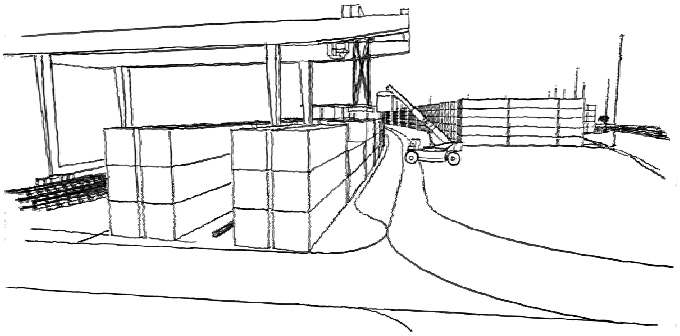
universität des lebens

Universität für Bodenkultur Wien

Diplomarbeit

Containerlager im Inlandterminal -
Eine Simulationsstudie der Servicehubanteile
unter dem Einsatz von Basisstrategien



Ausgeführt zur Erlangung des akademischen Grades des Diplomingenieurs an der Universität für Bodenkultur Wien unter der Betreuung von

Univ.Prof. Mag.rer.soc.oec. Dr.rer.soc.oec. Manfred Gronalt
Institut für Produktionswirtschaft und Logistik (734)

Eingereicht von
Benno Hüttler

Wien, Dezember 2010

Danksagung

Den MitarbeiterInnen des Instituts für Produktionswirtschaft und Logistik gilt mein Dank für die Aufnahme in eine nette Arbeitsumgebung, allen voran Univ. Prof. Mag. Dr. Manfred Gronalt für die Betreuung dieser Arbeit und das geschenkte Vertrauen in das Arbeitsverhältnis. Besonders möchte ich Mag. Thouraya Rojas-Navas danken. Nicht nur ihr Simulationsmodell, sondern auch die vielen Antworten auf meine Fragen sowie wesentliche Ratschläge haben mir geholfen, mich in das Thema einzuarbeiten.

Weiters möchte ich mich bei meiner Lebenspartnerin Monika für ihre Liebe und Unterstützung in den letzten Jahren meines Studiums bedanken. Studium, Arbeit und Familie sind nur durch viele Kompromisse, Entbehrungen aber vor allem durch gemeinsame Zielsetzungen miteinander vereinbar. Und doch ist das, was wir uns aufgebaut haben, die Quelle, aus der ich die Kraft für meinen Lebensweg schöpfen darf. Dafür bin ich Dir unendlich dankbar. Meinen Töchtern Anna und Astrid danke ich für jedes Lachen und alles, womit ihr mich stolz macht, euer Vater zu sein.

Bei meinen Eltern möchte ich mich für die lang währende Unterstützung bedanken. Euer moralischer Rückhalt und euer Vertrauen haben mich auch trotz der Verantwortung für eine Famile den Weg des Studiums weitergehen lassen.

Meinem Freund Alex verdanke ich viele Erlebnisse, die mich geprägt haben. Ich freue mich auf noch viele weitere Gespräche, Projekte und Konzerte, die Klarheit in so zahlreichen Fragen, wertvolle Gedanken, aber auch Ablenkung bringen.

Abstract

Von den hohen Wachstumsraten des internationalen intermodalen Containerverkehrs sind zunehmend vor- und nachgelagerte Inlandterminals betroffen. Die Lagerbewirtschaftungsoptimierung hilft, mit der Entwicklung von geeigneten Lagerstrategien steigende Umschlagsmengen ohne großen Investitionsaufwand besser bewältigen zu können und kosteneffizient zu agieren.

Diese Arbeit untersucht die Zusammenhänge und Auswirkungen der Charakteristika des Containeraufkommens an Inlandcontainerterminals auf den Servicehubanteil. Dieser stellt neben der Kranauslastung den bedeutendsten Performanceindikator eines Containerlagers dar. Es wird ein Diskret-Event-Simulationsmodell vorgestellt, um die Lagervorgänge abzubilden. In einer Simulationsstudie werden die Containerlängenverteilung, die Wahl der Sektorlänge und unterschiedliche Liegezeitenverteilungen als wesentliche Einflussgrößen zum Servicehubanteil identifiziert, deren Zusammenhang analysiert und dargestellt. Dabei kommen drei Basisstrategien zum Einsatz, um das Spektrum der Ergebnisse möglichst groß zu halten.

The recent increase of containerized cargo has more and more effect on Inlandcontainerterminals as well. Optimization of yard operations helps finding stacking policies and solutions to deal with an even larger amount of container traffic without the need of expanding their area, but improving efficiency. This master thesis deals with the analysis of key factors, which determine the number of rehandles, one of the most important performance measures in yard operation on inland container terminals beside the Gross-Crane-Rate. Containermix, sectorlength and residence time are identified as main parameters of the number of rehandles, analysed and presented. A discrete-event simulation model is applied and used for a simulation study on those particular factors, influencing the number of rehandles. To ensure a wide spectrum of results, three basic stacking policies were employed.

Inhaltsverzeichnis

DANKSAGUNG **2**

ABSTRACT **3**

INHALTSVERZEICHNIS **4**

EINLEITUNG **7**

A. THEORETISCHE GRUNDLAGEN **10**

1. DER INTERMODALE VERKEHR **10**
2. LADEEINHEITEN IM INTERMODALEN VERKEHR **13**
3. DER CONTAINERUMSCHLAG **15**
3.1. Terminalequipment 15
3.1.1. Unabhängiges Equipment *16*
3.1.2. Abhängiges Equipment *19*
3.2. Der Seehafenterminal 20
3.3. Terminalmanagement 22
3.3.1. Schiffsplanung *23*
3.3.2. Transportoptimierung *25*
3.3.3. Lager- und Stapellogistik *25*
3.3.4. Lagerbewirtschaftung *26*
3.3.5. Lagerstrategien *28*
3.4. Der Inlandterminal 30
3.4.1. Die Österreichische Terminallandschaft *30*
3.4.2. Prozessablauf im Inlandterminal *35*
3.4.3. Lagerbewirtschaftung im Inlandterminal *37*
3.4.4. Strategieansätze der Lagerbewirtschaftung für Inlandterminals *38*
3.5. Ergänzende Literatur zur Servicehubproblematik des Containerlagers 40

B. SIMULATIONSSTUDIE DER SERVICEHUBANTEILE UNTER ANWENDUNG VON BASISSTRATEGIEN **43**

1. DREI BASISSTRATEGIEN **44**
2. SERVICEHUBANTEIL **45**
2.1. Definition der Servicehubanzahl 45
2.2. Wirtschaftliche Bedeutung der Servicehubanzahl 46
3. AUFBAU UND ELEMENTE DES SIMULATIONSMODELLS **46**
3.1. Verwendete Simulationstechnik 46
3.2. Abbildung der Lager- und Stellplatzlogik im Simulationsmodell 49
3.3. Simulationsprozess 53
3.4. Umsetzung der Basisstrategien 56
3.5. Einschränkungen und Abgrenzungen 56
3.6. Simulationsablauf 57
3.7. Szenariendefinition 59
4. ERGEBNISSE **61**
4.1. Phase „INIT“ 61
4.1.1. Darstellung der Lagerstrategien *61*
4.1.2. Steady State Analyse *62*
4.1.3. Random-Strategie (S1) *65*
4.1.4. Levelling Strategie (S2) *67*

4.1.5. Stacking-Strategie (S3) ... 69
4.1.6. Zusammenfassende Diskussion der „INIT“-Phase ... 70
4.2. Phase „A“ ... 71
4.2.1. Random-Strategie (S1) ... 71
4.2.2. Levelling-Strategie (S2) ... 75
4.2.3. Stacking-Strategie (S3) ... 78
4.3. Phase „B“ ... 79
4.3.1. Random-Strategie (S1) ... 80
4.3.2. Levelling-Strategie (S2) ... 81
4.3.3. Stacking-Strategie (S3) ... 82
4.4. Phase „C“ ... 83
4.4.1. Random-Strategie (S1) ... 83
4.4.2. Levelling-Strategie (S2) ... 85
4.4.3. Stacking-Strategie (S3) ... 86
4.5. Phase „D“ ... 87
4.6. Phase „E“ ... 89
5. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK ... 91
6. LITERATURVERZEICHNIS ... 94
7. TABELLENVERZEICHNIS ... 97
8. DIAGRAMMVERZEICHNIS ... 98
9. ABBILDUNGSVERZEICHNIS ... 100
10. ABKÜRZUNGEN ... 101
11. ANHANG ... 102
EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG ... 104

Einleitung

Der internationale Containerverkehr hat sich seit den frühen 70er Jahren langsam aber stetig zunehmend als alternative Transportform etabliert. 1961 ist mit einem Containerservice zwischen der US-Ostküste und der Karibik der Grundstein für die Idee des weltweiten Containertransportes gelegt worden. Erst große Investitionen in die Entwicklung von geeigneten Schiffen und Umschlaggeräten sowie die Adaptierung von Hafenanlagen haben dem Containertransport so weit auf die Sprünge geholfen, dass diesem Segment des vorerst maritimen Güterumschlags die Basis bereitet wurde, um seinen stetigen Weg des Wachstums bis in die heutige Zeit anzutreten (Steenken et al., 2004).

Die permanente Entwicklung dieser Transportaktivitäten hat die Ausweitung zum heutigen intermodalen Transportwesen nach sich gezogen. Mit der Kombination mehrerer Transportmodi zu einem internationalen Netzwerk von Schiffs-, Bahn-, und Straßenverbindungen hat das System des kombinierten Ladungsverkehrs immer mehr auch das Landesinnere erschließen können. Die Knotenpunkte dieses Netzwerks bilden so genannte Terminals, die den Umschlag der genormten Ladeeinheiten innerhalb eines Transportmodus, aber auch zwischen unterschiedlichen Modi bewältigen. Neben dem interkontinentalen (maritimen) Verkehr wird der kombinierte Ladungsverkehr zunehmend auch als Alternative zum Transport auf der Straße in Anspruch genommen. Einerseits werden im begleiteten kombinierten Ladungsverkehr Lastkraftwagen für Teilstrecken auf die Schiene verladen (Rollende Landstraße – RoLa), andererseits fällt der gesamte Containertransport auf Schiene und Schiff unter den Terminus des unbegleiteten kombinierten Ladungsverkehrs.

Den intermodalen Transport unterteilt man in die Komponenten Vorlauf, Umschlag, Hauptlauf, Umschlag und Nachlauf. Unter dem Vor- und Nachlauf werden dabei die Transporte von und zu dem Kunden bis zum Containerterminal verstanden. Im dazwischen liegenden Netzwerk von Bahn- und Schiffstransporten bilden Terminals die Schnittstellen zwischen den Verkehrsmodi. Angesichts des stetig wachsenden Verkehrsaufkommens nehmen Containerterminals eine immer wichtigere Rolle innerhalb der Transportkette ein. (Gronalt et al., 2005)

Durch das enorme Wachstum des Containerverkehrs stehen Containerterminals zunehmend auch untereinander im Wettbewerb und suchen nach Lösungen die Umschlagskapazität zu erhöhen, ohne in die Erweiterung durch neue Flächen investieren zu müssen. Diese Suche nach kosteneffizienten Lösungen führt unter anderem zum Einsatz von semi-automatisierten Lagersystemen hoher Packungsdichte im Containerlager (Saanen

and Valkengoed, 2005). Dabei haben Optimierungen mit Techniken des Operation Research in Containerterminals immer mehr an Bedeutung gewonnen, weil die Logistik speziell der großen Terminals bereits einen hohen Grad an Komplexität erreicht hat, der für die Weiterentwicklung wissenschaftliche Methoden notwendig macht (Steenken et al., 2004).

Obwohl sich eine Reihe von Forschungsergebnissen und wissenschaftlichen Publikationen mit Fragestellungen und Problemen der Seehafencontainerterminals auseinandersetzt, so sind diese jedoch nur bedingt auf diejenigen übertrag- und anwendbar, mit denen sich Containerterminals konfrontiert sehen, welche im Landesinneren liegen. Die Gründe dafür sind vielfältig und liegen in den mannigfaltigen Unterschieden in Infrastruktur und Containerstromausprägung zwischen den weitaus größeren Seehafenterminals und den Inlandterminals selbst, aber auch den jeweiligen Umfeldern sowie deren Akteuren. Diese Diskrepanz bildet mitunter die Grundlage für diese Arbeit, da besonders auf die Charakteristik der Containerströme im Inlandterminal eingegangen wird.

Im Teil der theoretischen Grundlagen wird auf die Vorgänge in intermodalen Umschlagsanlagen eingegangen und werden deren Prozesse erläutert. Dabei stehen Umschlagsequipment, das Terminalmanagement und Inlandterminals im Interesse. Da sich viele Fragestellungen und Lösungsansätze aus dem Terminalmanagement der Seehafenterminals finden, wird auch auf die Prozesse der Seehafenterminals eingegangen. Ziel dabei ist es, die strukturellen Unterschiede zwischen Seehafenterminals und den wesentlich kleineren Inlandterminals erkennbar zu machen. Die wesentlichen Abweichungen sind Grund für die geringe Übertragbarkeit von Lagerstrategien der Seehafenterminals auf Inlandstandorte.

In einer Simulationsstudie werden Probleme in der Lagerbewirtschaftung in Inlandterminals abgebildet und analysiert. Dabei werden speziell jene strukturellen Faktoren und strategischen Einflussgrößen auf ihre Auswirkung auf einen der wichtigsten Performanceindikatoren eines Containerlagers, des Servicehubanteils, untersucht, die für Inlandterminals charakteristisch sind. Darunter fallen vor allem die Variabilität der Containerlängen, unterschiedliche Liegezeiten derselben sowie die Überlagerung aller Containerströme durch die Bewirtschaftung lediglich eines Lagerblocks. Eine erste Reihe von Szenarien dient der Überprüfung des Modells mittels einer Steady-State-Analyse, der Validierung der korrekten Implementierung der Basisstrategien, wie auch der Festlegung der Simulationsdauer der folgenden Szenarien. In weiteren fünf Szenariengruppen werden konkrete Zusammenhänge zwischen Einflussgrößen und dem Servicehubanteil analysiert, dargestellt und erläutert.

Servicehübe sind zum Zeitpunkt ihres Anfallens unvermeidbar. Diese Unvermeidbarkeit macht die Betrachtung der Gründe und Einflussfaktoren der Servicehübe interessant, da diese nur durch strategische Maßnahmen im Vorfeld gemindert werden können. Um Strategien zur Minderung des Servicehubanteils entwickeln zu können ist ein Grundverständnis für das Zusammenspiel zwischen dem Servicehubanteil und seinen Einflussfaktoren notwendig. Diese Arbeit hat die Darstellung dieser Zusammenhänge zum Ziel.

A. Theoretische Grundlagen

1. Der intermodale Verkehr

In Zeiten, in denen der Kohlendioxidausstoß in die Erdatmosphäre als ein wesentlicher Faktor der Klimaveränderung angesehen wird, wird stetig nach Alternativen für klimarelevante Prozesse im Transportwesen gesucht. Da dem Straßenverkehr ein beträchtlicher Teil der Freisetzung von fossilem Kohlendioxid zugeschrieben werden muss, sind Lösungen, welche Transporte auf den weitaus klimafreundlicheren Schienenverkehr umzulagern imstande sind, willkommen. Die Vorteile des intermodalen Verkehrs in einem verkehrsüberlasteten Europa sind daher nicht nur wirtschaftliche sondern auch ökologische (Gambardella, 2000). Der intermodale Verkehr bietet die Möglichkeit LKW-Transporte auf das Notwendigste zu reduzieren.

Im Laufe der vergangenen Jahrzehnte haben nur einige seltene Unterbrechungen – darunter war die bedeutendste der Rückgang der allgemeinen Transportnachfrage unter Wirkung der weltweiten Finanzkrise in den Jahren 2008/2009 – den kontinuierlichen Zuwachs der Güterbeförderung mittels der Kombination von Straße und Schiene gestört. Die Verkehrsmengen haben sich seit 1970 verzwanzigfacht (Seidelmann, 2010).

Um einen Eindruck von der Erfolgsgeschichte des Containerverkehrs zu vermitteln dient die Entwicklung der Zahlen des Weltcontainerbestandes über die letzten drei Dekaden (vgl. Abbildung 1). Durch die verpflichtende amtliche Registrierung jedes Containers, sind diese Zahlen vertrauenswürdige Kennwerte für den Trend des kombinierten Verkehrsaufkommens (vgl. Abbildung 2).

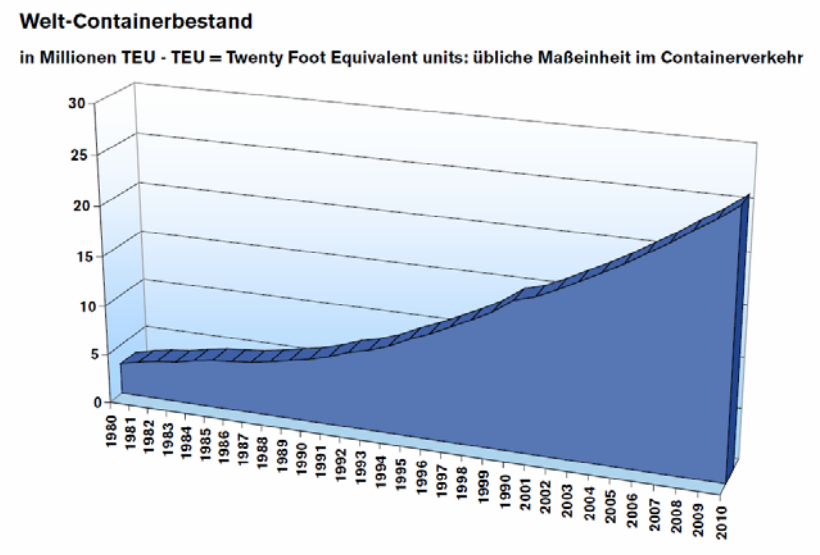


Abbildung 1: Welt-Containerbestand (TEU), (Seidelmann, 2010)

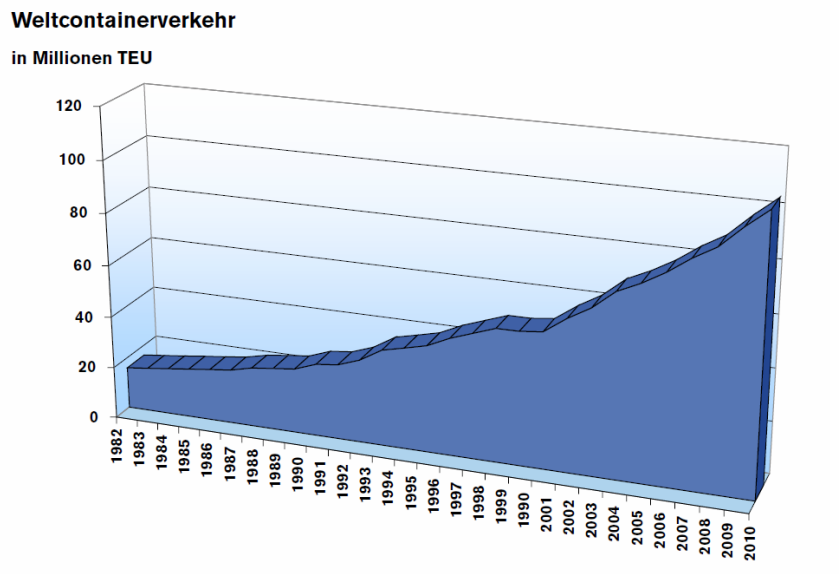


Abbildung 2: Weltcontainerverkehr (TEU), (Seidelmann, 2010)

Das System des intermodalen Verkehrs mit Containern hat seinen Erfolg im Wesentlichen durch Kostendegression mit steigender Betriebsgröße erreicht. […] Der internationale Containerverkehr hat den weltweiten Warenaustausch so extrem rationalisiert, verbessert und verbilligt, dass der Welthandel explosionsartig gewachsen ist: In den letzten 12 Jahren wuchsen

- *das Welt-Sozialprodukt jährlich um etwa 3 bis 4%,*
- *der Welthandel jährlich um etwa 6 bis 10%,*
- *der weltweite Containerverkehr jährlich um 9 bis 11%.*

Dieser rasch wachsende Containerverkehr braucht nicht nur neue, spezialisierte Hafenanlagen. Die meisten Container müssen auch vom Hafen ins Binnenland gebracht werden. Dazu dient in Europa auf kurzen Strecken meist der Straßenverkehr, auf längeren Strecken der Kombinierte Verkehr Schiene-Straße (und dort, wo es Flusssysteme gibt, auch die Containerbeförderung mit Binnenschiffen) (Seidelmann, 2010).

Im innereuropäischen Raum steht daher der Straßenverkehr in direkter Konkurrenz zum Kombinierten Verkehr. Um ökologische Zielsetzungen breit umzusetzen, sind attraktive Angebote seitens der Bahn- und Umschlagsgesellschaften entscheidend, die nicht selten durch Förderprogramme der öffentlichen Hand gestützt werden, um Nachteile gegenüber dem Transport auf der Straße abzubauen. Oft sind die Investitionen für Betriebe in intermodaltaugliches Equipment mit Mehrkosten verbunden. Diese Beträge auszugleichen, ist beispielsweise in Zielformulierungen von österreichischen Förderbudgets für den intermodalen Verkehr enthalten. Wesentlicher Bestandteil beim Ausbau des Intermodalen Netzwerks bilden neben Trassenkapazitäten auch die Umschlagskapazitäten der Terminals. Laut Seidelmann (2008) könnte es durch eine anhaltende Entwicklung des Sektors bereits

2015 zu Engpässen im Schienennetz kommen, was das Wachstumspotenzial des kombinierten Verkehrs beschneiden würde.

Große Seehafenterminals stehen zunehmend einerseits durch große Steigerungsraten des Containeraufkommens bei bereits vorhandenem großen Voliumen unter Druck, andererseits sehen sie sich dem Trend zu immer größeren Containerschiffen ausgesetzt. Transportierten die größten Containerschiffe 2006 noch um die 8500 TEU (Dekker et al., 2006), so sind derzeit Schiffe mit mehr als 20.000 TEU in den Werften in Bau. Seehäfen haben derzeit ein Volumen von mehr als 1 Million Container pro Jahr zu bewältigen (Saanen and Valkengoed, 2005). Beispielsweise wurden vor der zwischenzeitlichen Finanzkrise im Hafen Hamburg bereits mehr als 10 Millionen Container im Jahr umgeschlagen. Derzeit verzeichnet der Hafen Hamburg wieder Steigerungsraten von 10,7% auf einen hochgerechneten Jahresumschlag von knappen 8 Millionen Standardcontainern für das Jahr 2010. Durch den Transport in das Landesinnere über vorwiegend Bahnstrecken aber auch die Binnenschiffstraßen sind Umschlagknoten im Landesinneren von den Steigerungen des internationalen maritimen Containerverkehrs ebenfalls betroffen.
Auch die prognostizierten Aufkommenssteigerungen im internationalen intermodalen (oder auch kombinierten) Containerverkehr groß. Laut Studien soll der Kombinierte Verkehr in Europa bis 2015 durchschnittlich 7,8% pro Jahr wachsen – der nationale Verkehr wird sich demnach zwischen 2005 und 2015 ca. verdoppelt haben, im internationalen Verkehr werden die Steigerungen noch größer sein (Gronalt et al., 2008). Eine aktuellere Prognose der UIRR (Union Internationale des sociétés de transport combiné Rail-Route) zur Entwicklung des europäischen Kombinierten Verkehrs bis 2018 zeichnet folgendes Bild:

Das Wachstum des Kombinierten Verkehr [Europas] *geht weiter: Von heute 170 Millionen Tonnen soll der Kombinierte Verkehr Straße-Schiene bis zum Jahre 2018 auf 258 Millionen Tonnen steigen (Seidelmann, 2010).*

Solche Einschätzungen führen auch für die wesentlich kleineren Containerterminals im Landesinneren zu einer positiven Wachstumsprognose. Diese stetig steigende Entwicklung des Containerverkehres führt mitunter auch zu einer verschärften Konkurrenz unter den Terminals. Dieser Umstand bedeutet eine treibende Kraft für Optimierungsmaßnahmen, Investitionen und Forschungsarbeit. Besonders Seehafenterminals im Umfeld hoher Personalkosten mit hohen Umschlagsraten nutzen zunehmend automatisierte technische Transportsysteme sowie umfangreiche Lösungen im Bereich der elektronischen Datenverarbeitung und des Controllings. Diese Tendenz macht sich nun auch bei den Inlandterminals durch verstärkten Einsatz von assistierenden Softwarelösungen bemerkbar.

2. Ladeeinheiten im intermodalen Verkehr

Die Ladeeinheiten im Intermodalen Verkehr sind vorwiegend Container, die in unterschiedlichen Längen gebaut werden. Die große wachsende Akzeptanz des Containerverkehrs ist auf die Einführung eines Einheitenladekonzeptes zurückzuführen. Container sind relativ gleichförmige Einheiten, deren Inhalt dadurch nicht bei jedem Umschlagsknoten umgepackt werden muss. Container sind für den raschen und einfachen Ladungsumschlag konzipiert worden und bieten aufgrund der Standardisierung einige Vorteile für den Konsumenten. Metallcontainer trotzen nicht nur Wetter und der Gefahr von Diebstahl, sie ermöglichen eine einfachere Planung und Kontrolle. Ergebnis ist ein profitabler Ladungsverkehr (Steenken et al., 2004).

Unter allen Ladeeinheiten haben 20'- und 40'-Container den weitaus größten Anteil. Schließlich sind diese zwei Kategorien zusammen mit den überlangen 45'-Containern diejenigen, welche für Hochseetransporte aufgrund der Bauweise der Containerschiffe vorwiegend Verwendung finden. Diese Restriktion gilt für den kontinentalen Verkehr nicht, weshalb für diesen Bereich auch etliche Zwischengrößen zur Verfügung stehen. Um vor allem im betrieblichen Umfeld nicht auf Umschlaggeräte angewiesen zu sein, sind auch so genannte Wechselaufbauten (WAB) im Umlauf. Diese können durch ausklappbare Standbeine auf ebener Fläche ohne zusätzliches Gerät vom Lastkraftwagen zurückgelassen und aufgenommen werden. Beim intermodalen Transportweg bleiben die Ständer eingeklappt. WABs werden, wie normale Container auch, mit unteren Eckbeschlägen auf LKWs und das Wagenmaterial der Bahngesellschaften aufgesetzt. Die in Österreich im Umlauf befindlichen Wechselaufbauten können auch ohne stabilen Rahmen und oberen Eckbeschlägen gebaut sein, was ein Stapeln dieser Einheiten unmöglich macht. Werden Standardcontainer von den Umschlaggeräten meist an den oberen Ecken gehoben, so ist auch diese Form des Umschlags für WABs ohne obere Eckbeschläge nicht möglich. Dafür ist das Umschlagsequipment mit speziellen Zangen ausgerüstet, die den Wechselaufbau seitlich an der Grundfläche zu greifen vermögen.

Nicht nur Wechselaufbauten werden damit gehoben, auch komplette Sattelauflieger (SAL, Trailer) können mithilfe der Greifarme gehoben werden. Sattelauflieger sind LKW-Anhänger genormter Größe. Diese werden auf spezielle Waggons mit Aufnahmen für Reifen und Stützen gesetzt. Wiederum handelt es sich dabei um Ladeeinheiten, die verständlicherweise nicht stapelbar sind. Zu beachten ist die Abgrenzung von den Begriffen der „Huckepacktransporte" oder auch der „rollende Landstraße" (RoLa). Im Gegensatz zu diesen werden Sattelauflieger ohne das Triebfahrzeug im unbegleiteten Intermodalverkehr transportiert und müssen, den Containern gleich, auf Waggons gehoben werden. Zur Verladung der rollenden Landstraße bedarf es einer Auffahrrampe, über die LKWs auf das durchgängig befahrbare Waggonband gelangen. Dies geschieht in Österreich auf eigenen

Anlagen, die vom Containerterminalgelände im eigentlichen Sinn getrennt sind.
Diese Arbeit befasst sich nur mit Vorgängen der Containerterminals. Eine Übersicht über die Marktanteile der intermodalen Techniken der Mitgliedgesellschaften der UIRR gibt eine grobe Abschätzung von der aktuellen Bedeutung des Containerverkehrs in Relation zu Alternativen des kombinierten Verkehrsangebots.

