



*Simulation in Produktion  
und Logistik 2021*  
Jörg Franke & Peter Schuderer (Hrsg.)  
Cuvillier Verlag, Göttingen 2021

# **Direktumschlag an der Kaikante – Eine Machbarkeitsstudie für hafeninterne Containertransporte**

## ***Direct Container Handling at Waterside - A Feasibility Study for Inter-Terminal Transports***

Nicole Nellen, Ann-Kathrin Lange, Carlos Jahn, TU Hamburg, Hamburg  
(Germany), nicole.nellen@tuhh.de, ann-kathrin.lange@tuhh.de,  
carlos.jahn@tuhh.de

**Abstract:** The increasing ship size growth and land-based capacity restrictions at container terminals increase the need for optimization approaches in the process design of container ports. Several strategies can be found in the literature, ranging from the optimization of terminal processes to the introduction of truck appointment systems and the direct handling of transshipment containers. In this paper, a possibility for process redesign of waterside container handling to external trucks is analysed. For this purpose, the impact of direct waterside container handling on the terminal is analysed using a discrete event-based simulation model. The study shows that the approach for new process design has potential, although implementation is not easy.

## **1 Containerterminals und hafeninterne Transporte**

Seehäfen bilden in der maritimen Lieferkette die Schnittstelle zwischen verschiedenen Verkehrsträgern. Im Jahr 2019 umfasste das Volumen des globalen containerisierten Handels 152 Millionen TEU (Twenty-foot Equivalent Units). Dies entspricht einer Verdreifachung verglichen mit 1997 (UNCTAD, 2020). Darüber hinaus steigt die Komplexität maritimer Transportketten durch das Größenwachstum der Containerschiffe. Hatten Containerschiffe um die Jahrtausendwende eine Kapazität von 8.000 TEU, fassten die größten Schiffe in 2020 knapp 24.000 TEU (Allianz, 2020). Somit laufen immer häufiger Containerschiffe mit größeren Volumina die Terminals an, während die Summe aller Schifffanläufe reduziert wird. Folglich entstehen höhere Lastspitzen im Containerumschlag einschließlich der landseitigen (Lkw-) Abfertigung (Ramírez-Nafarrate et al., 2017).

Um dieser Entwicklung begegnen zu können, ist eine effiziente Gestaltung der Prozesse von Containerterminals notwendig. Hierbei ist zu beachten, dass jeder Container im Terminal bei den herkömmlichen Prozessen mindestens dreimal, meist

aber häufiger, durch internes Equipment zwischen verschiedenen Verkehrsträgern und Abstellflächen umgeschlagen werden muss. Dies resultiert in einem hohen Koordinationsaufwand für die Terminals und setzt gleichzeitig die Verfügbarkeit von Handlingequipment voraus. Weiterhin haben insbesondere stadtnahe Terminals stark eingeschränkte Erweiterungsflächen, was Maßnahmen zur Reduzierung der Menge an Containern im Yard bei einer Beibehaltung der Umschlagleistung besonders attraktiv macht. Eine Möglichkeit der Reduzierung des Handlingaufwands und des Flächenbedarfs am Terminal ist der direkte Umschlag von Containern an der Kaikante auf externe Lkw. Hierbei entfallen sowohl der terminalinterne Transport von der Kaikante zum Yard mit dem zugehörigen Umschlag als auch die sich daran anschließenden Ein- und Auslagervorgänge. Da der direkte Umschlag einer großen Menge an Containern an der Kaikante umfangreiche Prozess- und Layoutanpassungen für die Terminals bedeuten würde, ist es angebracht, zunächst nur die Auswirkungen auf einen Teil der Transporte des Terminals zu untersuchen und dort das Potenzial zur Effizienzsteigerung zu bewerten. Dafür eignen sich insbesondere die hafeninternen Transporte zwischen Terminals, Leercontainerdepots, Packstationen und dem Zoll, die von einer begrenzten Menge an Fuhrunternehmen und zugehörigen Fahrern durchgeführt werden und im Verhältnis zur Transportstrecke eine sehr hohe Anzahl an Umschlägen im Hafen auf sich vereinen. Aufgrund der hohen Kosten und Risiken eignet sich dies aber nicht für die sofortige Erprobung im Echtbetrieb und auch der Einsatz von mathematischer Optimierung ist aufgrund hoher Stochastizität nicht sinnvoll. Viel mehr bietet sich die Untersuchung mittels Simulation an. Ziel dieser Studie ist es dementsprechend, mithilfe eines diskreten, ereignisorientierten Simulationsmodells die Auswirkungen eines direkten Containerumschlags an der Kaikante auf die hafeninternen Containertransporte zu untersuchen.

