

Entwicklung von Prioritätsregeln für Umschlagvorgänge in Binnenhafencontainerterminals mittels Simulation

Development of Priority Rules for Handlings in Inland Port Containerterminals with Simulation

Uwe Clausen, Jan Kaffka, TU Dortmund, Dortmund (Germany),
clausen@itl.tu-dortmund.de, kaffka@itl.tu-dortmund.de

Abstract: Free space to expand the handling area in a container terminal is often not available. Therefore terminal operators have to improve operating strategies to increase the capacity of the terminal. For this purpose the authors developed a handling task sequencing strategy based on priority rules for a multi crane module in a container terminal. In this paper this control strategy is compared with other state of the art control strategies to find out which crane control strategy is the best strategy for a container terminal. State of the art strategies only consider terminal specific requirements like travel time improvement, but especially an inland port container terminal is also subject to market requirements such as short waiting times of the vehicles. Those requirements for terminals are often different so that a handling task sequencing is required which can be adjusted to the specific needs of a terminal.

1 Einführung

Containerterminals können grundsätzlich in Seehafen- und Binnenhafencontainerterminals unterschieden werden. Seehafencontainerterminals haben nach Lee et al. (2008) die Hauptaufgabe die großen Containerschiffe innerhalb der vereinbarten Liegezeit abzufertigen. Die Containerschiffe müssen so schnell wie möglich ent- und beladen werden. Im Gegensatz dazu agieren Binnenhafenterminals als Hinterlandhubs für Seehafencontainerterminals. Export Container werden im Vorlauf im Terminal gesammelt, im Containerterminal zwischengelagert und dann gebündelt nach dem Just in Time Prinzip zum Seehafen transportiert. Zusätzlich werden die Import Container im Nachlauf in das Hinterland an die Empfänger disponiert. Damit die Just in Time Anlieferung fehlerfrei funktioniert, ist die Hauptaufgabe der Binnenhafencontainerterminals somit die Pufferung der Container und die Einhaltung der Fahrpläne der Transportmittel. In einem Containerterminal existieren eine Vielzahl an unterschiedlichen

Teilbereichen, wie beispielsweise die Abfertigungsbereiche der Verkehrsmittel, das Depot oder die Umschlagmittel. Diese Teilbereiche werden separat voneinander gesteuert, so dass sich ein hoher stochastischer Einfluss und Abhängigkeiten untereinander ergeben. Dies macht eine Verbesserung des Betriebs eines Containerterminals ohne technische und methodische Unterstützung komplex. Verbesserungen in einem Teilbereich beeinflussen die jeweiligen anderen Teilbereiche und führen nicht automatisch zur Verbesserung des Gesamtbetriebes

Hauptumschlagmittel in Containerterminals sind die Krananlagen zum Umschlag der Container, welche entweder als Kaikrane zum wasserseitigen Umschlag oder als Stapelkrane, für den landseitigen Umschlag oder die Lagerung der Ladeeinheiten, konzipiert sind. In Seehafencontainerterminals werden unterschiedliche Krananlagen genutzt. Es werden jeweils spezialisierte Krane für die einzelnen Funktionsbereiche eines Terminals eingesetzt, welche mittels eines Transportsystems miteinander verknüpft sind. Im Unterschied dazu werden in Binnenhafenterminals die Krane, aufgrund des wesentlich geringeren Platzangebotes, in der Regel als alleiniges Umschlagmittel eingesetzt, welches sowohl die wasserseitigen als auch die landseitigen Operationen durchführt (s. Abb. 1).

