche Einsatz von Verkehrs- und Materialflusssimulation bei Planung und Organisation von RoRo- und Fährterminals ist mehrfach demonstriert worden (Baltic Marine Consult 1998; Majumder et al. 2007). Mit höheren Forderungen an die Umschlagsleistungen von RoRo-Schiffen werden diese Simulationstechniken zunehmend auch für die Konzeption z. B. der Ladungsdecks und Rampen adaptiert.

Die erforderliche Auflösung in einer Terminalsimulation ist aus der Detailebene der als kritisch erkannten „Flaschenhalse“ gegeben. Beginnend bei gröber gerasterten Beschreibungen auf der Ebene von Kapazitätsplanungen sind oft mit nur wenigen Zwischenschritten sehr detaillierte, dafür vielleicht nur punktuelle Analysen erforderlich. Werden in der Konzeptphase eine Reihe von Entwurfsvarianten miteinander verglichen, muss ein Terminalmodell leicht auf geänderte Parameter anpassbar sein. Es ergeben sich hohe Anforderungen an die Flexibilität der erstellten Simulationsmodelle, Recyclebarkeit und punktuell variable Detaillierung sind wichtige Leistungsparameter. Da zudem nicht immer kontinuierlich an einem Modell gearbeitet wird und oft mehrere Projekte parallel zu abzuwickeln sind, ist eine klare Modelstruktur für das Arbeiten wichtig.

Als wichtige Anforderungen an ein Simulationsmodell für das skizzierte Einsatzfeld lassen sich ableiten:

- Ein beliebiges Terminal muss für den Anwender aus Grundelementen und ohne Programmieraufwand schnell aufzubauen sein.

- Für Entwickler müssen Möglichkeiten zur Einbettung spezieller Funktionen z. B. über Quelltext gegeben sein.
- Eine freie Gestaltung der Terminalgeometrie muss gegeben sein.
- Eine schnelle und übersichtliche Anpassung des Wegenetzes z. B. per Drag and Drop ist anzubieten.
- Das Einsetzen oder Herauslösen von Elementen in existierenden Modellen muss ohne zusätzlichen Aufwand möglich sein.
- Neu entwickelte Funktionen müssen in existierende Modelle integrierbar sein.
- Eine weitgehende Parametrisierung ist zu realisieren.
- Terminalmodelle, Elemente und Parameter sind so abzulegen, dass ein leichter Zugang bei der Neuerstellung von Modellen gegeben ist.
- Das Terminalmodell muss allein oder im Verbund mit anderen Modellen lauffähig sein.

3 Arbeitsansatz

Um diese Anforderungen zu erfüllen wurde das Konzept eines Bausteinkastens aufgegriffen, wie er bei der FSG bereits seit mehreren Jahren erfolgreich in der Produktionssimulation eingesetzt wird (Steinhauer 2006). Der Grundgedanke dabei ist, dass ein Simulationsmodell aus vorgefertigten, wiederverwendbaren, parametrisierbaren Teilmodellen aufgebaut wird. Dies ermöglicht ein sehr effizientes Modellieren, da nicht alle Funktionen stets neu implementiert werden müssen.

Angewandt auf die Simulation von RoRo-Terminals können diese Teilmodelle noch näher zu definierende Funktionsbereiche des Terminals (Gate, Parkspuren, Rampen, usw.) repräsentieren. Außerdem können Funktionen zur Steuerung des Terminals (Auslösen von Be-/ Entladevorgängen, Zuweisen von Stellplätzen, Zuweisen von Geschwindigkeiten, usw.) mit einem entsprechenden Baustein bereitgestellt werden.

Ein weiterer Grundgedanke des Bausteinkastens ist der objektorientierte Ansatz. Dieser ermöglicht es, die Bausteine als Klassen zu definieren und in einer Bibliothek (Bausteinkasten) zur Verfügung zu stellen. Beim Aufbau von Simulationsmodellen werden diese Bausteine als Instanzen in das Modell eingefügt und über Parameter an den jeweiligen genauen Einsatzzweck angepasst (Anzahl/ Eigenschaften der Spuren, Anordnung usw.). Änderungen der Bausteine (Modellpflege, Hinzufügen neuer Funktionen) werden auf die Instanzen vererbt und stehen somit in allen (auch in bereits erstellten) Modellen zur Verfügung. Neue Bausteine lassen sich leicht in den Bausteinkasten einpflegen und stehen dann ebenfalls in allen Modellen zur Verfügung.