Dafür werden in Kapitel 2 zunächst aktuelle Forschungsfelder zu Optimierungsansätzen auf Containerterminals und im Bereich der hafeninternen Transporte dargestellt. In Kapitel 3 folgt ein Überblick über den Aufbau des Simulationsmodells. Weiterhin werden notwendige Annahmen zur Modellierung erörtert. Eine Darstellung und Auswertung der durchgeführten Experimente erfolgt in Kapitel 4. Der Beitrag schließt in Kapitel 5 mit einem Fazit und Ausblick ab.

## 2 Stand der Forschung

In der Literatur lassen sich zahlreiche Ansätze zur Prozessoptimierung in Containerhäfen finden. Der Fokus dieser Studien liegt zumeist auf einer isolierten Betrachtung der Knoten oder Kanten im Transportnetzwerk. Die wichtigsten Knoten bei hafeninternen Containertransporten sind die Containerterminals, welche grob in drei Bereiche aufgeteilt werden können. Dies sind die Abfertigung der Schiffe an der Kaikante, auch wasserseitige Abfertigung genannt, die Einlagerungen der Container im Yard und die landseitige Abfertigung, bei der die Container von und auf Lkw und Bahnen umgeschlagen werden. Für die Umschlagprozesse kann unterschiedliches Equipment eingesetzt werden. Die Zusammenstellung des Equipments auf einem Terminal wird als Betriebssystem bezeichnet. Bei größeren Containerterminals werden fast immer sogenannte Containerbrücken für die wasserseitige Abfertigung verwendet. Dies sind schienengebundene Portalkrane mit einem Ausleger, der die gesamte Breite des abzufertigenden Schiffs überspannt. Die Container werden anschließend mit Fahrzeugen des Horizontaltransports zum Containeryard gebracht.

Für den Umschlag im Yard ist eine weit verbreitete Lösung der Einsatz von gummibereiften Portalkranen, zumeist bezeichnet als Rubber Tyred Gantry Cranes (RTG). Diese nehmen die Container von den Lkw, Bahnen oder dem Horizontaltransport ab, lagern sie ein und vice versa. Häufig verwendete Alternativen dazu sind Rail Mounted Gantry Cranes (RMG) oder Straddle Carrier. Die wissenschaftlichen Untersuchungen bei Terminals reichen von langfristigen Entscheidungen bzgl. der Gestaltung des Terminal-Layouts oder des Betriebssystems bis hin zu operativen Entscheidungsproblemen. Kizilay und Eliyi (2020) und Schwientek et al. (2017) geben u. a. einen aktuellen Überblick über Entscheidungsprobleme auf Containerterminals. Bei der Betrachtung von straßenseitigen Transporten ist in den letzten Jahren insbesondere die Gestaltung und Einbindung von sogenannten Truck Appointment Systemen (TAS), welche zur Steuerung von Lkw-Ankünften an Terminals eingeführt werden, in das Interesse der Wissenschaft gerückt. Eine Übersicht zu den aktuellen Publikationen im Bereich von TAS ist u. a. in Huiyun et al. (2018) und Lange et al. (2017) dargestellt. Durch die Nutzung von TAS wird die Planbarkeit der Lkw-Ankünfte am Terminal deutlich erhöht, da die Lkw zumeist nur ein Zeitfenster von einer Stunde haben, in dem sie am Terminal ankommen dürfen. Abgesehen von TAS konzentrieren sich einige Autoren auf den Vergleich verschiedener Transportsysteme bei Durchführung von Containertransporten im Hafen. Beispielfhaft können hier Duinkerken et al. (2007), Gharehgozli et al. (2017) und Nellen et al. (2020) genannt werden. Da Container innerhalb eines Hafens nicht nur an dem Terminal, den sie wasserseitig erreichen, benötigt werden, müssen diese häufig zwischen den logistischen Knoten eines Hafens transportiert werden. Diese Knoten können neben anderen Terminals insbesondere auch Leercontainerdepots, Packstationen und der Zoll sein. Beispielsweise stellen Heilig und Voß (2017) einen aktuellen Stand der Forschung zu hafeninternen Containertransporten dar und identifizieren darüber hinaus zukünftige Forschungsfragen.