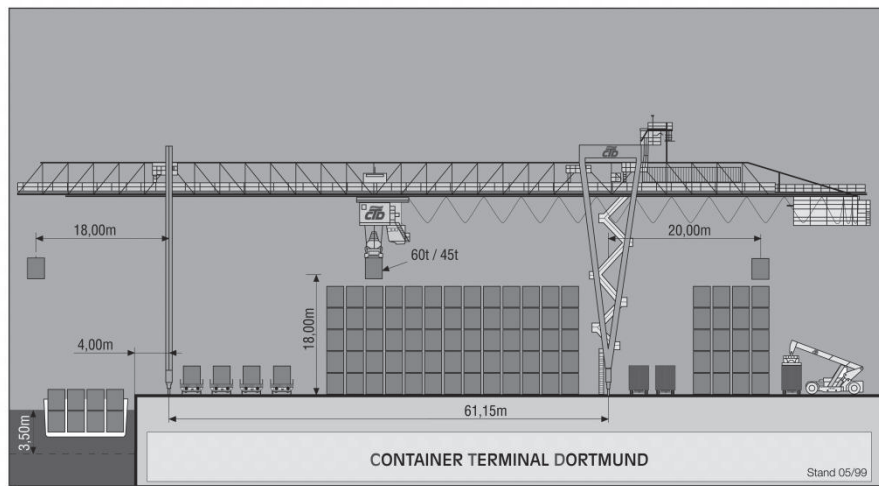


Abbildung 1: Containerumschlag in einem Binnenhafencontainerterminal

Aus diesem Grund ist die Krananlage in Binnenhafencontainerterminals als hauptwertschöpfendes Umschlagselement anzusehen und birgt somit hohe Potentiale zur Verbesserung der gesamten Umschlagsleistung eines Binnenhafencontainerterminals.

Stahlbock und Voss (2007) und Steenken et al. (2004) geben in ihren Arbeiten einen Überblick über den derzeitigen Stand der Forschung bezüglich der Optimierung des Umschlagbetriebs in den einzelnen Teilbereichen eines Containerterminals. Sie beschreiben in ihren Arbeiten Optimierungsansätze bezüglich der Planung der Depotfläche, der Zuordnung von Schiffen zu den einzelnen Liegeplätzen, der Kransteuerung sowie der innerbetrieblichen Transportplanung. Meisel und

Wichmann (2010) haben eine Containerreihenfolgeplanung speziell für Kaikrane entwickelt und Jung und Kim (2006) beschreiben einen Ladereihenfolgealgorithmus für Kaikrane in Seehafencontainerterminals. Die beschriebenen Verbesserungsansätze beziehen sich ausschließlich auf Seehafencontainerterminals und eine Adaption auf Binnenhafencontainerterminals ist aufgrund der unterschiedlichen Arbeitsweise in den Terminals nicht ohne weiteres möglich. Gambardella et al. (2001) beschreibt einen Ansatz zur Reihenfolgeplanung von Be- und Entladevorgängen in einem bimodalen Hinterlandterminal. Dieser Ansatz betrachtet jedoch, wie auch die vorher genannten, lediglich Verbesserungen in Teilbereichen eines Containerterminals und haben keine gesamtbetriebliche Verbesserung des Umschlagbetriebs als Ziel.

In diesem Beitrag wird eine von den Autoren entwickelte Kransteuerung mittels einer Auftragsreihenfolgeplanung mit Prioritätskennzahl beschrieben. Ziel dieser Kransteuerung ist die ganzheitliche Verbesserung der Umschlagsleistung und –effizienz und somit des Umschlagbetriebs eines Binnenhafencontainerterminals. Canonaco et al. (2007) beschreiben die Simulation als eine Methode, die es ermöglicht, ein logistisches Gesamtsystem mit allen stochastischen Einflüssen der Teilbereiche zu verbessern. Aus diesem Grund wurde die entwickelte Kransteuerung als Baustein in eine Simulationsumgebung für Binnenhafencontainerterminals integriert. Die Funktionalität und das Verbesserungspotential der Kransteuerung wird anhand einer durchgeführten Fallstudie eines existierenden Containerterminals nachgewiesen.

