

Meta-Modellierung und Werkzeug-Integration in der Simulation von Seehafen Container-Terminals

Meta-modelling and Tool Integration in Simulation of Seaport Container Terminals

Ann-Kathrin Lange, Carlos Jahn, Technische Universität Hamburg-Harburg,
Hamburg (Germany), ann-kathrin.lange@tuhh.de, carlos.jahn@tuhh.de

Giovanni Pirovano, Politecnico di Milano, Mailand (Italy),
gio.pirovano@gmail.com

Tommaso Rossi, Università Carlo Cattaneo - LIUC, Castellanza (Italy),
trossi@liuc.it

Abstract: This document gives detailed information about the integration of different kinds of simulation in the planning process of maritime logistics systems. It demonstrates recent developments in maritime logistics and the consequential need for simulation in the optimization and planning of logistics systems. It introduces the different phases in planning processes and identifies adequate times for using simulation tools. Furthermore, different kinds of simulation and their uses are introduced. Afterwards, the document gives specific information about the method of meta-modelling and its possible integration with other kinds of simulation. The meta-model is used to automatically create a simulation after giving its specifications. Due to this, neither the personnel skills nor the time available to build the simulation model represent significant hurdles in the planning process.

1 Einleitung

Steigende Umsatzmengen, zunehmende Schiffsgrößen und begrenzte Erweiterungsflächen stellen den Betrieb von Container Terminals (CT) in Seehäfen vor große Herausforderungen. So erhöhte sich beispielsweise der weltweite containerisierte Handel von knapp 100 Mio. Twenty-foot Equivalent Units (TEU, deutsch Standardcontainer) im Jahr 2004 auf rund 160 Mio. TEU im Jahr 2013 (UNCTAD 2014). Die Kapazität des weltweit größten Containerschiffs verdoppelte sich von ca. 8.500 TEU im Jahr 2004 auf über 19.000 TEU im Jahr 2014. Ohne weitreichende Optimierungen der Abfertigungsprozesse würde dies zu erhöhten Liegezeiten der Schiffe im Hafen führen, die nicht nur zu steigenden Hafenliegegebühren für die Reeder führen, sondern die Effizienz des Schiffseinsatzes – gerade der sehr großen Containerschiffe

– signifikant senken können. Daher sind die Terminalbetreiber gezwungen, die Produktivität und Effizienz bei gleichbleibend niedrigen Preisen deutlich zu erhöhen (Wang und Cullinane 2006). Um den hohen Anforderungen bezüglich einer schnelleren Abfertigung in einem kürzeren Zeitfenster und einer höheren Qualität gerecht zu werden, ist es notwendig, dass die Terminals fortlaufend ihre operativen und administrativen Vorgänge begutachten und bei Bedarf entsprechend anpassen (Stahlbock und Voß 2008). Durch die begrenzten Erweiterungsflächen in den Häfen wird die Bedeutung von Optimierungen weiter verstärkt. Deshalb kommt es bei der Planung neuer und Umplanung vorhandener Terminals darauf an, Flächen und technische Systeme für Umschlag, Transport und Lagerung möglichst effizient einzusetzen. Die Methode der Simulation gewinnt vor diesem Hintergrund zur Absicherung und Optimierung von Lösungen bei Planungsprozessen in der Logistik im Allgemeinen (März und Weigert 2011) und insbesondere auch bei CT (Gibson et al. 1992; Koh et al. 1994; Merkurjev et al. 1998) immer mehr an Bedeutung.

Dabei kommt es mehr und mehr darauf an, die Simulation in frühen Planungsphasen und aufwandsarm einzubinden. So kann unter anderem ein Überblick über die zu erwartende Gesamtleistung des Terminals gegeben werden und mögliche Problemstellen vor der Umsetzung des Systems identifiziert werden. Ein großes Potenzial, dies zu meistern, besteht in der Meta-Simulation. Bisherige Anwendungen zur Simulation von CT werden aus einzelnen Elementen (Krane, Containerblocks, Fahrzeugen) zusammengesetzt. Für aussagekräftige Modelle sind dafür hohe Detailkenntnisse und ein großer Aufwand erforderlich, die ebenfalls ein hohes Fehlerpotenzial beinhalten (Novák 2011). Im Unterschied dazu können in sogenannten Meta-Modellen mit weniger Aufwand Simulationsmodelle insbesondere für frühe Planungsphasen generiert werden.