Weiterhin existieren Ansätze für den direkten Umschlag von Containern zwischen Containerschiffen (direktes Transshipment). Zeng et al. (2017) untersuchten das direkte Transshipment mittels Heuristiken im Hinblick auf die Betriebskosten von Yard Trucks und RTG. Die Autoren kamen zu dem Ergebnis, dass durch einen direkten Containerumschlag zwischen Schiffen die Betriebskosten gesenkt und gleichzeitig die Umschlageffizienz verbessert werden können. Auch Liang et al. (2012) haben den teilweise direkten Umschlag zwischen Schiffen betrachtet. Der Fokus der Studie lag auf dem Problem der Liegeplatzzuweisung unter Berücksichtigung von direkten Containerumschlägen zwischen Großcontainer- und Feederschiffen. Zur Untersuchung der Problemstellung wurde ein hybrider mehrstufiger genetischer Algorithmus angewendet.

Den Autoren ist kein Ansatz eines direkten Umschlags von Containern an der Kaikante bekannt, die hafenintern weitertransportiert werden. Deshalb wird dies für Importcontainer, also die Container, die per Seeschiff am Terminal ankommen, in der in Kapitel 3 beschriebenen Simulationsstudie grundlegend untersucht und in Kapitel 4 ausgewertet. Um einen Direktumschlag zu ermöglichen, ist eine sehr pünktliche Ankunft der Lkw am Terminal notwendig, damit die Abfertigung des Schiffes nicht verzögert wird. Da dies bisher nach Kenntnis der Autoren nirgendwo umgesetzt ist, können die Untersuchungen zu TAS als Grundlage verwendet werden, um geeignete Annahmen für das Simulationsmodell zu generieren.

### 3 Aufbau der Simulationsstudie

Um Potenziale durch die Minimierung von Containerumschlägen bei hafeninternen Transporten an einem Terminal zu untersuchen, wird ein ereignisorientiertes diskretes Simulationsmodell eines Containerhafens in Tecnomatix Plant Simulation (Version 15.1) erstellt. Dabei bildet das Modell den Hafen vereinfacht mit einem Terminal und vier weiteren Akteuren ab. Die Prozesse am Terminal sind detailreich modelliert und werden durch das Layout sowie das Betriebssystem (RTG mit Yard Trucks) beeinflusst. Es werden die wasserseitige Abfertigung eines Containerschiffs, Ein- und Auslagervorgänge im Yard, der Horizontaltransport zwischen den Funktionsbereichen sowie die landseitige Abfertigung externer Lkw dargestellt.

Um den Einfluss der Ablaufgestaltung beim Umschlag von hafenintern weiter zu transportierenden Containern auf den Terminal zu bestimmen, wird bei der Prozessgestaltung zwischen zwei unterschiedlichen Umschlagprozessen am Terminal differenziert. Herkömmlicher Weise werden alle wasserseitig am Terminal eintreffenden Container auf Equipment für den horizontalen Transport umgeschlagen und in den Containeryard transportiert. Hier findet ein weiterer Umschlag zur Zwischenlagerung des Containers statt. Dies wiederholt sich, wenn dieser ausgelagert und auf das Fahrzeug für den Weitertransport im Hafen oder in das Hinterland geladen wird (siehe Abbildung 1). Für den Direktumschlag an der Kaikante muss, wie in Abbildung 1 zu erkennen, zwischen Containern unterschieden werden, die im Hafengebiet bleiben oder die auf nachfolgende Schiffe umgeschlagen (Transshipmentcontainer) bzw. ins Hinterland transportiert werden. Container für den hafeninternen Transport sollen in diesem Prozess direkt an der Kaikante auf Lkw umgeschlagen werden und den Terminal verlassen. Somit entfallen mindestens zwei Umschläge. Alle anderen Container werden weiterhin herkömmlich umgeschlagen.

