

# **Bausteinbasierte Simulation des Ladungsumschlags in trimodalen Containerterminals**

## ***Modularised Simulation of Container Handling in Trimodal Container Terminals***

Carsten Eckert, Philipp Teitge, TU Berlin, Berlin (Germany),  
eckert@naoe.tu-berlin.de, ph.teitge@gmx.de

Dirk Steinhauer, Flensburger Schiffbau-Gesellschaft mbH & Co. KG, Flensburg  
(Germany), steinhauer@fsg-ship.de

**Abstract:** Westhafen Berlin is one of the largest inland ports in Germany. Due to its situation in the city centre gains in capacity cannot be achieved by expansion but only by adaptation of container handling strategies. In the course of the simulation study presented in this paper the current strategies have been analyzed in terms of their overall performance and robustness. Alternative strategies have been developed and comparatively evaluated. Furthermore, effects of interference and severance of additional trains and barges have been examined. For the simulation study a module-based simulation approach was used. This offers the option of prefabricated, parameterized and reusable modules from which simulation models can be easily created and adapted flexibly to the respective application.

## **1 Einleitung**

Der Westhafen Berlin ist mit einem jährlichen Ladungsumschlag von über 4 Mio. Tonnen einer der größten Binnenhäfen Deutschlands. Die Lage im Innenstadtbereich lässt eine Kapazitätssteigerung durch eine Flächenerweiterung allerdings nicht zu. Steigende Umschlagszahlen und schnellere Durchlaufzeiten der Container können nur durch eine Anpassung der Umschlagsstrategien erreicht werden.

Im Zuge der in diesem Beitrag vorgestellten Simulationsstudie wurden die aktuelle Strategie für den Containerumschlag im Westhafen hinsichtlich ihrer Robustheit analysiert und anschließend alternative Strategien entwickelt und vergleichend bewertet. Weiterhin wurden Auswirkungen von Störeinflüssen sowie Abfertigungen weiterer Kompletzzüge und Binnenschiffe zusätzlich zum aktuellen Umschlagsvolumen untersucht.

Für die Simulationsstudie wurde auf einen bausteinbasierten Simulationsansatz zurückgegriffen, der es ermöglicht, aus vorgefertigten parametrisierten Modulen mit wenig Aufwand Simulationsmodelle zu erstellen und diese flexibel an den jeweiligen Einsatzzweck anzupassen.

Der eingereichte Beitrag stellt auch die Entwicklungen an einem Bausteinkasten für die Simulation der Umschlagsprozesse in trimodalen Containerterminals vor.

Bereits existierende Simulationsstudien von Containerterminals sind für die Abbildung von Binnenterminals nicht direkt nutzbar, da die Abläufe in Binnenterminals nicht so stark standardisiert und im Vergleich zu Seeterminals sehr verschieden sind (Baron 2011; Kemme 2011). So besitzen beispielsweise Containerbrücken eines Binnenterminals einen größeren Aufgabenbereich. Hinzu kommt, dass meist eine größere Zahl an verschiedenen Containerarten und Fahrzeugtypen berücksichtigt werden muss. Der Automatisierungsgrad in diesen Terminals ist ebenfalls geringer, was zu weniger überschaubaren Materialflüssen und Umschlagsstrategien führt. Die Simulation in kleineren Binnenterminals wird damit größtenteils zu aufwändig und dadurch unattraktiv für die Betreiber.

Nichtsdestotrotz wurden solche Containerterminals bereits in Simulationsstudien untersucht (Latki et al 2010).

## 2 Westhafen Berlin und Besonderheiten des Containerterminals

Der Westhafen Berlin wird von der Berliner Hafen- und Lagerhausgesellschaft mbH (BEHALA) betrieben. Abbildung 1 zeigt eine Luftaufnahme des trimodalen Containerterminals im Westhafen, in dem Container sowie Wechselbrücken vom Lkw, von der Bahn und vom Binnenschiff uneingeschränkt untereinander umgeschlagen werden können. Der Containerumschlag wird über zwei Portalkräne mit einer Tragfähigkeit von je 45 t durchgeführt. Das Containerdepot fasst ca. 1000 TEU mit speziellen Stellplätzen für Gefahrgut und Kühlcontainer. Das Terminal verfügt über je zwei Gleise und LKW-Abfertigungsspuren mit jeweils 350 m Länge sowie eine Kaiante für Binnenschiffe von 300m Länge.