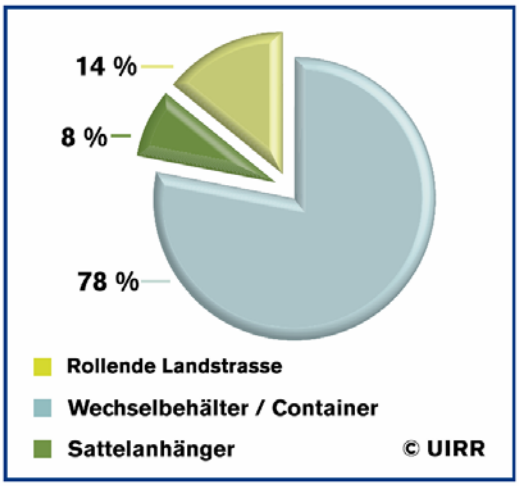


Abbildung 3: Marktanteile der intermodalen Techniken in 2009 (Seidelmann, 2010)

Abseits des Standardcontainers gibt es eine Vielzahl von Entwicklungen und Konstruktionen, die Container für den Transport spezieller Güter rüsten. Verschiedene Systeme zur Belüftung sind gängige Adaptierungen, wie auch Tankcontainer für flüssige und fließfähige Güter. Hard-Top Container bieten die Möglichkeit, unförmige Güter auf eine Grundplatte zu verladen und die Ladeeinheit durch Aufsetzten eines Stahlmantels zu verschließen. Spezielle Container für Schüttgut (Bulkcontainer) und FlatRack Container sind weitere angepasste Ladungsträger. Für temperatursensible Fracht kommen Kühl- oder Reefer-Container zum Einsatz. Sie benötigen, sofern nicht bereits ein Aggregat integriert ist, eine Energieversorgung am Lagerplatz.

Die Breite der Container ist auf 8’ standardisiert. Was die Bauhöhe betrifft, so wird die Standardhöhe von 8,5’ manchmal durch höhere (highcube) Bauweisen mit einer Höhe von 9,5’ überschritten oder davon durch halbhohe Container abgewichen.
In dem vorliegenden Simulationsmodell finden vor allem die verschiedenen Containerlängen und die Stapelbarkeit Berücksichtigung. Der Einfluss von verschiedenen Bauhöhen wird wegen der besonderen Konzentration auf die Servicehubanzahl vernachlässigt.

3. Der Containerumschlag

Der Containerterminal ist jener Knotenpunkt im Netzwerk des intermodalen Verkehrs, in dem Container umgeschlagen werden, um die Containerströme zu trennen oder zusammenzuführen. Sie stellen Interfaces zwischen Schienenverkehr, maritimen Verkehr, Straßenverkehr und Binnenschifffahrt dar, und verkörpern kritische Verbindungen im Intermodalen Verkehr (Petering et al., 2008). Ein Wechsel des Transportmodus einer Ladung ist dabei nicht zwingend notwendig. Beispielsweise sind manche Containerterminals (Transshipment Hubs) zum Großteil damit beauftragt, Ladungen von eingehenden Schiffen auf andere umzuladen. Containerterminals lassen sich nach den am Terminal eingebundenen Verkehrsträgern in mono-, bi- und trimodale Terminals einteilen. Sind große Seehafenterminals meist trimodale Terminals, so gibt es im Landesinneren eine größere Variabilität, da ein wasserseitiger Anschluss eines Containerterminals nicht überall verfügbar ist. Die Prozesseinheiten eines maritimen Containerterminals sind die Kaimauer, das Lager (Yard), der Interchangebereich, Übergabebereiche für Bahn und Lkw, sowie Sonderflächen für Leercontainerlager, Gefahrgut und andere Spezialcontainer. Weitere Bereiche stehen für Reparatur- und Packdienste zur Verfügung. Die Kaimauer ist die Schnittstelle zwischen Terminal und Containerschiff. Davor finden sich Liegeplätze für die Schiffe (Berths) und darauf stehen Kaikräne (QCs), die Schiffe mit Containern be- und entladen. Die QCs werden von Trucks, Automated Guided Vehicles (AGVs) oder VanCarriern mit Export-Containern bedient. Bei Import-Containern erfolgen diese Tätigkeiten in umgekehrter Reihenfolge. (Gronalt et al., 2005)

Das Containerlager wird in Bereiche der Lagerung von Vollcontainern und Leercontainer gegliedert. Gesonderte Bereiche sind für die Lagerung von Gefahrgut- und Spezialcontainern vorgesehen. Außerdem sind Freiflächen für die Sortierung und Lagerorganisation eingeplant. Je nach Lagerstrategie können Lagerflächen speziellen Containergruppen fix oder auch variabel zugeordnet werden.

Der Interchangebereich bildet die Schnittstelle zum öffentlichen Straßennetz. Import und Exportcontainer werden mit Frachtpapieren und Daten auf Konsistenz geprüft. Zusätzlich sind Exportcontainer (in das Terminal einlangende Container) auf Schäden zu überprüfen. Gegebenenfalls kann es auch zu Annahmeverweigerungen kommen.

3.1. Terminalequipment

Um den Umschlag von Containern bewerkstelligen zu können, sind verschiedene Geräte im Einsatz. Die Wahl des geeigneten Equipments ist Teil einer Reihe von strategischen Entscheidungen, die es möglich machen, ein Terminal an externe Anforderungen bestmöglich anzupassen aber auch einen reibungslosen internen Ablauf zu garantieren.

3.1.1. Unabhängiges Equipment

Unabhängiges Equipment ist in der Lage, Container selbsttätig zu heben und zu befördern. Dazu zählen vor allem die verschiedenen Bauarten der Kräne aber auch VanCarrier.

Kaikran (Quay Crane, QC)

Kaikräne bilden die Schnittstelle zwischen Schiffen und dem Kai. Durch die Schienenmontage lassen sich Kaikräne entlang der Kaimauer bewegen. Der Containertransport wird über Laufkatzen (Trolleys) bewerkstelligt, die mit Spreadern ausgerüstet sind. Spreader sind jene Kranelemente, die es dem Kran ermöglichen, den Container meist an seinen Eckbeschlägen zu fassen. Durch verstellbare Spreader sind Container verschiedener Länge greifbar. Um den Umschlag zu beschleunigen, sind auch Spreader im Einsatz, die mehrere Container gleichzeitig fassen können. Kaikräne können mit mehreren Trolleys ausgerüstet sein, wovon manche automatisiert sein können. Zwischen den Stützen der Kaikräne befinden sich die Spuren zur Übergabe der Container an weiteres Terminalequipment für den Weitertransport. Die technische Performance von Kaikränen liegt etwa bei 50-60 Container/h, während die operative etwa zwischen 22-30 Container/h liegt (Steenken et al., 2004).



Abbildung 4: Kaikran

Bereifter Portalkran (Rubber Tyred Gantry Crane, RTGC)

Der bereifte Portalkran oder Rubber Tyred Gantry Crane (RTGC) ist durch seine Bereifung nicht an ein bestimmtes Schienensystem gebunden. Seine Einsatzfähigkeit bedarf lediglich eines geeigneten Fundaments. Seine Räder sind rechtwinkelig drehbar. Dadurch ist eine Zuweisung zu Lagerblöcken nicht unwiderruflich. Dank seiner Flexibilität kann er der jeweiligen Arbeitslage angepasst eingesetzt werden. Der RTGC überspannt den Lagerblock, der nur zwischen den Stützen bearbeitet werden kann. Auch kann ein RTGC mit einem elektronischen Positionierungssystem ausgerüstet werden. Sein etwas erhöhter Platzbedarf

durch Fahrwege und Stützen resultiert in einem etwas geringeren Flächennutzungsgrad des RTGCs gegenüber dem Schienengeführten Portalkran.

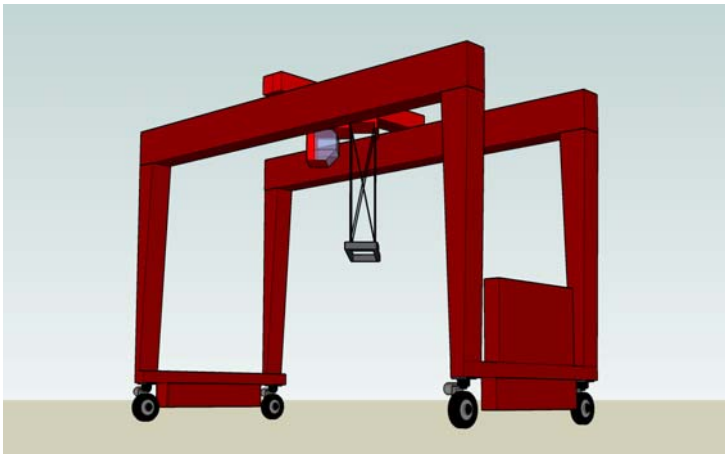


Abbildung 5: RTGC

Portalkran (Gantry Crane, GC, Transtainer)

Der schienengelagerte Portalkran oder Rail Mounted Gantry Crane (RMGC) ist der herkömmlichste Kran in der Containerlagerwirtschaft. Eingesetzt wird er sowohl zum Be- und Entladen von LKWs wie von Zügen aber auch bei der Lagerbewirtschaftung. Durch die Schienengebundenheit sind Portalkräne in ihrer Flexibilität gegenüber den RTGCs eingeschränkt. Durch große Spannweiten und Bauhöhen sind hohe Stapel bis 10 Lagen und große Blockdimensionen bis 12 Reihen von einem RMGC manipulierbar (Steenken et al., 2004). Die oberste Lagerebene ist dabei für die Hubtätigkeit freizuhalten. Geschätzt wegen seiner Stabilität und hohen Produktivität von 20-30 Hüben/h, wird er oft als Twin-RMGC eingesetzt. In dieser Bauart bedienen zwei Kräne einen Block. Ein Steuerungssystem verhindert dabei eine Kollision der Geräte. Auf österreichischen Terminals ist diese Bauweise die verbreitetste. In der Crossover-RMGC Ausführung ist einer der beiden Kräne so ausgeführt, dass er über den kleineren auf separaten Gleisen hinweg fahren kann. Die automatisierte, nicht von Menschenhand gesteuerte Version wird Automated Stacking Crane (ASC) genannt und kommt vor allem in den modernen Seehafenterminals mit großen Umschlagsmengen zum Einsatz.

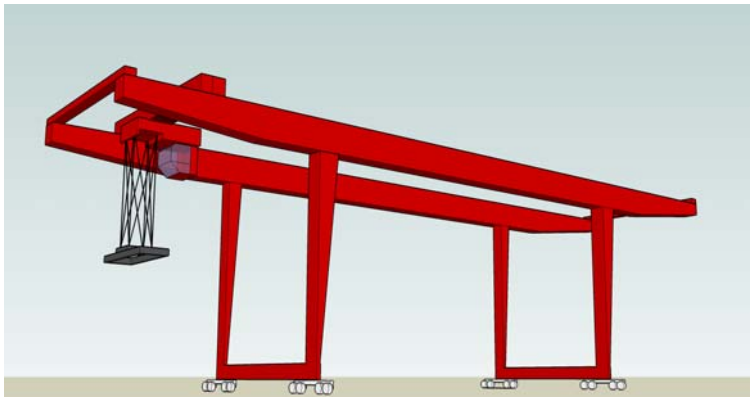


Abbildung 6: RMGC

Portalhubwagen (Straddle Carrier, Van Carrier, VC)

Straddle Carrier sind Lastkraftwagen, die einem RTGC ähnlich sind. Sie können selbsttätig Container bis in höhere Lagen heben, sind zudem aber mobil wie Yard Trucks. Um sie im Lagerbereich einzusetzen, ist der erhöhte Platzbedarf der bereiften Stützen vorzusehen. Sie können auch zur Abfertigung von Zügen und LKWs eingesetzt werden.



Abbildung 7: Portalhubwagen

Tophandler (Toploader)

Top Handler sind Transporter, die Gabelstaplern ähnlich sind. Sie fassen die Container längsseitig mit Front- oder Seiten-Spreadern an den oberen Ecken und können nur die dem Gerät zugerichtete vorderste Lagerreihe bedienen.

Reach Stacker

Reach Stacker sind durch ihren Ausleger in der Lage Container bis in die zweite dem Gerät

zugewandte Lagerreihe über einen anderen Container hinweg zu bewegen. Sie sind sehr massiv konstruiert und stellen dadurch an die Fundamentierung des Lagerplatzes besondere Anforderungen. Wegen ihrer Flexibilität geschätzt, sind sie an östereichischen Inlandterminals die gängigste Ergänzung zu RMGCs.



Abbildung 8: Reach Stacker

3.1.2. Abhängiges Equipment

Folgende Equipmenteinheiten sind durch das Unvermögen Container selbsttätig zu heben auf ersteres Equipment angewiesen. Von Kränen oder VanCarrier beladen werden sie für den horizontalen Transport auf dem Terminalgelände eingesetzt.

Yard Truck (Zugmaschine, Chassis)

Der Yard Truck ist ein Lastkraftwagen, der von hebendem Equipment be- und entladen werden muss. Yard Trucks werden von Personal gelenkt und können ggf. mit Anhängerkonstruktionen mehrere Container gleichzeitig befördern. Der ausschließliche Einsatz (Komplettsystem) von Trucks für Transport und Lagerung erfolgt nur in den Vereinigten Staaten. In Europa und Asien werden diese nur für den Flächentransport zwischen Kaikränen und Portalkränen und für Anlieferung und Abholung eingesetzt (Gronalt et al., 2005).

Terminal Tractor (Spotting Tractor)

Sind kleinere terminalinterne Trucks, die nur auf dem Terminalgelände verkehren und mehrere Chassis ziehen können.

On-Chassis System (Komplettsystem)

In einem Chassis System werden die Container ausschließlich auf Chassis gelagert und transportiert. Die Folge ist ein geringer Flächennutzungsgrad, da die Stapelung der Container entfällt. Der Vorteil ist ein durchgängiges System ohne zwischenzeitliche Verladevorgänge, das bis zur Versorgung der Kaikräne reicht.

Prime Mover

Prime Mover sind Chassis, die in zwei Etagen auf mehreren Anhängern bis zu 10 Container für den Transport aufnehmen können. Von einer Zugmaschine gezogen ist damit eine effiziente Versorgung der Kaikräne in richtiger Ladereihenfolge organisierbar.

Automated Guides Vehicles (AGVs)

Automates Guided Vehicles sind automatisierte Yard Trucks, welche über Induktion und andere Positionierungssysteme durch moderne Terminalanlagen den horizontalen Transport zwischen Kaiseite und Lagerseite bewerkstelligen. Sie werden besonders in großen Terminalanlagen in Ländern mit hohen Personalkosten eingesetzt. Auch sie müssen von Gerätschaften mit Hubfunktion be- und entladen werden. Nicht aber die weiterentwickelten Automated Lifting Vehicles (ALV), denn diese sind in der Lage auf dem Boden stehende Container selbsttätig zu ergreifen und wieder abzustellen. Sie sind daher in ihrer Leistung kranunabhängig.

3.2. Der Seehafenterminal

Obwohl sich diese Arbeit explizit mit Vorgängen in Inlandcontainerterminals beschäftigt, kommt man nicht umhin, die großen Seehafenterminals strukturell zu besprechen, um die Notwendigkeit der gesonderten Betrachtung der Inlandterminals und ihrer Prozesse zu verstehen. Die zahlreichen Publikationen zu Seehafenterminals und der Optimierung ihrer Abläufe befassen sich zwar mit ähnlichen Fragestellungen, jedoch verhindern große Unterschiede in Struktur und Einflussfaktoren die Umlegung der Ergebnisse auf Inlandcontainerterminals.

In Containerterminals mit maritimem Schiffsverkehr werden einlaufenden Schiffen zunächst bestimmte Liegeplätze (Berths) zugewiesen. Nach dem Anlegen dienen Kaikräne dazu, die zu löschenden Importcontainer aus dem Schiffsladeraum an Land zu heben sowie die Exportcontainer auf das Schiff zu verladen. Dahinter stehen meist YTs oder AGVs im Einsatz, um den Transport der Container von den Kaikränen in das Lager und umgekehrt zu bewerkstelligen. Je nach Anforderung und Terminaldesign wird das Lager von RMGCs in verschiedenster Ausformung oder von RTGCs bewirtschaftet.

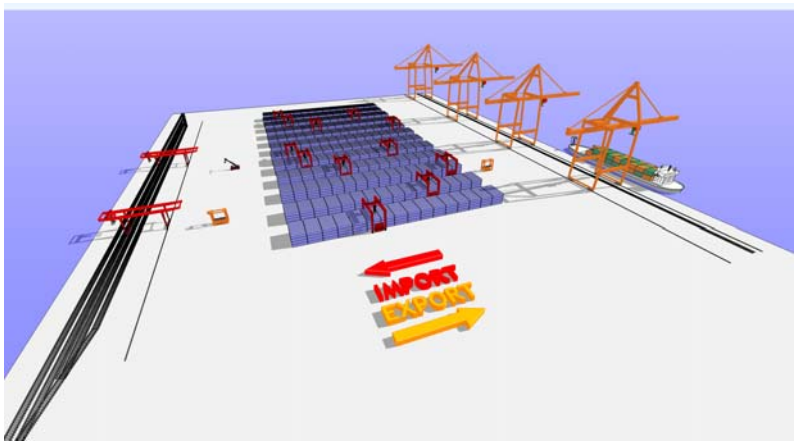


Abbildung 9: Schematische Darstellung eines Seehafenterminals mit IMPORT-EXPORT-Charakter

Landseitig kommen Exportcontainer per LKW, Bahn oder Binnenschiff am Terminal an. Je nach Verkehrsträger werden RMGCs, RTGCs sowie StraddleCarrier und Reachstacker eingesetzt, um Exportcontainer entgegenzunehmen und dem Lager zuzuführen. Dort werden sie gemäß der Lagerstrategie meist von RMGCs oder RTGCs eingelagert. Bei Ankunft des Frachters werden die Exportcontainer in Reihenfolge des Stowageplans entnommen und kontinuierlich von AGVs, StraddleCarrier oder Yardtrucks zum Kaikran gebracht. Diesem Containerstrom steht dem entgegengesetzt orientierten Güterfluss der Importcontainer gegenüber. Nach der Menge an Import-Exportcontaineranteilen lassen sich Seehafenterminals grob in zwei Kategorien unterteilen. Jene Import-Export-Terminals mit einem hohen Anteil an Güterströmen von und in das Landesinnere unterscheidet man von den reinen Transshipment-Terminals, deren Hauptanteil des Güterstromes das Terminal sowohl über maritime Verkehre erreicht als auch wieder verlässt.

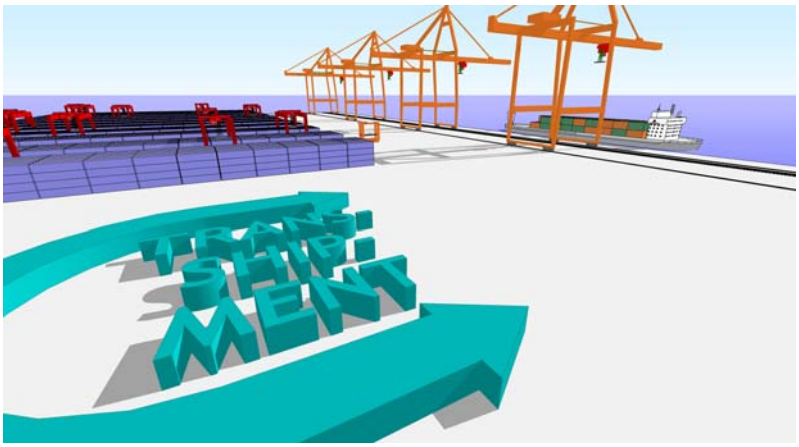


Abbildung 10: Schematische Darstellung eines Terminals mit Transshipment-Charakter

Dieser markante Unterschied ist ein wesentliches Kriterium für die Planung und Betrieb eines Terminals, da sich Import-Export-Terminals mit teilweise gänzlich anderen

Rahmenbedingungen und Optimierungsfragen auseinandersetzen, als das Transshipment-Terminals tun müssen. Die Verschiedenheit dieser Typen bilden sich bis in die verwendeten und angepassten Lagerstrategien ab, obwohl grundlegende Optimierungsziele für alle Terminals gelten. Bei beiden Seehafenterminaltypen liegt das Hauptaugenmerk der Betreiber besonders auf der Verkürzung der Liegezeiten der Seefrachter. Als Dienstleister für Reedereien stehen sie dabei in direktem Vergleich untereinander. Für Schiffsbetreiber werden die Liegezeiten in Häfen als unproduktive Zeiten angesehen, die so kurz wie nur irgendwie möglich gehalten werden müssen, um eine hohe Transportleistung der Schiffe zu ermöglichen. Der Trend zu größeren Schiffen mit besonders hohen Investitionskosten steht dabei im Widerspruch zu den dadurch erhöhten Ladezeiten, welche der Amortisation derartiger Schiffe im Wege stehen. Nicht selten werden den Terminals von Reedereien Vorschriften über die Entladung gemacht, wie etwa das Einhalten von Untergrenzen der Ladungshübe pro Stunde der Kaikräne. Dieser enorme Druck auf die Terminalperformance hat bei Seehafenterminals dazu geführt, sich besonders bei Optimierungsfragen auf die kaiseitigen Prozesse und ihre Einflussfaktoren zu konzentrieren. Das mag einer der Gründe sein, warum Terminalprozesse vorwiegend aus dem Blickwinkel der Kaioperationen betrachtet, und sie damit diesen untergeordnet werden.

Ein weiteres grundlegendes Optimierungsziel ist der effiziente Umgang mit Ressourcen. Besonders die benötigte Lagerfläche ist ein wesentlicher Faktor, da nicht nur in Hafenanlagen Flächen begrenzt zur Verfügung stehen. Daraus lässt sich unmittelbar die Tendenz ableiten, dass bei zunehmenden Umschlagsmengen die steigende Zahl der Container im Lager zu einer Erhöhung der Lagerdichte führt. Durch die Stapelbarkeit der Container ist dies auch möglich und zulässig. Jedoch treten in einem derartigen Lagersystem Probleme auf, die durch die Stapelhöhe verursacht werden. Wird ein Container benötigt, der im Lager bereits unter anderen Containern platziert wurde, so sind zusätzliche Containerbewegungen notwendig um die oberen Container zu versetzen, bis jener gewünschte Container zugänglich geworden ist. Dieser zusätzliche Aufwand wird in der Anzahl der Servicehübe gemessen. Allein durch solche zusätzlichen Aufwendungen ist die Bewirtschaftung eines hochdichten Lagersystems mit der Stapelhöhe begrenzt. Jedoch werden Lagerstrategien eingesetzt, um diese Grenze so weit wie möglich nach oben zu verschieben.

3.3. Terminalmanagement

Abläufe in einem Containerterminal haben dem Anschein nach eine einfache Struktur, aber die komplexen Anforderungen verlangen einen hohen Standard des Managements (Chen, 1999).

Obwohl weltweit jeder Terminal einzigartig ist, bestehen Terminals grundsätzlich aus den gleichen Organisationseinheiten. Damit lassen sich Entscheidungen, die ein Terminalmanagement zu treffen hat, diesen Bereichen zuordnen. Durch die Dienstleistung des Containerumschlags steht die Wahl des technischen Equipments auf strategischer Ebene im Vordergrund. Damit eng verbunden sind Anlagen- und Lagergröße, die sich vor allem mit der technischen Ausstattung an der zu erreichenden Umschlagskapazität orientieren müssen. Oft sind spätere Anpassungen der Anlagendimensionen und der Lagergröße bei bestehenden Terminals durch das geografische Umfeld nur eingeschränkt möglich. Expansionsflächen sind an vielen Standorten nur schwer oder mit erheblichem Aufwand verfügbar oder nutzbar zu machen.
Das „Terminaldesign" ist vor allem für reibungslose Abläufe und den effizienten Transport innerhalb des Terminals verantwortlich, aber es bestimmt auch Aspekte im Interesse des sicherheits- und risikobezogenen Managements. Dazu zählen beispielsweise die Anordnung der Gerätschaften und Wege sowie deren Lage zueinander. Zu den taktischen Entscheidungen gehört der Einsatz von operativen Strategien, wie etwa die explizite Zielsetzung, die Liegezeiten der Frachter zu minimieren. Kurzfristig wirksame operative Entscheidungen umfassen die Themen der Reservierung und Zuweisung der Kais und Becken an Schiffe, die unmittelbare Zuweisung von Lagerplätzen an die einzelnen Container und das Einteilen der Arbeiten auf bestimmtes Equipment. In zunehmendem Maße sind auch Entscheidungen in Echtzeit zu treffen. Vor allem Kontroll- und Steuerungsentscheidungen des automatisierten Equipments fallen darunter und werden großteils bereits technischen Einrichtungen überantwortet (Dekker et al., 2006).

Die in der Literatur besprochenen Problemfelder des maritimen Containerterminalmanagements lassen sich vor allem nach den Terminalprozesseinheiten gliedern. Diese umfassen die Schiffsplanung, die Transportoptimierung sowie die Lager- und Stapellogistik. Das Hauptaugenmerk dieser Arbeit richtet sich in weiterer Folge auf den Bereich der Lager- und Stapellogistik, um Parallelen und Unterschiede zur Lagerbewirtschaftung im Inlandterminal darzulegen.

3.3.1. Schiffsplanung

Die kaiseitigen Prozesse umfassen drei Teilbereiche, die im Zusammenspiel eine erfolgreiche und wirtschaftliche Be- und Entladung von Schiffen ermöglichen. Erste Fragestellung, die es zu lösen gilt, ist die Planung und Zuweisung von Schiffen an Hafenbecken und Anliegestellen. Dieses „Berthplanning" ist der erste entscheidende Schritt bei der Schiffsabfertigung. Davon hängt die Auslastung der Kaikräne genauso ab, wie die später erreichbaren Liegezeiten der Schiffe. Die Entscheidung über den Anliegeort eines

Frachters zieht jedoch noch weitere Kreise im Terminalgeschehen nach sich. Sämtliche terminalinternen Transporte, die in Zusammenhang mit der Schiffsabfertigung stehen, haben dadurch ihren Ausgangspunkt oder ihr Ziel definiert bekommen. Schlecht getroffene Entscheidungen in diesem Sektor können zu Wartezeiten der Schiffe führen, eine schlechte Kaikranauslastung bewirken, oder aber auch terminalinterne Transporte unnötig ansteigen lassen.

Eng mit der Schiffsabfertigung verknüpft ist auch der zweite Teilbereich der kaiseitigen Prozesse, das Kaikranmanagement. Beispielsweise ist eine vernünftige Arbeitsteilung unter den Kränen („Crane Split“) notwendig, um eine gleichmäßige Auslastung der vorhandenen Geräte zu gewährleisten und eine schnelle Schiffsabfertigung zu erreichen. Auch von diesen Entscheidungen ist das nachgelagerte Transportsystem direkt betroffen. Das dritte Themenfeld beschäftigt sich mit dem tatsächlichen Beladen von Seefrachtern. Das Stowage- oder Ladungsproblem bei Schiffen behandelt das Planen optimaler Ladereihenfolgen der Container, die den Terminal mit dem Schiff verlassen. Dabei muss einigen Vorschriften über Containergrößen, die Ladungsverteilung innerhalb des Schiffsrumpfes, sowie der zukünftigen Entladereihenfolge Rechnung getragen werden. Ergebnis ist eine Ladesequenz, die die Reihenfolge der zu entladenden sowie vor allem der zu beladenden Container vorgibt. Um eine Entnahme der Exportcontainer aus dem Lager gemäß der Ladesequenzliste möglichst ohne Verzug zu gewährleisten, wird bereits im Lager eine Sortierung der Container nach dem für den Stowage-Plan relevanten Kriterienkatalog vorgenommen. In der Regel sind das die Containerlänge, das Gewicht und der Bestimmungs- oder Zielhafen. Die Schiffsstabilität auf See ist maßgeblich von der Gewichtsverteilung im Schiffsrumpf abhängig. Beim Beladen des Schiffes ist es daher notwendig, schwere Ladungseinheiten möglichst weit unter Deck zu verstauen. Für die Planung der Beladung bedeutet das ein Sortieren der Container nach ihrem Gewicht sowie eine Reihung während des Ladevorgangs von den schwereren Containern zu denen geringeren Gewichts. Falls der zu beladende Seefrachter mehrere Destinationen anfährt, so ist weiters darauf zu achten, dass Ladungen, die früher entladen werden, nicht von Containern, die erst später gelöscht werden, blockiert werden. In diesem Fall würde man zusätzliche unproduktive Hübe beim Entladen benötigen, um die gewünschte Ladung am Zielhafen löschen zu können. Der Kaioperator erhält in der Regel im Voraus einen Stowageplan von der Reederei, der die Rahmenbedingungen der konkreten Schiffsbeladung enthält. Dieser dient als Grundlage für die Erstellung der konkreten Ladesequenz, welche jedem Container oder jeder Containerkategorie untereinander austauschbarer Container einen Platz oder Raum am Schiff zuordnet. Dieser Prozess der Schiffsabfertigung ist es, welcher die Grundlage für Lagerstrategien im Export bei Seehäfen bildet und maßgeblich prägt.