4 Modellentwicklung

Für die Entwicklung eines Simulationsmodells zur Abbildung der logistischen Prozesse in einem RoRo-Terminal ist es erforderlich, ein allgemeingültiges abstraktes

Modell eines solchen Terminals zu erstellen, daraus die notwendigen Bausteine abzuleiten und diese letztendlich in einer geeigneten Simulationsumgebung zu implementieren.

4.1 Abstraktes Modell eines RoRo-Terminals

Zur Erstellung eines allgemeingültigen Strukturmodells wurden zunächst das Layout und die Abläufe in unterschiedlichen Terminals analysiert. Dabei wurde auf Luftbilder und Lagepläne zurückgegriffen, aber auch Besuche auf ausgewählten Terminals durchgeführt. Anschließend wurde ein abstraktes Modell eines RoRo-Terminals entwickelt (Abb. 1). Es wurden bewusst möglichst unterschiedliche Terminaltypen (reine Fährterminals, reine Frachtterminals sowie Mischformen) betrachtet, um möglichst alle Aspekte des RoRo-Umschlags zu erfassen.

Gemäß dem Modellansatz besteht ein RoRo-Terminal aus den in Tabelle 1 dargestellten Funktionsbereichen.

Gate	landseitiger Ein- und Ausgang des Terminals, Schnittstelle mit dem Hinterland
Gate Buffer	Pufferspuren vor einem Gate, um die auf die Abfertigung wartenden Fahrzeuge aufzunehmen
Export Buffer	Pufferspuren um die bereits eingeeckten, auf die Beladung des Schiffes wartenden begleiteten Fahrzeuge aufzunehmen
Parking Bays	Stellplätze für Trailer, die von einer Zugmaschine angeliefert und im Terminal abgestellt werden, um dann von terminal-eigenen Zugmaschinen (Tugmaster) auf das Schiff gefahren zu werden und umgekehrt
Cargo Manipulation Area	Bereich im Terminal, in dem nichtrollende Ladung (Stückgut/ Container) von Lkw oder Eisenbahnwagons auf terminaleigene Flurförderzeuge (Rollflats) umgeladen wird, um sie dann per RoRo-Verfahren auf das Schiff zu fahren und umgekehrt
Truck Waiting Area	Bereich im Terminal, in dem Zugmaschinen warten, die einen Trailer oder Ladung auf einem Rollflat abholen sollen, solange dieser noch nicht entladen ist
Berth	Liegeplatz des Schiffes, Rampen zum Schiff, seeseitiger Ein- und Ausgang des Terminals, Schnittstelle mit dem Schiff

Tabelle 1: Funktionsbereiche eines RoRo-Terminals

Je nach Art des abzuwickelnden RoRo-Dienstes weist ein Terminal nicht zwangsläufig alle diese Funktionsbereiche auf. Zum Beispiel hat ein reines Fährterminal keine Stellplätze für Trailer und auch die Puffer vor dem Gate sind nicht in jedem Terminal vorhanden. Dennoch ist es notwendig, diese Funktionsbereiche als Baustein zur Verfügung zu stellen, um die universelle Nutzbarkeit des Bausteinkastens zu gewährleisten. Auch müssen alle verschiedenen Fahrzeugtypen, die in einem