*Abbildung 1: Luftaufnahme Containerterminal Westhafen Berlin (Quelle: Google Earth)*

Im Folgenden werden Besonderheiten des Containerumschlags im Westhafen beleuchtet, die für die Modellerstellung eine besondere Herausforderung darstellten.

## 2.1 Portalkräne

Die beiden Portalkräne arbeiten auf einer durchgehenden Kranbahn von 400 m Länge und haben gleiche Tätigkeitsfelder. Das bedeutet, dass sich ihre Arbeitsbereiche zu großen Teilen überschneiden.

Die Abstimmung der beiden Kräne zueinander stellt daher täglich eine große Herausforderung für die Kranfahrer dar, und auch im Hinblick auf die Modellerstellung und die Analyse verschiedener Umschlagstrategien ist dies ein entscheidender Faktor.

Hinzu kommt der breit gefächerte Aufgabenbereich der Kräne. In Seehäfen konzentrieren sich Containerbrücken sehr oft nur auf die Be- oder Entladung, oder sind für die Abfertigung nur eines Verkehrsmittels zuständig. Dagegen können im Westhafen alle Verkehrsmittel von beiden Portalkränen abgefertigt werden, egal ob es sich um die Beladung oder die Entladung handelt. Dies geschieht im nahtlosen Übergang, bzw. die Abfertigung von Lkw und Zügen zum größten Teil parallel. In erster Linie ist das den unterschiedlichen Strategien bei der Zugabfertigung geschuldet.

## 2.2 Zugabfertigung

Züge der Seehinterlandsverbindungen aus Hamburg bzw. Bremerhaven und Amsterdam werden direkt nach Ankunft im Terminal komplett ent- und wieder beladen. Dies passiert in der Nacht (Hamburg, Bremerhaven) oder am Wochenende (Amsterdam). Dazu müssen parallel nur vereinzelt auch Lkw abgefertigt werden.

Dagegen wird die Ladung von Parcel InterCity-Zügen (PIC) direkt zwischen Zug und Lkw umgeschlagen. Dies bedeutet, dass die Züge tagsüber im Terminal verweilen. Hier rückt wiederum das Zusammenspiel der Kräne in den Vordergrund. Weiterhin spielen die Positionierung der Lkw und die Stellplatzfindung auf den Waggons eine entscheidende Rolle für einen reibungslosen Containerumschlag.

Die Stellplatzvergabe erfolgt kundenorientiert. Eine Zugliste mit Stellplatzvorgaben, wie bei den Seehinterlandsverkehren gibt es nicht. D. h., dass die Stellplätze auf den beiden Zugabschnitten der jeweiligen Kunden frei gewählt werden können.

## 2.3 Stellplatzvergabe für Container

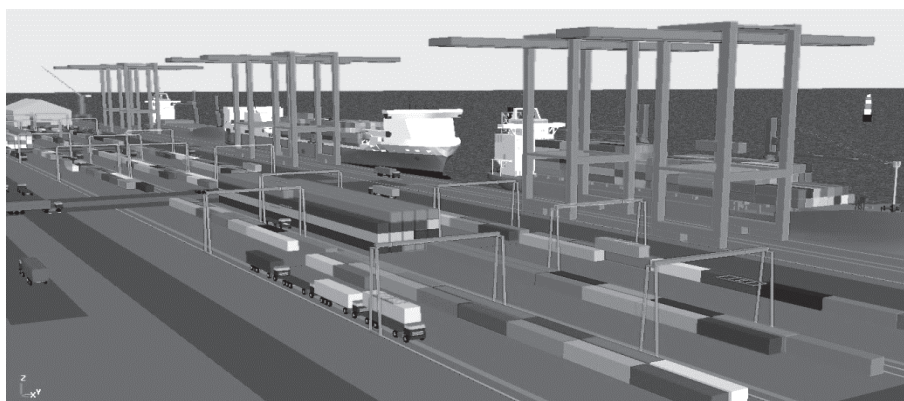
Die Vergabe der Stellplätze im Containerdepot kann auf zwei Arten erfolgen. Container die per Lkw geliefert werden, bekommen ihren Stellplatz bei der Anmeldung zugewiesen. Dagegen vergeben die Kranfahrer die Stellplätze für Container, die per Bahn geliefert werden.