Im Bemühen Liegezeiten der Seefrachter zu minimieren hat sich die Betrachtung der Leistungsfähigkeit der Kaikräne als zweckmäßig erwiesen. Der dabei wichtigste Performanceindex, die Gross-Crane-Rate (GCR) bzw. Hubleistung der Kaikräne in Hüben pro Stunde, ist bis heute ein gefragtes Merkmal der Containerterminalperformance. Lässt sie doch direkt auf die vermutliche Dauer von Be- und Entladung von Seefrachtern schließen.

3.3.2. Transportoptimierung

Den Kaikränen nachgelagert befindet sich ein Transportsystem unterschiedlicher Ausprägung, welches eine kontinuierliche Versorgung der Kaikräne zur Aufgabe hat. Als Flaschenhals in der Prozesskette gesehen, steht ein ständiger, ungestörter Kaikranbetrieb im Hauptinteresse des Terminalmanagements. Während eines Entladevorganges sind die gelöschten Container vom Transportequipment aus dem Kaikranbereich in ein Lagersystem zu überstellen. Entscheidend dabei ist nicht nur die Kapazität des Transportsystems, sondern auch die Anordnung der Lagerblöcke und in weiterer Folge auch die Lagerstrategie, welche mitverantwortlich dafür ist, wie weit die Wege werden, und ob sich das Transsportaufkommen am Terminalgelände räumlich konzentriert. Ein gestörtes Transportsystem führt unweigerlich zu Beeinträchtigungen der Kaikrantätigkeit bis hin zu einem Stillstand, wenn der Containerabtransport oder die Containeranlieferung zum Erliegen kommt.

Beim Beladungsvorgang kommt ein weiterer Aspekt hinzu. Die Einhaltung der Verladungsreihenfolge gemäß des Stowageplans beginnt schon mit der korrekten Anlieferung der Container zum Kaikran. Wiederum ist eine reibungslose Transportabwicklung Voraussetzung zum Erreichen hoher Kaikranproduktivität. Probleme im Transportsystem sind Staus aus diversen Gründen sowie gegenseitige Behinderungen von Equipmenteinheiten bis hin zu Blockaden derselben oder deren Fahrwege. Besonders bei automatisierten führerlosen Systemen sind Deadlocks gefürchtete Ereignisse. Dabei kommt es durch widersprüchliche Abläufe zu Stillständen im Prozessfluss in Teilbereichen, die sich auf einen Stillstand des ganzen Systems ausweiten können.

3.3.3. Lager- und Stapellogistik

Obwohl das Containerlager physisch gesehen ein reines Puffersystem darstellt, sind die Anforderungen an die wirtschaftliche Führung eines solchen Systems sehr komplex. Der Handlungsspielraum im Lagerbereich ist wegen der hohen Anzahl der Freiheitsgrade der Entscheidungen im operativen Management viel flexibler als im Kaikranbereich, was auf die explodierende Anzahl der Möglichkeiten zurückzuführen ist die kombiniert werden (Bielli et al., 2006).

Die Aufgabe eines Containerlagers beschränkt sich grundlegend auf die Pufferfunktion. Hinter dieser einfachen Problemstellung verbirgt sich ein logisches System sehr komplexer Natur. Dass der verfügbare Platz effizient genutzt, sowie unproduktive Kran- und Containerbewegungen vermieden werden sollen, ist allgemeine Zielsetzung. Als unproduktiv sind jene Bewegungen anzusehen, welche nicht unmittelbar mit einem wirtschaftlichen Vorteil verknüpft sind. Zum einen sind das Servicehübe (Definition siehe 3.3.4), zum anderen unnotwendige Kranbewegungen. Diese Optimierungsziele sind es, die in sich schon ambivalent durch die große Variabilität des Containerstromes und der Lagerrahmenbedingungen kaum eine Standardlösung des Problems zulässt. Nicht ohne Grund ist bei Dekker et al. in einer Publikation von 2006 zu lesen:

No comprehensive stacking theorie exists today. And a good stack design not only depends on local space conditions but also on the information characteristics of the ingoing and outgoing flow of containers, which may vary from place to place (Dekker et al., 2006).
Es existiert bis heute keine vergleichende Lagerstrategientheorie. Ein gutes Lagerdesign hängt nicht nur von den lokalen räumlichen Gegebenheiten sondern auch von der Informationscharakteristik der ein- und ausgehenden Containerströme ab, welche von Ort zu Ort verschieden sein können (Dekker et al., 2006).

3.3.4. Lagerbewirtschaftung

Um sich mit der Containerlagerproblematik eingehend beschäftigen zu können, sind einige Begriffsdefinitionen nötig, wie sie in dieser Arbeit verwendet werden.

- Hub (Move): Als Hub wird die durch einen Kran bewerkstelligte Aufnahme, Abstellung, sowie die zwischenzeitliche Bewegung eines Containers von einem Ort zu einem anderen bezeichnet.
- Servicehub (Reshuffle, Restows): Ein Servicehub ist ein unproduktiver Hub eines Containers, welcher notwendig ist, um auf einen anderen Container Zugriff zu bekommen (Dekker et al., 2006). Per Definition können Servicehübe daher nur bei der Entnahme eines Containers aus dem Lager entstehen. Das natürlich nur, wenn die Container in mindestens zwei Lagen gelagert werden. Eine detailliertere Definition zur Servicehubanzahl wird in Kapitel B.2.1 gegeben, da Erhebungen an Inlandterminals eine differenzierte Formulierung erforderlich gemacht hat.
- Ordnungshub (Remarshalling Move): Ordnungshübe sind angeordnete Hübe, die der Lagerreorganisation dienen, um zukünftige Ereignisse besser bewältigen zu können. Sie werden vor allem zur Vorbereitung einer zeitkritischen Schiffsbeladung eingeplant. In der Regel werden derartige Maßnahmen nur in Zeiten geringer

Auslastung oder außerhalb der Umschlagszeiten vorgenommen.

Containerlager unterliegen grundsätzlichen Regeln abseits von Lagerstrategien und taktischen Regelwerken:

- Container werden in Blöcken gelagert.
- Lagerblöcke sind variabel in ihrer Dimension, werden aber durch die Anzahl der Reihen (Rows), Lagen (Tiers) und Sektoren (Bays), sowie der Sektorlänge (Baylength) definiert.
- Container werden nur in Blockrichtung gelagert.
- Es dürfen nur Container gleicher Länge übereinander ohne Überhang und Verstufungen gestapelt werden. Das Aufeinandersetzen von Containern unterschiedlicher Länge ist untersagt.
- Nicht stapelbare Container sind immer in der untersten Ebene (Groundslot) abzustellen.

Zusätzliche Regeln betreffen vor allem Container, die aufgrund ihres Inhaltes dem Gefahrgut zuzuordnen sind. Weiters sind Container mit Klimageräten im Einsatz (Reefer-Container), die eine Stromversorgung am Lagerplatz benötigen.

Wird ein Container in ein Lager eingelagert, so bedarf es einer Auswahl des geeigneten Lagerplatzes. Er muss die grundsätzlichen Kriterien für den spezifischen Container erfüllen. Sind die möglichen Lagerplätze ermittelt, so sucht man nach Algorithmen oder Strategien, um eine Entscheidungsgrundlage zu haben, welche das Auftreten von Servicehüben und unproduktiven Bewegungen auf möglichst lange Sicht minimiert und dabei etwaige termingerechte Abfertigungen nicht gefährdet. Durch das Stapeln von Containern sind nur jene Container für eine Entnahme zugänglich, die den jeweils obersten Platz eines Stapels innehaben. Muss ein Container aus unteren Lagen früher entnommen werden als jene darüber, so ist ein zusätzlicher Aufwand zur Auslagerung des gewünschten Containers notwendig. Dabei treten Servicehübe auf. Die exakte Ermittlung eines optimalen Lagerplatzes ist theoretisch nur möglich, wenn über jeden Container die Information vorliegt, wann dieser wieder aus dem Lager entnommen werden wird und wann welche Container zukünftig in welcher Reihenfolge eingelagert werden müssen. Dadurch ließe sich eine Reihenfolge aller Ein- und Auslagerungsoperationen erstellen, welche als Basis für eine exakte Lösung der Lagerplatzzuweisung zur Servicehubminimierung notwendig wäre. Das in der Literatur beschriebene Stacker Crane Problem (SCP), definiert von Frederickson et. al. (1976), bearbeitet die Ermittlung der optimalen Reihenfolge einer vorgegebenen Anzahl von

Kranbewegungen. In der hier aufgeworfenen Problemstellung wird die Reihenfolge der Kranbewegungen jedoch durch die Ankünfte und korrespondierenden Liegezeiten der Container bestimmt. Jedoch liegen über die Ankünfte, Entnahmezeitpunkte und damit auch über resultierende Reihenfolgen von Containerbewegungen zum Zeitpunkt der Einlagerung nur unzureichende Informationen vor. Es bleibt daher nichts anderes übrig, als die wenigen vorhandenen Informationen für eine Platzzuweisung, die Charakteristik der Containerentnahme und zukünftiger Einlagerungen aus der Erfahrung als Grundlage für Lagerstrategien heranzuziehen.

Weiters besteht die Möglichkeit eines Vorstaulagers, das dem Zweck dient, Container so lange aufzunehmen, bis die nötigen Informationen für eine strategiekonforme Einlagerung in das Hauptlager vorliegen. Dabei fällt aber zumindest ein zusätzlicher Hub pro Container an, der mit dem Performancegewinn durch die Lagerstrategie gerechtfertigt werden muss. Diese Strategie des Vorstaulagers oder Prestacks kommt vor allem bei Seehäfen zum Einsatz, wenn ein besonders hoher Druck auf der termingerechten Abfertigung eines Seefrachters liegt, und sich der zusätzliche Aufwand durch eine optimale kaiseitige Produktivität rechnet.

3.3.5. Lagerstrategien

Category Stacking, Clusterbildung

Hinter der Idee des Category-Stacking (Dekker et al., 2006) verbirgt sich das Zusammenfassen von Containern gleicher Eigenschaften, die dem Stowage-Plan entsprechen. Klassischerweise werden auf Seehäfen Container nach Gewichtsklassen, Destination oder Schiffsladung, Anliegeplatz oder Reedereien klassifiziert. Die Unterkategorie der Containerlänge, die bei Seehäfen hauptsächlich 20’- und 40’-Container voneinander unterscheidet, lässt sich vor allem durch die sortenreine Beladung im Schiffsrumpf erklären, ist aber auch eine Konsequenz der grundsätzlichen Lagerreglements. Diese als Category-Stacking bekannte Lagerstrategie zielt vor allem darauf ab, dass Container der gleichen Kategorie untereinander austauschbar sind. Dadurch können Servicehübe bei der Entnahme aus dem Lager weitgehend vermieden werden, da bei der Containerentnahme der jeweils oberste Container eines Blocks entnommen werden kann. Je genauer die Kategorisierung vorgenommen wird, desto mehr Platz wird zur sortenreinen Lagerung benötigt. Dieser Umstand kann zu einer schlechten Lagerauslastung führen, wenn der Lagerinhalt heterogener Natur ist.

Weiters kann es zu Transportproblemen kommen, wenn eine große Anzahl Container derselben Kategorie unmittelbar nacheinander verladen werden müssen, diese aber in einem kleinen Lagerbereich zu finden sind. Örtliche Konzentration von Lagertätigkeiten ist die Folge, was zu einem Stau führen kann und vor allem den gleichzeitigen Einsatz von Terminalequipmenteinheiten erschwert. In weiterer Folge kann es deswegen zu Spitzen in

der Auslastung einzelner Geräte kommen, die durch weiteres Equipment nicht abgemildert werden können.

Residence-Time Strategie, Liegezeit-Strategie

Die Liegezeitstrategie hat zum Ziel, nur Container mit früherem Auslagerungszeitpunkt auf andere Container zu stellen. Dieser logische Ansatz ist in seiner Umsetzung wahrscheinlich der schwierigste. In Import-Export Terminals in Seehäfen kommt bei Exportcontainern eine Klassifizierung nach Liegezeit der Einteilung nach Schiffen gleich. Gemäß der Residence-Time-Strategie bedeutet das eine Stapelung der Container, welche einer früheren Auslaufzeit zugeordnet werden können auf jene, deren geplantes Verlassen des Terminals noch weiter in der Zukunft liegt. Dadurch werden Container mit Voranschreiten der Liegezeit zu immer „heißeren" Containern, die ein eigenes Überstapeln immer weniger zulassen. Wegen dem Heranrücken der Auslagerungszeit der Container der unteren Schichten kommen nach und nach flächendeckende „heiße" Schichten im Lagerblock zum Vorschein, die eine weitere Einlagerung blockieren. In diesem Fall sind zusätzliche Vorkehrungen zu treffen, um weiterhin handlungsfähig zu bleiben. Entweder ist die Ressource der Fläche keine kritische, oder es muss rechtzeitig mit Ordnungshüben eine Kategorisierung vorgenommen werden. Im Import bedeutet diese Strategie ein Abschätzen der Liegezeiten. Eine erste grobe Einteilung nach Ankunftszeit ließe gegebenenfalls auch auf eine ähnliche Auslagerungsreihenfolge hoffen. Entscheidend dabei ist sicherlich die Streuung der Liegezeiten. Liegen bereits Informationen über Liegezeiten durch geplante Abholungen vor, so ist diese Strategie zielführend. Unsichere, falsche und vor allem fehlende Angaben über die Lagerdauer machen eine derartige Strategie meist undurchführbar. Erst wenn diese erforderlichen Informationen durch enge Kooperationen mit Firmen, Reedereien und Frächtern zur Verfügung stehen, ist an eine derartige Umsetzung im Import zu denken.

Storage or Yard planning Strategie, Lagerplanungsstrategie

Ein üblicher Weg der Seehafenterminals ist es (z.B. für einlaufende Seefrachter) im Vorhinein Lagerplatz und Kapazitäten zu reservieren. Dieses Vorgehen entspricht der Yard-planning Strategie (Steenken et al., 2004). Dies geschieht meistens in dem Ausmaß der erwarteten Export- und Import-Containermengen. Innerhalb dieser Bereiche kommen wiederum Strategien der Kategorisierung zum Einsatz, die ein geordnetes Ablegen der am ehesten austauschbaren Container bzw. der Container, die erwartungsgemäß gleichzeitig ausgelagert werden, ermöglichen soll. Dabei wird oft zwischen Import- und Exportcontainern unterschieden, da Importcontainer im Verhältnis zu Exportcontainern ein besonders unvorhersehbares Abholverhalten aufweisen. Die Schwierigkeiten dieser Strategie liegen in der möglichst exakten Vorhersage der Mengenverhältnisse. Sowohl die Festlegung der

Lagerkonfiguration im Vorhinein, als auch die Unsicherheiten bei der Abholung der Container sind keine leicht lösbaren Fragestellungen, und führen dadurch zu einem hohen Servicehubanteil. Zusätzlich belegt diese Strategie durch die Reservierung Lagerressourcen (Steenken et al., 2004).

Scattered Stacking

Die Scattered-Stacking Strategie (Steenken et al., 2004) ist eine Strategie, die ohne Platzreservierung auskommt. Lediglich jedem Liegeplatz wird ein Lagerbereich zugeordnet. Gelöschte Container werden innerhalb des dem Liegeplatz zugeordneten Lagerbereichs nach Kategorien abgelegt, dabei wird jedoch eine örtliche Konzentration von Stapel gleicher Kategorie vermieden. Exportcontainer für ein spezifisches Schiff werden über den gesamten Bereich des Liegeplatzes verteilt, um die Nachteile des Category-Stacking beim Beladevorgang zu umgehen. Dadurch ist eine Verteilung der Arbeitslast auf mehrere Umschlaggeräte möglich. Weiters verteilen sich die notwendigen Transporte auf die gesamte Umfuhrläche, was hilft, Staus zu vermeiden.

Wie man aus den angeführten Lagerstrategien erkennen kann, ist die Komposition der besten Strategie für einen Standort wesentlich mit dem Umschlagequipment, dem verfügbaren Lagerplatz, dem Containeraufkommen und seinem Verhalten über die Zeit, sowie der Zusammensetzung desselben eng verbunden. Das Wichtigste dabei ist jedoch die Informationsbeschaffung, um überhaupt den Vorteil von Strategien erwirtschaften zu können.

3.4. Der Inlandterminal

Obwohl sich Containerterminals in Größe, Funktion und geometrischem Layout unterscheiden. So bestehen sie dennoch aus denselben Subsystemen (Günther and Kim, 2006). Diese Aussage wurde zwar für Seehafenterminals getroffen, ist im Allgemeinen jedoch für Inlandterminals auch gültig.

Unter Inlandterminals werden Umschlagsknoten des kombinierten Ladungsverkehrs verstanden, welche im Landesinneren liegen. Sie haben keinen direkten Seehafenanschluss und können durch ihre oft gewachsene Struktur sehr unterschiedlich angelegt sein. Neben den Transportmodi Schiene und Straße sind einige Terminals an Binnenschiffstraßen angebunden.

3.4.1. Die Österreichische Terminallandschaft

In Österreich stehen derzeit 16 Terminals im Dienst des intermodalen Containerverkehrs. Deren Lage ist in Abbildung 11 ersichtlich. Auffallend ist die Dichte der Standorte im

Industriegroßraum Oberösterreich durch die Anlagen in Enns, Linz, Wels und Lambach. Mehr als die Hälfte der österreichischen Terminals sind an die Westbahnstrecke zwischen Wien und Salzburg angebunden und bilden für den Wirtschaftsraum nördlich der Alpen ein dichtes Angebot an Verlademöglichkeiten. Im Süden des Landes sind die Standorte Villach und Graz dominierende Anfahrmöglichkeiten.

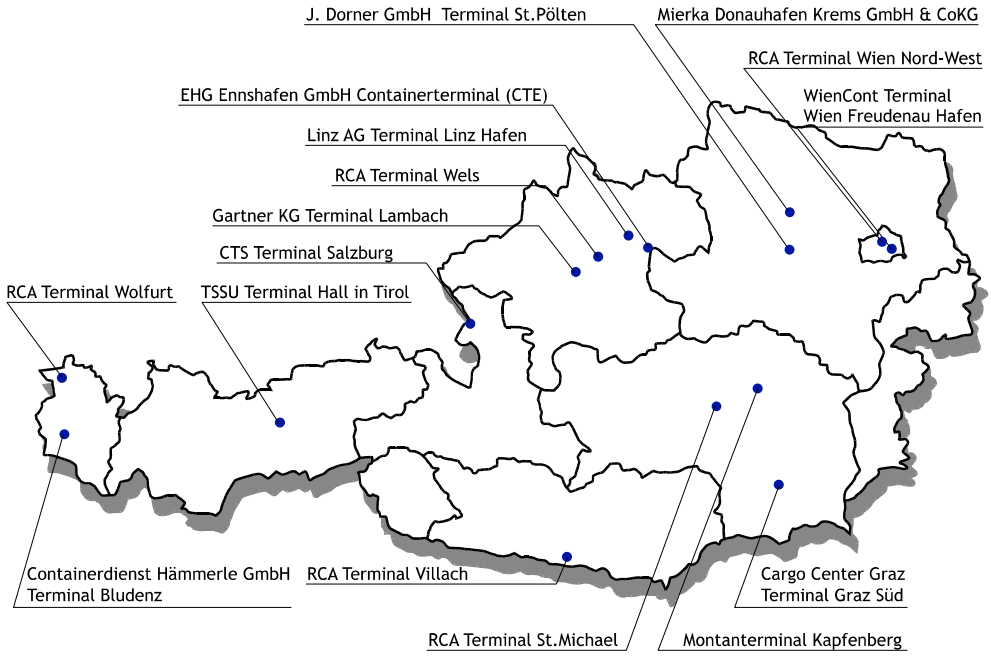


Abbildung 11: Lage der österreichischen Containerterminals

Eine Übersicht über die angebotenen Dienste an diesen Standorten sind der Tabelle 1 vom Bundesministerium für Verkehr Innovation und Technologie aus dem Jahre 2007 zu entnehmen. Darin werden die wichtigsten Kennwerte und Dienstleistungen zusammengefasst. Zu beachten sind jedoch zwischenzeitliche Änderungen durch Neuplanung und Übersiedlung am Standort Kapfenberg sowie große Investitionen, Umbauten und Erweiterungen am Standort Hafen Wien.

	Allg. Information			Verkehrsträger			Straße, Schiene und Wasser					Dienste und umgeschlagene Produkte						
	Eröffnet im Jahre	Gesamtfläche [in 1.000 m²]	Max. Gesamtumschlagskapazität [TEU/Tag]	Straße	Schiene	Wasser	Anzahl der Ladegleise	Maximum parallel abgefertigter Züge	Maximale Zuglänge in [m]	Länge der Ladestraße(n) [maximal] in [m]	Anzahl der Piers	Containerumschlag/ Containerdienste	Stückgutumschlag	Schüttgutumschlag	Schwergüterumschlag	Getreide/ Agrarterminal	Rollende Landstraße in Betrieb (Stand: 10/2007)	Gefahrengutumschlag
CCG Cargo Center Graz	2003	650	900	✓	✓	x	8	4	700	780	-	✓	✓	x	✓	x	✓	✓
Containerterminal Enns	1994	3.030	600	✓	✓	✓	6	4	750	750	80	✓	✓	✓	✓	✓	x	✓
Containerterminal Wien Nord-West	1982	22	k.A.	✓	✓	x	8	2	550	350	-	✓	✓	✓	x	x	x	x
CTS Container Terminal Salzburg	1980	66	850	✓	✓	x	11	3	630	500	-	✓	✓	x	✓	x	x	✓
Hafen Krems	1939	430	440	✓	✓	✓	11	11	650	k.A.	14	✓	✓	✓	✓	✓	x	✓
Hafen Linz	1939	1.500	1.000	✓	✓	✓	2	2	630	800	35	✓	✓	✓	x	✓	x	✓
Hafen Wien	1962	3.500	1.500	✓	✓	✓	k.A.	4	700	600	150	✓	✓	✓	✓	✓	x	✓
Terminal Bludenz	1981	11	k.A.	✓	✓	x	2	1	160	120	-	✓	x	x	x	x	x	x
Terminal Hall in Tirol	1996	30	200	✓	✓	x	3	1	600	200	-	✓	✓	x	✓	x	x	✓
Terminal Kapfenberg	1978	1	200	✓	✓	x	1	1	260	260	-	✓	✓	✓	x	x	x	x
Terminal Lambach	2003	180	480	✓	✓	x	3	2	550	k.A.	-	✓	✓	x	✓	x	x	✓
Terminal St. Michael	1992	10	k.A.	✓	✓	x	2	1	720	360	-	✓	x	x	x	x	x	x
Terminal St. Pölten	1975	3	160	✓	✓	x	2	2	400	226	-	✓	✓	x	✓	x	x	x
Terminal Villach Süd	1984	35	k.A.	✓	✓	x	4	2	600	350	-	✓	✓	✓	x	✓	✓	x
Terminal Wels	1985	100	k.A.	✓	✓	x	10	10	580	630	-	✓	✓	✓	x	x	✓	x
Terminal Wolfurt	1983	54	k.A.	✓	✓	x	6	2	550	250	-	✓	✓	✓	x	x	x	✓

Quelle: BMVIT, Hubs in Austria, http://www.verkehr.co.at/hubs/ BMVIT 2007

k.A. ... keine Angabe ✓ ... vorhanden

- ... nicht zutreffend x ... nicht vorhanden

Anmerkung: Terminals, welche ausschließlich Rollende Landstraße als Dienst anbieten sind in Tab. 48 enthalten.

Tabelle 1: Eigenschaften und Kennwerte der österreichischen Containerterminals (BMVIT 2007)

Unter den 16 österreichischen Terminals liegen lediglich vier Terminalanlagen an der Donau, der einzigen Binnenschifffahrtsstraße Österreichs. Derzeit beschränkt sich der Containerverkehr auf der Donau an den Standorten Enns, Krems, Linz und Wien auf den zeitunkritischen Leercontainertransport. Die große Abhängigkeit von den Pegelständen der Donau wird als Hauptursache für die schlechte Termintreue der Binnenschifffahrt genannt.

Wie aus der Tabelle 1 zu entnehmen ist, stammen die meisten österreichischen Terminals ursprünglich aus den frühen Neunzigerjahren. Entscheidende infrastrukturelle Daten werden oft als Basis für kapazitive Abschätzungen genommen. Tatsächlich ist die Umschlagskapazität einer derartigen Anlage auch von der Ausprägung der Containerströme und der strategischen Ausrichtung abhängig. Aus folgender Abbildung 12 sind nach Bundesland kumulierte Umschlagsmengen in Containern (ITE) aus dem Jahr 2005 angeführt. Im Verhältnis zu den in einer Feldstudie 2008 erhobenen Daten kann von einer Steigerungsrate der letzten 3 Jahre von mindestens 15% ausgegangen werden (Gronalt et al., 2008).

Transport area (federal state)	Terminal	2005	
		Handling volume (loading units p.a.)	Handling capacity (loading units p.a.)
Kärnten	Villach CCT	59.200	70.000
Niederösterreich	Krems CCT St. Pölten CCT	24.600	110.000
Oberösterreich	Linz CCT Wels CCT Enns CCT Lambach CCT	326.800	617.000
Salzburg	Salzburg CCT	90.000	125.000
Steiermark	Graz CCT St. Michael CCT	125.000	190.000
Tirol	Hall CCT	21.200	35.000
Vorarlberg	Bludenz CCT Wolfurt CCT	54.600	81.000
Wien	Wien Freudenau Hf CCT Wien Nordwest CCT	159.600	176.000
Total		**861.000**	**1.404.000**

Abbildung 12: Darstellung der Umschlagsmengen 2005 nach Bundesländern kumuliert (KombiConsult et al., 2006)

Die stetigen Steigerungsraten des kombinierten Ladungsverkehrs bringen gewachsene Strukturen trotz Modernisierung der Umschlaggeräte zunehmend an ihre Leistungsgrenze. Derzeit wird an mehreren österreichischen Terminalstandorten investiert, um das prognostizierte Containeraufkommen bewältigen zu können. Infrastrukturelle Investitionen sind jedoch durch das Umfeld bestehender Anlagen nicht nur durch hohe Kosten schwierig umzusetzen. Oft sind Erweiterungsflächen nicht vorhanden oder nur sehr schwer für Terminalbetreiber zugänglich. Durch die direkte angrenzende Lage an Hauptverkehrsstrecken der Bahn, sind manche Terminals in ihrer Expansion stark eingeschränkt. Nicht selten stellen Hochspannungsleitungen, Brücken, Autobahnen oder Schnellstraßen weitere Hindernisse in der Ausbauplanung dar. Umso mehr sind Terminalbetreiber gezwungen, den Umgang mit der nutzbaren Fläche hinsichtlich der Erfordernisse zu optimieren. Daher sind Inlandterminals in ihrem Layout an die verfügbare Fläche und Umgebungen stark angepasst, was zu einer großen Variabilität in den verschiedenen Layouts der Inlandterminals führt. Ergebnisse dieser Anpassungen sind Eigenheiten, wie beispielsweise gekrümmte Kranbahnen und asymmetrische Lagerblöcke (vgl. Abbildung 13).