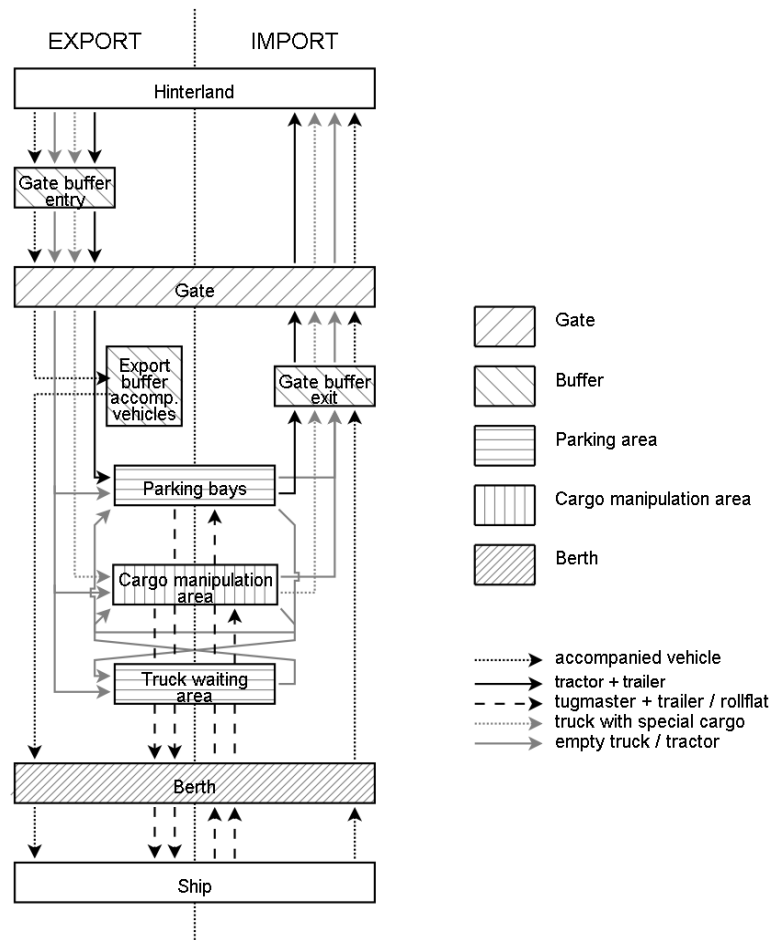


Abbildung 1: Allgemeingültiges, abstraktes Modell eines RoRo-Terminals mit Funktionsbereichen und Durchlauf verschiedener Fahrzeugtypen

RoRo-Terminal auftreten können, bei der Entwicklung der Bausteine berücksichtigt werden. Zu unterscheiden sind dabei hauptsächlich begleitete Fahrzeuge, die in der Lage sind, sich aus eigener Kraft im Terminal zu bewegen, und unbegleitete Fahrzeuge, die dazu ein terminaleigenes Transportmittel (Tugmaster, Rollflat) benötigen. Vertreter der ersten Gruppe sind Pkw, Busse und Lkw, Vertreter der zweiten Gruppe sind Trailer oder Container.

Da sich einige der Funktionsbereiche von ihrer geometrischen Anordnung und ihren Abläufen kaum von einander unterscheiden, ist es nicht notwendig, jeweils einen eigenen Baustein zu entwickeln. Ein solches Beispiel sind etwa der Gatebuffer und der Exportbuffer, deren grundsätzliches Layout identisch ist und deren Steuerungen nur minimal unterschiedlich sind. Daher wurde der Begriff Terminalfunktionalität eingeführt, der die Aufgabe eines Funktionsbereiches innerhalb des Terminals beschreibt. Beispiele für Funktionalitäten sind das spurweise Abstellen von Fahrzeugen in den Funktionsbereichen GateBuffer und ExportBuffer oder das Umladen von nichtrollender Ladung auf Rollflats im Funktionsbereich Cargo Manipulation Area.

Auch die zur Umsetzung der Funktionalitäten notwendigen Funktionen (Zuweisen von Stellplätzen, Anfahren von Stellplätzen, Abkoppeln von Trailern, Warten in Pufferspuren usw.) wurden definiert.