#### Herkömmliche Prozessgestaltung



#### Direktumschlag an der Kaikante

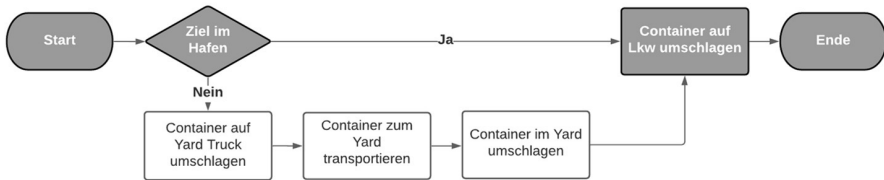


Abbildung 1: Ablaufgestaltung des wasserseitigen Containerumschlags

Da der Fokus der Studie auf den Auswirkungen der Prozessumgestaltung für den Terminal liegt, werden die Prozesse der weiteren Akteure, verglichen mit dem Terminal, abstrahiert modelliert. Der abgebildete Hafen orientiert sich hinsichtlich der Entfernungen zwischen den Akteuren und dem Umschlagvolumen am Hamburger Hafen. Dabei werden die Inputparameter entsprechend der Modellgröße skaliert. Fahrwege zwischen den Akteuren sind in der Simulation vereinfacht mithilfe einer Matrix der Wegzeiten abgebildet.

Zur Modellerstellung wurden folgende Annahmen getroffen:

- Der Terminal wird wasserseitig durch die Abfertigung eines Großschiffs sowie landseitig durch eintreffende Lkw belastet.
- Belastungsschwankungen durch wechselnde sowie parallele Ankünfte unterschiedlich großer Containerschiffe an der Kaikante werden nicht abgebildet.
- Es wird lediglich die Entladung der Container vom Schiff dargestellt.
- Gesetzlich vorgeschriebene Lenkzeiten der Lkw-Fahrer werden außer Acht gelassen.
- Das Modell unterscheidet nicht zwischen Containertypen. Es werden nur 40 ft Standardcontainer abgefertigt. Daraus ergibt sich, dass sowohl Yard Trucks als auch Lkw im Hafen nur einen Container zurzeit transportieren können.

Zu Beginn der Simulation werden Aufträge generiert, die im betrachteten Zeithorizont zwischen den Akteuren im Hafen zu transportieren sind. Hierbei wird jedem Auftrag zufällig eine Quelle und eine Senke zugewiesen. Weiterhin besitzt jeder Transportauftrag einen Zeitpunkt, bis zu dem er im Idealfall abgefertigt werden soll. Transportaufträge werden als mit Verspätung abgefertigt gewertet, wenn der Zeitpunkt der vorgesehenen Abfertigung mehr als 30 Minuten überschritten wird. Dabei erfolgt die Verteilung der Transportaufträge über den Tag entsprechend der Tagesganglinie eines großen Hamburger Terminals. So fallen in die frühen Morgen- und Abendstunden weniger Transportaufträge, während sich die im Hafen zu transportierenden Container um die Mittagszeit häufen.

Die Lkw im Hafen folgen vereinfacht keiner festen Tourenplanung. Nach dem erfolgreichen Abschluss eines Transports wird über eine zentrale Auftragsliste dem Lkw ein neuer Transportauftrag zugewiesen. Hierbei werden zum einen die Dringlichkeit der Abfertigung verfügbarer Transportaufträge und zum anderen die aktuelle Position des Lkw und die sich daraus ergebende Fahrzeit zum Start des möglichen neuen Transportauftrags beachtet. Bei zeitkritischen Transportaufträgen wird der Parameter des geplanten Abfertigungszeitpunkts höher priorisiert. In Experimenten, in denen ein Direktumschlag der Container auf Lkw an der Kaikante vorgesehen ist, werden an der Kaikante abzuholende Container gegenüber Transportaufträgen zwischen den anderen Akteuren im Hafen stark priorisiert, sodass an der Kaikante nach Möglichkeit keine Wartezeiten entstehen.