2 Steuerung von Umschlagvorgängen

Die Krananlage in Binnenhafencontainerterminals ist, wie in Abschnitt 1 dargestellt, das hauptwertschöpfende Umschlagelement. Eine ständige Verbesserung der Umschlagsleistung ist somit ein von jedem Terminalbetreiber anzustrebendes operatives Betriebsziel. Hierzu existieren Standardverfahren zur Bestimmung der Reihenfolge der Umschlagsaufträge. Dies sind sowohl eine Abfertigung der Umschlagsaufträge nach dem FiFo Prinzip, bei dem der Auftrag mit der längsten Wartezeit als nächstes umgeschlagen wird, als auch eine Next Best Abfertigung nach dem kürzeste Wege Prinzip, bei dem immer der von der aktuellen Position aus gesehene am nächsten gelegene Transportbehälter umgeschlagen wird. Die Anwendung dieser Verfahren verbessern jedoch immer nur ein einziges Leistungsziel und erreichen somit keinen optimalen Gesamtterminalbetrieb. Um diesem Ziel möglichst nahe zu kommen, wurde eine mathematische Optimierungsheuristik, eine Kransteuerung mittels einer Auftragsreihenfolgeplanung mit Prioritätskennzahl, entwickelt. Hierzu wurde die von Lampe (2006) für ein Ein-Kran-Modul in einem bimodalen KV-Terminal entwickelte Auftragsreihenfolgeplanung für ein Mehr-Kran-Modul in einem trimodalen Containerterminal weiter entwickelt. Die Kransteuerung von Lampe (2006) wurde in einer Voruntersuchung bestehender Lösungsansätze als die im Vergleich zu Kim (2006) und Gambardella et al. (2001) am besten geeignete Kransteuerung befunden. Die entwickelte Kransteuerung ermöglicht einem Terminalbetreiber, die Umschlagsleistung im Containerterminal genau nach seinen Anforderungen zu verbessern.

Es existiert eine Vielzahl an Anforderungen an einen optimalen Terminalbetrieb. Neben den Betriebsanforderung, wie z.B. kürzeste Leer- und Lastfahrten, sind dies Marktanforderungen, wie bspw. kurze Wartezeiten der Verkehrsmittel, Einhaltung der Fahrpläne oder möglichst kurze Verweilzeiten von LKW auf dem Gelände. Nur so kann sichergestellt werden, dass Spediteure auch weiterhin das Terminal nutzen. Diese Anforderungen können von Terminal zu Terminal unterschiedlich sein, so dass eine Methode entwickelt wurde, die von jedem Terminalbetreiber exakt auf seine Bedürfnisse eingestellt werden kann. Die Auftragsreihenfolgeplanung mittels Prioritätskennzahl beschreibt für jeden Umschlagsauftrag den Eignungsgrad des Auftrages, als nächstes umgeschlagen zu werden. Der Auftrag mit der höchsten Eignung wird vom Kran als nächstes umgeschlagen. Die Berechnung erfolgt über den Term:

$$P_k = \left(\sum_{i=1}^n p_i \cdot g_i \right) \prod_{j=1}^m ex_j$$

$$k \in \text{Umschlagsauftrag}; \quad (1)$$

$$p_i \in [0,1]$$

$$ex_j = \begin{cases} 1, & \text{wenn kein Ausschlusskriterium auftritt} \\ 0, & \text{wenn ein Ausschlusskriterium auftritt} \end{cases}$$

Die Prioritätskennzahl P_k für einen Umschlagsauftrag k ist zusammengesetzt aus der Summe der Prioritätsparameter p_i für jede Unternehmens- und Marktanforderung i , die für einen Terminalbetreiber relevant ist und ihrer individuellen Gewichtung g_i . Damit eine bessere Vergleichbarkeit erzielt werden kann und verhindert wird, dass eine Anforderung die anderen Anforderungen aufgrund ihrer Ausprägung dominiert, wird bei der Berechnung der Prioritätsnummer die Ausprägung einer Anforderung i normiert, d.h. sie wird mit der maximal vorkommenden Ausprägung der Anforderung i ins Verhältnis gesetzt. Somit ist die höchste Ausprägung einer Anforderung i gleich 1 und die niedrigste größer gleich 0.

Zusätzlich hierzu sind noch Ausschlusskriterien ex_j , hinzugefügt, die verhindern, dass ein Auftrag ausgewählt wird, der noch nicht bereit für einen Umschlag ist. Dies kann bspw. der Fall sein, wenn sich der Transportbehälter innerhalb eines Containerstapels befindet und dementsprechend vorher noch andere Container umgelagert werden müssen oder wenn eine Kollision mit einem anderen Kran bei der Durchführung des Auftrages entstehen würde. Greift ein Ausschlusskriterium ist dieses gleich 0, was dazu führt, dass die gesamte Prioritätskennzahl gleich 0 ist. Ein Umschlagsauftrag mit einer Prioritätskennzahl gleich 0 wird grundsätzlich nicht umgeschlagen.