4.2 Definition der Bausteine

Aus den drei Abstraktionsebenen Funktionsbereich, Funktionalität und Funktion wurden die notwendigen Bausteine abgeleitet. Dabei wurde darauf geachtet, mit der Gesamtheit der Bausteine alle notwendigen Funktionen abzubilden, die einzelnen Bausteine aber in ihren Funktionalitäten klar voneinander abzugrenzen. Auch war ein Kompromiss zwischen einem hohen Funktionsumfang eines Bausteins, um den Aufwand beim späteren Modellieren gering zu halten, einerseits und der flexiblen Nutzbarkeit des Bausteins andererseits zu finden. Letztendlich wurden die in Tabelle 2 benannten Bausteine entwickelt.

4.3 Implementierung der Bausteine

Als Simulationsumgebung wurde die Software *Plant Simulation* von SIEMENS PLM ausgewählt, da diese auf dem objektorientierten Bausteinansatz basiert und bereits viele Grundfunktionen enthält und es somit möglich ist, vorhandene Bausteine zu nutzen, aber auch neue zu entwickeln und dem Bausteinkasten hinzuzufügen. Zur Implementierung der Bausteine wurden sowohl Grundfunktionen von *Plant Simulation* selbst, als auch Elemente des bei der FSG für die Produktionssimulation entwickelten Bausteinkastens STS (Simulation Toolkit Shipbuilding) sowie neu entwickelte Funktionen genutzt. Mittelfristig ist es geplant, die im Zuge dieser Arbeit entwickelten Bausteine in den STS zu integrieren. Damit stehen diese dann dem Nutzerkreis des Bausteinkastens zur Verfügung. Der Vorgang der Bausteinentwicklung ist in Abbildung 2 dargestellt.

4.4 Aufbau und Funktion der Bausteine

Grundsätzlich besteht jeder Baustein aus einem Wegenetz, welches die Geometrie des entsprechenden Funktionsbereiches darstellt, und einer Steuerung, welche die für die Funktion des Bausteins notwendigen Funktionen enthält. Der Aufbau eines solchen Wegenetzes soll hier kurz anhand des Gate-Bausteins (Abb. 3) erklärt werden: Das Grundgerüst des Wegenetzes sind die eigentlichen Gatespuren, deren Eigenschaften (Fahrbahnbreite, Durchfahrtshöhe, zulässige Fahrzeugtypen usw.) als Parameter in der Steuerung des Bausteins tabellarisch abgelegt sind und über einen Nutzerdialog geändert werden können. Die so definierten Spuren können direkt auf Knopfdruck erzeugt werden. Die Ein- und Ausgangsspuren können beliebig erzeugt und mit den Gatespuren verbunden werden, wobei die entsprechenden Wege des Ein- bzw. Ausgangsfächers unter Berücksichtigung der minimal zulässigen Kurvenradien der Fahrzeuge automatisch erzeugt werden. Sowohl die Gatespuren als auch die Eingangs- und Ausgangsspuren lassen sich beliebig per Drag and Drop verschieben und in ihrer Kurvenführung verändern, wobei die Fächerwege automatisch angepasst werden. Somit ist es möglich, sehr schnell ein einfaches Wegenetz zu erstellen, aber dieses auch mit wenig Aufwand an jede beliebige Terminalgeometrie anzupassen.