Bei der Betrachtung von CT aus Materialflusssicht stellen diese sich als offene Systeme mit zwei Schnittstellen zur Umgebung dar (Steenken et al. 2004). Eine dieser Schnittstellen ist die Wasserseite, an welcher das Laden und Löschen der Containerschiffe erfolgt. Die andere Schnittstelle ist die Landseite mit der Verladung der Container von und auf Bahn und LKW. Bei der Optimierung der Prozesse sollten im Zuge eines ganzheitlichen Ansatzes neben den terminalinternen Prozessen auch die wasserseitige und die landseitige Zuführung der Container betrachtet werden. Auch hier hat sich die Simulation als geeignetes Werkzeug erwiesen (John et al. 2014; Ben-Akiva und de Jong 2013).

In diesem Beitrag werden zunächst verschiedene Simulationsarten in der maritimen Logistik unterschieden und ihre jeweiligen Funktionen kurz dargestellt. Dabei wird auch auf die Rolle der Simulation im Planungsprozess von Logistiksystemen eingegangen. Anschließend erfolgt die Beschreibung der Umsetzung der Meta-Simulation im Allgemeinen und im Speziellen bei der Abbildung von CT. Dabei wird die Anwendung des Meta-Modells an einem einfachen Beispiel vorgestellt. Mögliche Schnittstellen der verschiedenen Simulationswerkzeuge und die Vorteile entsprechender Verknüpfungen werden aufgezeigt. Abschließend wird ein Ausblick auf mögliche Weiterentwicklungen des Ansatzes gegeben.

2 Der Einsatz von Simulation im Planungsprozess

Die Simulation im Bereich der maritimen Logistik beschäftigt sich prinzipiell mit drei Teilbereichen: Schiffsführung, Terminalprozesse und Verkehrsflüsse. Schiffsführungssimulatoren können sowohl zur Ausbildung des nautischen Nachwuchses als auch für Forschungsprojekte sowie im Rahmen von Hafenplanungsprojekten verwendet werden. So ermöglicht die Verwendung von Schiffsführungssimulatoren beispielsweise eine realistische Einschätzung der Einflüsse von Prozess- und Technologieänderungen auf die beteiligten Personen und minimiert so die Unfallgefahr bei der Umsetzung der Änderungen im realen Betrieb. Dabei birgt insbesondere die Kopplung mehrerer Simulatoren großes Potenzial (John et al. 2014). Ein anderes Beispiel ist der Einsatz von Schiffsführungssimulatoren für die abschließende Bewertung bei der Anpassung bzw. Neugestaltung von Wasserstraßen (PIANC 2014).

Zukünftige Erhöhungen der Gütermenge auf Hinterlandverkehrsträgern fordern einen entsprechenden Anstieg der Kapazitäten der jeweiligen Verkehrsinfrastruktur (Ben-Akiva et al. 2013). Güterverkehrsmodelle werden verwendet, um die möglichen Auswirkungen von politischen Maßnahmen und infrastrukturellen Änderungen auf den Verkehrsfluss zu untersuchen. Sie werden als wichtiges Instrument zur Begründung von infrastrukturellen Maßnahmen genutzt (Ben-Akiva und de Jong 2013). Weiterhin existieren spezielle Güterverkehrsmodelle zur Untersuchung des Hafenhinterlandverkehrs. Dabei dienen sie z. B. der Untersuchung der landseitigen Anbindung von Häfen in Bezug auf ihre Kapazitäten und Gestaltungsmöglichkeiten oder der Prognose der Entwicklung des Hafenhinterlandverkehrs oder des Modal Splits. Die Verknüpfung dieser Simulationsarten mit der Simulation von Terminalprozessen liegt im Fokus dieses Beitrages. Die Simulation von Terminalprozessen befasst sich unter anderem mit der Layoutplanung, der Bewertung verschiedener Betriebssysteme und der Analyse operativer Prozesse.

Der Entwicklungsprozess von Logistiksystemen, also auch von CT, kann generell in drei Phasen unterteilt werden. Dies sind die Planung, die Entwicklung und die Inbetriebnahme (Böse und Jahn 2011). Besondere Bedeutung hat die Simulation in der Planungsphase, genauer gesagt in der Vorplanung. Dazu gehören die Sammlung aller planungsrelevanten Daten, die Layoutplanung, die Kapazitätsanalyse von wichtigen Systembestandteilen und die Abschätzung von Geräte- und Personalanforderungen (Böse und Jahn 2011). Die Einbindung einer Visualisierungsumgebung in den Planungsprozess ermöglicht die einfache Betrachtung und Bewertung verschiedener Layoutvarianten. Da diese ohne großen Aufwand generiert werden können, ist eine umfangreiche Vorauswahl der Lösungsalternativen möglich. Dies reduziert den ggf. folgenden Simulationsaufwand deutlich (Jahn und Rauer 2011). Die Validierung der daraus gebildeten grundsätzlichen Systemvarianten kann unter Berücksichtigung von dynamischen und stochastischen Einflüssen des realen Betriebs und typischen Arbeitsanforderungen mittels ereignisorientierter Simulation durchgeführt werden (Böse und Jahn 2011).