Die Stellplatzangabe steht zusätzlich nur für einen bestimmten Bereich im Containerdepot. Die genaue Positionierung in den jeweiligen Bereichen erfolgt ebenfalls operativ durch die Kranfahrer. Die Strategien bei der Stellplatzvergabe und der genauen Positionierung sind sehr stark durch die Erfahrung der einzelnen Terminalmitarbeiter geprägt.

Eine Möglichkeit, die Zugabfertigungsdauer zu reduzieren, ist das Vorsortieren des Containerdepots. Dabei werden in Zeiten geringerer Auslastung (z.B. zum Beginn der Nachtschicht) Container, deren Umschlag für die nähere Zukunft avisiert ist, im Depot derart bereitgestellt, dass sie bereits neben dem geplanten Wagon stehen oder zumindest nicht unter anderen Containern die erst zeitaufwändig umgestapelt werden müssten. Allerdings führt dies zu Mehrarbeit einer Schicht zugunsten von Zeitersparnissen einer anderen. Hier kann durch eine Simulationsstudie die Akzeptanz dieses Vorgehens unter den Kranführern gesteigert werden.

### 3 Simulation Toolkit Shipbuilding

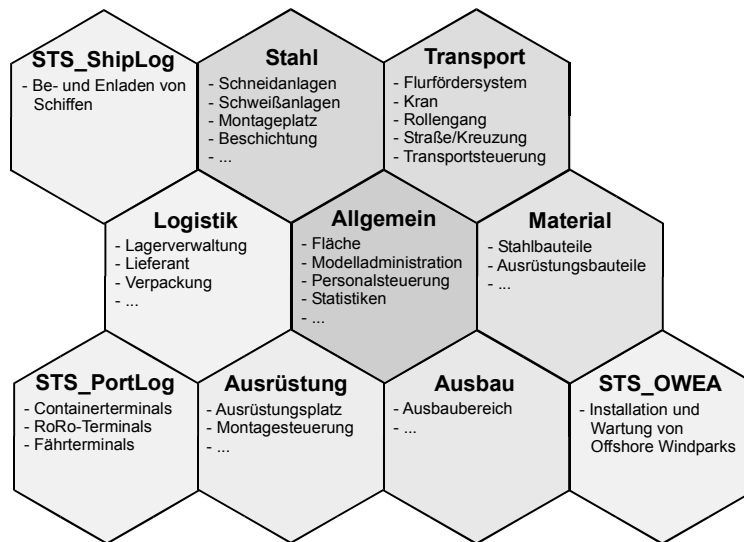
Die hier beschriebene Simulationsstudie wurde im Rahmen der Kooperation zwischen dem Fachbereich Entwurf und Betrieb Maritimer Systeme der Technischen Universität Berlin und der Flensburger Schiffbau-Gesellschaft mbH & Co. KG (FSG) durchgeführt. In dieser Kooperation werden seit 2005 Bausteine für die Modellierung von logistischen Systemen im maritimen Umfeld entwickelt. Nachdem zunächst RoRo- und Fährterminals (Eckert et al. 2009) sowie Offshore-Windparks (Steinhauer 2013) analysiert wurden, rückten in der jüngsten Vergangenheit auch Containerterminals in den Fokus der Arbeiten (Abb. 2).