Am Containerterminal werden zu Beginn der Simulation die Container an den jeweiligen Containerbrücken dem Modell zugefügt. Das Simulationsmodell ist auf ein am Terminal anlegendes Containerschiff mit einer Länge von knapp 400 Metern sowie einer Stellplatzkapazität von rund 17.000 TEU ausgelegt. Davon sind am Terminal zwischen 8.000 und 10.000 TEU abzuladen, welche sich an Deck des Containerschiffs auf 18 Bays verteilen. Die mittlere wasserseitige Umschlag-

geschwindigkeit ergibt sich aus der Annahme, dass je Containerbrücke in der Stunde 24-30 Container umgeschlagen werden können. Stochastische Einflüsse auf die wasserseitige Umschlaggeschwindigkeit werden über eine Dreiecksverteilung abgebildet. Der Horizontaltransport zwischen Kaikante und Containeryard erfolgt durch Yard Trucks. Dabei sind jeder Containerbrücke vier Yard Trucks zugeordnet. Yard Trucks können im Modell mit einer Höchstgeschwindigkeit von 8,4 m/s über Fahrspuren auf dem Terminalgelände fahren. Für die RTG im Containeryard wird eine Produktivität von 15 Umschlägen in der Stunde angenommen. Daraus ergibt sich eine erwartete Abfertigungsdauer von 240 Sekunden pro Container. Abweichungen und Unregelmäßigkeiten im Prozess werden ebenfalls durch eine Dreiecksverteilung berücksichtigt. Diesbezüglich wird ein Minimalwert von 180 Sekunden und ein Maximalwert von 420 Sekunden bestimmt. Die Abfertigungszeit an allen weiteren Akteuren beträgt 30 bis 60 Minuten. Diese Annahmen basieren auf Experteninterviews im Hamburger Hafen.

Mithilfe von Simulationsexperimenten soll u. a. untersucht werden, welchen Einfluss die Umgestaltung der Prozesse am Terminal auf die Produktivität der Containerbrücken sowie den Yard und die Yard Trucks hat. Neben der Ablaufgestaltung bei der Abfertigung von Containern für den hafeninternen Transport wird der Anteil der Container im direkten Umschlag, der Lagerfüllstand im Yard sowie die Wahrscheinlichkeit, dass für einen Importcontainer bei seiner Abholung am Yard Block durch Lkw Umstapelvorgänge notwendig sind, variiert. Hierbei wird die Produktivität der Containerbrücken durch deren Umschläge pro Stunde ausgedrückt. Weiterhin werden die pro Lkw durchgeführten Transportaufträge sowie die Verspätungen der Lkw im Hafen ausgewertet. Zum Schluss wird überprüft, wie viele der geplanten Direktumschläge tatsächlich stattgefunden haben.

## 4 Auswertung der Ergebnisse

Die in diesem Kapitel dargestellten Ergebnisse basieren auf den zuvor vorgestellten Annahmen und dienen als Basis für eine geplante, hierauf aufbauende umfangreiche Simulationsstudie. Tabelle 1 veranschaulicht die durchgeführten Experimente mit den jeweils variierten Parametern.

**Tabelle 1:** Experimentplan mit zu variierten Parametern

Exp.	Direktums.	Direktums.[%]	Füllgrad Yard	Umstapelws. Yard	$\Sigma$ Lkw
1-5	nein	–	50 % - 90 %	gering	75
6-10	nein	–	50 % - 90 %	hoch	75
11-15	ja	1 % - 5 %	60 %	gering	75
16-20	Ja	1 % - 5 %	80 %	gering	75
21	Ja	10 %	60 %	gering	75
22-27	ja	10 %	80 %	gering	75-100

Die Experimente eins bis zehn dienen als Vergleichsszenarien, in denen die Container am Terminal wasserseitig auf herkömmlich Weise umgeschlagen werden (siehe Abbildung 1 für die Prozessgestaltung). In diesen Experimenten wird der Füllgrad der Yard Blöcke um jeweils zehn Prozent erhöht. Weiterhin sind die abzuholenden Container in den Experimenten eins bis fünf vorsortiert, wodurch die Umstapelwahrscheinlichkeit für landseitig abgeholte Container eher gering ist. Dagegen ist die Umstapelwahrscheinlichkeit in den Experimenten sechs bis zehn deutlich erhöht. In den Experimenten elf bis 27 werden Container für den Hafen wasserseitig direkt auf externe Lkw umgeschlagen (siehe Abbildung 1 für die Prozessgestaltung). Dabei wird während der Experimente elf bis 20 der Anteil des Direktumschlags an der Kaikante jeweils um ein Prozent erhöht. Darüber hinaus wird der Lagerfüllstand variiert. In den Experimenten 20 bis 27 wird angenommen, dass zehn Prozent aller Container wasserseitig direkt durch externe Lkw abzuholen sind. Dafür wird die Anzahl an Lkw erhöht, die für den Transport von Containern im Hafen verfügbar sind.