Die frühzeitige Erstellung von Simulationsmodellen zur Bewertung der ersten Planungsentscheidungen verhindert somit mögliche Fehlplanungen und ermöglicht die Optimierung der Planung von Beginn an. Allerdings sind mit dieser Methode auch Schwierigkeiten verbunden, die die Nützlichkeit des Werkzeugs einschränken. So erfordert das Erstellen von Simulationsmodellen relativ viel Zeit und umfangreiche Softwarekenntnisse des Simulationsprogramms.

CT können unter anderem aufgrund ihrer hohen Anzahl an Organisationsformen, vieler Entscheidungsvariablen, statischer und dynamischer Nebenbedingungen und vieler Unsicherheitsquellen, wie z. B. Wetterbedingungen oder fehlerbedingten Ausfällen des Equipments, als komplexe Systeme betrachtet werden. Deshalb stellt die Simulation des Gesamtsystems CT hohe Anforderungen an den Ersteller und das Modell. Aus diesem Grund beschränken sich viele Simulationsmodelle auf einzelne Teilbereiche des Betriebs von CT, z. B. automatische Lagerblöcke (Kempe 2012; Canonaco et al. 2007), Betrieb der Containerbrücken (Liu et al. 2002; Dai et al. 2004) oder die Analyse des Horizontaltransportes (Duinkerken et al. 2007).

Die Verwendung eines Meta-Simulationsmodells umgeht diese Problematik, indem es den Nutzer unterstützt, Simulationsmodelle schnell mit relativ wenig Aufwand zu erstellen. In der Literatur werden Meta-Modelle auf zwei Wegen beschrieben. Zum einen werden sie als Hilfsmodelle für Simulationsmodelle definiert, die verwendet werden, um deren Komplexität zu verstehen (Friedmann 1996; Kleijnen 1987). Zum anderen werden Meta-Modelle als Satz an Simulationsmodellen beschrieben, die alle zu einer Kategorie an Systemen gehören. Das einzelne Simulationsmodell eines Systems der Kategorie, auf welche sich das Meta-Modell bezieht, wird durch eine Instanz des Modells abgebildet (Cigolini und Rossi 2010; Cigolini et al. 2011). Diese Instanz wird anhand von Eingabedaten des Nutzers automatisch generiert.

3 Meta-Modellierung

Das hier betrachtete Meta-Simulationsmodell wurde auf Basis der Simulations-Software „Enterprise Dynamics“ (ED) von Incontrol Simulation Solutions erstellt. Zur Ermittlung der relevanten Prozesse und Entscheidungsvariablen wurden zunächst Experteninterviews mit Vertretern verschiedener Terminalbetreiber und Terminalbesichtigungen durchgeführt. Durch die Betrachtung der detaillierten Abläufe konnten allgemein gültige Prozesse abstrahiert und in Form von Petri-Netzen dargestellt werden. Zur Nutzung dieser Prozesse für die Meta-Modellierung wurden die Schnittstellen zwischen den einzelnen Elementen untersucht und eine Clusterung dieser Elemente zu den verschiedenen Tätigkeitsbereichen von CT vorgenommen. Dadurch ist es möglich, die Meta-Modellierung durchzuführen, die sich nicht nur auf die Generierung einzelner Simulationsmodelle eines Betriebssystems aus einer Datenbank beschränkt, sondern die Modellierung aller standardmäßig vorkommenden Systeme von CT in Form von Simulationsmodellen ermöglicht.

Im Folgenden werden die Architektur des Meta-Simulationsmodells, die relevanten Objekte und die Software-Anwendung in Bezug auf die umfassende Darstellung in Lange et al. (2014) kurz vorgestellt, um anschließend die Verknüpfungsmöglichkeiten mit weiteren Simulationswerkzeugen aufzuzeigen.