*Abbildung 2: Simulationsmodell eines beispielhaften Containerterminals*

Basis für die gemeinsamen Simulationsaktivitäten der Kooperationspartner ist der Simulation Toolkit Shipbuilding (STS), welcher seit dem Jahr 2000 bei der FSG und in verschiedenen Kooperationen entwickelt wird. Dort wurden zunächst Simulationsbausteine für die Modellierung von schiffbaulichen Produktionsabläufen erarbeitet, welche später durch die branchenübergreifende Kooperation mit dem Bauwesen in ihrer Anwendung verallgemeinert wurden. Aufgrund des entscheidenden Einflusses der Logistik auf den Produktionsprozess deckt der STS auch wesentliche Logistikfunktionen ab, wie die Verwaltung von Transport- oder Lagerressourcen, das Management von Transporten, den Aufbau eines Verkehrsnetzes sowie die Belegung von Flächen. Zudem ist eine Reihe spezifischer Transportmittel mit ihren Eigenschaften abgebildet, wie zum Beispiel Kräne, Fahrstühle oder Flurförderzeuge.

Aufgrund von einer zunehmenden Zahl an Simulationsaufgaben im Bereich der maritimen Logistik, welche zunächst für die Entwurfs- und Vertriebsabteilungen der FSG, später auch als Dienstleistungsprojekte für externe Kunden bearbeitet wurden, ist der STS um sogenannte Add-on Bibliotheken erweitert worden (Abb. 3). Hier wurden die Basisbausteine des STS für die Verwendung in spezifischen Aufgabengebieten hergerichtet und um aufgabenspezifische Funktionen ergänzt.



**Abbildung 3:** Struktur der Bausteine des STS inklusiver der Add-on Bibliotheken

Die STS Add-on Bibliothek STS\_PortLog beinhaltet in Bausteinen aggregierte Simulationsfunktionalitäten zur Modellierung von logistischen Prozessen in Häfen.