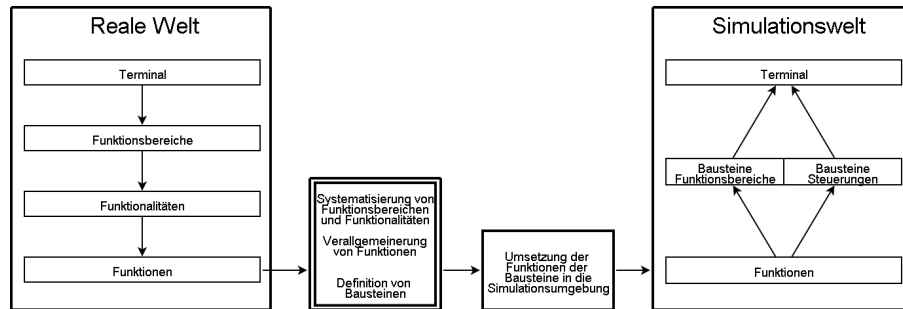


Abbildung 2: Entwicklung der Bausteine

Baustein	Funktionalität	Funktionen (Beispiele)
Gate	Ein- und Auschecken von Fahrzeugen	Fahrzeug für eine bestimmte Zeit anhalten dem Fahrzeug einen Zielort in einem Puffer oder auf einem Stellplatz zuweisen
Buffer	Spurweises Speichern von Fahrzeugen	Anhalten des Fahrzeugs Starten des Fahrzeugs, wenn eine bestimmte Bedingung (z. B. Beladen des Schiffes beginnt) eintritt
Parking Bays	Stellplatzweises Speichern von Fahrzeugen	Rangieren des Fahrzeugs auf einen Stellplatz An- und Abkoppeln von Trailern
Cargo Manipulation Area	Umladen von Ladung von Lkw / Eisenbahn auf Rollflats und umgekehrt	Anfordern von Rollflats Umladen der Ladung eines Fahrzeugs auf das Rollflat
Berth	Be- und Entladen von Schiffen	An- und Ablegen von Schiffen Auf- und Abladen von Fahrzeugen
Terminal Control	Steuerung der Abläufe im Terminal	Verwaltung der im Terminal vorkommenden Stellplätze und Puffer Spuren Verwaltung der terminalinternen Transporte

Tabelle 2: Entwickelte Bausteine mit jeweiliger Funktionalität und ausgewählten Funktionen

Die Kombinierbarkeit der einzelnen Bausteine untereinander macht eine entsprechende Definition der Schnittstellen notwendig. Da der Materialfluss in allen Bau-

steinen über das jeweilige Wegenetz abgewickelt wird, ist es möglich, die Wegenetze der verschiedenen Bausteine einfach zu verbinden, entweder direkt über die Ein- und Ausgangsspuren der Wegenetze oder indirekt über weitere, zwischengeschaltete Wege. Auch die Verbindung von verschiedenen Terminalmodellen geschieht über die Verbindung der jeweiligen Wegenetze.

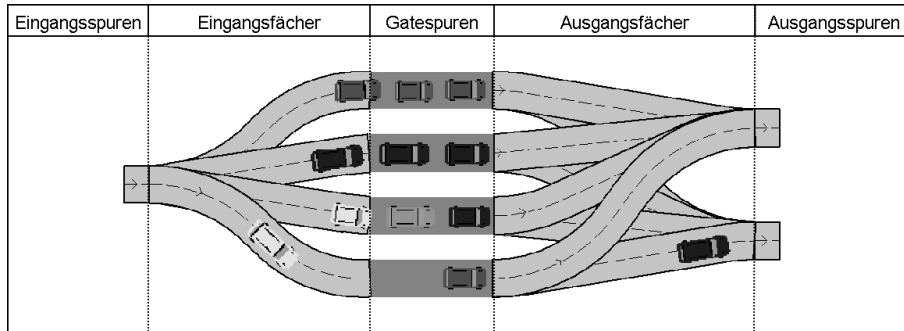


Abbildung 3: Aufbau des Wegenetzes des Gate-Bausteins

Grundlegende Steuerungsfunktionen sind in den Bausteinen selbst enthalten, Steuerungen eines Bausteins, die Informationen anderer Bausteine erfordern, sind jedoch in die Terminalsteuerung ausgegliedert und werden von den Bausteinen nur ausgelöst. Die Bausteine kommunizieren also nicht direkt miteinander, sondern bedienen sich der Funktionen und Informationen, die in der Terminalsteuerung abgelegt sind. So müssen zum Beispiel beim Zuweisen von Stellplätzen nicht jedes Mal alle ParkingBays-Bausteine nach freien Stellplätzen durchsucht werden. Beim Initialisieren des Modells wird eine Liste aller im Terminal verfügbaren Stellplätze erstellt und in der Terminalsteuerung abgelegt. Während des Simulationslaufes wird dann nur noch mit dieser Liste gearbeitet. Abbildung 4 zeigt die Modellhierarchie sowie den Material- und Informationsfluss zwischen den Bausteinen.