3.1 Architektur des Meta-Modells

Das Meta-Modell erlaubt es dem Nutzer, die räumliche Struktur, die verwendeten Ressourcen und die besonderen Charakteristika des zu untersuchenden, realen CT zu definieren und daraus automatisch das entsprechende Simulationsmodell zu generieren. Durch Versuche mit diesem Model kann der Nutzer im Vorwege die Leistungsfähigkeit des Terminals untersuchen und Handlungen beschließen, die diese Leistungsfähigkeit steigern.

Das Meta-Modell besteht aus einer Benutzerschnittstelle mit zugehöriger Datenbank, einer Ad-hoc-Objektbibliothek und der Software-Anwendung. Durch die Benutzerschnittstelle kann der Nutzer sowohl die Elemente des CT als auch ihre Charakteristika, also die Werte der Parameter, durch die das Element charakterisiert wird, spezifizieren. Dabei werden sowohl die manuell eingegebenen Werte als auch die von der Schnittstelle daraus errechneten Werte in der Datenbank gespeichert.

Die Objektbibliothek enthält sowohl Standardatome aus ED als auch speziell erstellte Atome, die die operativen Bereiche des CT darstellen, wie z. B. die Abfertigung der Containerschiffe an der Wasserseite. Jedes Atom besteht dabei aus Daten, dargestellt durch die jeweiligen Attribute, und dem Verhalten, welches in 4D-Skript, der Programmiersprache von ED, modelliert wurde.

Die Software-Anwendung ermöglicht die automatische Generierung des Simulationsmodells. Dabei werden die Elemente des CT aus der Datenbank gelesen. Für jedes dieser Elemente wird das entsprechende Atom aus der Objektbibliothek entnommen, seine Attribute entsprechend der Werte in der Datenbank festgelegt, die richtige Zuweisung getroffen und in das Simulationsmodell eingefügt. Wenn dies für alle Elemente des CT durchgeführt wurde, wird das lauffähige Simulationsmodell erstellt, welches direkt für Experimente genutzt werden kann. Im weiteren Verlauf wird detaillierter auf die Objektbibliothek und die Software-Anwendung als komplexe Bestandteile des Meta-Modells eingegangen.

3.2 Objektbibliothek

In der Objektbibliothek liegen zwei verschiedene Arten an Objekten vor. Dies sind zum einen die Straßen, welche das Netzwerk erzeugen, in dem sich die Transportfahrzeuge des CT bewegen. Zum anderen gibt es die Elemente, die die Aktivitäten des Terminals erfüllen: Gate, Bahnabfertigung, wasserseitige Abfertigung, Container-Yard und aktives und passives Transportequipment. Zum aktiven Transportequipment gehören bspw. Straddle Carrier und Reach-Stacker, während dem passiven Equipment fahrerlose Transportfahrzeuge (AGV, Automated Guided Vehicles) und Traktor-und-Trailer-Kombinationen zuzuordnen sind. LKW, Züge, Schiffe und Container werden in dem Modell nicht als Objekte betrachtet, da es sich bei ihnen um die Entitäten handelt, die in Simulationsmodellen bewegt werden und dementsprechend automatisch vom Meta-Modell generiert werden.

Wie bereits in Abschnitt 3.1 dargestellt, werden Objekte durch Daten und Verhalten beschrieben. In Bezug auf die Daten handelt es sich bei den Attributen des Netzwerkes zum einen um die Paare an Knotenpunkten, die durch die Straße verbunden werden und zum anderen um die Parameter, welche das Setzen von Beschränkungen ermöglichen, wie z. B. Fahrtrichtung, Anzahl an Spuren oder Höchstgeschwindigkeiten. Die Attribute der Ressourcen-Atome quantifizieren prinzipiell die Auslastung der Terminal-Ressourcen, wie z. B. Lagerkapazität, Zwischenankunftszeiten der Schiffe oder Umschlagsraten der Krane. Beim Verhalten handelt es sich um Simulations-Submodelle, welche darstellen, wie die Elemente des CT miteinander und mit den beteiligten Entitäten, also LKW, Zügen, Schiffen und Containern, interagieren sollen. Aufgrund der Funktionsweise von ED wurde das Verhalten mittels State-Machine-Diagrams und Attributed-Petri-Nets modelliert.