Das in diesem Beitrag vorgestellte Verfahren verfolgt das Prinzip der Online Optimierung. Dies bedeutet, dass mit jeder Zustandsänderung des Systems, für jeden Umschlagsauftrag die Prioritätskennzahl neu berechnet wird und somit immer eine aktuell beste Lösung ermittelt. Zustandsänderungen sind bspw. das Hinzufügen

eines neuen Auftrages aufgrund der Ankunft eines neuen Transportmittels oder das Beenden eines Umschlagvorgangs und die damit verbundene neue Position des Krans.

3 Simulationsumgebung CONTSIM

Die in Abschnitt 2 vorgestellte Optimierungsheuristik wurde, zusammen mit den ebenfalls in Abschnitt 2 erläuterten Standardberechnungsverfahren, als Steuerungselement in die am Institut für Transportlogistik der TU Dortmund entwickelte Simulationsumgebung CONTSIM implementiert.

3.1 Generierung von Eingangsdaten

Um eine Simulationsstudie durchführen zu können müssen Daten in das Simulationsmodell eingefügt werden. Es werden hierbei Daten über das Verhalten der Transport- und Umschlagmittel sowie der Ladeeinheiten, den Systemlastdaten, benötigt. Diese Systemlastdaten beschreiben bspw. die Ankunfts- und Abfahrtszeiten der Transportmittel geben an, wie viele Ladeeinheiten ein Transportmittel bringt und abholt oder wie die Ladeeinheit beschaffen ist.

Die Simulationsumgebung ermöglicht hierbei den Einsatz von zwei unterschiedlichen Datenquellen. Auf der einen Seite ist es möglich, Echtzeitdaten der Systemlast des zu beschreibenden Terminals zu nutzen. Diese Daten ermöglichen es, ein genaues Abbild der Vergangenheit zu erhalten, das zu untersuchende Terminal genau abzubilden und somit das Simulationsmodell zu validieren. Des Weiteren sind so Soll-Ist-Vergleiche von neuen Betriebsszenarien und dem aktuellen Betrieb möglich. Auf der anderen Seite ist es zusätzlich notwendig, veränderte Systemlasten zu benutzen, um Zukunftsszenarien oder Grenzleistungsbetrachtungen durchzuführen. Hierfür wurde ein Datengenerator entwickelt, welcher basierend auf abgeleiteten Verteilungen und Eingangsparametern neue Inputdatensätze generiert. Das Ziel des Datengenerators ist es, einen realistischen, LKW basierenden Fahrplan zu erzeugen. Dieser hat die Form: LKW x liefert Container y zur Zeit z . Dieser wird d Tage später von einem Schiff oder Zug abgeholt (oder andersherum). Hierbei werden folgende Eingangsdaten berücksichtigt:

- Der Fahrplan der Schiffe und Züge,
- Statistische Verteilung der Lagerdauer der unterschiedlichen Containertypen,
- Statistische Verteilung der LKW Ankunftszeiten,
- Statistische Verteilung der leeren und vollen Container, sowie der Containertypen,
- Durchschnittliche Auslastung der Schiffe und Züge und
- Möglichkeiten des Doppelhandlings von Fahrzeugen. Wie oft bringt und holt ein Fahrzeug Container gleichzeitig.

Aus diesen Informationen wird im Datengenerator eine Tabelle wie in Tabelle 1 dargestellt erzeugt.

Der Datengenerator beginnt bei den exakten Informationen und erzeugt seine Daten Stück für Stück aus den statistischen Informationen.

Tabelle 1: Beispiel eines Fahrplans für LKW

LKW	Typ	Container- nummer	Container- typ	Transport Datum	Gate In	Train/ ship date	Train/ out:ship time	out:
TR 5454	Full Out	T_Out 35	40	18.03.	09:33	01.04.	06:00	

Für jedes Schiff bzw. jeden Zug ist das Vorgehen dabei wie folgt:

1. Die ein- und ausgehende Ladung wird anhand der gegebenen Verteilungen und Auslastungen erzeugt. Wir haben nun also eine Menge an „virtuellen Containern“, die zu einer gegebenen Zeit eingeliefert bzw. abgeholt werden.
2. Nun wird zu jedem Container ein LKW erzeugt, der diesen abholt bzw. bringt. Dabei richten wir uns nach den Verteilungen für Ankunftszeiten und Lagerdauern der Container.
3. Eventuelle Anpassungen (ein- und ausgehende Lieferung durch denselben LKW etc.) werden vorgenommen.