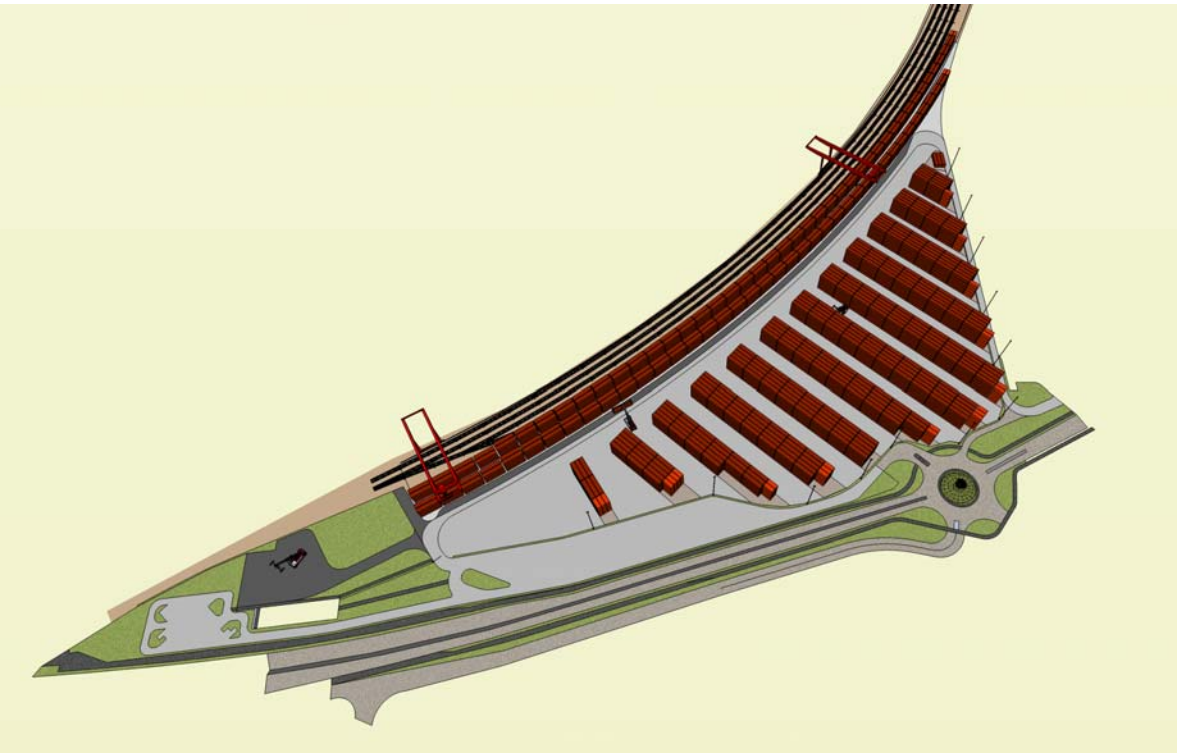


Abbildung 13: Beispiel eines Inlandterminals mit gekrümmter Kranbahn und angepasstem Layout.

Der Anstieg der Umschlagsmengen macht auch an österreichischen Containerterminals immer mehr den Einsatz von Softwarelösungen attraktiv, die zur Umsetzung effizienterer Logistikkonzepte beitragen sollen. Dienstleistungen des Operations Research gewinnen in den letzten Jahren zunehmend auch an Inlandterminalstandorten mehr Bedeutung. Simulationstechniken können dabei geplante Vorhaben durch geeignete Szenarien in ihrer Wirksamkeit bewerten helfen, und Schwachstellen identifizieren. Durch die Fokussierung der Terminalprozesse auf die Schiffsabfertigung sind Publikationen, die sich mit den Prozessen in Seehafenterminals auseinandersetzen, kaum auf Inlandterminalprozesse übertragbar. Diese Erkenntnis führte mitunter zu der grundlegenden Herangehensweise an die Analyse des Lagersystems eines Inlandterminals in dieser Arbeit.

Wie auch Seehafenterminals lassen sich Inlandterminals im Prozessablauf in straßenseitigen Umschlag, Lager und schienenseitigen Umschlag strukturieren. Falls vorhanden, steht mit der Binnenschiffsabfertigung auch ein weiterer Umschlagbereich zur Verfügung. Durch die weitaus geringeren Umschlagmengen und durch das Fehlen eines reinen horizontalen Transportsystems zwischen den Bereichen rücken diese im Vergleich sehr nahe an- und ineinander. Sind im Seehafenterminal oftmals Lager- und Umschlagbereich räumlich getrennt und durch horizontale Transportsysteme verbunden, wird in österreichischen Inlandterminals Umschlagequipment gleichzeitig auch zur Lagerbewirtschaftung eingesetzt. Zusätzlicher Transportaufwand wird dadurch weitgehend vermieden. Umschlag- und

Lagerbereich sind sehr eng aneinander angelegt (vgl. Abbildung 14). Weiters sind der Import- und Exportstrom derzeit an österreichischen Standorten nicht voneinander getrennt. Durch eine derartige Überschneidung der Prämissen und Interessen der einzelnen Bereiche sind Strategien notwendig, die dem gleichzeitigen Aufeinandertreffen vieler Faktoren im Kranbereich Rechnung tragen.

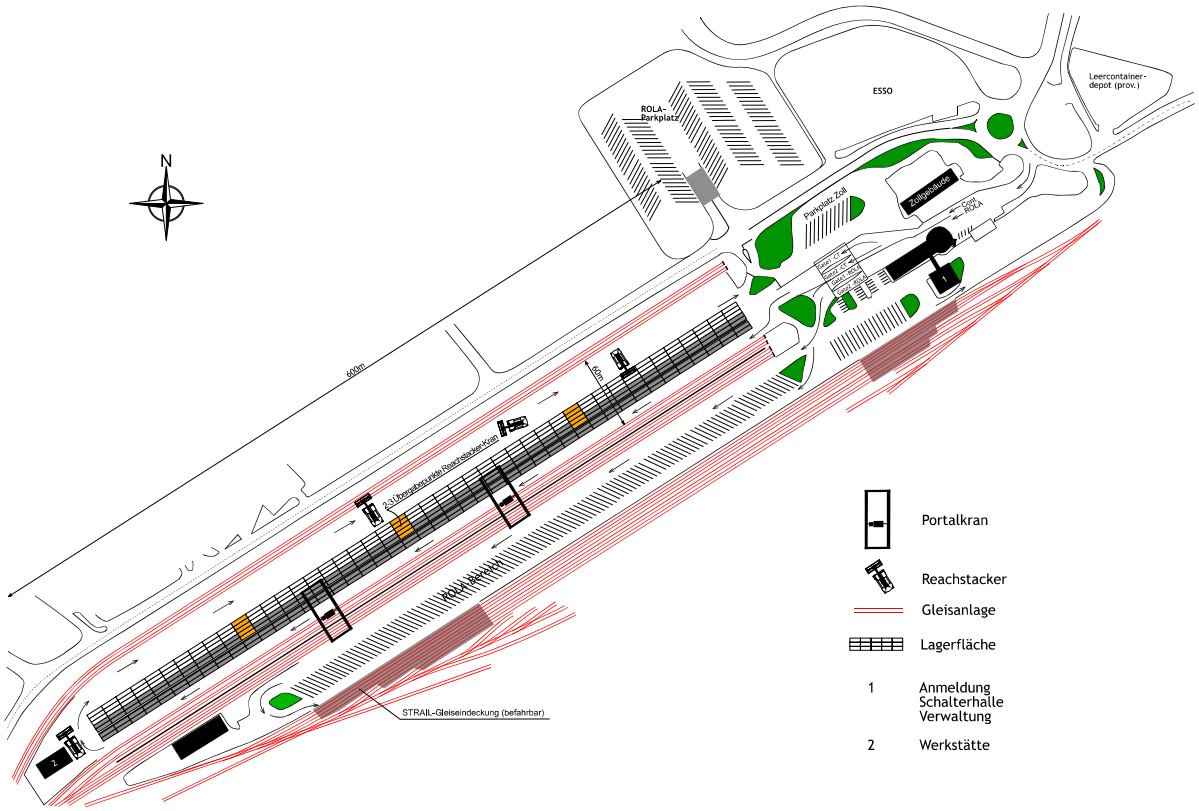


Abbildung 14: Terminal Wels (2008) Beispiel der starken Verflechtung von Umschlag- und Lagerbereich in Inlandterminals.

3.4.2. Prozessablauf im Inlandterminal

In Analogie zu den Seehafenterminals werden Container, die nach dem Vorlauf den Terminal mit dem Lastkraftwagen erreichen, als Exportcontainer bezeichnet. Zum Umschlag ist eine Anmeldung am Gate bzw. Annahmeschalter notwendig. Nach Bearbeitung der Frachtpapiere erhält der Lkw-Fahrer die Weisung, auf das Terminalgelände zu fahren. Je nach Organisationsgrad wird dem Lkw bereits ein konkreter Umschlagsplatz zugewiesen. Im Idealfall kann der angelieferte Container direkt auf einen bereitstehenden Waggon des ausgehenden Zuges verladen werden. In solchen Fällen wird von einem Direktumschlag gesprochen. Ist der ausgehende Zug auf den Ladegleisen noch nicht beigestellt, so wird der Container in das Lager gehoben, um nach der Beistellung des entsprechenden Zuges auf den zugewiesenen Waggon gehoben zu werden. Dabei sind die Vorschriften zur Zugbeladung einzuhalten. Bei der Entgegennahme eines Containers ist dieser aus Haftungsgründen auf Beschädigungen zu überprüfen. Dazu dienen Videoinspektionen am

Gate oder auch visuelle Begutachtungen durch das Personal. Importcontainer gelangen über den Zugverkehr in das Terminal und werden, wenn sie nicht direkt auf einen wartenden Lkw umgeschlagen werden können, in das Lager gehoben. Sind Ladegleiskapazitäten sowie Kapazitäten des Verschubs vorhanden, ist es auch möglich, den Zug länger auf einem Ladegleis zu belassen, um den Anteil an Direktumschlägen zu erhöhen.

Je nach Vorgehensweise bei der Zugbeistellung unterscheidet man in Stand- und Fließverfahren. Im Fließverfahren werden Züge zum Entladen und Beladen separat beigestellt. Das Standverfahren sieht nur eine Beistellung vor, nach der sowohl ent- als auch beladen wird. Dabei ist jedoch eine erhöhte Planung des Wagenmaterials vonnöten, da ausgehende Züge nicht neu zusammengestellt werden. Der geringere Verschubaufwand muss mit der Flexibilitätseinbuße abgewogen werden. Im straßenseitigen Ablauf sind die Kapazität des Parkplatzes vor dem Gate (Schalter), die Anzahl der Abfertigungsschalter und ihre Kapazität, sowie die Menge der Umschlagsplätze im Terminalgelände kritische Infrastrukturparameter. Ist der Parkplatz vor dem Gate zu klein dimensioniert, kann es in Spitzenzeiten zu einem Rückstau der Lastkraftwagen kommen, der den öffentlichen Verkehr beeinträchtigen kann. Gate und Abfertigungsschalter sind auch an der Durchlaufzeit der Lastkraftwagen entscheidend beteiligt. Diese Messgröße ist vor allem für die Kundenzufriedenheit relevant. Oft wird nur eine beschränkte Anzahl an Lastkraftwagen in das Umschlaggelände gelassen, um die Lagerprozesse und das ungehinderte Ein- und Ausfahren zu ermöglichen.

Schienenseitig ist ebenfalls ein Vorstaubereich notwendig. Da nicht alle eingehenden Züge bei ihrer Ankunft abgefertigt werden können, finden diese auf Vorstaugleisen Platz. Auch ausgehende Züge verlassen das Terminal nicht zwingend unmittelbar nach ihrer Beladung, sondern werden, falls nötig, zwischenzeitlich abgestellt. Schienenseitig sind Anzahl und Länge der Ladegleise der wohl auffälligste Parameter einer Anlage. In Österreich sind die Zuglängen bis 650m möglich. Manche Anlagen verfügen nicht über Ladegleise dieser Länge und sind daher gezwungen längere Züge durch einen erhöhten Verschubaufwand in Zugteilen beizustellen. Aus strategischer Sicht muss man weiters zwischen Kopfterminals und Durchgangsterminals unterscheiden.



Abbildung 15: Durchgangsterminal



Abbildung 16: Kopfterminal

In Kopfterminals (vgl.Abbildung 15) ist die Ein- und Ausfahrt in ein Ladegleis nur von einer Seite möglich, wobei Züge in Durchgangsterminals (vgl. Abbildung 16) das Ladegleis auch in Einfahrtsrichtung verlassen und auf Strecke gebracht werden können, da die Ladegleise

beidseitig in die Hauptstrecke eingebunden sind.

Eine wesentliche Neuerung auf österreichischen Durchgangsterminals stellt die Schwungeinfahrt dar. Bisher war eine Beistellung eines Zuges oder Zugteiles nur durch einen hohen Verschubaufwand möglich, da eine durchgehende Elektrifizierung der Ladegleise wegen des vertikalen Zugriffs auf die Container nicht möglich ist. Um die Schwungeinfahrt zu ermöglichen wird das Ladegleis bis an die Ladezone beidseitig elektrifiziert. Die Idee der Schwungeinfahrt basiert auf dem Prinzip, den Zug mit der erforderlichen Geschwindigkeit in das Terminalladegleis einrollen zu lassen, bis der elektrische Triebwagen unter dem zweiten Abspannbalken hindurchgerollt ist, und damit wieder für die Ausfahrt mit Strom versorgt werden kann. Aus Sicherheitsgründen wird während der Zugeinfahrt eine gleichzeitige Krantätigkeit untersagt sein, und die Kräne werden auf festgelegte Positionen gefahren werden müssen, um die Kollisionsgefahr zu bannen.

3.4.3. Lagerbewirtschaftung im Inlandterminal

Rein äußerlich unterscheidet sich ein Lager eines Inlandterminals vor allem durch seine Größe von dem des Seehafenterminals. Obwohl es in Österreich wenige kleine Anlagen gibt, die mit Reach-Stackern auskommen, so sind in leistungsfähigen Anlagen vorwiegend RMGCs im Einsatz. Die Umschlagsmenge bleibt um ein Vielfaches hinter der großer Seehafenterminals zurück. In Inlandterminals sind oftmals Import- und Exportströme nicht voneinander getrennt, was die gemischte Lagerung in einem Lagerblock zur Folge hat.

Wie Seehafenterminals sind auch Inlandterminals mit der sehr unsteten Verteilung der Lkw-Ankünfte konfrontiert. Die Anlieferung wie auch die Abholung der Container mit dem LKW kann oft nicht vorhergesehen werden. Diese Unsicherheiten im straßenseitigen Containereingang machen eine Vorhersage, in welcher Reihenfolge (und diese ist für die Anzahl der Servicehübe entscheidend) Container ein- und auszulagern sind, nahezu unmöglich.

Zusätzlich zu dieser Problematik werden in Inlandterminals weitaus vielfältigere Ladeeinheiten umgeschlagen. Die Standardgrößen des maritimen Verkehrs mit 20’ und 40’ Länge machen nur einen Bruchteil des Ladeeinheitenmix oder Containermix aus. Neben den genannten Längen finden sich Container mit 22’, 23’, 24’, 25’, 30’, 35’, und 45’ Länge. Vor allem Ladeeinheiten, welche nicht stapelbar sind (WAB und SAL), haben großen Einfluss auf die Umschlagskapazität. Sie belegen im Lager nicht nur einen Stellplatz, sondern zusätzlich die Kapazität der noch darüber befindlichen Stellplätze. Ein weiterer entscheidender Unterschied in den Randbedingungen einer Lagerbewirtschaftung im Inlandterminal sind die oft sehr großen Unterschiede in der Liegezeit der Container. Einige Containerterminals in Österreich unterscheiden bereits explizit zwischen Schnelldrehern und Lagercontainern.

Dabei werden Container, welche in angemessenem Zeitraum ihrer Ankunft abgeholt werden, von jenen unterschieden, die die zum Umschlag notwendige Lagerzeit, hervorgerufen durch einen normalen Transportprozess, weit überschreiten. Derartige Tendenzen führen sogar zu der Annahme, dass Terminalumschlagsgelände als betriebliche Lagererweiterungen in Anspruch genommen (oder missbraucht) werden müssen. Ein hoher Anteil an so genannten Lagercontainern hat durch die Belegung von Lagerkapazität einen signifikanten Einfluss auf die Umschlagskapazität des Terminals.

3.4.4. Strategieansätze der Lagerbewirtschaftung für Inlandterminals

Bei dem Versuch Strategien der Seehafenterminals auf die Gegebenheiten des Inlandterminals umzulegen stößt man schnell an Grenzen, die ihren Ursprung in den unterschiedlichen physischen Rahmenbedingungen und strategischen Ausrichtungen der Anlagen haben.

Die Strategie des Category-Stacking (Clusterbildung) (siehe 3.3.5) hat die Grundidee, Container gleicher Eigenschaft zusammen abzustellen. Der Vorteil entsteht dabei erst durch eine Austauschbarkeit der Container bei der Entnahme oder zumindest durch die zeitgleiche Auslagerung. Bei Seehafenterminals werden Kategorien oft nach Destination, Gewichtsklasse und Containerlänge gebildet. Dem entspräche im Inlandterminal eine Sortierung der Exportcontainer vor allem nach ausgehenden Zügen. Dieser Parameter ist im Inlandterminal für die zeitgleiche Entnahme verantwortlich. Sollten Exportcontainer, die mit demselben Zug das Terminal verlassen werden, derart homogene Containerlängen besitzen und zu möglichst wenigen Stapeln zusammengestellt werden können, so wird bei der „gleichzeitigen“ Entnahme die Notwendigkeit von zusätzlichen Hüben verringert sein, da die Reihenfolge der Waggonbeladung nicht zwingend vorgeschrieben ist und an die Stapel angepasst werden kann. Ein derartiger Ansatz birgt jedoch auch Gefahren, ausgelöst durch das typische Layout eines Binnenlandterminals. Durch die Ausrichtung des Lagerblockes entlang der Ladegleise kann eine derartige Strategie einen Anstieg der Kranwege in Gleisrichtung zur Folge haben. Kommt es strategiebedingt zur Konzentration der Container, die einem Zug zugeordnet werden können, so müssen diese vom Kran beim Beladen wieder auf die ganze Zuglänge verteilt werden. Da die Geschwindigkeit eines Krans in Längsrichtung beschränkt ist, kann damit ein Einbruch der Kranproduktivität verbunden sein. Zusätzlich ist zu beachten, dass Züge, deren Zugteile unterschiedliche Zieldestinationen besitzen, gemäß der Destinationen beladen werden müssen. In Analogie zur Schiffsbeladung entsprächen diese Vorschriften dem Stowageplan (vgl. 3.3.1).
Um die Prozesse in einem Verschubbahnhof zu vereinfachen, sind Wagen gleicher Destination in Gruppen zusammengefasst, und ziehen dadurch eine Zuweisung der

Container auf Zugteile nach sich. Da die Zugeinfahrtsrichtung und Charakteristik und Reihenfolge der Zugteile in der Regel bekannt sind, können horizontale Bewegungen beim Beladevorgang insofern reduziert werden, als Container gemäß ihrer erwarteten Position im Ausgangszug in einen zu den Ladegleisen parallel ausgerichteten Lagerblock eingelagert werden. Eine simultane Integration beider Ansätze ist nur erfolgreich durchführbar, wenn sich durch die Gruppierung der Container gleicher Zugteile aufgrund ihrer Längenverteilung auch eine Stapelbarkeit ergibt, die die Austauschbarkeit innerhalb eines Stapels ermöglicht.
Importseitig betrachtet, sind zeitlich konzentrierte Entnahmen durch die stochastischen Ankünfte der LKWs nicht zu erwarten. Ein Stapeln von ähnlichen Importcontainern ist daher nur bei vorhandener Austauschbarkeit zielführend. Denkbar ist das, wenn intensive Kundenbeziehungen die Identifizierung von austauschbaren Containern (besser Containerinhalten) zulassen, und derartige Klassifizierungen explizit vereinbart werden können.

Die Residence Time Strategy (Verweildauer-Strategie) (siehe 3.3.5) ist auch im Inlandterminal nur durch ein hohes Maß an Information erfolgreich einzusetzen. Über Exportcontainer, die das Terminal mit dem Zug verlassen, liegen die Informationen über den Zeitpunkt der Auslagerung meist vor. Über Importcontainer sind in der Regel zu wenig Informationen vorhanden, um eine Abschätzung über die zukünftige Liegezeit zu treffen. Auch hier sind Betreiber auf Informationen von Kunden angewiesen, oder können nur aus Erfahrungswerten eine Abschätzung über Liegezeiten treffen. Zusätzlich ist der Straßenverkehr mit großen Unsicherheiten behaftet, was terminliche Vorhersagen betrifft. Ist die Streuung der Liegezeiten nicht zu groß, ist eine Schätzung der Entnahmereihenfolge nach der Ankunftszeit denkbar. Bei der Strategieumsetzung gibt es Varianten, die zur Bewertung eines Lagerplatzes nur die prognostizierte Entnahmezeit des obersten Containers heranziehen. Eine erweiterte Strategie zieht dabei den gesamten Stapel in Betracht.

Die Yard-planning Strategie (siehe 3.3.5) sieht Platzreservierungen für bestimmte Containerkategorien vor. Im Inlandterminal sind Reservierungen für verschiedene Kategorien andenkbar. Für Importcontainer beispielsweise kann das Reservieren von Plätzen entlang der Zuglänge ein besonders schnelles Entladen gewährleisten, da Längsbewegungen des Krans weitgehend vermieden werden können. Für Exportcontainer wie für Importcontainer kann eine Reservierungsstrategie notwendig sein, wenn die Containerlängenverteilung sehr gestreut ist. Da nur Container gleicher Länge übereinander gestapelt werden dürfen, kann die volle Lagerkapazität nur dann genützt werden, wenn die Verteilung der Containerlängen in der untersten Lage der Containerlängenverteilung des Lagerinhaltes entspricht. Eine große Variabilität in einem durchschnittlichen Containerlängenverhältnis bewirkt bei höheren

Lagerauslastungen, dass trotz Restkapazitäten des Lagers für einige Containerlängen zeitweilig keine passenden Lagerplätze zur Verfügung stehen. In diesem Fall sind zusätzliche Ordnungshübe notwendig, um die Lagerplatzverteilung auf Containerlängen des so genannten Containermix anzupassen. Liegt die Information über den Containermix vor und kann dieser mittelfristig für stabil angesehen werden, kann eine Platzreservierung für bestimmte Containerlängen eine Steigerung der nutzbaren Lagerkapazität ermöglichen.

Die Scattered Stacking Strategie (siehe 3.3.5) ist eine Abwandlung der Yard-Planning Strategie. Bei Seehafenterminals gibt sie nur eine Reservierung der Flächen nach Liegeplätzen vor. Analog dazu wäre eine Zuordnung von Blockreihen zu Ladegleisen denkbar. Auch eine Trennung von Import und Exportcontainer ist auf Inlandcontainerterminals mit der Scattered Stacking Strategie vergleichbar.

3.5. Ergänzende Literatur zur Servicehubproblematik des Containerlagers

Problemstellungen der Lagerbewirtschaftung in Inlandterminals ist ein neues Forschungsfeld, das sich erst in den letzten Jahren zunehmend etabliert. Das Wissensgebiet zu Inlandterminals befindet sich vor allem durch die Bearbeitung konkreter Auftragsforschungsarbeiten im Aufbau. Literatur zu Seehafenterminals und deren Problemfeldern ist jedoch zahlreich vorwiegend in wissenschaftlichen Artikeln in Fachzeitschriften zu finden. Eine Übersicht über die einzelnen Gebiete der Forschungsarbeit zu Seehafencontainerterminals und ihrer Fachliteratur findet sich bei Steenken et al. (2004).
Einen Überblick über Seehafenterminals und ihre Abläufe geben Günther und Kim (2006). Lagerstrategien für einen automatisierten Seehafencontainerterminal unter dem Einsatz einer Simulation werden von Dekker et al. (2006) untersucht. Dabei werden verschiedene Varianten des Category-Stacking verwendet. Ebenfalls ein Diskret-Event-Simulationsmodell setzten Petering und Murty (2009) ein, um den Effekt von Blocklängen und Lagerkraneinsatzplanung auf die gesamte Performance zu erkunden. Sculli und Hui (1988) waren unter den Ersten, die sich konkret mit der Untersuchung des Zusammenhangs von Lagerhöhe, benötigter Lagerfläche und Servicehüben in einer vergleichenden Simulationsstudie beschäftigt haben. Taleb-Ibrahimi (1993) greifen dieses Thema für die Manipulation von Exportcontainer auf, und beschreiben dynamische Strategien, welche eine Lagerung von ankommenden Containern bis zu einem gewissen Zeitpunkt in einem Vorstaulager (Pre-Stack) vorsieht. Erst danach werden alle Container für ein Schiff einem Lagerbereich zugewiesen. Dabei wird der benötigte Platz als Funktion der Lagerhöhe ermittelt. De Castillo und Daganzo (1993) haben sich einer Studie von Importcontainern gewidmet. Sie stellen zwei Strategien gegenüber: eine, die Lagerbereiche der gleichen Größe vorsieht, und eine weitere, der eine Trennung nach der Containerankunftszeit

zugrunde liegt. Eine etwas detailliertere Betrachtung des Zusammenhangs zwischen Servicehüben und Lagerhöhe findet man bei Kim (1997). Diese Untersuchung konzentriert sich jedoch nur auf einen Sektor, gleiche Containerlängen sowie nur der Entnahme von Containern in zufälliger Reihenfolge. Eine Übertragung der Ergebnisse auf Inlandterminals verhindert dabei der letzte Umstand, da neben verschiedenen Containerlängen vor allem Ladeeinheiten in Inlandterminals einem Lager entnommen werden, der gleichzeitig auch mit Einlagerungen konfrontiert wird. Die Herangehensweise Kims, einen kompletten Sektor abzubauen, ist in operativer Sicht für einen Inlandterminal kaum anwendbar.
Eine Methode zur Minimierung von Servicehüben findet sich in Yang und Kim (2006). Dabei werden sowohl ein statisches als auch ein dynamisches Lagerproblem beschrieben, die sich vor allem durch den Zeitpunkt unterscheiden, wann Informationen über die Liegezeit der eingehenden Container vorliegen. Variabilitäten in Containerlänge, Sektorlänge oder Stapelbarkeit finden dabei keine Berücksichtigung. Die Daten über Liegezeiten bilden die Grundlage für die Servicehubminimierung. Die Technik von Yang und Kim (2006) aufgrund der bekannten Liegezeiten der Container eines Stapels noch freie Lagerplätze auf demselben zu bewerten wird von Park et al. (2010) als ein Entscheidungskriterium von vier in einer gewichteten Summe zur Lagerplatzidentifikation herangezogen. Die dynamische Anpassung des Gewichtungsvektors wird in einem online-search Algorithmus verwendet, um eine kontinuierliche Strategieanpassung umzusetzen. Zusätzliche Gewichtungsfaktoren sind dabei der Einlagerungs- und Auslagerungsaufwand, sowie etwaige Servicehübe. Auch hier werden Variabilitäten des Containerstromes, wie sie in Inlandterminals auftreten nicht miteinbezogen.
Kim und Kim (1998) stellen ein Kostenmodell unter Einbeziehung der optimalen Anzahl der Lagerkräne auf. Weitere Importstrategien wurden von Kim und Kim (1999) besprochen, die auch die Trennung der Importcontainer nach Ankunftszeit vorsieht. Um das Übereinanderstapeln von später eingelangten Containern auf ältere zu vermeiden, wird jedem Schiff ein Lagerplatz zugewiesen. Untersucht wird die konstante, zyklische und variierende Ankunft von Schiffen.

Da sich die Terminalprozesse in Inlandterminals rund um nur einen Lagerbereich aggregieren, die Import- und Exportströme sich meist überlagern, große Unsicherheiten im straßenseitigen Ankunfts- und Abholverhalten bestehen, und die Variabilität der Ladeeinheiten jene der Seehäfen übersteigt, ist eine gesonderte Betrachtung des Lagersystems des Inlandterminals vonnöten. Um die besonderen Rahmenbedingungen des Inlandcontainerterminallagers in ihrer Auswirkung auf die Produktivität zu erfassen, wird folgende Simulationsstudie vorgestellt, die die Einflussgrößen auf die Servicehubanzahl benennt und analysiert. Obwohl realitätsfremde Basisstrategien zum Einsatz kommen, sind

es doch diese, die die Bandbreite und Nachvollziehbarkeit der Zusammenhänge ermöglichen.

B. Simulationsstudie der Servicehubanteile unter Anwendung von Basisstrategien

Jedem Container, der in ein Lager überstellt wird, muss ein geeigneter Platz zugewiesen werden. Dabei ist es unabdingbar, Entscheidungen bezüglich der Lagerplatzauswahl zu treffen. Welche Grundsätze bieten die Grundlage für eine derartige Entscheidung? Sind kurzfristige oder längerfristige Ziele zu verfolgen? Welche Strategie ist im Moment optimal? Ab wann ist ein Strategiewechsel zu empfehlen? Alle diese Fragen beschäftigen eine Lagerbewirtschaftung nahezu ständig. Antworten mag es für den Moment geben, jedoch sind die wesentlichsten Einflussparameter in Inlandterminals kaum vorhersehbar. Es bleibt, sich auf die Suche nach Prognoseverfahren zu machen, um bestmöglich für zukünftige Ereignisse gerüstet zu sein, und die Möglichkeiten und Vielfalt der Lagerstrategien als Werkzeugpalette zu verstehen, um rechtzeitig strategische Maßnahmen in der Containerlagerbewirtschaftung setzen zu können. Erst die Kombination von verbesserter Datenerhebung, kontinuierlich verfeinerten Prognosemethoden und fundiert begründbaren strategischen Entscheidungen machen ein umfassendes lagerstrategisches Softwaretool für Inlandcontainerterminals erst denkbar.