3.3 Software-Anwendung

Die Software-Anwendung teilt sich in zwei Unterprozesse auf: Der erste fügt die entsprechenden Atome zu den Objekten der jeweiligen Ressourcen-Klasse in die Simulationsumgebung ein; der zweite generiert das Netzwerk durch Einfügen von Straßen-Atomen zwischen allen Paaren an Ressourcen-Atomen. Der erste Unterprozess beginnt mit dem Einlesen der Parameter des ersten Objektes der Ressourcen-Klasse, die erzeugt werden soll, aus der Datenbank. Anschließend wird das entsprechende Atom aus der Objektbibliothek entnommen und in die Simulationsumgebung eingefügt. Daraufhin versieht die Anwendung das jeweilige Atom mit den vorher eingelesenen Werten. Dieser Unterprozess wird für alle vom Nutzer definierten Objekte aller Ressourcen-Klassen wiederholt. Ist dies abgeschlossen, endet der erste Unterprozess und der zweite beginnt mit der Generierung des Netzwerkes. Dabei liest dieser Unterprozess die entsprechenden Parameter der Verbindung des ersten betrachteten Paares an Ressourcen-Objekten. Anschließend fügt die Anwendung das Straßen-Atom an entsprechender Stelle in die Simulationsumgebung ein und parametrisiert es entsprechend der eingelesenen Werte. Wurde dies für alle Paare an Ressourcen-Objekten durchgeführt, endet der zweite Unterprozess, da das Netzwerk komplett modelliert ist und das Simulationsmodell somit zur Nutzung zur Verfügung steht.

3.4 Anwendungsbeispiel des Meta-Modells

Die Anwendung des Meta-Modells zur Planung und Optimierung von CT soll anhand eines kurzen Beispiels dargestellt werden. Dabei wird ein fiktives Terminal mit einer wasserseitigen Abfertigung, vier Lagerblöcken und einer Bahnabfertigung betrachtet. Die LKW-Abfertigung wird zur Vereinfachung nicht berücksichtigt. Es werden folgende Entscheidungsvariablen zur Erstellung von acht Szenarien betrachtet: Die Anzahl der Containerbrücken (4 oder 8), die Anzahl der Straddle Carrier auf der Landseite (10 oder 20) und die Orientierung der Lagerblöcke in Bezug auf die Kaikante (parallel oder orthogonal). Zur Auswertung der Ergebnisse werden die durchschnittliche Abfertigungszeit der Züge und Schiffe und die zurückgelegte Strecke der Straddle Carrier herangezogen. Weitere Variablen können als Kontrollvariablen genutzt werden.

Im Folgenden werden die einzelnen Schritte zur Erstellung eines experimentierfähigen Simulationsmodells dargestellt:

1. Zunächst erfolgt die Sammlung aller benötigten Eingabedaten für das angestrebte Simulationsmodell.
2. Anschließend kann eine Darstellung des Layouts des CT im Softwaretool hochgeladen werden, um in der weiteren Erstellung des Simulationsmodells als eine Orientierungshilfe verwendet zu werden.
3. Im nächsten Schritt werden die benötigten Bereiche des CT per „drag and drop“ aus der Objektbibliothek auf die Oberfläche des Softwaretools übertragen. Die Verbindung dieser Bereiche erfolgt durch Netzwerke, die anhand ihrer Kreuzungspunkte definiert werden. Bei diesem Beispiel handelt es sich um die wasserseitige Abfertigung, den Container-Yard und die Bahnabfertigung.
4. Die Parametrisierung erfolgt durch die Eingabe der benötigten Daten in der Benutzerschnittstelle. Dabei existiert für jeden Bereich des Modells eine spezielle Eingabemaske. Weiterhin sind einige Felder bereits mit Standardwerten

ausgefüllt, die der Benutzer entweder übernehmen kann oder mit eigenen, genaueren Daten ersetzt.

5. Im nächsten Schritt wird durch die Software-Anwendung, wie in Kapitel 3.3 beschrieben, für jedes Szenario das entsprechende Simulationsmodell erstellt.
6. Abschließend können die Parameter des Simulationsexperiments, z. B. die Wiederholungsanzahl, festgelegt und das Experiment durchgeführt werden.