Der Vorteil dieser zentralen Steuerung und Informationsverwaltung liegt darin, dass alle erforderlichen Daten zur Steuerung der Abläufe im Terminal an einem festen Ort im Modell abgelegt sind. So ist es nicht notwendig, eine einheitliche Schnittstelle für den Informationsfluss zwischen den Bausteinen zu definieren. Jeder Baustein kann auf die von ihm benötigten Informationen, die je nach Baustein sehr unterschiedlich sind, in der Terminalsteuerung zugreifen. Es ist somit einfach, Bausteine in ein Modell einzufügen, da diese nur an das vorhandene Wegenetz angeschlossen werden müssen. Weiterhin werden durch die Ausgliederung der von mehreren Bausteinen benötigten Funktionen in die Terminalsteuerung Redundanzen im Funktionsumfang der Bausteine vermieden.

Abbildung 5 zeigt das Beispiel eines realen Fährterminals, für das aus den Bausteinen ein Simulationsmodell erstellt wurde. Dieses ermöglicht es, Aussagen über die Auswirkungen von Änderungen in Terminallayout und Abläufen auf die Flächenausnutzung und die Abfertigungszeiten zu treffen.

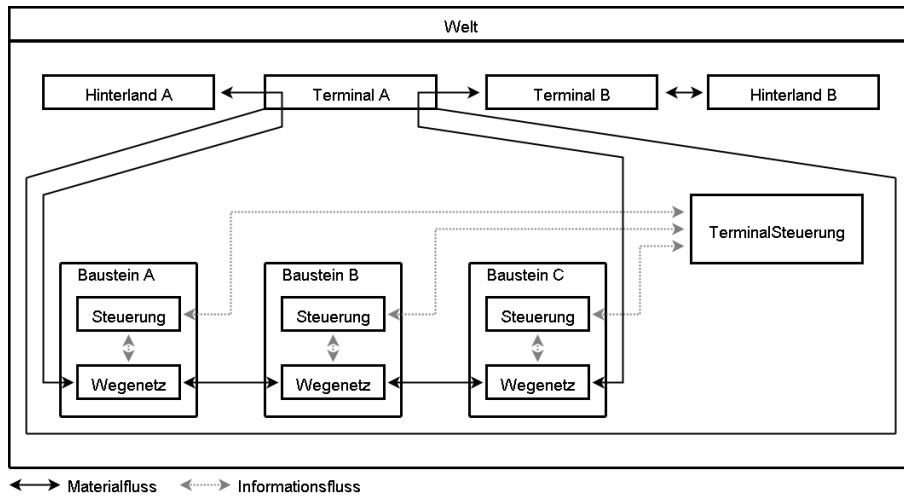


Abbildung 4: Modellhierarchie

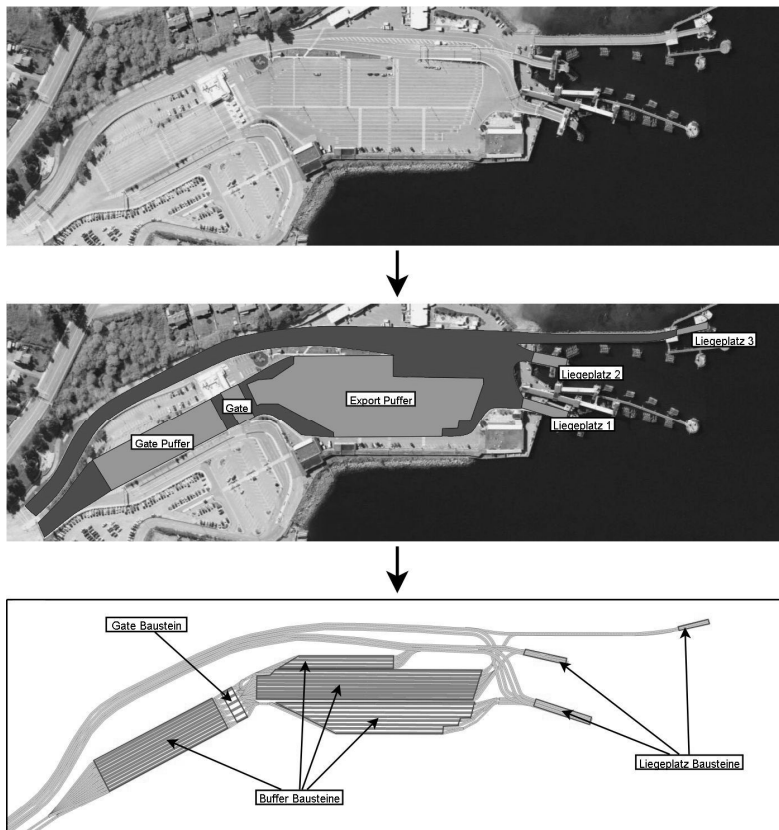


Abbildung 5: Erstellung eines Simulationsmodells (oben: Luftbild des realen Terminals, Mitte: Aufteilung des Terminals in Funktionsbereiche, unten: mit den Bausteinen erstelltes Wegenetz in Plant Simulation)

Innerhalb des Terminalmodells werden die Vorgänge auf den abzufertigenden Schiffen nicht im Detail nachgebildet. Um die Schiffe dennoch abbilden zu können, wurde ein allgemeines Modell eines Schiffes entwickelt, welches über Parameter an das konkrete Schiff angepasst werden kann. Die Parameter werden entweder durch Messungen auf einem bereits existenten Schiff ermittelt, oder aber auch durch eine Simulation der Be- und Entladung, wie sie bei der FSG bereits seit einigen Jahren im Schiffsentwurf verwendet wird. Diese Modelle berücksichtigen allerdings nicht das Terminal. Für die Zukunft ist es geplant, die Simulationsmodelle des Schiffes direkt mit dem Terminalmodell zu koppeln.

5 Fazit und Ausblick