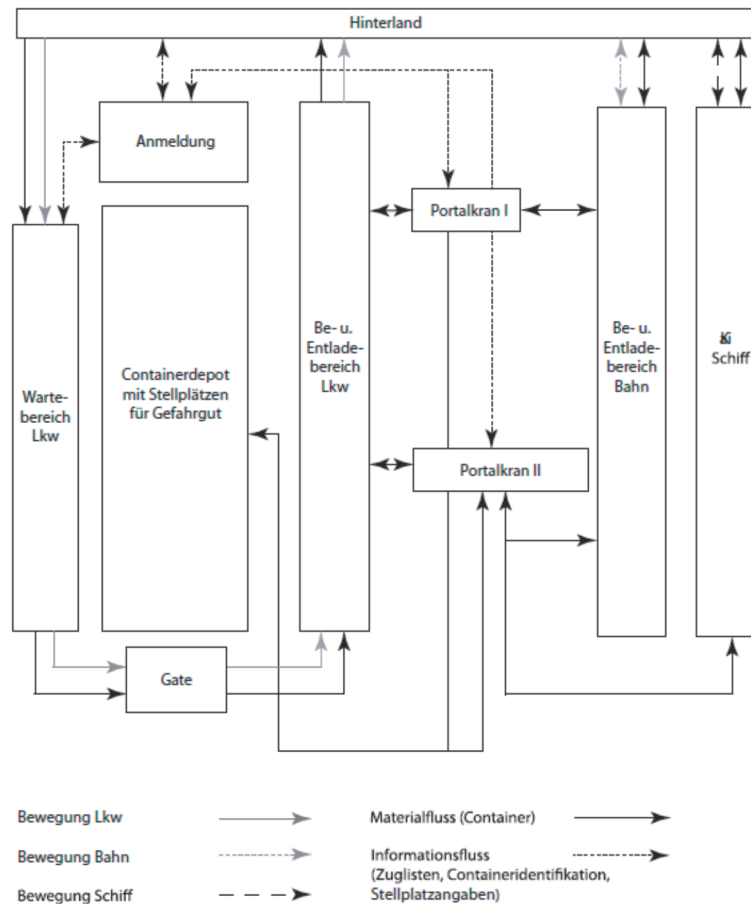
## 4 Datenerhebung

Grundlage für die Erstellung des Simulationsmodells war die Analyse der Abläufe im Westhafen. Aus den Analyseergebnissen wurde ermittelt, welche Funktionsbereiche und Interaktionen bereits über die angewandte Simulationssoftware abgebildet werden können und in welchen Bereichen noch Anpassungen nötig waren.

Für die bausteinbasierte Simulation stellen die in Abbildung 4 gezeigten Bereiche das Gerüst für das Simulationsmodell des Containerterminals Westhafen. Die daraus resultierende Notwendigkeit der Entwicklung neuer Bausteine und deren Integration in den STS sind Thema des Kapitels 5.

Für die Abbildung des Lagerbestands zum Zeitpunkt des Simulationsstarts dienen Lagerbestandslisten aus dem Datenarchiv der BEHALA. Lagerbestandslisten enthalten alle containerrelevanten Daten, die für die Containererstellung sowie für den Transportverlauf des Containers von Bedeutung sind. Es sind alle Daten über den Eingang und Ausgang am Terminal vorhanden. Hinzu kommen Informationen über die eindeutige Bezeichnung, den Typ, den Kunden und den Stellplatz des jeweiligen Containers. Lkw-, Zug- und Schiff-Eingangslisten sind identisch aufgebaut. Aus den

Listen gehen somit neben allen containerbezogenen, auch alle Daten über die für den An- und Abtransport zuständigen Transportmittel hervor. Für die Simulation spielen Lkw-Eigenschaften, wie Typ und Kennzeichen eine besondere Rolle.



**Abbildung 4:** Funktionsbereiche, Informations- und Materialfluss im Containerterminal Westhafen

Die Stellplatzverteilung der Container auf den Zügen wurde über Zuglisten ermittelt. Zuglisten geben Auskunft über Container, die mit ein und demselben Zug eintreffen oder abtransportiert werden. Dagegen stellen Zug-Einganglisten eine Übersicht der Container, die per Zug über einen bestimmten Zeitraum ans Terminal geliefert wurden. Die Zuglisten sind in erster Linie wichtig, um eine Aussage über die Auslastungen der einzelnen Züge treffen zu können.

Informationen über die aktuelle Umschlagstrategie und der Strategie zur Containereinlagerung wurden durch Interviews mit Terminalmitarbeitern und bei der Begleitung der Kranfahrer während Zug- und Lkw-Abfertigungen gesammelt.

## 5 Modellerstellung

Aus der Analyse der benötigten Simulationfunktionen und dem Vergleich mit den existierenden konnte der Bedarf an Ergänzungen und Anpassungen der Simulationsbausteine des STS ermittelt werden. Bezogen auf die physischen Komponenten des Containerterminals bestand in erster Linie Handlungsbedarf bei der Abbildung des Lkw-Abfertigungsbereichs. Weiterhin spielten die Entwicklung von Gleisbausteinen und eine Weiterentwicklung des bereits bestehenden Flächenbausteins eine Rolle. Im Bereich der grundlegenden Steuerungs- und Schnittstellenfunktionen bestand die größte Herausforderung in der Umsetzung der Stellplatzvergabe durch die Kranfahrer und in der Abstimmung der Kräne untereinander. Die Stellplatzvergabe wird über eine Erweiterung des Verpackungsbausteins ermöglicht, welche die Kranabstimmung über externe Methoden zulässt. Außerdem mussten Konzepte für die Zug- und Lkw-Erstellung entwickelt werden. Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die neu entwickelten Bausteine und deren Funktionalitäten.