Tabelle 1: Ergebnisse Simulationsexperiment Anwendungsbeispiel

Szenario	Abfertigungszeit Containerschiff	Abfertigungszeit Bahn	Strecke Straddle Carrier
A	50,20	13,56	2.093
B	49,75	13,46	1.792
C	43,46	13,58	2.187
D	42,90	12,79	1.894
E	48,13	13,89	1.956
F	48,90	13,71	1.654
G	30,56	14,01	2.079
H	39,08	12,86	1.798

Anhand der Ergebnisse (Tab. 1) kann beispielsweise abgelesen werden, dass eine höhere Anzahl an Containerbrücken die Abfertigungszeit der Containerschiffe deutlich verringert oder dass eine Verringerung der Straddle-Carrier-Anzahl zu einer erhöhten Abfertigungszeit der Züge und zu einer höheren zurückgelegten Strecke bei den Straddle Carriern führt. Es wurden also bei einem einfachen Modell innerhalb von weniger als 30 Minuten Arbeitszeit Ergebnisse ermittelt, die die Optimierung eines CT ermöglichen.

3.5 Umgang mit Unschärfe bei der Meta-Modellierung

Um ungewollte Unschärfen bei der Meta-Modellierung zu vermeiden, kann die Genauigkeit des lauffähigen Simulationsmodells durch den Nutzer selbst beeinflusst werden. Werden die voreingestellten Standardwerte und die vorhandenen Steuerungen verwendet, so kann mit geringem Aufwand eine grobe Abschätzung der Planungsentscheidungen getroffen werden. Dies ist insbesondere in einem sehr frühen Planungsstadium sinnvoll. Soll eine detaillierte Betrachtung vorgenommen werden, so können die Standardwerte durch exakte Werte ersetzt und die Steuerungen entsprechend der jeweiligen Abläufe angepasst werden. Dafür ist eine umfangreiche Informationsbeschaffung vor der Erstellung des Simulationsmodells notwendig. Dabei können insbesondere Rücksprachen mit Vertretern verschiedener CT oder Geräteentwicklern helfen, die exakten Werte für den Anwendungsfall zu ermitteln. Weiterhin ist eine Überprüfung der Einflüsse der verschiedenen Entscheidungsvariablen mit Hilfe einer Sensitivitätsanalyse und in Rücksprache mit Experten aus der Praxis empfehlenswert. Zur Überprüfung der Exaktheit des Simulationsmodells können Abgleiche mit Beispielen aus der Praxis durchgeführt werden.

4 Werkzeug-Integration

Böse und Jahn (2011) stellen das Konzept einer Tool-based Rapid Planning Environment vor. Dabei sollen verschiedene, in der Praxis erprobte Werkzeuge zur Planung von Logistiksystemen so gekoppelt werden, dass die Kosten- und Zeiteffizienz gegenüber der Planung mit alleinstehenden Systemen deutlich erhöht wird. Dies wird unter anderem damit begründet, dass sich Software-Werkzeuge zumeist auf einzelne, fest definierte Teilprobleme beziehen und somit als Ergebnis einzelne Teilmodelle erzeugen. Werden diese Teilmodelle durch angemessene Mechanismen gekoppelt, so führen Änderungen in einem der Modelle zu einer dynamischen Anpassung in den anderen Teilmodellen. Dies reduziert insbesondere sowohl den Zeitaufwand als auch die Fehleranfälligkeit und den manuellen Aufwand deutlich. Diese Planungsumgebung soll durch die Einhaltung verschiedener Prinzipien ermöglicht werden. Dazu gehören die Konsistenz der verwendeten Daten, die intuitive Bedienung der Werkzeuge, das Koppeln von verschiedenen Werkzeugen, die Verwendung bestehender Modelle und die Visualisierung der Planungsergebnisse. Als Werkzeuge wurden dabei ein haptischer Planungstisch, eine Tabellenkalkulation, ein Simulator für logistische Prozesse und ein Schiffsführungssimulator berücksichtigt.

Durch die Einbindung eines Werkzeuges zur Güterverkehrsmodellierung in eine solche Planungsumgebung könnten die wichtigsten Bereiche in der Planung von maritimen Logistiksystemen abgebildet werden. Dabei könnten, wie auch beim Schiffsführungssimulator, die Abhängigkeiten der Ergebnisse der unterschiedlichen Systeme ausgenutzt werden, um gekoppelt möglichst optimale Ergebnisse zu erzielen. Weiterhin würde sich ein Meta-Modell zur Simulation der logistischen Prozesse an einem Terminal sehr gut in das bestehende System einfügen, da es im Vergleich zur Verwendung bereits bestehender Modelle deutlich flexibler an neue Situationen anpassbar ist und dem Nutzer einen größeren Gestaltungsspielraum bietet. Weiterhin kann so ebenfalls die Zeiteffizienz gesteigert werden und die Fehlerwahrscheinlichkeit reduziert werden, da die Eingabemöglichkeiten des Nutzers klar vorgegeben sind und dieser von dem eigentlichen Modellierungsprozess entlastet wird. Zusätzlich wird die Benutzerfreundlichkeit durch übersichtliche Eingabemasken deutlich erhöht.