Auf diese Weise werden Musterwochen erzeugt, die eine realistische Simulation und damit auch realistische Vorhersagen ermöglichen.

3.2 Elemente der Simulationsumgebung

Die Simulationsumgebung CONTSIM ermöglicht die Abbildung von Containerterminals in einem experimentierbaren Computermodell. Ein solches Simulationsmodell bildet den gesamte Material- und Informationsfluss eines Containerterminals mit allen relevanten Ressourcen, Teilprozessen und Betriebsstrategien ab.

Die Systemgrenzen der Simulationsumgebung sind der Gleisanschluss an der Terminalgrenze, die Kaimauer und die Ein- und Ausfahrt des Terminals. Alle im Simulationsmodell nachgebildeten Aufträge werden entweder durch den Gebrauch von Echtzeitdaten oder mit dem entwickelten Datengenerator erzeugt. Nach Voß (2007) besteht die typische Struktur eines Containerterminals aus wasserseitigen- und landseitigen Ladestellen, zwischen denen der Materialfluss stattfindet. Dementsprechend haben alle Aufträge entweder ein Binnenschiff, einen Waggon oder ein Straßenfahrzeug als Startort und ebenfalls ein Binnenschiff, einen Waggon oder ein Straßenfahrzeug als Zielort.

Die Simulationsumgebung wurde in der Simulationssoftware Enterprise Dynamics der Firma INCONTROL Simulation Solutions entwickelt und basiert auf der Logistics Suite der Software. Diese umfasst sowohl Infrastruktur- und Suprastrukturbausteine als auch Fahrzeuge, Ladeeinheiten und Steuerungselemente. Diese können den Anforderungen entsprechend in der Größe und in ihren Betriebsparametern (Geschwindigkeiten, Anzahl Mitarbeiter, usw.) eingestellt werden. Infrastrukturbausteine beinhalten die Kaimauer als Ladestelle für Schiffe, Gleise als Ladestellen für Züge und Straßen als Verkehrswege auf dem Terminal

und Ladestellen für LKW. Bausteine für die Suprastruktur sind die Gebäude (bspw. Pforte, Administration), die Lagerplätze für Container und die stationären, nicht frei verfahrbaren Umschlagmittel. Diese sind die Krananlagen zum Umschlag der Container, welche entweder als Kaikrane oder als Stapelkrane eingesetzt werden. In Binnenhafenterminals werden die Krane in der Regel als alleiniges Umschlagmittel genutzt, welches sowohl die wasserseitigen als auch die landseitigen Operationen durchführt. Der Kranbaustein der Simulationssuite kann hierfür genutzt und speziell auf den Einsatzzweck parametrisiert werden. Fahrzeuge werden als einzelne Objekte abgebildet und bewegen sich selbständig im Modell. Fahrzeuge können Schiffe, Züge und LKW sowie frei verfahrbare Flurfördermittel, wie z.B. Reach Stacker, sein. Als Ladeeinheiten sind Container in den Größen 20-Fuß bis 45-Fuß sowie Wechselbehälter und Sattelaufleger abbildbar. Als Sonderformen sind Container als Kühl- oder Gefahrgutcontainer parametrisierbar. Die Simulationssuite wird mittels zweier Konzepte gesteuert. Auf der einen Seite erfolgt die Steuerung der Umschlagmittel dezentral über die einzelnen Umschlagmittel. Auf der anderen Seite werden die Verkehrsmittel und der Lagerbereich zentral über den Strategiebaustein gesteuert. Bei der dezentralen Steuerung der Umschlagmittel wählt diese entweder nach den in Abschnitt 2 aufgezeigten Standardberechnungsverfahren aus oder ermittelt den am besten zum Umschlag geeigneten Auftrag mit Hilfe der in Abschnitt 2 erläuterten Auftragsreihenfolgeplanung. Das zentrale Steuerungselement bestimmt, welche Ladestellen innerhalb des Umschlagterminals vom Verkehrsmittel angefahren werden. Des Weiteren bestimmt das zentrale Steuerelement, wo eine Ladeinheit im Lagerbereich eingelagert wird. Hierbei können unterschiedliche Lagerstrategien für die Zoneneinteilung (Premarshalling Stacking, Scattered Stacking, Free Stacking) und Stapelselektion (Category Stacking, Residence Time Stacking, Random Stacking) eingesetzt werden.