*Tabelle 1: Neu entwickelte Bausteine*

Baustein	Funktionalität
STS_AllocationManagement	Belegung von Ressourcen
STS_MultiLaneRoad	Ausweichspuren für Lkw
STS_RailwayTrack	Gleis
STS_RailwaySwitch	Möglichkeit zum Spurwechsel (Weiche)
STS_TrainGenerator	Generierung von Zügen

Mit Hilfe des STS\_AllocationManagement kann die Belegung von Ressourcen unter Berücksichtigung von Kapazitäten und Anforderungen vorgenommen werden. Hier wird die Zuweisung von unterschiedlichen Containern zu Lkw oder Zughängern verwaltet, so dass zum Beispiel ein 40ft Auflieger auch eine Kombination aus mehreren 20ft oder 10ft Containern aufnehmen kann.

Durch den neu erstellten STS\_TrainGenerator können Züge nach bestimmten Parametern oder nach Zuglisten generiert und beladen werden.

Der Baustein STS\_MultiLaneRoad bildet einen mehrspurigen Weg mit der Möglichkeit des flexiblen Fahrspurwechsels ab, die für die Modellierung der Abfertigungsspur für Lkw herangezogen werden kann. Der Abfertigungsbereich besteht aus zwei Spuren, wobei eine Spur die Parkbuchten für die Be- und Entladung bildet und die zweite die Ein- und Ausfahrt der Lkw ermöglicht.

Zusätzlich zu den in Tabelle 1 aufgeführten Bausteinen wurde der Bausteinkasten um eine Vielzahl an Containertypen ergänzt.

Neben den gänzlich neu erstellten Bausteinen wurden zusätzlich einige Funktionen weiterentwickelt (Tab. 2).

**Tabelle 2:** Weiterentwickelte Bausteine

Baustein	Funktion	Ergänzte Funktionalität
STS_Source	STS Quelle	Zuordnung von Objektklassen nach Kriterien
STS_Supplier	Lieferant	Flexible Zuordnung von Fahrzeugklassen
STS_Packaging (SelectTECtr)	Verpackung	Benutzerdefinierte Auswahl von Transporthilfsmitteln
STS_Space	Flächenbelegung	Abstand der eingelagerten Objekte in X- und Y-Richtung

Der Einsatz der Portalkräne wird über externe Methoden geregelt. Dabei ergibt sich die Zuständigkeit für eine Containerbewegung aus der Container- bzw. Transportmittelposition am Terminal. Das bedeutet, der Bereich in dem beide Kräne arbeiten können, ist klar aufgeteilt und orientiert sich dabei am Stellplatz des umzuschlagenden Containers oder dem beauftragten Transportmittel. So ist beispielsweise der Zuständigkeitsbereich bei einem Containerumschlag in oder aus dem Depot anhand des Stellplatzblocks geregelt. Bei einem Direktumschlag von Lkw auf den Zug oder umgekehrt orientiert sich die Zuständigkeit dagegen an dem Waggonstellplatz auf dem Zug. Je nach Anzahl der Waggons sprechen die Kranfahrer vor der Ent- oder Beladung ab, welcher Kran welchen Teil des Zuges abdeckt.

In den externen Methoden werden zunächst die Arbeitsbereiche jedes Krans abgesteckt. Anschließend werden die Regelungen für Direktverladungen und Verladungen in das Depot getroffen. Die Nummer des Stellplatzblocks, auf die es bei Verladungen in das Depot ankommt, ist anhand eines Attributs des Containers abrufbar. Bei einer Direktverladung wird dagegen die Position des Waggons ermittelt. Die Vorgaben von Stellplatzblock und Waggonposition kann einfach auf wechselnde Anforderungen angepasst werden. Abschließend wird der Zuständige Portalkran angefordert. Wenn an den Kran bereits Anforderungen gestellt wurden, werden die Aufträge der Reihe nach ausgeführt. Dabei werden Verladungen mit einer hohen Priorität als erstes abgearbeitet. Das ist beispielsweise der Fall, wenn während der Entladung eines Zuges ein Lkw abgefertigt werden muss. Lkw-Abfertigungen haben eine höhere Priorität, damit sie nicht durch langwierige Zugabfertigungen aufgehalten werden.