5 Fazit und Ausblick

Dieser Beitrag beschreibt verschiedene neue Entwicklungen bei der Simulation von Seehäfen. Insbesondere wird dabei auf die Meta-Modellierung und die Integration unterschiedlicher Werkzeuge eingegangen. Der Grund, warum diese möglichen Lösungen betrachtet wurden, sind die vielfältigen Herausforderungen bei der Planung von Logistiksystemen. Aufgrund des steigenden Drucks auf CT Betreiber ist es notwendig, Simulationsmodelle frühzeitig und aufwandsarm in den Planungsprozess einzubinden, um zu einem frühen Zeitpunkt mögliche Problemstellen zu identifizieren und einen guten Überblick über die Gesamtleistung des zu planenden Systems zu erhalten. Allerdings beinhaltet dieses Vorgehen ebenfalls Schwierigkeiten, da die Einbindung von Simulationsmodellen zum einen zumeist einen hohen Zeitaufwand und gute Detailkenntnisse der Simulationssoftware erfordert. Zum anderen müssen zur ganzheitlichen Betrachtung aller relevanten Akteure und Prozesse unterschiedliche Werkzeuge verwendet werden. Dies stellt bei einer einzelnen Betrachtung der

Werkzeuge eine deutliche Erhöhung des Aufwandes und der Fehlermöglichkeiten für die Beteiligten dar.

Durch die Verwendung von sogenannten Meta-Modellen, bei denen ein generisches Modell durch Spezifikation der Parameter in einer Benutzerschnittstelle ein Simulationsmodell erstellt und durch die Integration der verschiedenen Werkzeuge in eine definierte Planungsumgebung können diese Schwierigkeiten überwunden werden.

Zukünftig soll sowohl die Weiterentwicklung der einzelnen Elemente der Planungsumgebung als auch die Gestaltung der Planungsumgebung selbst weiter vorangetrieben werden. Die Anwendbarkeit soll anhand weiterer praktischer Beispiele verbessert werden.

Literatur

- Ben-Akiva, M.; de Jong, G.: The Aggregate-Disaggregate-Aggregate (ADA) freight model system. In: Ben-Akiva, M.; Meersman, H.; Van De Voorde, E. (Hrsg.): *Freight Transport Modelling*. Bingley (UK): Emerald Group Pub 2013, S.69-90.
- Ben-Akiva, M.; Meersman, H.; Van De Voorde, E.: Recent developments in freight transport modelling. In: Ben-Akiva, M.; Meersman, H.; Van De Voorde, E. (Hrsg.): *Freight Transport Modelling*. Bingley (UK): Emerald Group Pub 2013, S. 3-13.
- Böse, J.W.; Jahn, C.: Innovative logistics planning. Development and use of an integrated planning environment for increase of effectiveness and efficiency of complex planning processes. In: Blecker, T.; Jahn, C.; Kersten, W. (Hrsg.): *Maritime Logistics in the Global Economy. Current Trends and Approaches*. Lohmar: Eul (Supply Chain, Logistics and Operations Management, 5) 2011, S. 73-107.
- Canonaco, P.; Legato, P.; Mazza, R. M.; Musmanno, R.: A queuing network model for the management of berth crane operations. *Computers & Operations Research* 35 (2007) 8, S. 2432-2446.
- Cigolini, R.; Rossi, T.: Sizing off-shore transshipment systems in dry-bulk transportation. *Production Planning & Control* 21 (2010) 5, S. 508–522.
- Cigolini, R.; Pero, M.; Rossi, T.: An object-oriented simulation meta-model to analyse supply chain performance. *International Journal of Production Research* 49 (2011) 19, S. 5917-5941.
- Dai, J.; Lin, W.; Moorthy, R.; Teo, C.-P.: Berth allocation planning optimization in container terminals. Working Paper: Georgia Institute of Technology (Atlanta, USA), National University of Singapore, 2004.
- Duinkerken, M.B.; Dekker, R.; Kurstjens, S.T.G.L.; Ottjes, J.A.; Dellaert, N.P.: Comparing transportation systems for inter-terminal transport at the Maasvlakte container terminals. In: Kim, K.H.; Günther, H.-O. (Hrsg.): *Container Terminals and Cargo Systems. Design, Operations Management and Logistics Control Issues*: Berlin et al.: Springer 2007, S. 38-61.
- Friedman, L.: *Simulation metamodel*. Norwell (USA): Kluwer Academic Publishers 1996.
- Gibson, R.; Carpenter, B.; Seeburger, S.: A flexible port traffic planning model. In: Swain, J.J.; Goldsman, D.; Crain, R.C.; Wilson, J.R. (Hrsg.): *Proceedings of the 1992 Winter Simulation Conference, Arlington (VA), 13.-16. Dezember 1992*, S. 1296-1306.