Tabelle 2 stellt die Auswertung der Experimente eins bis zehn dar. Es ist zu erkennen, dass die durchschnittliche Umschlaggeschwindigkeit der Containerbrücken deutlich unter der erwarteten Annahme von 24 - 30 Container pro Stunde liegt. Jedoch zeigen die Experimente auch, dass in den Randzeiten die Anzahl an Containern, die pro Stunde vom Schiff geladen werden, deutlich über dem Durchschnitt liegt. Dies lässt sich damit erklären, dass das Containerschiff in den frühen Morgenstunden den Terminal anläuft. In diese Zeit fallen nur sehr wenige hafeninterne Containertransporte. Somit kommen nur gelegentlich Lkw am Terminal an, welche Container bringen oder abholen. Folglich konkurrieren die Yard Trucks nicht so stark mit den Lkw um die RTG im Yard und können schneller abgefertigt werden. Weiterhin lässt sich eine Abnahme der Umschlaggeschwindigkeit mit zunehmendem Füllgrad der Yard Blöcke erkennen. Ein höherer Füllgrad des Yards sorgt dafür, dass vermehrt Umstapelvorgänge notwendig sind, wenn ein Container landseitig abgeholt wird. Somit verzögert sich die Umschlaggeschwindigkeit im Yard, was wiederum Einfluss auf die Produktivität der Containerbrücken hat. Außerdem sind eine Abnahme der durchgeführten Containertransporte sowie eine Zunahme der durchschnittlichen Verspätung der Lkw bei der Durchführung der Transporte zu beobachten.

**Tabelle 2:** Auswertung der Experimente mit herkömmlicher Ablaufgestaltung

Exp.	Ø moves/h CB	Max. moves/h CB	Σ Tour/Lkw	Ø Verspätung Lkw
1	19,8	28	14,1	01:03
2	19,8	27	13,0	01:38
3	19,7	26	12,2	01:19
4	19,5	26	12,3	01:19
5	19,8	28	12,5	02:23
6	19,7	26	14,1	02:17
7	19,1	26	12,6	02:55
8	19,0	25	13,1	03:22
9	19,2	26	12,7	02:46
10	19,0	26	12,1	03:07

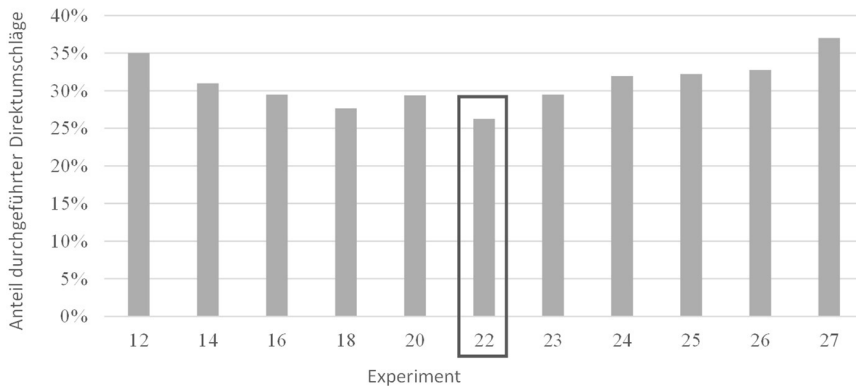
Testläufe vor dem Start der Simulationsstudie haben ergeben, dass für die Durchführung von Direktumschlägen auf externe Lkw eine Anpassung des Modells notwendig ist. Um eine vergleichbare Performance der Containerbrücken zwischen den beiden Alternativen der Ablaufgestaltung zu erreichen, ist es erforderlich den Direktumschlag nur dann stattfinden zu lassen, wenn auch ein externer Lkw für die Übernahme an der Kaikante verfügbar ist. Hierfür wird in dem Simulationsmodell ein direkt umzuschlagender Container, welcher länger als drei Minuten auf seine Übergabe an einen externen Lkw wartet, an den nächsten verfügbaren Yard Truck übergeben und in den Yard transportiert.