Methoden, die den Containerumschlag aus dem Depot regeln, ist eine weitere externe Methode vorgeschaltet. Sie überprüft zunächst, ob evtl. Container innerhalb des Depots umgestellt werden müssen, um an den benötigten Container zu gelangen. Ist das der Fall, werden über Funktionen des Verpackungsbausteins neue Stellplätze für diese Container gesucht.

Wie erwähnt, ist der Verpackungsbaustein auch für die Umsetzung der generellen Stellplatzvergabe, die durch die Kranfahrer vorgenommen wird zuständig. Die Daten, die für die Stellplatzvergabe relevant sind, wie der Containertyp und dem Kunden, sind ebenfalls über Attribute des Containers abrufbar. Die Belegung eines Stellplatzblocks ist ebenfalls von Bedeutung. Diese wird bei der Stellplatzsuche innerhalb eines Blocks als erstes untersucht. Wurden in dem gewünschten



Stellplatzblock freie Plätze ermittelt, wird aus diesen der am besten geeignete Stellplatz in Abhängigkeit von Containertyp und Kunden ermittelt.

Neben den neu erstellten und weiterentwickelten Bausteinen konnte mit der Arbeit an dem Projekt Westhafen zusätzlich die Kommunikation zwischen den Bausteinen verbessert werden. Hier ist u. a. die Positionserkennung von Objekten durch den Kran zu nennen. Abbildung 5 zeigt das fertige Simulationsmodell bei der Abbildung einer Schiffladung parallel zur Entladung eines Zuges und zur Abfertigung von Lkw.

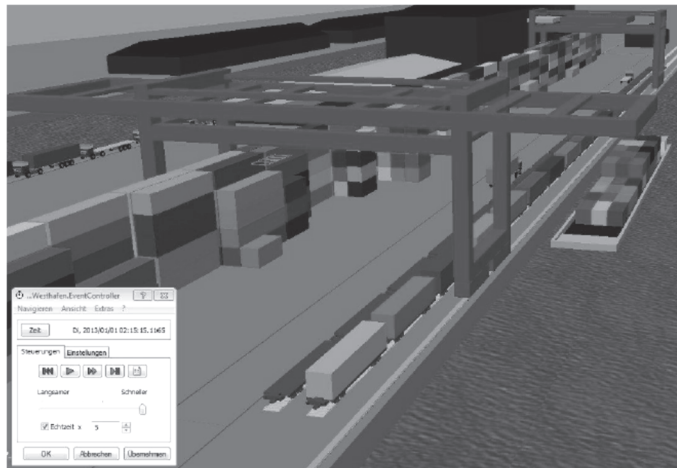


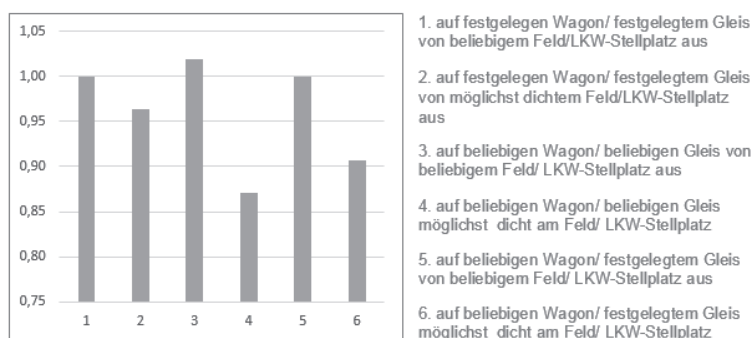
Abbildung 5: 3D-Animation Containerterminal Westhafen

## 6 Ergebnisse

Im Laufe der vorgestellten Simulationsstudie wurden verschiedene Strategien für die Umschlagsreihenfolge, der Stellplatzzuweisung im Containerdepot sowie der Zusammenarbeit der beiden Portalkrane verglichen und Vorschläge für geeignete Strategien bei verschiedenen Terminalabläufen unterbreitet.