- Jahn, C.; Rauer, R.: Visualisierung in der Hafenlogistikplanung. Neue Potenziale durch integrierte Planungswerkzeuge. In: von Lukas, U.; Haase, K.; Mahnke, E.-M.; Malo, S. (Hrsg.): Tagungsband zur Konferenz Go-3D 2011: Computergraphik für die Praxis. Rostock, 30.08.2011. Fraunhofer-Institut für Graphische Datenverarbeitung IGD. Stuttgart: Fraunhofer Verlag, S. 47-55.
- John, O.; Burmeister, H.-C.; Brödje, A.; Bornhorst, C.; Grube, C.: Assessing the MONALISA 2.0 Concept: Establishment of the European Maritime Simulation Network. In: Müller, R.; Deutsche Gesellschaft für Ortung und Navigation (DGON) (Hrsg.): Proceedings of the International Symposium "Information on Ships", Integrated Ship's Information Systems (ISIS) 2014, Hamburg, 04.-05. September 2014, S. 179-189.
- Kemme, N.: Effects of storage block layout and automated yard crane systems on the performance of seaport container terminals. *OR Spectrum* 34 (2012) 3, S. 563-591.
- Kleijnen, J.P.C.: Statistical tools for simulation practitioners. New York (USA): M. Dekker 1987.
- Koh, P.-H.; Goh, J. L. K.; Ng, H.-S.; Ng, H.-C.: Using simulation to preview plans of a container port operations. In: Sadowski, D.A.; Seila, A.F.; Manivannan, M.S.; Tew, J.D.: Proceedings of the 1994 Winter Simulation Conference, Lake Buena Vista (FL), 11.-14. Dezember 1994, S. 1109-1115.
- Lange, A.-K.; Pirovano, G.; Pozzi, R.; Rossi, T.: Development of a container terminal simulation meta-model. In: Wittmann, J. (Hrsg.): Tagungsband 22. Symposium Simulationstechnik, ASIM 2014, 3. bis 5. September 2014, HTW Berlin. Wien (Österreich): ARGESIM 2014, S. 101-108.
- Liu, C.-I.; Jula, H.; Ioannou, P. A.: Design, simulation, and evaluation of automated container terminals. *IEEE Transactions on intelligent transportation systems* 3 (2002) 1, S. 12-26.
- März, L.; Weigert, G.: Simulationsgestützte Optimierung. In: März, L.; Krug, W.; Rose, O.; Weigert, G. (Hrsg.): Simulation und Optimierung in Produktion und Logistik. Berlin, Heidelberg: Springer 2011, S. 3-12.
- Merkuryev, Y.; Tolujew, J.; Blümel, E.; Novitsky, L.; Ginters, E.; Viktorova, E.; Merkurjeva, G.; Pronins, J.: A modelling and simulation methodology for managing the Riga harbour container terminal. *Simulation* 71 (1998) 2, S. 84-95.
- Novák, P.; Šindelář, R.: Applications of ontologies for assembling simulation models of industrial systems. In: Meersman, R.; Dillon, T.; Herrero, P. (Hrsg.): On the Move to Meaningful Internet Systems: OTM 2011 Workshops, Hersonissos (Greece), 17.-21. Oktober 2011, S. 148-157.
- PIANC MarCom Working Group 121: Harbour Approach Channels – Design Guidelines. MarCom report 121, January 2014.
- Stahlbock R.; Voß, S.: Operations research at container terminals: A literature update. *OR Spectrum* 30 (2008) 1, S. 1-52.
- Steenken, D.; Voß, S.; Stahlbock, R.: Container terminal operations and operations research - a classification and literature review. *OR Spectrum* 26 (2004) 1, S. 3-49.
- UNCTAD Secretariat: Review of Maritime Transport. United Nations Publication, Schweiz, 2014.
- Wang, T.-F.; Cullinane, K.: The efficiency of european container terminals and implications for supply chain management. *Maritime Economics & Logistics* 8 (2006) 1, S. 82-99.