Aus den Anforderungen für die Simulationen von Operationen in RoRo-Terminals wurde ein modulares Konzept abgeleitet und in einer bausteinorientierten Lösung realisiert. Funktionsbereiche und Steuerfunktionen eines Terminals werden als Bausteine zur Verfügung gestellt und können aus einer Bibliothek ausgewählt werden. Durch den objektorientierten Ansatz und die weitgehende Parametrisierung können die Bausteine flexibel miteinander kombiniert und Simulationsmodelle schnell aufgebaut und flexibel variiert werden. Erleichtert wird zudem die Pflege existierender Modelle. Mit den im STS Bausteinkasten bereits eingebundenen Modulen können nun Simulationsmodelle von RoRo-Terminals erstellt werden, die für die Konzeption von Schiffen und Terminals Verwendung finden. Für einen umfassenden Einsatz als Planungswerkzeug ist zusätzlich zur Validierung der Modelle ein Grundbestand an Daten z. B. zu Fahrzeugparametern, Fahrerverhalten und Ereigniswahrscheinlichkeiten aufzubauen. In Weiterverfolgung des Konzeptes, Terminalmodelle sowohl als Planungswerkzeuge als auch für die Steuerung des operativen Betriebes zu nutzen, ist auch über die Gestaltung der Schnittstellen zu Content Management Systemen (CMS) nachzudenken.

Literatur

- Baltic Marine Consult (1998) Better by design: In: Cargo Systems RoRo-Shipping Yearbook 1998, IIR Publications Ltd, London
- Loban M. (2005) Analysis of technical and organizational procedures within RoRo terminals when dispatching short sea RoRo-vessels. Studienarbeit, Technische Universität Berlin
- Majumder J., Vassalos D., Sarkar S., Kim H., Guarin L., York A., Dahlberg T. (2007) Simulation based planning of ferry terminal operations,. In Bertram, V (Hrsg.): Proceedings 6th International Conference on Computer and IT Applications in the Maritime Industries (COMPIT '07), Cortona, S. 307-315
- Steinhauer D. (2006) Simulation im Schiffbau – Unterstützung von Werft- bzw. Fertigungsplanung und Produktentwicklung bei der Flensburger Schiffbau-Gesellschaft. In: Wenzel, S. (Hrsg.): Simulation in Produktion und Logistik. 12. ASIM-Fachtagung. SCS Publishing House, Erlangen, S. 1-13