Die Auswertung der Experimente zeigt, dass die durchschnittliche Umschlaggeschwindigkeit an den Containerbrücken abnimmt, sobald der Anteil an Direktumschlägen auf externe Lkw steigt. Dafür nimmt die maximale Umschlaggeschwindigkeit in den Randstunden verglichen mit den Experimenten eins bis zehn zu, da Wechselwirkungen zwischen der Performance der Containerbrücke und den RTG teilweise wegfallen. Ebenso lässt sich erkennen, dass die Summe der Touren je Lkw im Vergleich zu der herkömmlichen Ablaufgestaltung zunimmt. Dies lässt sich durch den Tagesgang der Auftragsplanung begründen. Morgens sind wenige hafeninterne Transporte geplant, die Lkw stehen aber dennoch zur Verfügung. Diese ungenutzten Kapazitäten werden für Direktumschläge an der Kaikante genutzt. Schlussendlich nimmt die Verspätung der Lkw über den Tag zu, da Lkw Aufträge mit Direktumschlag höher priorisieren und den Terminal zum Teil bis zu 30 Minuten vor dem tatsächlichen Umschlag anfahren.

**Tabelle 3:** Auswertung der Experimente mit wassers. Direktumschlag auf Lkw

Exp.	Ø moves/h CB	Max. moves/h CB	Σ Tour/Lkw	Ø Verspätung Lkw
11	18,8	29	16,3	02:31
12	18,4	29	16,47	03:13
13	18,3	28	15,1	03:27
14	19,0	29	14,9	02:57
15	19,3	30	14,3	02:11
16	18,5	30	14,1	04:03
17	17,6	29	14,4	01:28
18	18,1	29	14,2	04:03
19	19,3	28	14,3	06:20
20	18,3	28	14,7	06:12
21	17,6	29	17,5	09:04
22	18,1	29	17,3	08:57
23	18,8	28	15,8	01:18
24	18,1	29	14,6	02:26
25	17,9	28	13,9	01:52
26	18,2	31	13,8	01:38
27	19,6	29	10,4	00:34

Abbildung 2 veranschaulicht den Anteil der tatsächlich durchgeführten wasserseitigen Direktumschläge im Verhältnis zu den geplanten. Es ist zu erkennen, dass nicht einmal jeder dritte geplante Direktumschlag tatsächlich durchgeführt werden konnte.



**Abbildung 2:** *Tatsächlich durchgeführte Direktumschläge*

Durch die Erhöhung des Anteils geplanter Direktumschläge sinkt die Auftragsbefüllungsquote. Bei einem geplanten Anteil von zehn Prozent Direktumschlag können davon lediglich 26 Prozent tatsächlich durchgeführt werden (siehe Experiment 22 in Abbildung 2). Eine höhere Anzahl verfügbarer Lkw im Hafen kann die Auftragsbefüllung zwar steigern, diese liegt jedoch immer noch unter 40 Prozent.

## 5 Fazit und Ausblick

Diese Studie stellt einen ersten Versuch dar, den Einfluss des Direktumschlags von hafenintern weiter zu transportierenden Containern auf den Terminal mittels Simulation zu untersuchen. Hierfür wird ein neuer Prozess des wasserseitigen Containerumschlags vorgestellt. Es wird deutlich, dass die wasserseitige Umschlaggeschwindigkeit sehr stark von der Verfügbarkeit und Performance des nachgelagerten Equipments abhängig ist. Während bei hafeninternen Transporten Verzögerungen im Prozess toleriert und durch eine geschickte Tourenplanung der Fuhrunternehmen abgefangen werden, wirken sich kleinste Verzögerungen im Direktumschlag stark auf Prozesse am Terminal aus. Dies macht den wasserseitigen Direktumschlag extrem aufwendig. Gleichzeitig bleibt eine hohe Planungsunsicherheit für den Terminal. Dennoch lassen die durchgeführten Experimente Potenziale erkennen. So konnte gezeigt werden, dass sich durch eine Neugestaltung der Terminalabläufe die maximale wasserseitige Umschlaggeschwindigkeit erhöhen lässt.