4 Anwendungsfall

Die Simulationssuite wurde in einem Anwendungsfall eines typischen Binnenhafenterminals dazu eingesetzt, den Vorteil der vorgestellten Auftragsreihenfolgeplanung gegenüber dem bisherigen Umschlagverfahren beim Umschlagbetrieb des untersuchten Containerterminals darzustellen. Beim bisherigen Umschlagbetrieb bestimmten die Kranfahrer des Containerterminals weitestgehend selbst, welche Ladeeinheiten sie als nächstes umschlagen. Hierbei waren sie immer darauf bedacht, den räumlich am nächsten zur aktuellen Kranposition befindlichen Container anzufahren. Lediglich zu fahrplanmäßigen Abfahrtzeitpunkten von Verkehrsmitteln wurden Container, welche noch auf das oder von dem abfahrenden Verkehrsmittel umgeschlagen werden mussten, priorisiert behandelt. Mit Hilfe der Simulation wurde überprüft, ob durch eine Steuerung mittels einer Auftragsreihenfolgeplanung die Umschlagseffizienz und -kapazität gesteigert werden kann. Das hierbei betrachtete Containerterminal ist wie folgt aufgebaut:

- 3 Umschlagskrane auf einem Gleis,
- 1000 Ground Slots im Depot mit einer maximalen Stapelhöhe von 5 Containern und einer Größe von 20 Fuß,
- Ein 4-Gleis-Modul mit einer Länge von 400 Metern zur Be- und Entladung von Zügen,

- Eine Kaimauer mit einer Länge von 400 Metern mit 2 Ladeplätzen für Binnenschiffe,
- 20 Lkw-Ladestellen und
- Umschlag von ca. 1000 Containern pro Tag.

Alle Umschlagsvorgänge in dem Containerterminal werden von den 3 Kranen getätigt. Zur Kollisionsvermeidung und um Behinderungen im Arbeitsablauf zu vermeiden ist jeder Kran einem festen Arbeitsbereich zugeordnet, in dem er operiert. Um Deadlock Situationen zu vermeiden überlappen sich diese Arbeitsbereiche an den Grenzen zueinander um jeweils 4 Ground Slots. In diesen Bereich werden Container von einem Kran an den anderen Kran übergeben und die Export Container werden dort gelagert. Jeder Arbeitsbereich eines Kranes hat einen eigenen Bereich für Import- und Leercontainer.

Systemlastdaten für die Simulationsstudie wurden aus den realen Vergangenheitsdaten des Containerterminals abgeleitet. Des Weiteren erfolgte eine Aufnahme aller relevanten Layoutobjekte, Umschlagsprozesse und Prozesszeiten vor Ort. Mit Hilfe der Vergangenheitsdaten erfolgte die Abbildung des Ist-Systems im Modell, welches den Ist-Zustand des Containerterminals widerspiegelt. Die 3-D- und 2-D Ansicht des Simulationsmodells ist in Abbildung 2 abgebildet.