Das Lager ist das Herzstück jedes Inlandterminals. Fast alle Prozesse haben entweder ihr Ziel oder ihren Ausgang im Containerlager. Die Anforderungen an ein Containerlager sind vielfältig und gegensätzlich. Beispielsweise wird seitens der Transportgesellschaften eine möglichst rasche Abfertigung der Lastkraftwagen erwünscht. Für die wirtschaftliche Betreibung eines Terminals ist jedoch die Umschlagsmenge wohl eine der wichtigsten Größen. Die mit großen Mengen verbundene dichte Lagerung führt aber zum Ansteigen des Manipulationsaufwandes durch das Ansteigen des Servicehubanteils. Aus dem Tagesgeschäft heraus, ergeben sich verschiedene Zielsetzungen an Lagerstrategien wie Umschlagsmengenmaximierung, Servicehubminimierung und Kranwegeminimierung.

Ein Containerlager wird üblicherweise in Blöcken organisiert. Jeder Lagerblock wird durch seine Länge, Breite und Höhe definiert. Die Längsseite wird in Sektoren (Bays) zu einer definierten Sektorlänge (Baylength) in Fuß unterteilt (siehe Abbildung 17). Entlang der Breitseite wird ein Block in Reihen (Rows) unterteilt und bildet zusammen mit der Sektoreinteilung den Raster der Lagergrundfläche. Die Lagerhöhe bzw. die Anzahl der Lagen (Tiers) werden einerseits durch die technischen Möglichkeiten der Umschlaggeräte, andererseits durch lagerstrategische Vorschriften begrenzt. In dieser Studie wird unter anderem die Wahl der Sektorlänge als wesentliche strategische Größe untersucht.

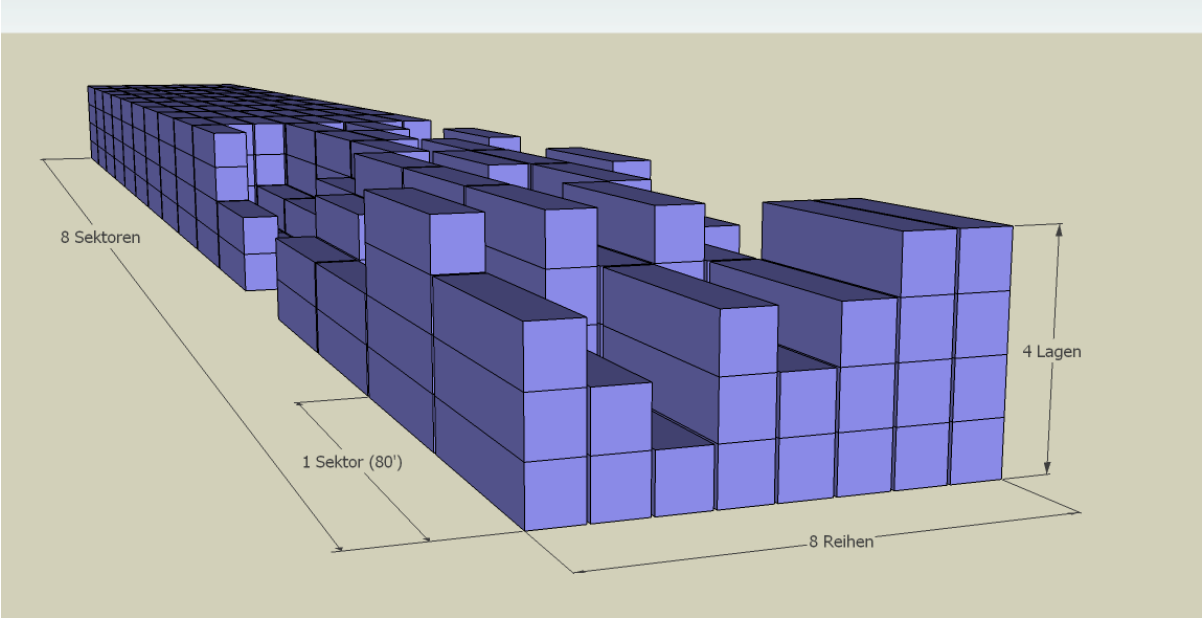


Abbildung 17: Darstellung der Lagerblockorganisation in Reihen, Sektoren und Lagen

Der Realität nachempfunden, erlaubt auch diese Simulation weder eine Platzierung über eine Reihengrenze noch über eine Sektorengrenze hinweg. Daher sind auch alle Container in Längsrichtung ausgerichtet. Das Stapeln von Containern ist nur von Containern gleicher Länge erlaubt. Weil beim Übereinanderstellen die massiven Eckbeschläge (Cornerfittings) übereinander zum Liegen kommen müssen, sind Überhänge von Containern nicht zugelassen.

1. Drei Basisstrategien

In der vorliegenden Studie kommen die drei Basisstrategien „Random-Stacking“, „Levelling“ und „Stacking“ zum Einsatz. Da sich diese Studie der Untersuchung des Servicehubanteils widmet, kommen in der Simulation jene drei Strategien zum Einsatz, die die Auswirkungen verschiedener Parameter eines Inlandterminallagers auf den Servicehubanteil möglichst in seiner ganzen Bandbreite veranschaulichen. Durch die enge Korrelation zwischen Servicehubanteil und Stapelhöhe stellen die zwei Basisstrategien „Levelling“ und „Stacking“ die zwei Extremata der vielen möglichen Anpassungen dar. Die dritte untersuchte Strategie „Random-Stacking“ bietet die Möglichkeit, Auswirkungen von Einflussgrößen auf die Servicehubanzahl möglichst ohne weitere Gewichtung oder Verzerrung durch speziellere strategische Regeln vergleichbar zu untersuchen. Alle drei Strategien werden Basisstrategien genannt, da sie keine Informationen über Containerliegezeiten, Längenverteilungen oder Containeraufkommen berücksichtigen. Für das simulierte Lager sind die Container dadurch erst bei ihrer Ankunft sichtbar. Ziel dieser Studie ist es, Einflussgrößen auf den Servicehubanteil zu erkennen, zu benennen und deren

Wechselbeziehungen darzustellen.

Die Strategie Random-Stacking (S1):
In der Strategie Random-Stacking wird für einen Container von allen zur Einlagerungszeit möglichen Lagerplätzen einer zufällig ausgewählt. Diese Strategie liefert eine erste Abschätzung ohne bestimmte Ziele zu verfolgen.

Die Strategie Levelling (S2):
Da die Servicehubanzahl massiv von der Stapelhöhe abhängt, wird in dieser Strategie versucht, die Stapelhöhe so niedrig wie möglich zu halten. Daher werden die möglichen Lagerplätze für einen Container nach ihrer Höhenlage sortiert, um den möglichst niedrig gelegenen Platz zuweisen zu können. Erst bei gleicher Höhe kommen weitere Kriterien zum Einsatz (siehe 3.4).

Die Strategie Stacking (S3):
Ein weiteres Extrem unter den Lagerstrategien stellt die Strategie Stacking dar. Um die Probleme der Strategie Levelling zu umgehen, wird in dieser Strategie versucht, möglichst hohe Stapel zu bilden. Dadurch bleibt ein Maximum an Grundfläche frei, um weitere Stapel unterschiedlicher Länge zu errichten. Durch die nahezu ständige Ausnützung der vollen Lagerhöhe ist mit einem dementsprechend hohen Servicehubanteil zu rechnen.

2. Servicehubanteil

2.1. Definition der Servicehubanzahl

Ein Servicehub ist ein unproduktiver Hub eines Containers, welcher notwendig ist, um auf einen anderen Container Zugriff zu bekommen (Dekker et al., 2006).

Gemäß dieser Definition von Dekker wird in dieser Studie die Servicehubanzahl (Reshuffles, Restows, Rehandling moves) als jene Anzahl der Hübe verstanden, die zur Umlagerung verwendet werden, da es in den untersuchten Basisstrategien keine Umlagerungen aus anderen Gründen als den verstellten Containerzugriff gibt.

In der Praxis wird an österreichischen Terminals oft nur zwischen kommerziellen Hüben und unkommerziellen Hüben unterschieden. Dabei wird im Fachjargon für nicht verrechenbare Hübe (jene Hübe, die nicht zu Lasten des Kunden gehen) oft der Terminus „Dispohübe“ verwendet. Unter kommerziellen Hüben wird jener Anteil der Gesamthübe verstanden, die dem Kunden explizit verrechnet werden können. Je nach Verrechnungsmodell fallen dadurch auch Hübe den Dispohüben zu, welche keine Servicehübe laut obiger Definition sind.

Beispielsweise wird in manchen Fällen trotz erfolgten zwei Hüben vom Lkw in das Lager und aus dem Lager auf den Bahnwaggon nur ein Hub verrechnet. Aus diesen Gründen ist eine Gleichsetzung der Begriffe „Dispohübe“ und „Servicehübe“ in diesem Zusammenhang zu hinterfragen.

Weiters können aus logistischer Sicht Hübe, welche angeordnet werden, um das Lager zu restrukturieren (Ordnungshübe, Housekeeping-moves), von den Servicehüben laut obiger Definition unterschieden werden. Schließlich sind Servicehübe im Gegensatz zu Ordnungshüben zum Zeitpunkt ihres Anfallens unvermeidbar. Diese Unvermeidbarkeit macht die Betrachtung der Gründe und Einflussfaktoren der Servicehübe interessant, da diese nur durch strategische Maßnahmen im Vorfeld gemindert werden können. Um Strategien zur Minderung des Servicehubanteils entwickeln zu können, ist ein Grundverständnis für das Zusammenspiel zwischen dem Servicehubanteil und seinen Einflussfaktoren notwendig. Diese Arbeit hat die Darstellung dieser Zusammenhänge zum Ziel.

2.2. Wirtschaftliche Bedeutung der Servicehubanzahl

Hat im Prozessfluss des Seehafenterminals die Kaikranauslastung oberste Priorität, fehlt im Inlandterminalprozess der Flaschenhals der Schiffsabfertigung. Stattdessen steht die Bewirtschaftung des Lagers im Hauptaugenmerk von Optimierungen. Dabei sind die Kranauslastung und der Servicehubanteil wesentlichste Parameter.

Ein geringer Anteil von Servicehüben ist ein Indikator für eine gute Performance eines Lagersystems. Eine hingegen hohe Servicehubanzahl ein Indikator dafür, dass die momentane Lagergröße für den laufenden Durchsatz zu klein sein dürfte (Dekker et al., 2006). Obwohl eine Vergrößerung der Lagerfläche Servicehubanteile schnell reduzieren kann, stellt sich die Frage inwieweit durch die verwendete Lagerstrategie mögliche Servicehubeinsparpotenziale ausgeschöpft werden. Besonders in Zeiten, in denen Terminals zunehmend an Leistungsgrenzen geraten, können lagerstrategische Maßnahmen nicht nur helfen Auslastungsspitzen besser zu überstehen, sondern durch Vermeidung unproduktiver Bewegungen auch die Wirtschaftlichkeit zu steigern.

3. Aufbau und Elemente des Simulationsmodells

3.1. Verwendete Simulationstechnik

Es wird ein Diskret-Event-Simulationsmodell vorgestellt, das die Vorgänge eines Containerlagers eines Inlandterminals abbildet. Das Modell wurde im Rahmen der SimConT-Studie am Institut für Produktionswirtschaft und Logistik der Universität für Bodenkultur erstellt und dient in seiner gesamten Größe der Simulation von allen Terminalabläufen, um konkrete Fragestellungen im Rahmen von Neuplanungen und Investitionen rund um Inlandterminals bearbeiten und fundiert beantworten zu können. Für die vorliegende

Untersuchung wurde das umfassende Modell soweit modifiziert und vereinfacht, dass die Einflussparameter auf die Servicehubanzahl konkret untersucht werden können. Als Grundlage für dieses Modell dienen zahlreiche Datenerhebungen und Gespräche mit Entscheidungsträgern und Angestellten österreichischer Containerterminals, sowie Besuche und Beobachtungen an den Terminalstandorten vor Ort. Weiters kann auf das große Hintergrundwissen der SimConT-Studie und Erfahrungen aus Auftragsarbeiten aufgebaut werden.
Das in dieser Arbeit vorgestellte und eingesetzte Simulationsmodell wurde so weit von der Gesamtbetrachtung des Terminalgeschehens losgelöst, um eine möglichst isolierte Untersuchung der Lagerbewirtschaftung eines einzelnen Blocks zu gewährleisten. Durch die bewusste Vernachlässigung einzelner Komponenten ist es möglich, die Servicehubanzahl als wichtige Kerngröße beim Einsatz der drei Basisstrategien sowie durch Verwendung verschiedener Szenarien zu untersuchen. Dabei wird vor allem auf die speziellen Faktoren der Inlandterminals, der verschiedenen Containerlängen, der Lagerrastereinteilung, der besonders unterschiedlichen Liegezeiten durch Schnelldreher und Lagercontainer und der Einfluss der nicht stapelbaren Ladeeinheiten eingegangen. Die vorliegende Studie ermöglicht einen direkten Vergleich der drei Lagerstrategien, bildet das Ergebnis in Form des Servicehubanteils ab, berücksichtigt explizit verschiedene Containerlängen auch abseits der Standardcontainer des maritimen Containerverkehrs, simuliert jeden individuellen Container, seine Ankunft, seine Lagerdauer, den Lagerplatz sowie alle anfallenden Hübe. Explizit vernachlässigt werden Kranungszeiten und die Dauer von Kranbewegungen, da diese keinen Einfluss auf die Servicehubanteile haben. Aus diesem Grund ist in dieser Studie ein direkter Rückschluss von Umschlagsmengen und Simulationsdauer auf Kenngrößen der Umschlagskapazität unzulässig. Die gewählte Simulationsdauer wird durch eine Steady-State-Analyse begründet. Als Simulationsumgebung dient die javabasierte Plattform AnyLogic Advanced 6.4.

Die Technik der Simulation ist eine zunehmend angewandte Methode des Operations Research. Weitere Herangehensweisen in Optimierungsfragen sind die deterministische und die stochastische Modellierung. Der deterministische Ansatz findet sich in der Literatur, die sich mit Seehafenterminals beschäftigt, häufig. Jedoch ist ein Trend zu Simulationstechniken feststellbar, da der Grad an Komplexität in den Terminalprozessen hoch ist und eine gesamte Betrachtungsweise deterministisch nicht zielführend ist. Terminalprozesse und Einflussfaktoren haben einen hohen stochastischen Anteil, was deterministische Ansätze unmittelbar nach ihrer Formulierung bereits veralten lässt. Lösungsheuristiken der ganzzahligen Programmierung haben oft den Nachteil in komplexen Fragen nur mit hoher Rechenleistung und damit einem nicht unerheblichen Zeitaufwand Ergebnisse liefern zu

können, was ihren Einsatz in einem Echtzeit-System erschwert (Petering et al., 2008).

Die objektorientierte Simulation, wie sie hier zur Anwendung kommt, bietet die Möglichkeit einer detailgetreuen Nachbildung der beobachteten Terminalprozesse. Die Möglichkeit, eine große Anzahl von möglichen Zuständen abzubilden, gepaart mit der Verarbeitung von Zufallsgrößen eines Echtzeitcontainerlagermodells macht die Technik der Simulation zum bestgeeigneten Werkzeug für die Untersuchung von Terminalabläufen (Petering et al., 2008).

Die Diskret-Event-Simulation ist eine verbreitete Simulationstechnik, die für viele Probleme der realen Welt Anwendung findet (Bielli et al., 2006). Logische Verknüpfungen von Ereignissen, wie es beispielsweise bei Terminaloperationen der Fall ist, bieten die besten Voraussetzungen für den Einsatz dieser Technik. Die diskrete oder ereignis-orientierte Simulation unterscheidet sich von der kontinuierlichen im Wesentlichen durch die sich sprunghaft ändernden Zustände basierend auf Ereignissen. In kontinuierlichen Systemen ändert sich der Zustand des Modells zeitabhängig kontinuierlich. Durch Definition von Szenarien, die Was-wäre-wenn-Analysen gleich kommen, gelangt man zu einem besseren Verständnis, welchen Einfluss Variationen in langsam-dynamischen Systemen nach sich ziehen (Gambardella, 2000). Die Vorgangsweise, Einflussparameter zu variieren und deren Auswirkung auf die Servicehubanzahl zu protokollieren und möglichst umfassend darzustellen, wird in dieser Studie mit dem Zweck verfolgt, die Ursachen von Servicehüben zu benennen und nachzuweisen.

Steenken et al. (2004) unterscheiden Simulationen nach der Art, welchen Fragestellungen sie sich widmen, in strategische, operationale und taktische Simulationen.
Die strategische Simulation wird angewendet, um die verschiedenen Terminallayouttypen und Equipmentausstattungen in Hinblick auf ihre erwartete Effizienz und Kosten zu untersuchen und zu vergleichen. Besonders wird sie bei der Planung neuer Terminals, bei Entwicklung von Erweiterungs- oder Umbaumaßnahmen sowie dem Austausch von Equipment verwendet. Das Ziel der strategischen Simulation ist es, anhand von Terminallayout- und Equipmentvarianten diejenige zu finden, welche die höchste Performance zu niedrigsten Kosten zu leisten imstande ist. Um Simulationen realitätsnahe durchzuführen, werden realistische Szenarien sowie Szenarien auf Basis von erhobenen Echtdaten erzeugt.
Die operationale Simulation wird eingesetzt, um verschiedene Arten der Terminallogistik und Optimierungsmethoden zu testen (Steenken et al., 2004). Sie erhält besonders bei den großen Terminals wachsende Akzeptanz. Terminalabläufe und Logistik in großen Terminals

sind bereits derart komplex, dass alternative Logistiksysteme oder Optimierungsmethoden valide getestet werden müssen. Dazu werden sie in einer Simulationsumgebung einer Bewertung unterzogen, bevor sie in Kontroll- und Steuerungssysteme der Terminals mit begrenztem Risiko implementiert werden können.

Unter taktischer Simulation versteht man die Integration von Simulationssystemen in ein Steuerungssystem eines Terminals. Steuerungsvarianten sollten parallel zum Ablauf simuliert werden, um operative Ratschläge und Alternativen geben zu können, besonders wenn Störungen im reellen Ablauf auftreten. Dann sind Echtdaten zu importieren und synchron zum Geschehen zu analysieren. Diese ambitionierte Forderung ist der Grund für die seltene oder nur teilweise Installierung taktischer Simulationssysteme in Containerterminals (Steenken et al., 2004).

Die vorliegende Simulationsstudie ist demnach eindeutig der operationalen Simulation zuzuordnen, befasst sich jedoch nicht mit Echtdaten, sondern hat zum Ziel, ein Grundverständnis für die Anforderungen einer Lagerbewirtschaftung im Inland in Hinblick auf kostspielige Servicehubanteile zu vermitteln.

3.2. Abbildung der Lager- und Stellplatzlogik im Simulationsmodell

Die objektorientierte Simulation bietet in diesem Modell die Möglichkeit jeden Container als Objekt abzubilden. Alle nach den Vorgaben generierten Container durchlaufen die drei Stadien Containereingang, Lagerung und Containerausgang. In diesen Stadien werden sämtliche Hübe sowie der jeweils okkupierte Lagerplatz simuliert. Um das Containerlager korrekt abbilden zu können, dienen drei Listen, in denen die verfügbaren Lagerplätze, die mit Containern belegten Plätze, sowie die vertikale Containeranordnung auf jedem Lagerplatz protokolliert werden. Ein Lagerplatz besteht aus der Angabe der Sektornummer, der Reihe, der Distanz zum Anfangspunkt innerhalb des Sektorelements und der Länge des verfügbaren Platzes. Dadurch können in einem Sektorelement mehrere verfügbare Lagerplätze liegen. In Abbildung 18 sind beispielsweise drei Lagerplätze in einem Sektorelement der Länge 80’ belegt worden. Zwei Plätze mit 20’ Länge (rot) werden durch einen dritten mit 30’ Länge (grün) ergänzt. In diesem Fall wird die Restlänge von 10’ so lange unbelegt bleiben, bis der Lagerplatz mit 30’ Länge wieder frei wird und der freigewordene Platz einem Container zugewiesen wird, der den Platz besser ausfüllt.

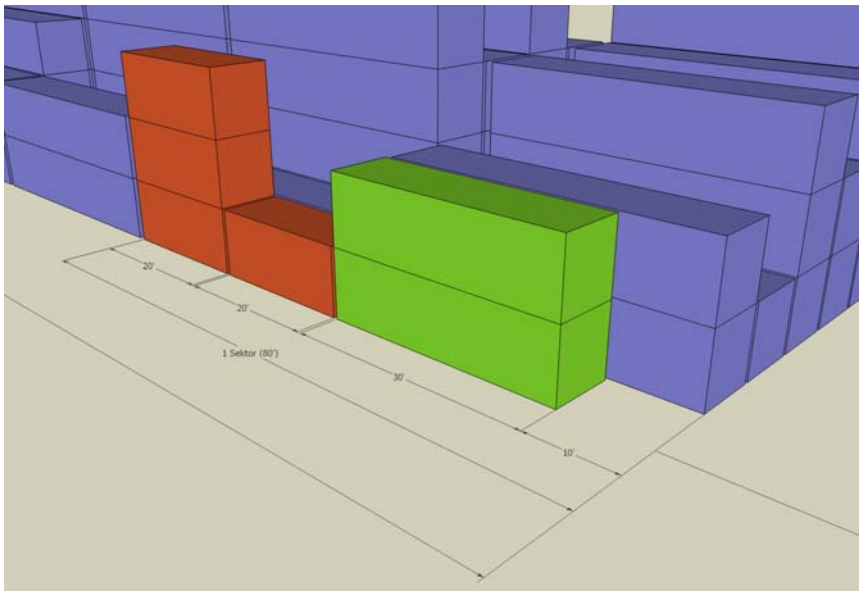


Abbildung 18: Beispiel einer Sektorbelegung mit dem Problem der übrig bleibenden Restflächen

Da Container gleicher Länge übereinander gelagert werden dürfen, bleibt ein von einem stapelbaren Container okkupierter Lagerplatz solange verfügbar, bis die maximale Stapelhöhe erreicht ist. Um den Containereingangsstrom eines Inlandcontainerterminals abzubilden, wird die Summe der eingehenden Container pro Stunde mit Angaben über die Verteilung spezifischer Eigenschaften ergänzt.

Die Simulationsinitialisierung erfolgt einerseits durch Definition des Lagerblockes und der Lagerstrategie (siehe Abbildung 20, S.52), sowie durch die genaue Beschreibung des Containereingangstromes (siehe Abbildung 19, S.52). Ersteres geschieht durch die Angabe der vier Parameter Sektorenanzahl, Reihenanzahl und Lagenanzahl, sowie der Wahl der Sektorlänge. Durch diese Werte wird der Lagerblock bereits mit seiner räumlichen Lagerkapazität beschrieben. Sektorlänge und Sektorenanzahl bestimmen zusammen die Lagenkapazität des Lagerblockes. Die Strukturierung in Sektoren gleicher Länge ist bereits die erste strategische Größe der Simulation, deren Einfluss auf die Servicehubanzahl in der zweiten Simulationsphase (A) besprochen wird. Weitaus variantenreicher lässt sich der Containerstrom der Lagersimulation modellieren. Der Vorgabe, den spezifischen Eigenschaften des Containeraufkommens im Inland gerecht zu werden, wird damit entsprochen, die Summe der Container durch Angabe von prozentualen Anteilen in eine Vielzahl von Kategorien aufzutrennen. In der Eingabemaske für die Definition des Eingangstromes (vgl. Abbildung 19, S.52) sind die einzelnen Parameter durch Einträge in den rechteckigen Feldern vorzunehmen. Im kaskadischen Aufbau ist primär die Containereingangsmenge pro Stunde anzugeben. Die Menge der so definierten Eingangscontainer wird in einem ersten Schritt in zwei Teilmengen zerlegt. Durch die

Angabe des Anteiles der stapelbaren Container, werden den Containerobjekten verteilungsgemäß Stapelbarkeit zugeschrieben. Den so erhaltenen Teilmengen werden jeweils getrennt durch prozentuale Anteile Längen gemäß der Containerlängenverteilung zugewiesen. Die Unterscheidung in 20'-Container und 40'-Container wäre für Inlandterminals schlichtweg zu wenig. Durch den teilweise hohen Anteil an so genannten Zwischengrößen wird in dieser Simulation sowohl der stapelbare als auch der nicht stapelbare Containerstromanteil in jeweils neun Containerlängenkategorien unterteilt. So finden sich alle gängigen Containerlängen (20', 22', 23', 24', 25', 30', 35', 40', 45') in diesen Kategorien wieder (vgl. Abbildung 19, S.52). Ebenfalls getrennt, können beiden Untergruppen Liegezeitverteilungen durch Angabe des Schnelldreheranteils zugeschrieben werden. Eine Unterscheidung in verschiedene Containerhöhen ist in dieser Simulation nicht enthalten. Die detaillierte Beschreibung des stapelbaren und nicht stapelbaren Containerstromes durch Schnelldreher- und Lagercontaineranteile mit den zugehörigen Lagerzeitverteilungen ist eine Möglichkeit, der Vielfalt der Lagerzeiten auf Inlandterminals gerecht zu werden. In dieser Simulationsstudie werden sowohl stapelbare als auch nicht stapelbare Container in allen Simulationsdurchläufen mit gleichem Schnell- und damit auch Lagercontaineranteilen versehen, um den Einfluss dieses Parameters auf den Simulationsanteil unverzerrt ermitteln zu können. Obwohl die Dreiecksverteilungen der Lagerdauer (Minimalwert - min, Median - avg, Maximalwert - max) in den definierten Szenarien nicht geändert werden, kann der durchschnittliche Verbleib eines Containers am Terminalgelände lokal sehr unterschiedlich sein. Um vergleichbare Ergebnisse zu erhalten wurde in dieser Studie die Lagerzeit für Schnelldreher auf minimal 2, im Median auf 24 und maximal auf 48 Stunden gesetzt. Analog dazu wurden Lagercontainer mit einer Lagerzeit von minimal 24, im Median 240 und maximal 840 Stunden versehen. Das entspricht einer Unterscheidung von Schnelldrehern und Lagercontainern ab einer Lagerdauer von zwei vollen Tagen. Diese Einschätzung hat sich bei Erhebungen an österreichischen Terminals 2008 als eine gute Annäherung herausgestellt.