Ausgehend von dieser Machbarkeitsstudie lassen sich Potenziale für aufbauende Forschungsarbeiten erkennen. Hierzu zählt die Integration von weiteren Hafenakteuren nach dem Vorbild unterschiedlicher Containerhäfen. Weiterhin wird in dieser ersten Studie ein einziges Terminal mit RTG Betriebssystem untersucht. Für die Weiterentwicklung des Modells sollten unterschiedliche Betriebssysteme Betrachtung finden. Darüber hinaus wird in der durchgeführten Simulationsstudie lediglich die Entladung eines Containerschiffs nachgebildet. Eine Erweiterung des

Modells um die sich abwechselnden Be- und Entladeprozesse unterschiedlich großer Containerschiffe bildet natürliche Belastungsschwankungen des Systems nach und erhöht so die Realitätsnähe der Studie. Hierbei ist zusätzlich der Betrachtungshorizont zu erhöhen. Abschließend ist zu erwähnen, dass in der Realität zum einen zwischen 20 ft und 40 ft Containern unterschieden wird. Zum anderen können Lkw zwei 20 ft Container gleichzeitig transportieren. Diese Implementierungen sind ebenfalls für zukünftige Untersuchungen geplant.

## Literatur

- Allianz: SAFETY AND SHIPPING REVIEW 2020. An annual review of trends and developments in shipping losses and safety 2020.
- Duinkerken, M.B.; Dekker, R.; Kurstjens, S.T.; Ottjes, J.A.; Dellaert, N.P.: Comparing transportation systems for inter-terminal transport at the Maasvlakte container terminals. In: Kim, K.Hwan; Günther, H.-O. (Hrsg.): Container Terminals and Cargo Systems. Springer Berlin Heidelberg 2007, S. 37–61.
- Gharehgozli, A.H.; Koster, R. de; Jansen, R.: Collaborative solutions for inter terminal transport. *Int. J. Prod. Res.* 55 (2017) 21, S. 6527–6546.
- Heilig, L.; Voß, S.: Inter-terminal transportation: an annotated bibliography and research agenda. *Flex. Serv. Manuf. J.* 29 (2017) 1, S. 35–63.
- Huiyun, Y.; Xin, L.; Lixuan, X.; Xiangjun, L.; Zhihong, J.; Zhan, B.: Truck appointment at container terminals: Status and perspectives. In: 2018 Chinese Control And Decision Conference, 2018, S. 1954–1960.
- Kizilay, D.; Eliiyi, D.T.: A comprehensive review of quay crane scheduling, yard operations and integrations thereof in container terminals. *Flex. Serv. Manuf. J.* 264 (2020) 1, S. 138.
- Lange, A.-K.; Schwientek, A.; Jahn, C.: Reducing truck congestion at ports – classification and trends. In: Jahn, C.; Kersten, W.; Ringle, C.M. (Hrsg.): Digitalization in maritime and sustainable logistics, 2017, S. 37–58.
- Liang, C.; Hwang, H.; Gen, M.: A berth allocation planning problem with direct transshipment consideration. *J. Intell. Manuf.* 23 (2012) 6, S. 2207–2214.
- Nellen, N.; Grafelmann, M.; Ziegenbein, J.; Lange, A.-K.; Kreutzfeldt, J.; Jahn, C.: Literature Classification on Container Transport Systems for Inter-terminal Transportation. In: Freitag, M.; Haasis, H.-D.; Kotzab, H.; Pannek, J. (Hrsg.): DYNAMICS IN LOGISTICS, 2020, S. 52–61.
- Ramírez-Nafarrate, A.; González-Ramírez, R.G.; Smith, N.R.; Guerra-Olivares, R.; Voß, S.: Impact on yard efficiency of a truck appointment system for a port terminal. *Annals of Operations Research* 258 (2017) 2, S. 195–216.
- Schwientek, A.; Lange, A.-K.; Jahn, C.: Literature classification on dispatching of container terminal vehicles. In: Jahn, C.; Kersten, W.; Ringle, C.M. (Hrsg.): Digitalization in maritime and sustainable logistics, 2017, S. 3–36.
- UNCTAD: Review of Maritime Transport 2020: UNITED NATIONS 2020.
- Zeng, Q.; Feng, Y.; Chen, Z.: Optimizing berth allocation and storage space in direct transshipment operations at container terminals. *Marit. Econ. Logist.* 19 (2017) 3, S. 474–503.