Beispielhaft sollen hier die Ergebnisse des Vergleichs verschiedener Strategien zur Stellplatzauswahl im Depot und auf den Zügen vorgestellt werden. Abbildung 6 zeigt die prozentuale mittlere Abfertigungszeit eines Zuges bei verschiedenen Strategien. Strategie 1 (Umschlag eines Containers auf einen festgelegten Wagonstellplatz von einem beliebigen Depotstellplatz aus) stellt dabei den „Standardwert“ dar. Es ist zu erkennen, dass eine Vorsortierung der Container im Depot bzw. die Positionierung der LKW direkt neben den entsprechenden Wagons die Gesamtumschlagzeit der Züge verkürzt. Es hat sich gezeigt, dass die für die Vorsortierung zusätzlich nötigen Kranbewegungen gut in Zeiten geringerer Auslastung gelegt werden können.

Auch eine Zuordnung der Stellplätze auf dem Zug nach Containerstandort im Depot (also eine willkürlich anmutende Wagonbelegung) reduziert die Gesamtumschlagszeit erheblich. Allerdings ist hier zu berücksichtigen inwieweit sich dies auf die Umschlagsvorgänge im Zielhafen auswirkt.



**Abbildung 6:** Vergleich der prozentualen mittleren Abfertigungszeit eines Zuges bei verschiedenen Strategien zur Zuweisung von Containerstellplätzen (Baron 2011)

Insgesamt kann durch die beschriebenen Umschlagsstrategien eine schnellere Zugbeladung erreicht werden. Resultat ist die Gewinnung von Kapazitäten für die Abfertigung zusätzlicher Züge.

Weiterhin wurden die Auswirkungen der Abfertigung von zusätzlichen Zügen und Binnenschiffen parallel zum aktuellen Tagesgeschäft untersucht sowie die theoretische Maximalauslastung des Terminals ermittelt und bestehende Engpässe identifiziert. Außerdem wurden verschiedene „Notfallpläne“ für den Fall verspätet eintreffender Züge und Schiffe sowie dem Ausfall von Umschlagsgerät bewertet.

## Literatur

- Baron, B., Analyse der Umschlagvorgänge Seeschiff-Schiene in modernen Containerterminals, Technische Universität Berlin, 2011
- Berliner Hafen- und Lagerhausgesellschaft mbH, Eingangsliste Schiene DHL1668 18.09.2012, Seite 1, Berlin 2013
- Eckert, C., Fliege, F., Steinhauer, D., Bausteinbasierte Simulation logistischer Prozesse in RoRo-Terminals, Tagungsband HTG-Kongress 2009, Seehafen Verlag, 2009
- Kemme, N., Documentation of a Simulation Model for automated Rail-Mounted-Gantry-Crane Systems at Seaport Container Terminals, Universität Hamburg, 2011
- Latki, B. et al.: Prozess-Simulation als Methodenwerkzeug für den Funktionsnachweis komplexer Infra- und Suprastrukturplanungen am Beispiel eines Terminals für den intermodalen Ladungsverkehr. In: Gert Zülch, Patricia Stock (Hrsg.) Integrationsaspekte der Simulation: Technik, Organisation und Personal, KIT Scientific Publishing, 2010
- Steinhauer, D.: The Simulation Toolkit Shipbuilding – 10 Years of Cooperative Development and Interbranch Applications. In: Proceedings of the 10<sup>th</sup> International Conference on Computer and IT Applications in the Maritime Industries (COMPIT), Berlin (Germany), 2011, S. 453-465.
- Steinhauer, D.: Simulation von Offshore-Versorgungskonzepten: Von der Errichtung bis zum Betrieb. In: Holbach, G., Eckert, C. (Hrsg.): Maritime Lösungen für die Offshore-Windparkversorgung, Universitätsverlag der TU Berlin, Berlin, 2013, S. 145-162.