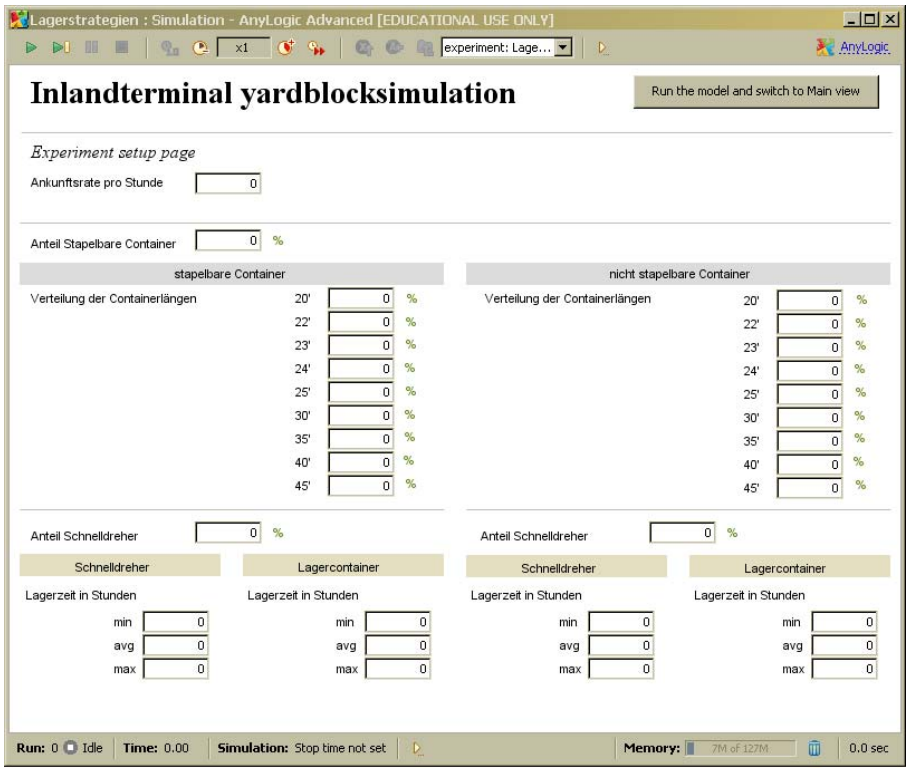


Abbildung 19: Eingabemaske1 für die Definition des Containereingangstromes

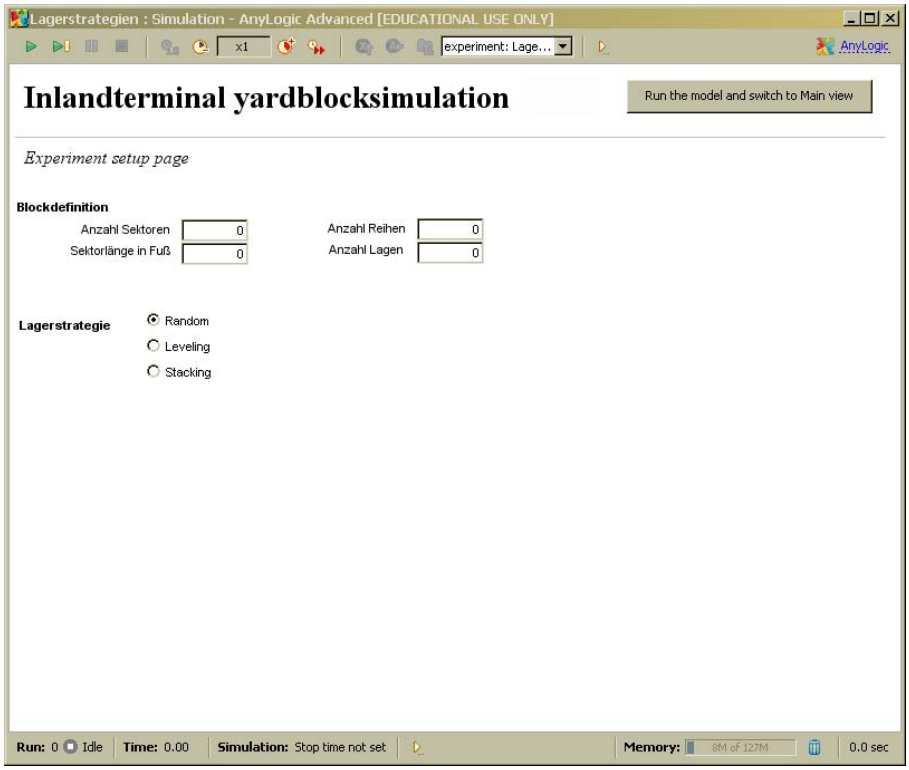


Abbildung 20: Eingabemaske2 für die Definition der Lagerblockdimensionen und der Strategie

3.3. Simulationsprozess

Der folgende Prozessfluss dient dem Verständnis des Aufbaus des verwendeten Simulationsmodells und kann in dem folgenden BPM-Diagramm (Abbildung 21, S.55) nachvollzogen werden.

Gemäß den Initialisierungsangaben werden Containerobjekte, versehen mit eindeutiger Identifikationsnummer und allen Eigenschaften laut Eingangsvorgaben, mittels Zufallsgenerator erzeugt und in einer Liste unter Einhaltung des Fifo-Prinzips festgehalten (Liste1, vgl. Abbildung 21, S. 55). Aus dieser Warteschlange der eingehenden Container wird der erste Container entnommen. Die für diesen aktuellen Container möglichen verfügbaren Lagerplätze werden nach mehreren Kriterien gemäß der gewählten Lagerstrategie sortiert. Da jeder Container bereits mit einem zufälligen Ankunftsort entlang des Blockes generiert wird, ist eine Sortierung abseits der Hauptkriterien der Basisstrategien auch nach der Entfernung des Lagerplatzes zum Ankunftsort möglich. Wird der strategiekonform beste Lagerplatz gefunden, so wird der Container dort eingelagert. Dazu wird der gewählte Platz aus der Liste der verfügbaren Plätze entnommen und zusammen mit der Containeridentifikationsnummer in der Liste der belegten Plätze gemäß der Länge des Containers eingetragen. Danach wird die vertikale Position in der Liste der Containerstapel vermerkt. Anschließend wird die Liste der verfügbaren Plätze aktualisiert. Dabei ist es notwendig, vom Container nicht belegte Restlängen des gewählten Platzes zu berücksichtigen, und je nach Stapelbarkeit oder vertikaler Position (Erreichen der letzten Lage) die Möglichkeit weitere Container derselben Länge darauf zu stellen.
Entstehen durch das Einlagern neue verfügbare Lagerplätze, werden diese in der Liste eingetragen. Nach dem Einlagern wird, soweit vorhanden, der nächste Container der Eingangsliste (Liste 1) bearbeitet. Wird für einen Container kein passender Lagerplatz gefunden, so wird dieser in der Eingangsliste zurückgestellt und der nächste Container dieser Liste entnommen. Nach Ablauf der bereits beim Eingang festgelegten Lagerzeit, wird der Container in der Liste zur Auslagerung (Liste 2) vermerkt. Bei der Auslagerung wird der erste Container der Auslagerungsliste entnommen und sein Lagerplatz in der Liste der belegten Lagerplätze gesucht und entfernt. Befindet sich der auszulagernde Container in der Liste der vertikalen Positionen in der obersten zugänglichen Lage, so wird sein Eintrag dort entfernt und die Liste der verfügbaren Lagerplätze aktualisiert. Wird der auszulagernde Container aber nicht an höchster Position im Stapel gefunden, werden die Container, die den Zugriff verhindern, beginnend mit dem obersten, nach unten in eine Liste zum Umlagern (Liste 3) eingetragen und ein Servicehubauftrag angestoßen.
Im Falle eines Servicehubauftrags wird der erste umzulagernde Container aus der Servicehubauftragsliste (Fifo) entnommen, der zugehörige verfügbare Lagerplatz oberhalb

dessen alter Position (sofern vorhanden) entfernt, und für ihn, gemäß der Lagerstrategie, nach einem passenden Lagerplatz gesucht. Wird dieser gefunden, so wird der Container dort nach demselben Schema wie bei der ersten Einlagerung eingebucht und die Liste der verfügbaren Plätze aktualisiert, ohne jedoch einen verfügbaren Platz an alter Position einzufügen. Danach wird die Liste der umzulagernden Container nach gleichem Prinzip abgearbeitet, bis der letzte Container mittels Servicehub einen neuen Platz erhalten hat.

Wird für einen der Container kein passender Lagerplatz gefunden so kommt ein Ausweichplatz für Servicehübe zum Einsatz (Servicehubausnahmefall), da nach dem Entfernen des Containers, der für den Servicehubauftrag verantwortlich ist, ohnehin dessen Platz und jene darüber wieder zur Verfügung stehen. Dieser Ausweichplatz für Servicehübe besteht aus einer Liste, in welcher die Container eingetragen werden (Liste 4). Nach dem Entfernen der umzulagernden Container aus der Liste der belegten Lagerplätze und dem Verzeichnis der vertikalen Positionen wird die Reihenfolge der Einträge in der Auflistung der auf dem Ausweichplatz abgestellten Container invertiert. Dadurch ist ein Wiederaufnehmen der Container in verkehrter Reihenfolge (Lifo) gewährleistet, da der Ausweichstapel auch wieder von oben nach unten abgebaut werden muss. Zuvor wird das Auslagern des ursprünglichen Containers durchgeführt, wodurch der an seiner Stelle frei werdende Platz in den Listen wieder aufscheint. Die Container können daher von der Ausweichfläche einer nach dem anderen an dieser Position wieder eingelagert werden. Somit ist der ganze Prozess des Servicehubauftrages abgeschlossen.

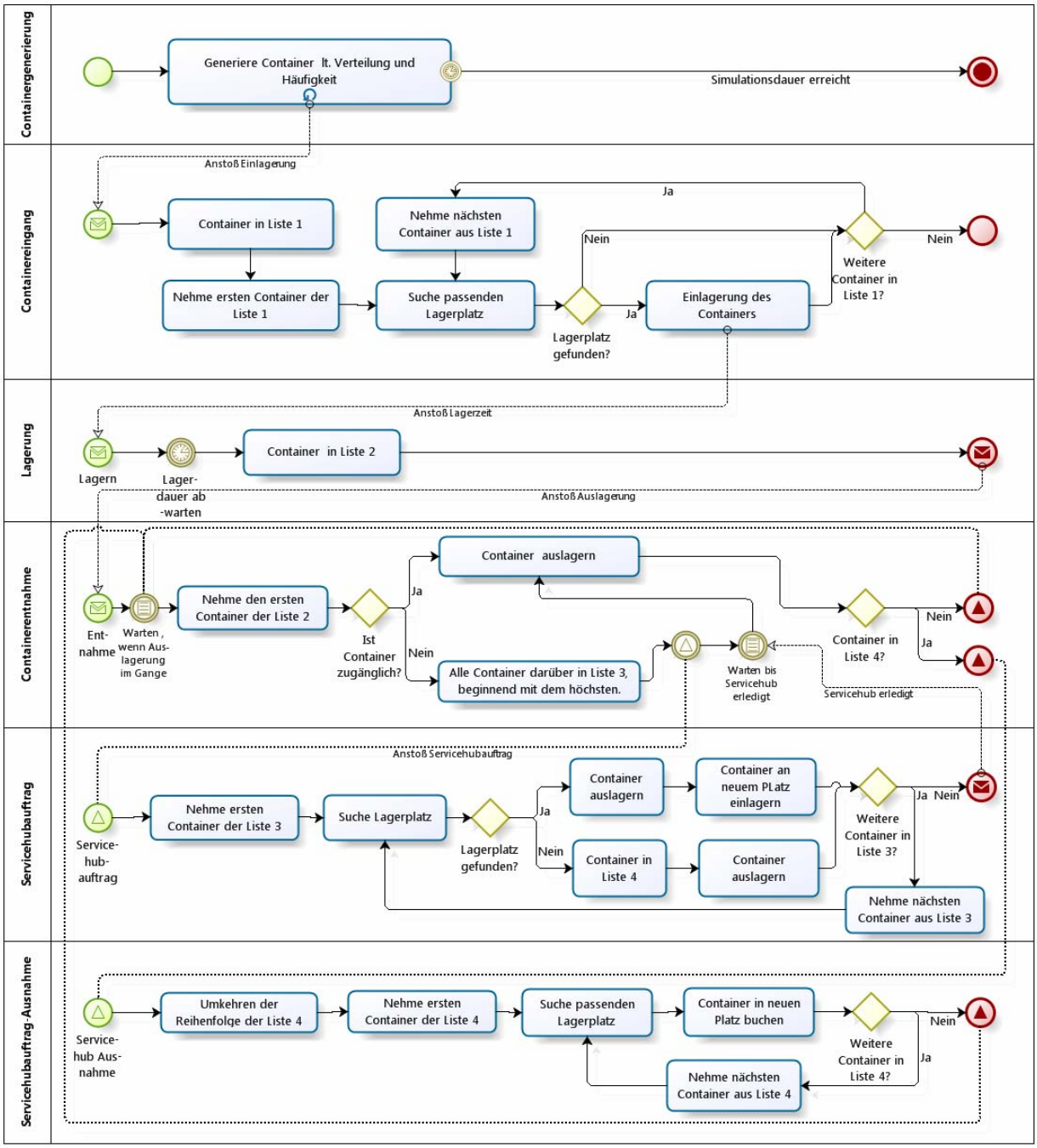


Abbildung 21: BPM-Darstellung des Simulationsmodells

3.4. Umsetzung der Basisstrategien

Die Umsetzung der Lagerstrategien wird in dieser Simulation durch die Sortierung der Liste der verfügbaren Lagerplätze umgesetzt. Bevor jedoch die Liste sortiert werden kann, wird sichergestellt, dass sich in der zur Sortierung herangezogenen Liste nur jene verfügbaren Lagerplätze befinden, die für den betreffenden Container auch gemäß den Vorschriften zur Containerlagerung in Frage kommen. Beispielsweise sind für einen Container mit 40' Länge nur jene Plätze in der untersten Lage zulässig, die mindestens diese Länge aufweisen. Die Plätze in den Lagen über der niedrigsten sind ohnehin schon durch den untersten Container auf dessen Länge festgelegt. Erst aus dieser Liste der spezifisch möglichen, verfügbaren Lagerplätze kann durch Sortierung der strategiekonforme Lagerplatz gewonnen werden.

In der Random-Strategie erfolgt die Auswahl aus den verfügbaren Lagerplätzen zufällig. Die Levelling-Strategie zielt in erster Instanz auf die Höhe des Lagerplatzes ab. Niedriger liegende Lagerplätze sind zu bevorzugen. Unter jenen sind wiederum diejenigen vorzureihen, die am nächsten zum Anlieferungspunkt in Längsrichtung liegen, der zufällig entlang des Lagerblockes generiert wird. Dieses Kriterium leitet sich von der Krangeschwindigkeit (RMGC) in Längsrichtung ab. Durch die langsamen Geschwindigkeiten in Längsrichtung sind vor allem weite Distanzen zu vermeiden. Das nächste Kriterium bevorzugt Plätze mit niedriger Reihennummer und minimiert so die Querfahrten des Krans, da die Containeranlieferung in der Regel nur von einer Seite erfolgt. Zuletzt wird noch nach der niedrigeren Platzlänge sortiert, um größere Lücken nicht unnötig mit kleineren Containern zu besetzen

Reihungskriterien der verfügbaren Plätze nach strategischen Vorgaben		
Random Strategie	**Levelling Strategie**	**Stacking Strategie**
• Zufällige Anordnung	• steigende Lage • steigende Entfernung vom Anlieferungspunkt • steigende Reihennummer • steigende Platzlänge • steigende Entfernung zum Sektoranfang	• sinkende Lage • steigende Entfernung zum Anlieferungspunkt • steigende Reihennummer • steigende Platzlänge • steigende Entfernung zum Sektoranfang

Tabelle 2: Reihungskriterien der Liste der verfügbaren Lagerplätze nach strategischen Vorgaben

3.5. Einschränkungen und Abgrenzungen

Da in dieser Simulation das Hauptinteresse in der Untersuchung der Servicehübe liegt, wird auf eine Wegesimulation der Umschlaggeräte verzichtet. Dadurch findet keine Optimierung der Hubaufträge im Sinne der Kranauslastung statt. Die Reihenfolge der Hübe ergibt sich dadurch rein aus dem Ankunftsverhalten der Container im Eingang, deren Lagerzeit sowie

der Abarbeitung der Servicehübe in korrekter Reihenfolge. Ebenso findet die Hubdauer in dieser Simulation keinen Eingang. Deswegen entsprechen Containermengen in der Simulation keineswegs real möglichen Umschlagskapazitäten, sondern lassen nur einen relativen Vergleich zu.
Durch die Vernachlässigung der Kranressource lässt sich die Länge der Warteschlange im Containereingang (entspricht der Länge der Liste 1 lt. Abbildung 21, S.55) auf die Verfügbarkeit geeigneter Lagerplätze zurückführen. Obwohl Containerlängen verschiedenster Länge Berücksichtigung finden, bleiben einige weitere Besonderheiten in dieser Simulation ausgespart. So werden etwa Container mit besonderen Anforderungen wie Stromversorgung und Ähnlichem nicht simuliert. Auch Container, die dem Gefahrgut zuzuordnen sind und daher besondere Ansprüche an Lagerplätze haben, werden ebenso nicht untersucht. Durch die Fokussierung auf die Betrachtung der Servicehubanteile sind auch Zwischenfälle sämtlicher Art in der Simulation nicht vorgesehen. Da die Containerankünfte per Zufall entlang des gesamten Blocks generiert werden, wird in dieser Studie nicht zwischen Eingangs- und Ausgangsmodalitäten unterschieden. Diese Restriktion wirkt sich auf die Servicehübe unter Verwendung der beschriebenen Basisstrategien nicht aus. Bei einer etwaigen Untersuchung oder Einbeziehung der Kranressourcen sind es jedoch wesentliche Faktoren. Da auf Inlandterminals jeder einzelne Container individuell manipuliert wird, d.h. einzeln angeliefert und auch einzeln auf Waggons verladen wird, werden Doppelhübe (Twinlifts), wie sie teilweise bei der Hochseeschiffsabfertigung getätigt werden, nicht in Betracht gezogen.

3.6. Simulationsablauf

Jeder Simulationsdurchlauf beginnt mit leerem Lager. Erst mit zunehmender Simulationsdauer füllt sich dieses Lager gemäß der Strategie und gewährleistet somit eine unverfälschte Beurteilung der Simulationsergebnisse. Ein Simulationsstart mit gefülltem Lager würde zu unnachvollziehbaren Lagerzuständen führen, da nicht gesichert von einem strategiekonformen Aufbau des Lagers ausgegangen werden kann. Für die Ergebnisanalyse ist es notwendig einen strategiekonformen Aufbau des Lagers zu jeder Simulationszeit zu sichern. Nachteil dabei ist das nur langsame Erreichen stabiler Ergebnisse durch die Einschwingphase und eine daraus resultierende längere Simulationsdauer. Um diesem Effekt Rechnung zu tragen, wird das Modell einer Steady-State Untersuchung unterzogen, um die Simulationsdauer zu rechtfertigen.

Die Idee hinter der Erstellung der Szenarien ist, möglichst klare Zusammenhänge zwischen Einflussgrößen und der Servicehubanzahl in Form des Servicehubanteils darzustellen. Da mit zunehmendem Containeraufkommen der durchschnittliche Lagerstand ansteigt, ist dabei

auch mit einer Steigerung der Servicehübe zu rechnen. Um einen möglichst aussagekräftigen Verlauf des Servicehubanteils über die Blockauslastung zu erhalten, wird jeweils für einen Satz an Eingangsgrößen pro Durchlauf die Eingangsmenge an Containern pro Stunde Schritt für Schritt erhöht. Es wird jeweils ein weiterer Durchlauf mit erhöhter Eingangsmenge gestartet, solange die Länge der Warteschlange (Liste der Container, welche zurückgestellt werden müssen, da noch kein geeigneter Lagerplatz gefunden werden konnte; Liste 1) im gesamten Verlauf des vorigen Durchgangs im Eingang den Wert 30 nicht überschritten hat. Diese Vorgangsweise lässt sich mit der durchschnittlichen Größe des LKW-Parkplatzes auf österreichischen Terminalstandorten begründen. Auch ließe sich diese Warteschlange operativ mit einem Auffanglager in Belastungsspitzen erklären. Dieses Prozedere wird für die jeweiligen Szenarien sowohl für die verschiedenen Lagerstrategien, Anzahlen der Lagen, Sektorenlängen sowie für die Variationen in Containerzusammensetzung und Lagerdauer beibehalten. Das Ergebnis sind daher zusammengehörige Datenreihen mit steigender Umschlagsmenge bis zum Erreichen des zuvor genannten Abbruchkriteriums. Die anfängliche Simulationsdauer von 30.000 Stunden in der ersten Phase „INIT“ wurde, nach Erhalt der Ergebnisse der Steady-State-Analyse (siehe 4.1.2) für die nachfolgenden Szenarien auf 20.000 Stunden heruntergesetzt.
Die Lagerblockdimension von 8 Reihen mit je 96 TEU (Twenty-feet-equivalent Unit) Kapazität wurde während der gesamten Analyse konstant gehalten, um vergleichbare Ergebnisse vor allem in Bezug zur nutzbaren Lagerfläche zu erhalten. Bei der Anzahl der Reihen hat man sich an der derzeit größten Modulanlage Österreichs in Graz-Werndorf orientiert. Diese Anlage bedient zwei Blöcke, wobei der zwischen den Kranschienen liegende Block acht Reihen aufweist und für dieses Modell als Vorbild dient. Bei der Blocklänge wurde versucht, eine Dimension zu finden, die möglichst der derzeitigen Ganzzuglänge von 650 Meter entspricht und sich in die Sektorlängen 40’, 60’ und 80’ restlos teilen lässt. Damit wird es erst möglich, Durchläufe mit unterschiedlicher Sektorlänge bei gleicher Lagerkapazität zu untersuchen.

Sektorlänge	Sektorenanzahl	Reihen	Kapazität einer Lage (TEU)
20’	96	8	768
40’	48	8	768
60’	32	8	768
80’	24	8	768

Tabelle 3: Darstellung der verwendeten Blockdimensionen durch Wahl der Sektorlänge und Sektorenanzahl

Wird in der Simulation eine der vier angeführten Sektorlängen als Parameter eingesetzt, zieht das auch die Verwendung der zugehörigen Sektorenanzahl laut obiger Tabelle (Tabelle 3) nach sich. Dadurch beziehen sich alle Simulationsdurchläufe auf eine gleich große Fläche und jeweils eine konstante Lagenkapazität. Mit dieser Festlegung lassen sich auch die

verschiedenen Lagerblockkapazitäten nach Lagenanzahl ermitteln.

Lagen	Lagerblockkapazität (TEU)
1	768
2	1536
3	2304
4	3072
5	3840
6	4608
7	5376

Tabelle 4: Darstellung der Blockkapazitäten bei den jeweils verwendeten Anzahlen von Lagen

Pro Simulationslauf werden folgende Werte protokolliert:

Wert		Messungszeitpunkt (der Einzelmessung)
N_{IN}	Summe der Eingänge in ITE, kumuliert	Containerankunft
N_{OUT}	Summe der Ausgänge in ITE, kumuliert	Containerauslagerung
$avgT_S$	Mittlere Anzahl Container im Lager in TEU	Containerbewegung
$avgN_S$	Mittlere Anzahl Container im Lager in ITE	Containerbewegung
$avg\ l_C$	Mittlere Containerlänge in TEU (Containermix)	Containerbewegung
P_{ST}	Anteil stapelbarer Container	Containerbewegung
C_B	Blockkapazität	Simulationsstart
$avgU_B$	Durchschnittliche Blockauslastung	Containerbewegung
$avgU_G$	Durchschnittliche Grundflächenauslastung	Containerbewegung
N_Q	Anzahl wartende Container in ITE, kumuliert	Containereingang
$maxN_Q$	Maximale Länge der Warteliste in ITE	Containereingang
N_{SH}	Anzahl der Servicehübe, kumuliert	Containerauslagerung
N_{OC}	Anzahl der Servicehubaufträge	Containerauslagerung
N_M	Anzahl der gesamten Hübe, kumuliert	Containerbewegung
P_{SH}	Servicehubanteil	Containerbewegung
N_{SP}	Anzahl der Hübe auf Ausweichfläche (Servicehubausnahmefall)	Containerauslagerung

Tabelle 5: Darstellung der pro Simulationsdurchlauf erhobenen akkumulierten Werte und Zeitpunkte der Einzelmessungen

Mittlere Werte werden als arithmetisches Mittel aus den erhobenen Einzelmessungen berechnet. Die Blockauslastung wird als Quotient aus der Summe der Container im Lager (TEU) und Blockkapazität (TEU) berechnet. In Analogie wird die Grundflächenauslastung als Quotient aus der Summe der Container in der ersten Lage (TEU) und der Lagenkapazität (TEU) ermittelt.

3.7. Szenariendefinition

Die Simulationsstudie gliedert sich in 6 Phasen mit verschiedenen Zielsetzungen.

In der folgenden Tabelle werden die Szenarien, deren Hintergründe und die daraus abgeleiteten Parameter und Variationen aufgeführt.

Phase	Fragestellung und Zielsetzungen	Parameter und Parametervariation
Phase 1 „INIT“	• Überprüfung und Darstellung der 3 Basisstrategien • Elimination von Störgrößen • Verhalten des Servicehubanteiles bei verschiedenen Lagenanzahlen und Strategien • Durchführung einer Steady State-Analyse um die Simulationsdauer für die folgenden Szenarien anzupassen.	• Sektorlänge 20’ • 20’-Container • 100% Schnelldreher • 100% stapelbare Container • 1-7 Lagen • 3 Strategien
Phase 2 „A“	• Auswirkung verschiedener Mengenverhältnisse von 20’ und 40’ Containern auf den Servicehubanteil • Zusammenhang verschiedener Sektorlängen mit dem Servicehubanteil bei verschiedenen Mengenverhältnissen • Untersuchung bei verschiedenen Lagerhöhen	• Variation der Sektorlängen von 40’ (Phase A1) über 60’ (Phase A2) zu 80’ (Phase A3) • Variation des 20’- zu 40’-Containermengenverhältnisses in 10% Schritten • 100% Schnelldreher • 100% stapelbare Container • 3-5 Lagen • 3 Strategien
Phase 3 „B“	• Einfluss des Lagercontaineranteils auf den Servicehubanteil • Untersuchung bei verschiedenen Lagerhöhen	• Festlegung auf Sektorlänge 60’ • Festlegung des 20’:40’ Verhältnisses auf 1:1. • 100% stapelbare Container • Variation des Lagercontaineranteils in 10% Schritten • 3-5 Lagen • 3 Strategien
Phase 4 “C“	• Einfluss von Containerzwischengrößen auf den Servicehubanteil • Rückschluss auf das Zusammenspiel der Sektorlänge	• Sektorlänge 60’. • Variation des 30’- (C1) und 23’-(C2) Containeranteils bis 33% in 1% Schritten • Beibehaltung des 20’:40’ Verhältnisses der Restlichen Container (1:1) • 100% Schnelldreher • 100% stapelbare Container • 5 Lagen • 3 Strategien
Phase 5 „D“	• Einfluss von gleichverteilten Containerzwischengrößen auf den Servicehubanteil	• Sektorlänge 60’. • Gleichverteilung sämtlicher Containerlängen (20’, 22’, 23’, 24’, 25’, 30’,35’, 40’, 45’) • 100% stapelbare Container • 100% Schnelldreher • 5 Lagen • 3 Strategien
Phase 6 „E“	• Einfluss nicht stapelbarer Container auf den Servicehubanteil	• Nur 20’-Container • Sektorlänge 20’ • 100% Schnelldreher • 0%, 10%, 20%, 30% nicht stapelbare Container • 5 Lagen • 3 Strategien

Tabelle 6: Darstellung der nach Phasen gegliederten Simulationsszenarien

4. Ergebnisse

4.1. Phase „INIT“

In der ersten Phase der Simulationsstudie wird ein Szenario verwendet, das Störgrößen jeglicher Art vermeidet. Dadurch ist es möglich, die Lagerstrategien auf ihre korrekte Umsetzung im Modell zu überprüfen und die Auswirkung der Nutzung zusätzlicher Lagen auf den Servicehubanteil darzustellen. Dazu werden für alle Durchläufe sowohl die Sektorlänge als auch die Containerlänge der eingehenden Container auf 20’ gesetzt. Dadurch kann eine Lückenbildung im Lager ausgeschlossen werden, da jeder Sektor bereits mit einem Container ohne Restlänge belegt wird. Weiters werden nur stapelbare Container der Kategorie Schnelldreher generiert. Die Simulationszeit beträgt jeweils 30.000 Stunden, was einer Betriebszeit eines Terminals ohne Ruhezeiten von 3½ Jahren entspricht. Dabei ist zu bedenken, dass wegen der Vernachlässigung der Kranungszeiten weit mehr Container in der Simulation umgeschlagen werden, als es einer realen Anlage entsprechen würde. Es werden die drei Basisstrategien bei Lagerhöhen von einer bis sieben Lagen untersucht.

4.1.1. Darstellung der Lagerstrategien

Die Strategieunterschiede lassen sich am deutlichsten an der Grundflächenauslastung bei unterschiedlichen Blockauslastungen erkennen. Die Werte in Diagramm 1 (S. 62) stammen aus den Durchläufen mit der Konfiguration von drei Lagen. Man erkennt die sofortige Auffüllung der Fläche in der Levelling-Strategie bis zum Erreichen des ersten Drittels der Blockauslastung. Das entspricht der Auffüllung der ersten Lage des dreilagigen Blocks. Da bei der Stacking-Strategie nur ein Minimum an Grundfläche zur Lagerung der Container verbraucht wird, stellt sich ein linearer Verlauf der Flächenauslastung entlang der ersten Mediane ein. Mit der Hälfte der Lagerauslastung ist auch die Hälfte der Grundfläche belegt worden.