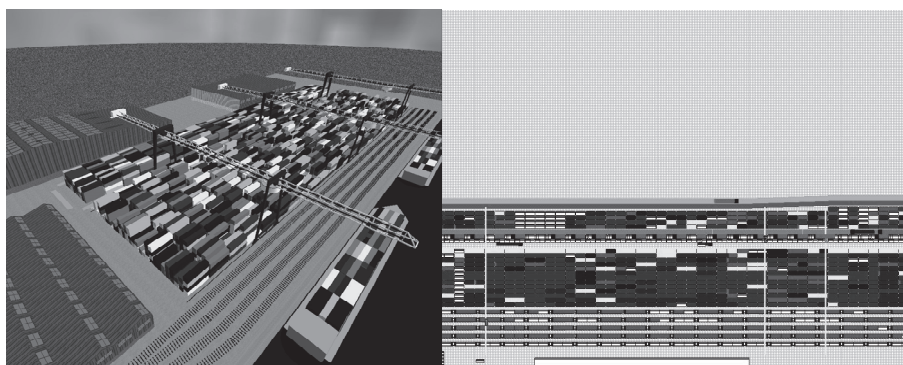


Abbildung 2: a) 3D und b) 2D Modell des untersuchten Containerterminals

Die Validierung des Modells erfolgte über die tatsächlichen Leistungskennzahlen des Containerterminals, welche mit den Ergebnissen der Simulation des Ist-Modells verglichen und in Expertenworkshops mit den Fachleuten vor Ort Schritt für Schritt überprüft wurden. Auf diese Weise wurde ein validiertes Simulationsmodell für die weiteren Untersuchungen erzeugt. Darauf aufbauend wurde in einem weiteren Modell die Kransteuerung auf eine Steuerung mittels der Auftragsreihenfolgeplanung mit Prioritätskennzahl umgestellt. Hierbei wurden die in Tabelle 1 Parameter, Gewichtungen und Ausschlusskriterien für die Berechnung der Prioritätskennzahl genutzt.

Der hieraus resultierende Experimenteplan besteht somit aus zwei verschiedenen Umschlagssteuerungsszenarien:

- Next Best und
- Auftragsreihenfolgeplanung mit Prioritätskennzahl.

Diese wurden, zur Vermeidung von statistischen Ausreißern, jeweils 20-mal simuliert. Durch die festen Eingangsdaten und genauer Fahrzeitberechnung der Wege lag das Konfidenzintervall bei sehr hohen 99,78%. Um die Auswirkungen der Steuerungsumstellung zu untersuchen, erfolgte zusätzlich noch eine

Tabelle 1: *Prioritätsparameter und Ausschlusskriterium mit zugehöriger Gewichtung*

Prioritätsparameter	Gewichtung
Zeit für die Lastfahrt	1
Zeit für die Leerfahrt	2
Wartezeit des Auftrags	2
Cut off	Startet mit 1 und wird alle 30 Minuten um 1 erhöht
Ausschlusskriterium	
Kollision mit einem anderen Kran	0
Kein Direktzugriff auf einen Container möglich	0
Zielverkehrsmittel ist noch nicht entladen	0

Grenzleistungsbetrachtung der beiden Szenarien. Die hierzu verwendeten Inputdaten wurden mit dem in Abschnitt 3.1 erläuterten Datengenerator erzeugt.

5 Ergebnisse

Die Studie hat ergeben, dass die Zeit, die ein LKW an der Ladestelle verbringt, mit Hilfe einer Auftragsreihenfolgeplanung mit Prioritätskennzahl um 6% gesenkt werden kann, was 2 Minuten entspricht. Hierdurch können im Terminal Fahrzeuge abgefertigt werden und als Konsequenz daraus kann die landseitige Umschlagskapazität erhöht werden. Des Weiteren konnte der Umschlagsfaktor um 2,5% gesenkt werden. Der Umschlagsfaktor beschreibt hierbei das Verhältnis von unbezahlten zu bezahlten Umschlagvorgängen. Ein Containerterminal wird für einen Umschlag von einem Verkehrsmittel auf ein weiteres Verkehrsmittel bezahlt. Alle Umschläge, in die das Depot involviert ist, werden hingegen nicht bezahlt. Bucht der Kunde beispielsweise einen Umschlag einer Ladeeinheit von einem LKW auf einen Zug, dann bezahlt er den direkten Umschlag. Wird die Ladeeinheit jedoch erst in das Depot eingelagert und dann zu einem anderen Zeitpunkt auf den Zug geladen, dann sind alle diesbezüglichen zusätzlichen Umschläge unbezahlt. In Binnenhafencontainerterminals werden die Ladeeinheiten zeitlich von dem Hauptlaufverkehrsmittel entkoppelt angeliefert und abgeholt, so dass ein doppelter Umschlag die Regel ist. Aus diesem Grund ist bei direktem Umschlag der niedrigste Umschlagsfaktor 1. Die Absicht eines Containerterminalbetreibers ist es, so nah wie möglich an den Faktor 1 heranzukommen und somit unproduktive Umlagervorgänge im Depot zu vermeiden. Die Reduktion des Umschlagsfaktors in dem vorgestellten Anwendungsfall um 2,5% bedeutet eine Reduzierung der Umlagervorgänge von 20 pro Tag, welche zusätzlich für produktive Umschlagvorgänge genutzt werden