Zwischen den zwei Extremata kommt die Kurve der Random-Strategie zu liegen. Die anfängliche Lagerung in der Fläche wird mit steigendem Containeraufkommen durch die immer häufiger auftretenden Stapel abgelöst. Bei der Random-Strategie sind bis zum Erreichen der vollen Blockauslastung vereinzelt Plätze in der Grundfläche frei. Dafür sind bei geringer Blockauslastung bereits alle möglichen Stapelhöhen im Block zufallsgemäß vertreten. Sind hohe Stapel bei geringen Blockauslastungen unwahrscheinlicher, so nimmt deren Anteil bei höheren Blockauslastungen zu.

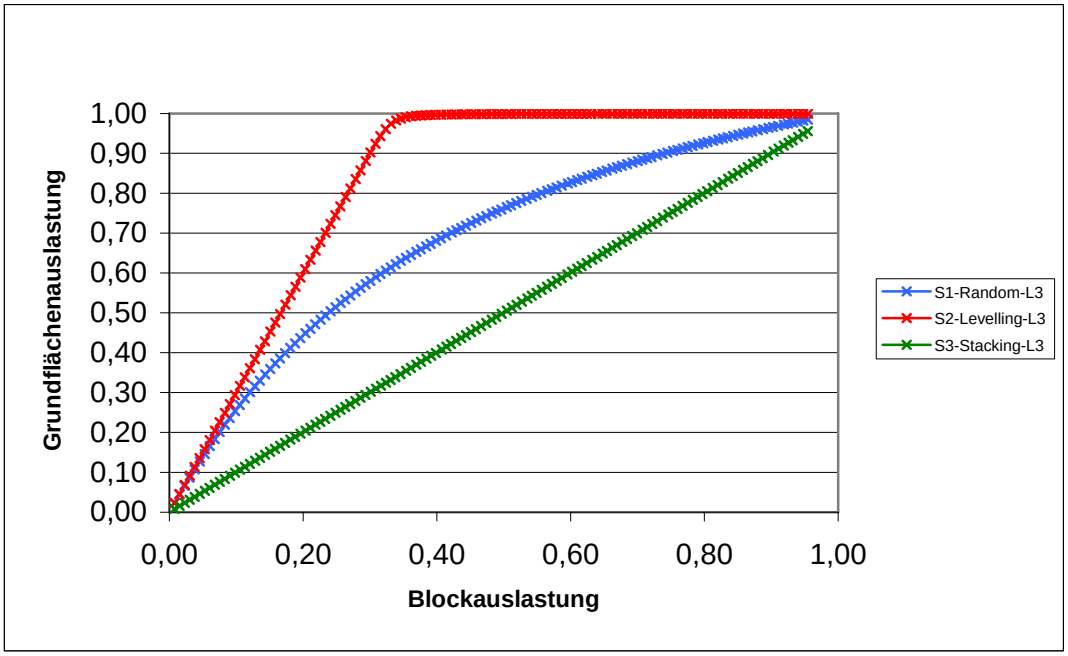


Diagramm 1: Darstellung der durchschnittlichen Flächenauslastung bei durchschnittlicher Blockauslastung der Simulationsdurchläufe der Phase INIT unter Verwendung der 3 Basisstrategien und einer Lagernutzung bis in die 3. Lage sowie der Sektorlänge 20';

4.1.2. Steady State Analyse

Bei der vorliegenden Simulation handelt es sich im Gegensatz zu abgeschlossenen (terminating) Simulationen um eine so genannte Steady-State Simulation. Das Spezifikum dieser Simulationsmodelle ist ein theoretisch unendlicher Zeithorizont. Gesucht wird nach Ergebnissen, die sich über die Laufzeit selbst einstellen. Dabei ist die Frage zu beantworten, nach welcher Simulationsdauer hinlänglich genaue Werte als Ergebnis angenommen werden können. Kelton et al. schlagen zwei Zugänge für derartige Analysen vor (Kelton et al., 1998). Einerseits die Durchführung mehrerer unabhängiger sich gleichender Durchläufe (Truncated Replications) und andererseits die Methode, einen besonders langen Durchlauf in gleichlange Teile zu zerlegen und in Relation zu setzen (Batching), um auf Mittelwert, Standardabweichung und Konfidenzintervall schließen zu können. In dieser Studie wird auf die Untersuchung jedes einzelnen Simulationsdurchlaufes verzichtet. Umso wichtiger dabei ist die Wahl der Simulationsdauer, um vertrauenswürdige Ergebnisse in allen Durchläufen zu erhalten. Da den Simulationsdurchläufen eine ähnliche Charakteristik zugrunde liegt, wird durch die Untersuchung eines ausgesuchten Durchlaufes der ersten Phase die ermittelte Simulationsdauer auf die gesamte Studie übertragen.

Um die Simulationslaufzeit von 30.000 Stunden zu hinterfragen, ist der Nachweis notwendig, dass sich der erhobene Servicehubanteil mit zunehmender Simulationsdauer nicht mehr signifikant ändert. Neben diesem Konvergenzkriterium ist zusätzlich der Nachweis zu erbringen, dass sich das Konfidenzintervall mit zunehmender Simulationslaufzeit ebenfalls nicht mehr ändert. Da das Hauptaugenmerk dieser Simulation auf dem Servicehubanteil liegt wurde dieser Wert zur Steady-State-Analyse herangezogen. Um den möglichst ungünstigen

Durchlauf all jener der ersten Phase herauszufinden, wurde der Simulationsdurchlauf gewählt, bei dem die aus der Menge der einzelnen Messwerte des Servicehubanteils im Verlauf der Simulationsdauer ermittelte Standardabweichung den größten Wert von 0.59 aufwies. Daraus kann geschlossen werden, dass in diesem Simulationsdurchlauf die Einschwingphase des Systems (die Auffüllung des Lagers) am längsten dauert und sich somit das Erreichen des Steady-State am längsten verzögert. So hat sich der Durchlauf der Levelling-Strategie (S2) mit einer Blockhöhe von sieben Lagen und einer Eingangsmenge von 291 Containern pro Stunde als aussagekräftigster Durchlauf herausgestellt und wurde für die weitere Untersuchung herangezogen. Dieser Durchlauf wurde 30mal wiederholt und der Servicehubanteil in jedem Durchlauf in Intervallen von 300 Stunden erhoben. In Summe ergab das 30 Zeitreihen mit 100 Werten pro Reihe. Für jeden der 100 Zeitpunkte pro Zeitreihe wurden aus den 30, durch die Simulationslaufzeit korrespondierenden, Servicehubanteilswerten das arithmetische Mittel, die Standardabweichung sowie das 95%-Konfidenzintervall errechnet. In der Darstellung über der Simulationszeit lässt sich deutlich das Konvergenzverhalten erkennen (siehe Diagramm 2).

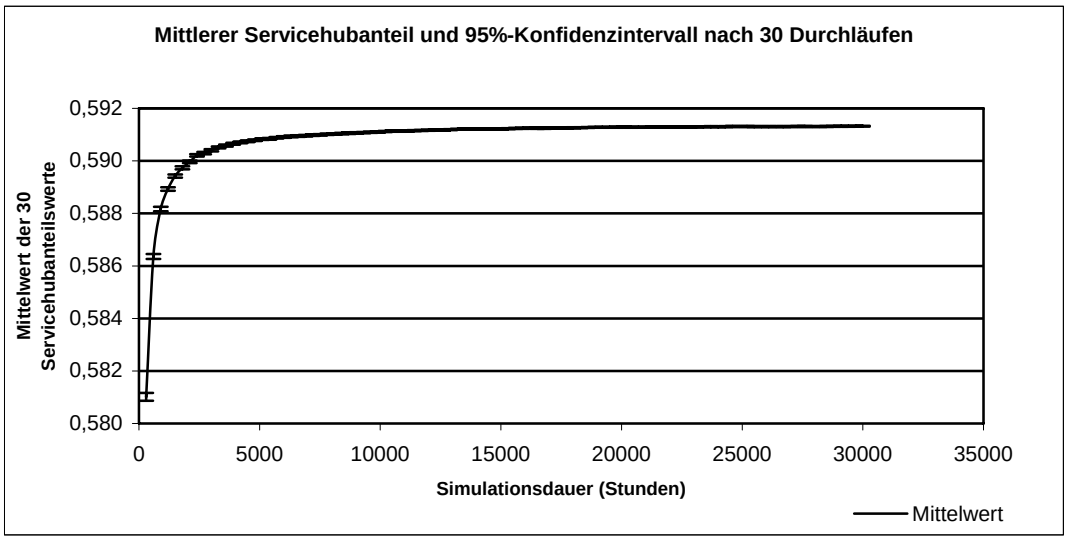


Diagramm 2: INIT-SSA, Strategie Levelling (S2), Sektorlänge 20', nur 20'-Container,30 Durchläufe, je 30000Stunden, 291 Container im Eingang pro Stunde, Messintervall 300 Stunden;

Um die Konvergenz des Servicehubanteils mit steigender Simulationsdauer deutlicher zu veranschaulichen, ist die Darstellung der Änderung des Mittelwertes der 30 Servicehubanteilwerte über die Simulationsdauer aussagekräftiger (vgl. Diagramm 3).

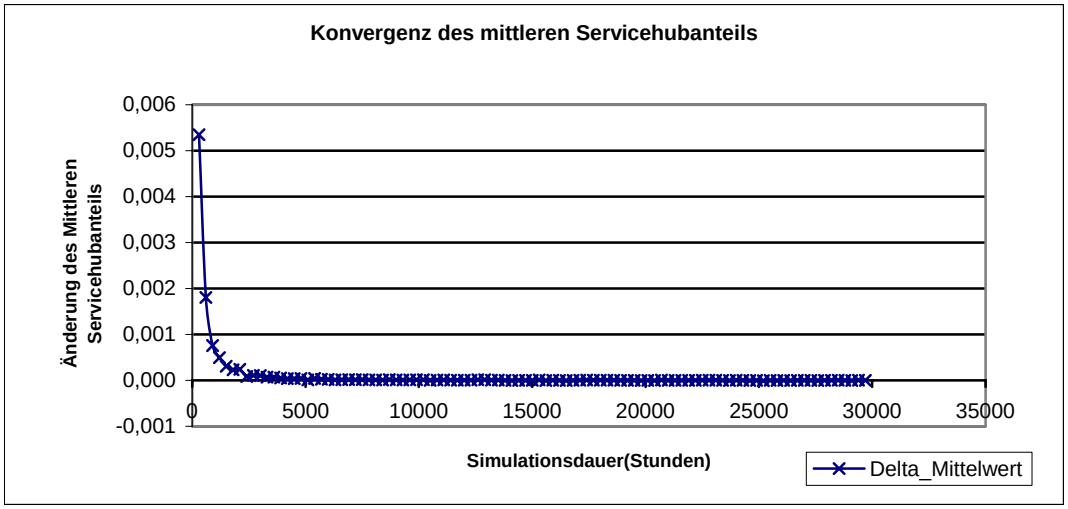


Diagramm 3: INIT-SSA, Strategie Levelling (S2), Sektorlänge 20', nur 20'-Container, 30 Durchlaufe, je 30.000Stunden, 291 Container im Eingang pro Stunde, Messintervall 300 Stunden;

Da auch das 95%-Konfidenzintervall über die Simulationsdauer ein Konvergenzverhalten aufweist (vgl. Diagramm 4), kann eindeutig von einem Steady-State-Modell gesprochen werden.

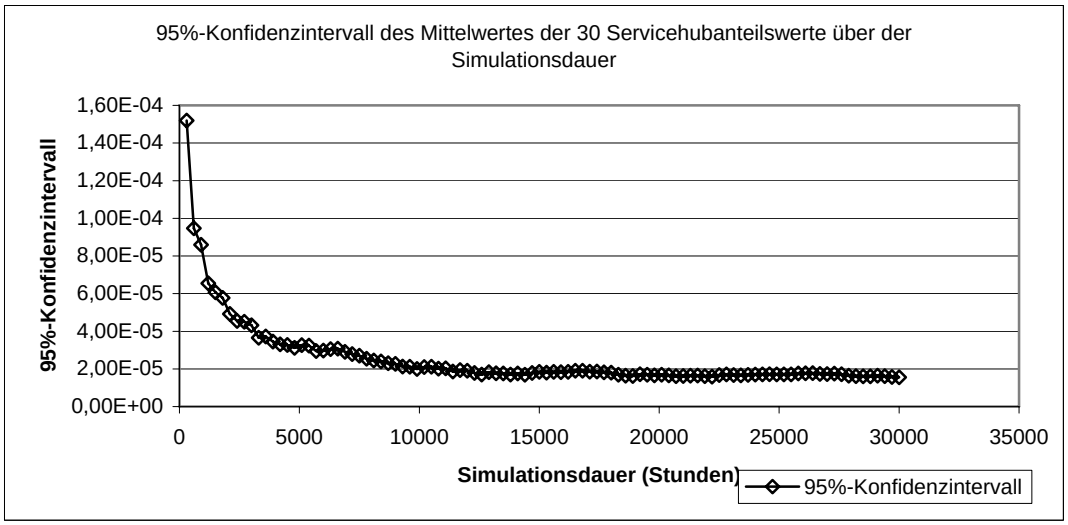


Diagramm 4: INIT-SSA, Strategie Levelling (S2), Sektorlänge 20', nur 20'-Container, 30 Durchlaufe, je 30.000Stunden, 291 Container im Eingang pro Stunde, Messintervall 300 Stunden;

Wie aus Diagramm 4 zu entnehmen ist, scheint sich jenes Vertrauensintervall bereits ab einer Simulationslänge von 20.000 Stunden unterhalb der 0.2Promillegrenze kaum zu verändern. Auch der Mittelwert der 30 Servicehubanteilswerte von 59.1% verändert sich in Diagramm 2 nach Ablauf der 20.000 Simulationsstunden kaum noch. Die Änderung des Konfidenzintervalls in Diagramm 5 stellt sich auch bereits nach 20.000 Stunden um den Null-Wert pendelnd ein.

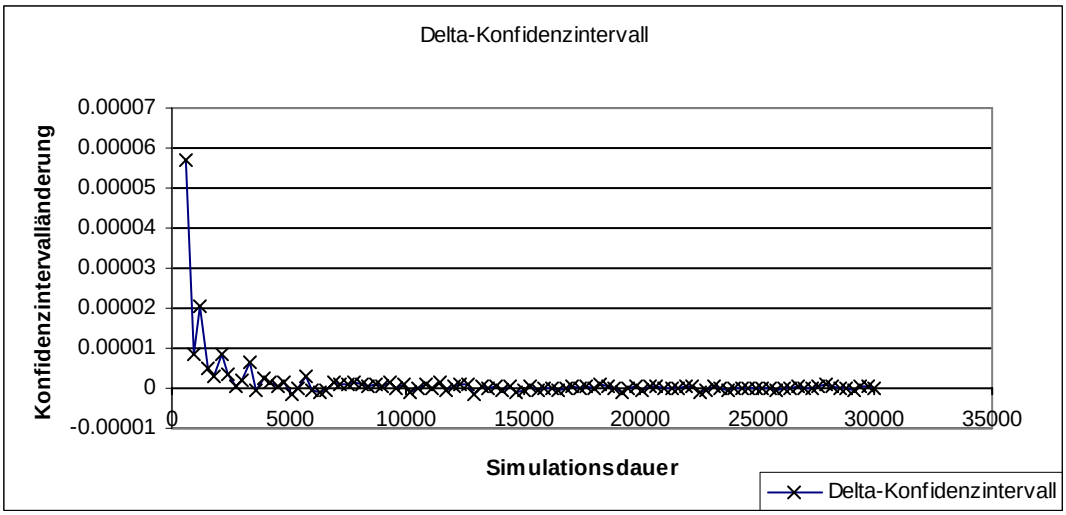


Diagramm 5: INIT-SSA, Strategie Levelling (S2), Sektorlänge 20', nur 20'-Container,30 Durchlaufe, je 30000Stunden, 291 Container im Eingang pro Stunde, Messintervall 300 Stunden;

Mit diesen Erkenntnissen wird eine Herabsetzung der Simulationsdauer auf 20.000 Stunden gerechtfertigt. In den folgenden Simulationsphasen A bis E wird deshalb die Simulationsdauer von 20.000 Stunden gewählt, was einer Betriebszeit von mindestens 2 Jahren und 4 Monaten ohne Unterbrechung und unter Vernachlässigung der Kranungszeiten entspricht.

4.1.3. Random-Strategie (S1)

Die zufällige Auswahl von Stellplätzen für einzulagernde Container bietet die Möglichkeit, einen ersten Eindruck über die Entwicklung des Servicehubanteils steigender Blockauslastung zu bekommen, wenn keinerlei Informationen für eine Lagerstrategie verwendet werden. Fallen bei einer Blockdefinition mit einer Lage verständlicherweise noch keine Servicehübe an, so verschärft sich die Situation zusehends bei der Erweiterung des Blockes durch die Nutzung weiterer Lagen. Wichtig dabei ist die Erkenntnis, dass jede weitere Lage nicht denselben Steigerungseffekt des Servicehubanteiles bewirkt. Erklären lässt sich dieser Umstand durch die zunehmende Umwälzung des Lagers bei bereits hohen Servicehubanteilen. Die durch die Einlagerungsreihenfolge zwangsweise entstehende Tendenz jüngere Container auf bereits älteren vorzufinden, wird mit zunehmenden Servicehubanteilen abgeschwächt, da bei Servicehüben in einem hohen Lager durch das Umlagern der Container eines hohen Stapels Container älteren Datums auf die Lageroberfläche befördert werden. Im Gegenzug gelangen jüngere Container von der Oberfläche zunehmend auch in tiefere Lagerschichten. Dieser Synergieeffekt der Entnahme eines überstapelten Containers aus besonders tief liegenden Schichten ist eine Erklärung für den abnehmenden Servicehubanteilzuwachs pro Lagenerweiterung. Die Begrenzung des Blocks durch die Lagerhöhe hat bei der Random-Strategie mit steigender Blockauslastung die Konvergenz des Servicehubanteils an einen Grenzwert pro Lagenanzahl zur Folge. Bei

zwei Lagen scheint der Servicehubanteil maximal knappe 22%, bei 3 Lagen knappe 36%, bei 4 Lagen 45%, bei 5 Lagen 52%, bei 6 Lagen knappe 57% und bei 7 Lagen 62% zu erreichen.

Zur Erklärung lässt sich ein Servicehubanteil von 50% auch mit durchschnittlichen 4 Hüben pro Containerumschlag interpretieren. Dabei entfallen zwei Hübe auf Ein- und Auslagerung, und weitere zwei auf Servicehübe. Bei der Beurteilung und Verwendung dieser Zahlen ist jedoch auf die Eingangsparameter zu achten. Einerseits wurden hier nur Container der Länge 20' sowie mit einer Lagerzeit simuliert, die gemäß einer Dreiecksverteilung mit den Schranken 2 Stunden und 48 Stunden und einem Median von 24 Stunden gestreut ist.

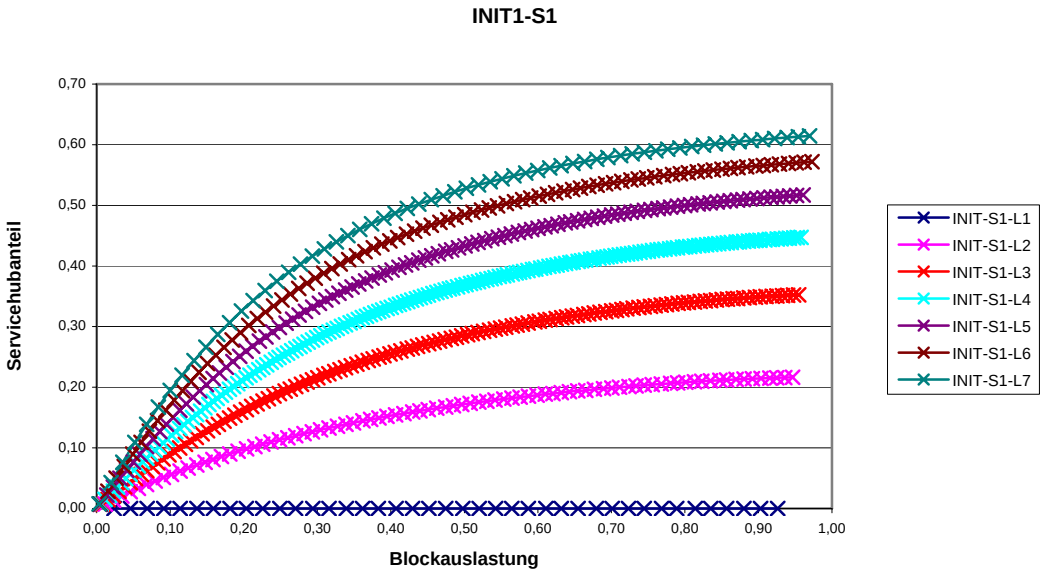


Diagramm 6: Phase INIT, Strategie Random-Stacking, Sektorlänge 20', 100% Schnelldreher, 100% stapelbare Container; 1 Lage (INIT-S1-L1) bis 7 Lagen (INIT-S1-L7);

Da ein kausaler Zusammenhang zwischen Stapelhöhe und Servicehubanteil besteht, ist es naheliegend, den Servicehubanteil in Relation zur durchschnittlichen Stapelhöhe darzustellen. Durch Multiplikation der Blockauslastung mit der Lagenanzahl erhält man die durchschnittliche Stapelhöhe. Diese Kalkulation ist zulässig, da durch die gewählten Simulationsparameter (Sektorlänge, Containerlänge) Lückenbildung ausgeschlossen werden kann.

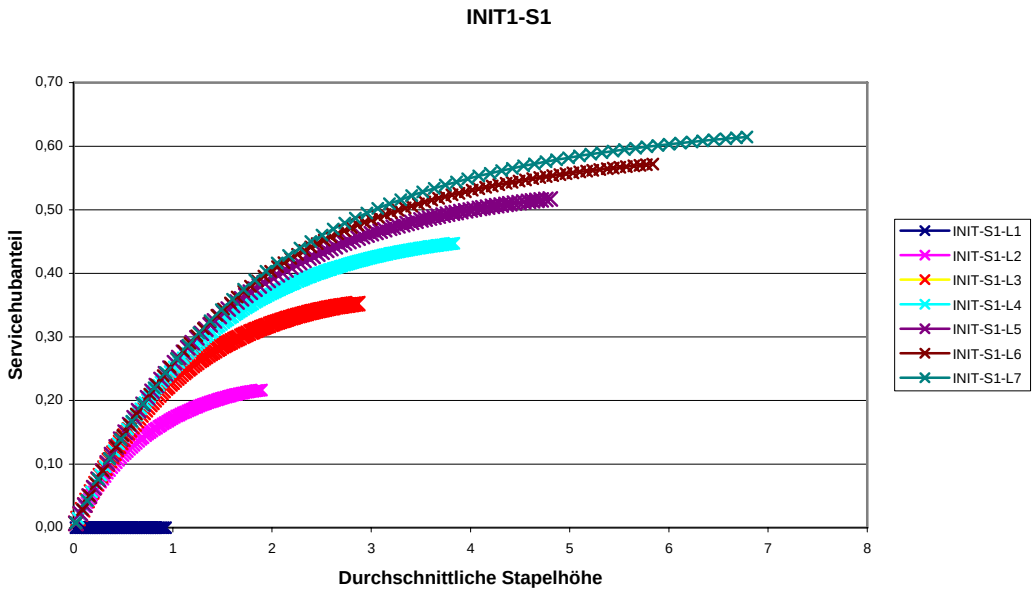


Diagramm 7: Phase INIT, Strategie Random-Stacking, Sektorlänge 20', 100% Schnelldreher, 100% stapelbare Container; 1 Lage (INIT-S1-L1) bis 7 Lagen (INIT-S1-L7);

In dieser Darstellung (Diagramm 7) lässt sich die Differenz von einer Serviceanteilskurve zur derjenigen, die sich auf eine Lagerblockdefinition mit einer Lage mehr bezieht, durch den Anteil der Stapel erklären, die bereits die maximal zulässige Lagerhöhe erreichen.

4.1.4. Levelling Strategie (S2)

Die Levelling-Strategie lässt vermuten, dass durch die strategiebedingte Minimierung der Stapelhöhe der Servicehubanteil auf das allernotwendigste Maß reduziert wird. Das Diagramm 8 zeigt einen deutlich anderen Verlauf des Servicehubanteils bei verschiedenen Lagenanzahlen als die Random-Strategie zuvor. Durch die obligate Nutzung der Grundfläche, bleiben die Serviceanteilskurven bis zur jeweiligen Blockauslastung, die mit dem Beginn der Auffüllung der zweiten Lage gleichzusetzen ist, auf dem Nullwert. Solange der Lagerstand über die erste Lage nicht hinauswächst, fallen auch keine Servicehübe an. Der darauf folgende Anstieg ist, je nach definierter Lagenanzahl, in ein bis sechs Bereiche unterteilbar. Jeder Abschnitt weist einen konvexen Verlauf bis zu dem jeweils nächsten Schwellwert auf. Diese Niveaus sind mit den maximalen Servicehubanteilen bei voller Auslastung der Random-Strategiekurven gleichzusetzen (vgl. 4.1.6). Durch die sukzessive Auffüllung der Lagen sind die Szenarien, in denen die Kapazität einer weiteren Lage gerade erreicht wird, mit jenen der Random-Strategie vergleichbar, bei denen die volle Blockauslastung gegeben ist. Im einen Fall wird die Lagerhöhe strategiebedingt limitiert, im Fall der Random-Strategie ist die Blockdefinition die limitierende Größe, die den Lagerstand auf die oberste Lage begrenzt.

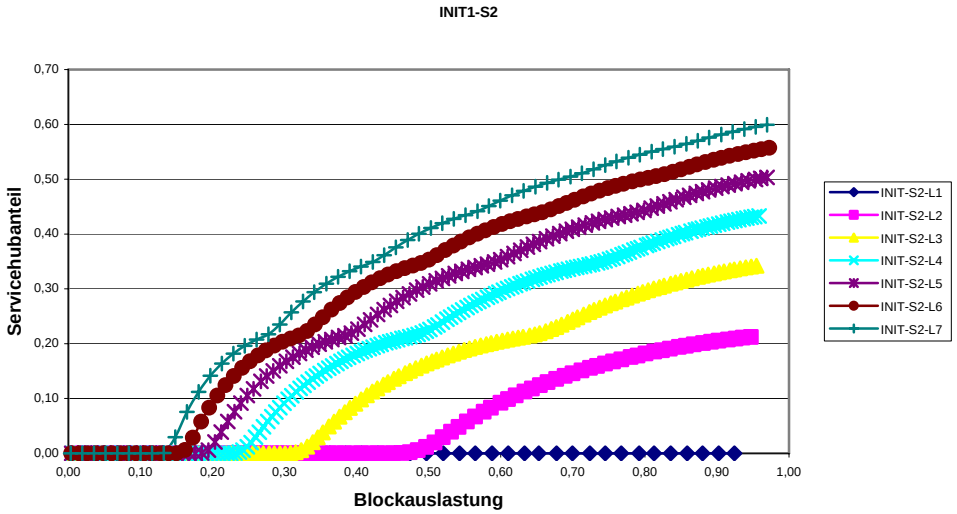


Diagramm 8: Phase INIT, Strategie Levelling, Sektorlänge 20', 100% Schnelldreher, 100% stapelbare Container; 1 Lage (INIT-S2-L1) bis 7 Lagen (INIT-S2-L7);

In der analogen Darstellung der Servicehubanteile über der durchschnittlichen Lagerhöhe (Diagramm 9) zeigt sich die komplette Überlagerung der Kurven. Da in diesem Diagramm die Servicehubanteile unabhängig der Blockkapazität und somit auch der Lagenanzahl dargestellt werden, fällt das einzige unterscheidende Merkmal der Szenarien weg. Umso deutlicher ist erkennbar, dass jede Erweiterung durch eine Lage die Kurve der Servicehubanteile exakt gleich verlaufen lässt, und nur um einen weiteren Abschnitt ergänzt, der die Auffüllung einer weiteren Lage widerspiegelt. Der konvexe Verlauf der Teilabschnitte ist wieder durch die zunehmende Umwälzung des Lagerblocks erklärbar. Sind es nur wenige Container, die in der obersten Lage gelagert werden, verursachen diese anteilig etwas mehr Servicehübe im Gegensatz zu den Szenarien mit höheren Füllgraden der letzten Lage. Dieser Effekt verblasst aber mit zunehmender Lagerhöhe, da die Umwälzung durch Servicehübe bei größerer Auslastung ohnehin schon hoch ist. „Junge" Container werden beim Einlagern häufig auf ältere in die oberen Lagen gestellt. Diese „jungen Container" der obersten Lage verursachen Servicehübe, wenn die älteren unter ihnen ausgelagert werden. In diesem Fall ist bei der Levelling-Strategie die Wahrscheinlichkeit groß, dass diese noch jungen Container wieder in hohen Lagen eingelagert werden, und weitere Servicehübe initiieren. Mit zunehmendem Lagerstand und Servicehubanteil kommt es aber zu einer besseren Umwälzung des Lagers, was dazu führt, dass „jüngere" Container der obersten Lage durch Servicehübe früher in tiefere Lagen geraten und durch ihre durchschnittliche längere verbleibende Liegezeit als „ältere" Container weniger Servicehübe verursachen.