können. Zusätzlich konnte der Anteil von Leerfahrten an den Kranfahrten um 4% gesenkt werden. Die Verbesserungen der Umschlagseffizienz führten dazu, dass es dem Terminalbetreiber möglich wurde die Standzeiten der Züge im Terminal zu senken, die Pünktlichkeit zu erhöhen und somit mehr Züge pro Tag abzufertigen. Dies führte zu einer Erhöhung der Grenzleistung des Terminals um 30%.

6 Fazit und Ausblick

Der vorgestellte Anwendungsfall hat gezeigt, dass eine Steuerung der Umschlagsvorgänge in einem Binnenhafencontainerterminal mittels Auftragsreihenfolgeplanung mit Prioritätskennzahl zu einer Verbesserung der Umschlagseffizienz gegenüber einer Next-Best Strategie führt. Des Weiteren zeigt der Beitrag, dass die Simulation sehr gut geeignet ist, Verbesserungen der Umschlagseffizienz von Binnenhafencontainerterminals zu erreichen. Engpässe im Materialfluss können identifiziert werden und neue Betriebs- und Steuerungsstrategien können in einem experimentierbaren, virtuellen Modell getestet werden, ohne hierfür kostenintensive Realtests durchzuführen.

Die in diesem Beitrag vorgestellte Simulationsumgebung sowie die gewonnenen Erkenntnisse werden im durch das European Union Seventh Framework Programme unter dem Agreement SCP2-GA-2012-314005 geförderten Projekt „Development of a Next generation European Inland Waterway Ship and logistics system (NEWS)“ eingesetzt, um für den Einsatz eines neuartigen Containerschiffs die logistischen Anforderungen zu evaluieren und die notwendigen Prozesse in Binnenhafencontainerterminals mittels Simulation zu entwickeln.

Literatur

- Canonaco, P.; Legato, P. und Mazza, R.M.: An integrated simulation model for channel contention and berth management at a maritime container terminal. 21st European Conference on Modelling and Simulation, S.353 – S.362, 2007.
- Gambardella, L.M.; Mastrolilli, M.; Rizzoli, A.E. und Zaffalon, M.: An optimization methodology for intermodal terminals management. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 12, S.521 – S.534, 2001.
- Jung, S.H. und Kim, K.H.: Load scheduling for multiple quay cranes in port container terminals. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 17, S.479 – S.492, 2006.
- Lampe, H.: Untersuchung von Dispositionsentscheidungen in Umschlagterminals des kombinierten Verkehrs Straße/Schiene. Doktorarbeit, TU Dortmund University, 2006.
- Lee, W. S.; Ottjes, J. A.; Veeke, H.P.M. und Rijsenbrij, J.C.: Using container call time information for restacking reduction. *Industrial Simulation Conference*, S.293 – S.298, 2008.
- Meisel, F. und Wichmann, M.: Container sequencing for quay cranes with internal reshuffles. *OR Spectrum*, 32, S.569-S.591, 2010.
- Stahlbock, R. und Voß, S.: Operations research at container terminals – A literature update. *OR Spectrum*; online <http://www.springerlink.com/content/018j57r4364148m0>, 2007.

- Steenken, D.; Voß, S. und Stahlbock, R.: Container terminal operation and operations research – a classification and literature review. OR Spectrum, 26, S.3 – S.49, 2004.
- Voß, S.: Container terminal operation and operations research – recent challenges. Proceedings of the 12th international Conference of Hong Kong Society for Transport Studies – Transportation Systems: Engineering & Management, S.387 – S.396, 2007.