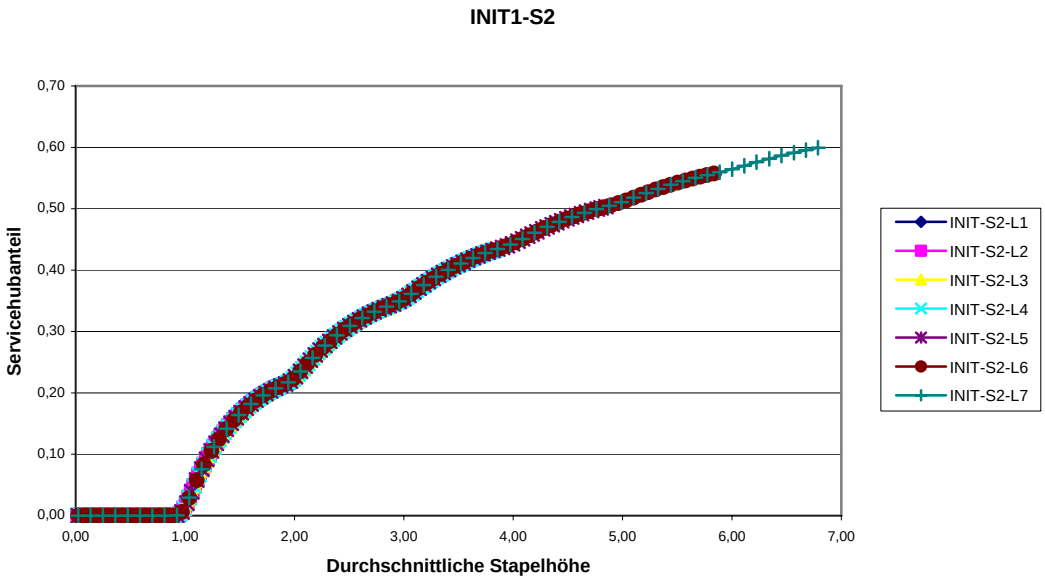


Diagramm 9: Phase INIT, Strategie Levelling, Sektorlänge 20', 100% Schnelldreher, 100% stapelbare Container; 1 Lage (INIT-S2-L1) bis 7 Lagen (INIT-S2-L7);

4.1.5. Stacking-Strategie (S3)

Die Strategie möglichst hohe Stapel zu bilden führt erwartungsgemäß zu einem besonders hohen Servicehubanteil. Schon bei niedrigen Blockauslastungen schlägt sich die Stapelbildung bis zur vorgegebenen Grenze laut Blockdefinition in dem konstant hohen Servicehubanteil nieder (vgl. Diagramm 10). Die jeweiligen Niveaus entsprechen wieder den Grenzwerten des Servicehubanteils dieser Konfiguration bei der jeweiligen Lagenanzahl, wie sie schon bei der Random- und der Levelling-Strategie beobachtet worden sind. Bei besonders niedriger Umschlagsmenge erreicht der Servicehubanteil noch nicht die erwartete Größe, da sich zu wenige Container im Lager befinden, um alle Stapel auf die volle Lagenanzahl zu bringen.

Besonders deutlich lassen sich bei dieser Darstellung die Grenzniveaus bestimmen. Wie auch schon in den vorherigen Strategieergebnissen nimmt auch hier der Niveauunterschied mit zunehmender Lagerhöhe durch die bessere Umwälzung ab.

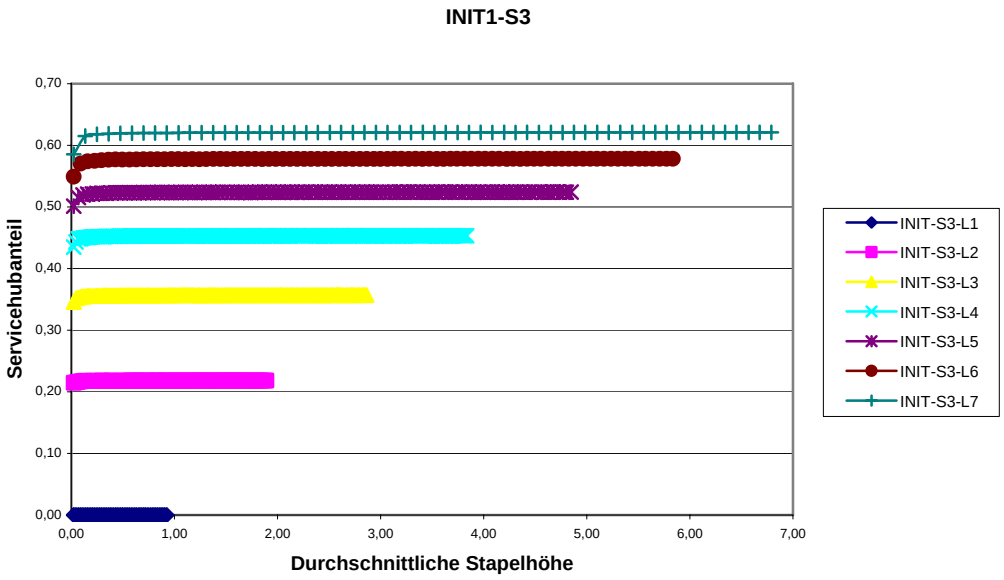


Diagramm 10: Phase INIT, Strategie Stacking, Sektorlänge 20', 100% Schnelldreher, 100% stapelbare Container; 1 Lage (INIT-S3-L1) bis 7 Lagen (INIT-S3-L7);

4.1.6. Zusammenfassende Diskussion der „INIT"-Phase

Die gemeinsame Darstellung der Servicehubanteilskurven (Diagramm 11) zeigt deutlich die jeweiligen Bereiche, in denen je nach Lagenanzahl der Servicehubanteil zu liegen kommen kann. Nach oben sind die Bereiche durch die Grenzniveaus der Stacking-Strategie begrenzt. Die Grenzkurve der Levelling-Strategie gibt eine erste Richtmarke für den niedrigsten erreichbaren Servicehubanteil. Dabei gilt jeweils die Grundannahme, dass keinerlei Informationen über die Lagerzeit oder eine etwaige Entnahmereihenfolge einzelner Container in eine Strategie einbezogen werden. Eine weitere Absenkung des Servicehubanteils unter jene Grenze der Levelling-Strategie kann nur durch die Berücksichtigung von zusätzlichen Informationen über Lagerzeiten oder Entnahmereihenfolgen erfolgen.

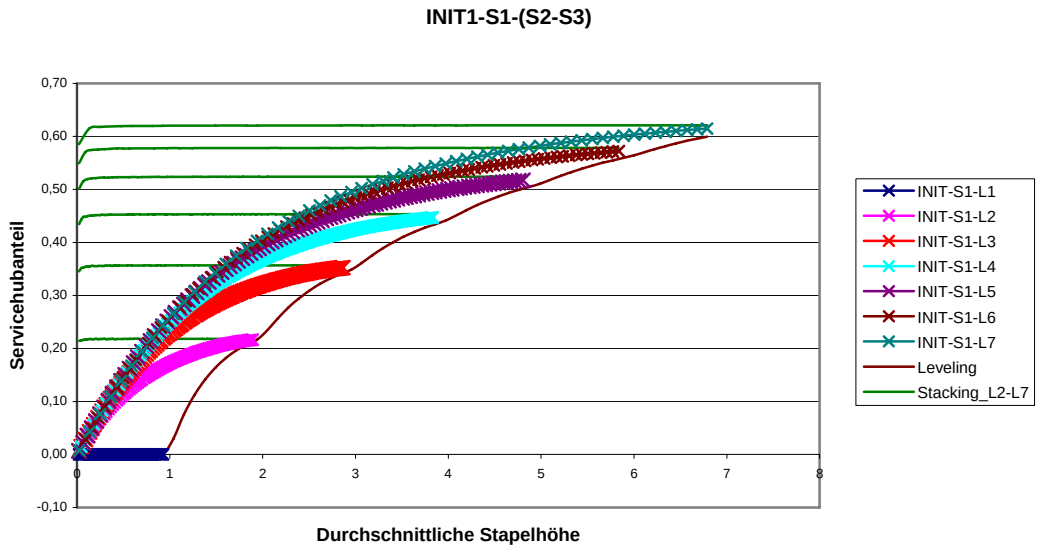


Diagramm 11: Phase INIT, Strategie: Random-Stacking (Levelling, Stacking), 1-7 Lagen, Sektorlänge 20'; 100% Schnelldreher, 100% stapelbare Container;

Die Ergebnisse der Szenarien der Initialphase zeigen die korrekte Umsetzung der Basisstrategien und bilden den Servicehubanteil ohne Einwirkung von Störgrößen ab. Die Auswirkung einer Erweiterung des Lagerblockes auf bis zu sieben Lagen ist dargestellt worden. Weiters wurde das Modell als Steady-State-Modell verifiziert, und die Simulationsdauer von 20.000 Stunden für folgende Simulationsdurchläufe weiterer Simulationsphasen begründet. In den folgenden Phasen wird, durch sukzessives Einführen von Einflussgrößen, deren Auswirkungen auf das Verhalten des Servicehubanteils bei steigender Umschlagsmenge untersucht. In der Phase „A" liegt das Interesse auf dem Einfluss von verschiedenen Sektorlängen einerseits und einem bereits unterschiedlichen Containermix, da Unterschiede in der Containerlänge generiert werden.

4.2. Phase „A"

In dieser Gruppe von Simulationsszenarien liegt das Hauptaugenmerk auf der Variation der Sektorlängen von 40' über 60' hin zu 80'. Danach wurde auch die Einteilung in Phase A1, A2 und A3 vorgenommen. Innerhalb jeder dieser Szenariengruppen wurden, unter Verwendung der drei Basisstrategien, die Containereingangsströme hinsichtlich der Containerlängenverteilung variiert. In Anlehnung an die Standardcontainerlängen im maritimen Verkehr werden 20'- und 40'-Containeranteile jeweils in 10%-Anteilen variiert. In den Legenden der Grafiken wird nach der Simulationsphase (A1, A2, A3), der Strategie (S1, S2, S3) das Verhältnis der 20'- zu den 40'-Containern angegeben (100-0 bis 0-100).

4.2.1. Random-Strategie (S1)

Die in Diagramm 12 dargestellten Ergebnisse zeigen einen grundsätzlich ähnlichen

konvexen Verlauf des Servicehubanteils über der Blockauslastung. Die erste Kurve mit dem durchwegs höchsten Servicehubanteil stellt den Verlauf bei einer Beschickung des Lagers mit ausschließlich 20'-Containern dar. Sie ist von der Entwicklung des Servicehubanteils in der ersten Phase („INIT") bei drei Lagen nicht zu unterscheiden. Da die Sektoren mit 40' Länge auch von 20'-Containern lückenlos befüllt werden können, fällt die unterschiedliche Sektorlänge nicht ins Gewicht. Die Erhöhung des Anteils von 40'-Containern bewirkt jedoch vor allem bei Blockauslastungen unter 50% eine Veränderung des Servicehubanteils. Dieser nimmt mit zunehmenden Anteilen der 40'-Container bis zum Ausgleich der Anteile ab, da sich die Containermenge auf Stapel der 20'-Dimension und jene der 40'-Dimension aufteilt. Dadurch ist das Auftreten servicehubrelevanter hoher Stapel bei einer Gleichverteilung des Einganges auf die beiden Containerlängen unwahrscheinlicher. Bei einer Blockauslastung von etwa 15% geht der Servicehubanteil dadurch bei dem 3-lagigen Block um 7 Prozentpunkte zurück. Mit zunehmender Blockauslastung wird der Effekt geringer. Auch bei dem 4- und 5-lagigen System liegt der Servicehubanteil bei ausgeglichenem Verhältnis zwischen 20'- und 40'-Containern unterhalb der 20%-Marke der Blockauslastung etwa 7% unter den Servicehubanteilen bei homogenem 20'-Containereingang. Nimmt der Anteil an 40'-Containern überhand, so stellt sich eine Minderung des Effektes ein. Die Kurve des Servicehubanteils des reinen 40'-Containerstromes erreicht jedoch nicht wieder das Niveau des Servicehubanteils des reinen 20'-Containerstromes. Dieses Verhalten des Servicehubanteils lässt sich durch die größere Anzahl der Stapelmöglichkeiten der kürzeren 20'-Container erklären.

Ist beispielsweise mit einer Containermenge von 2 TEU mit zwei 20'-Containern bereits eine Stapelbildung möglich, kann ein 40'-Container keine Servicehübe auslösen. Bei einer Menge von 4 TEU ist mit 20'-Containern bereits mit geringer Wahrscheinlichkeit ein Stapel mit 4 Lagen möglich, mit 40'-Containern jedoch nur einer der Höhe 2.

Die Ergebnisse der Simulationsläufe unter Verwendung von 4 und 5 Lagen gleichen den besprochen Ergebnissen mit der Ausnahme des höheren Servicehubniveaus wie in der INIT-Phase (vgl. 4.1) bereits beschrieben. Die analogen Simulationsergebnisse sind aus den Excel-Dokumenten zu entnehmen, die dem Anhang beigefügt sind.

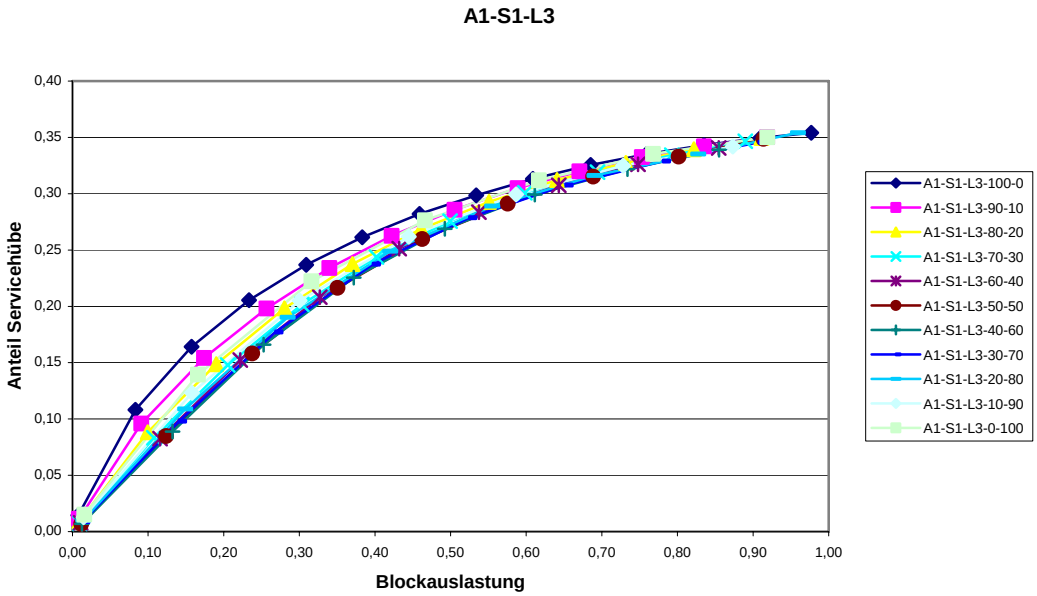


Diagramm 12: Phase A1, Strategie Random-Stacking (S1), 3 Lagen, Sektorlänge 40'; Erhöhung des Anteils 40'-Container von 0% (A2-S1-L3-100-0) auf 100% (A2-S1-L3-0-100).

Wird der Lagerblock nicht in 48 40'-Sektoren sondern in 32 60'-Sektoren unterteilt, bleibt die Lagenkapazität von 768 TEU erhalten. Die entscheidende Auswirkung dieser strategischen Entscheidung zeigt das folgende Diagramm 13.

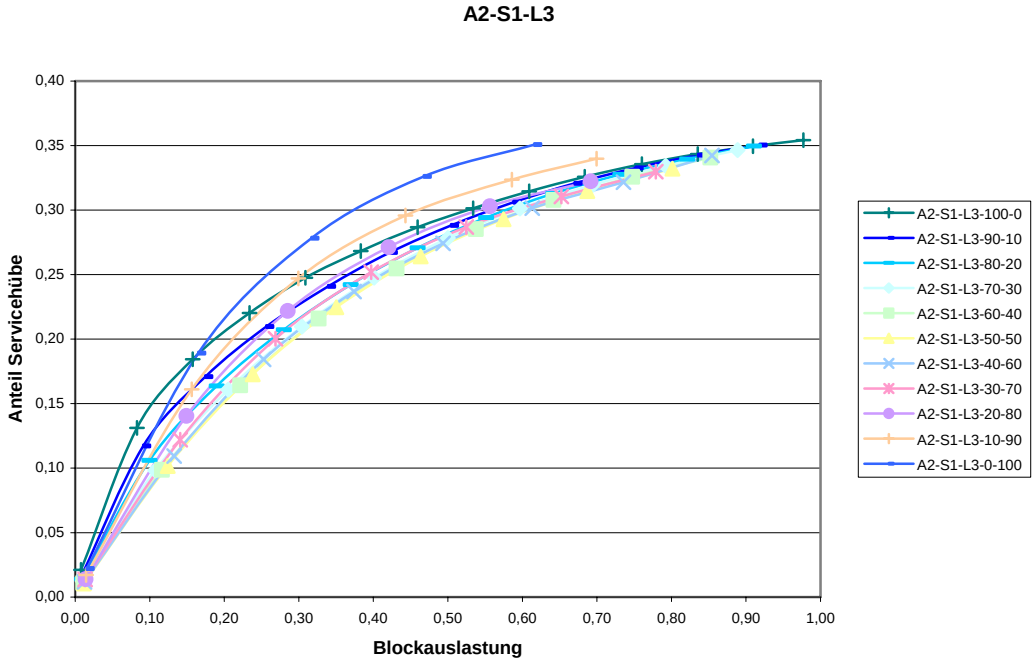


Diagramm 13: Phase A2, Strategie Random-Stacking (S1), 3 Lagen, Sektorlänge 60'; Erhöhung des Anteils 40'-Container von 0% (A2-S1-L3-100-0) auf 100% (A2-S1-L3-0-100).

Zusätzlich zu dem Effekt der Dämpfung des Servicehubanteils durch die Verteilung der Containermengen auf zwei Kategorien (20' und 40' Container), ist eine deutliche

Verschiebung der Servicehubanteilskurven bei hohem Anteil der 40’-Container zu erkennen. Diese Auswirkung ist auf die zunehmenden Lücken zurückzuführen, die durch die Belegung der 60’-Sektoren mit 40’-Containern entstehen, jedoch die Menge der 20’-Container nicht mehr ausreicht, um die Kapazität zu nutzen. Dadurch geht mit zunehmendem 40’-Containeranteil letztlich Lagerkapazität verloren. Ausschließlich 40’-Container sind nur mehr in Lage ein Drittel der Kapazität zu nutzten, da in jedem Sektorelement ein Platz mit der Restlänge von 20’ ungenutzt bleibt. Die Zunahme der Steigung der Servicehubanteilskurve der betroffenen Szenarien bei einem 40’-Containeranteil über 50% ist daher rein auf eine Diskrepanz zwischen nomineller und realer Lagerkapazität von 40’-Containern zurückzuführen. Dabei wird unter der nominellen Lagerkapazität jene verstanden, die sich aus den Blockdimensionen errechnen lässt, unter der realen aber die maximal nutzbare Lagerkapazität. Die reale Lagerkapazität kann durch das Zusammenspiel von gewählter Sektorlänge, der Längencharakteristik des Containerstromes, des Ankunftsverhaltens (Schwankungen in der Längencharakteristik über die Zeit) sowie der Lagerstrategie von der nominellen mehr oder weniger stark nach unten abweichen. Da sich in diesem Modell die Längencharakteristik des Containerstromes (Containermix) über die Simulationszeit nicht verändert, kann der Einfluss des Ankunftsverhaltens auf die Simulationsergebnisse vernachlässigt werden. Der Kapazitätsverlust durch die anderen Parameter lässt sich in zwei Anteile gliedern: jenen Anteil, der durch die physischen Gegebenheiten der Containermaße und der Sektorlänge verursacht wird, und jenen, der auf die Lagerstrategie zurückzuführen ist. Nicht in jedem System, in dem Lücken auftreten, sind beide Anteile vorhanden. Mit der Anpassung von Lagerstrategien lässt sich zumindest der zweite Anteil des Kapazitätsverlustes durch Vermeidung von Lückenbildung beeinflussen. Andererseits ist bei einem hohen Maß an Ersterem die Wahl der Sektorlänge zu hinterfragen, und gegebenenfalls an die Containerlängenverteilung anzupassen.

Mit der Wahl der Sektorlänge von 80’ wird dieser Effekt großteils abgefangen. In Diagramm 14 lässt sich von diesen Tendenzen nur noch eine etwas verzögerte Abnahme der Steigung der Kurven mit einem 40’-Containeranteil über 50% erkennen. Am deutlichsten jedoch bei einem 40’-Containeranteil von 100%. Die Sektorlänge von 80’ bietet im Verhältnis zur vorigen Sektorlänge von 60’ mehr Möglichkeiten für die Einlagerung von verschiedenen 20’-40’-Containermengenverhältnissen.

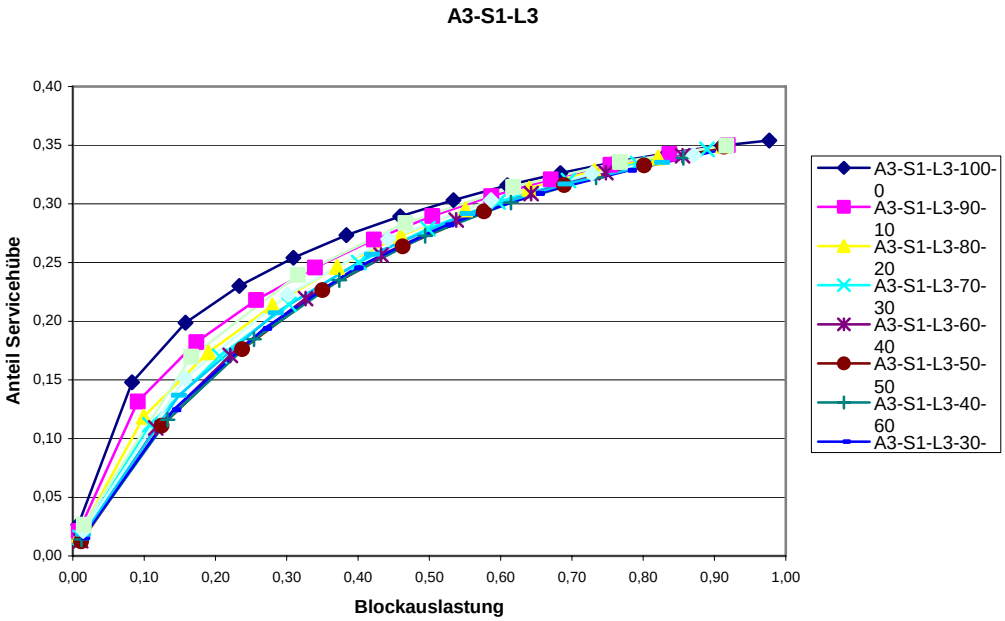


Diagramm 14: Phase A3, Strategie Random-Stacking (S1), 3 Lagen, Sektorlänge 80'; Erhöhung des Anteils 40'-Container von 0% (A3-S1-L3-100-0) auf 100% (A3-S1-L3-0-100).

Da bei einer Sektorlänge von 80' nun bei einer hohen Anzahl an 40'-Containern auch eine lückenlose Einlagerung möglich ist, lässt sich der zuvor identifizierte Kapazitätsverlust kaum mehr feststellen. Die leichte Änderung der Steigung der Servicehubanteilskurve bei hohem 40'-Anteil ist eine Auswirkung der Balance zwischen dem Containerlängenverhältnis und der Anzahl der Sektoren, die beide Containerlängen beinhalten. Durch die zufällige Auswahl des Lagerplatzes sind anteilig zu viele 20'-Containergrundplätze vorhanden, da jeder 20'-Containergrundplatz durch die Sektorlänge 80' einen zweiten erzwingt. Das führt zu höheren 40'-Stapeln, welche wiederum den Servicehubanteil leicht ansteigen lassen. Auch in den Simulationsläufen mit größerer Blockhöhe bilden sich die Verhältnisse analog ab.

4.2.2. Levelling-Strategie (S2)

Die Simulationsergebnisse unter dem Einsatz der Levelling-Strategie und der Variation der 20'-40'-Containerlängenverhältnisse lassen die Gefahr, welche diese Strategie in sich birgt, deutlich erkennen. Auch hier sind Ergebnisse zwischen der Betrachtung der 3-, 4- und 5-lagigen Lagerdefinition analog vergleichbar. Am besten lassen sich die Kurven in der Abbildung der Ergebnisse des Lagers mit 5 Lagen erklären, da durch die höhere Kapazität mehr Simulationsläufe und somit auch mehr Datenpunkte das Verhalten des Servicehubanteils widerspiegeln. Der ersten Betrachtung liegen wieder die Simulationen der Phase „A1" mit einer Sektorlänge von 40' zugrunde (Diagramm 15).

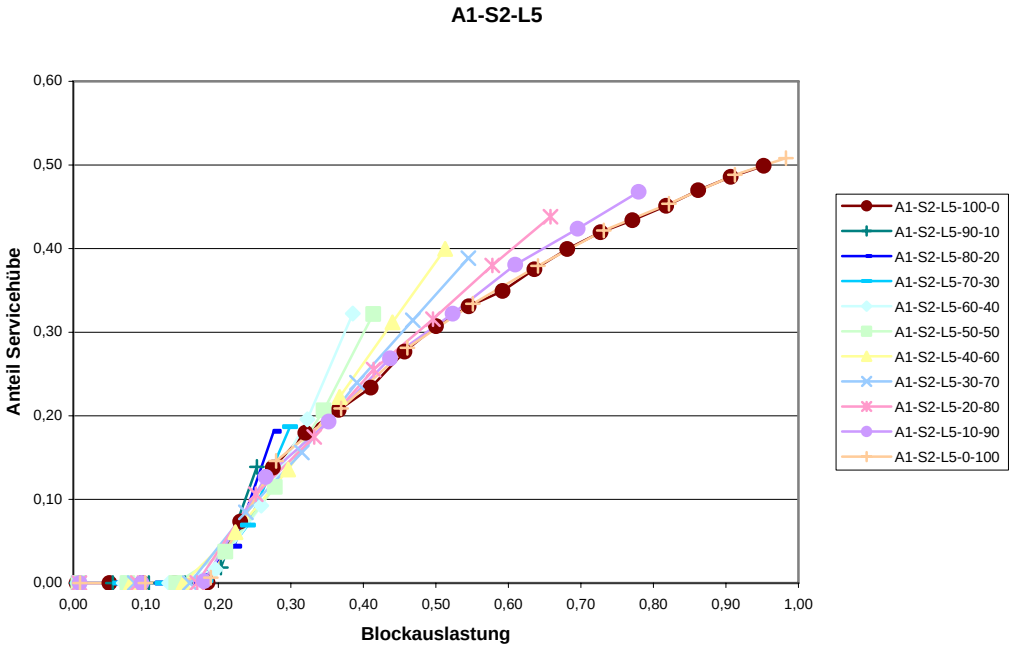


Diagramm 15: Phase A1, Strategie Levelling (S2), 5 Lagen, Sektorlänge 40'; Erhöhung des Anteils 40'-Container von 0% (A1-S2-L5-100-0) auf 100% (A1-S2-L5--0-100).

Die beiden Servicehubanteilskurven, welche durch eine homogene Containerlänge im Eingang hervorgerufen werden, entsprechen exakt den Verhältnissen, wie sie sich in der ersten Simulationsphase dargestellt haben. Die leicht wellige Gliederung in die Auffüllungsphasen der einzelnen Lagen ist eindeutig zu erkennen. Dabei wird auch das Grenzniveau von über 50% bei 5 Lagen und voller Lagerauslastung analog zu den bisherigen Ergebnissen erreicht. Da in der Strategie Stapel soweit wie möglich vermieden werden, gibt es im Servicehubanteil keine Unterschiede zwischen den Durchläufen mit lediglich 20'-Containern und 40'-Containern im Eingang, wie sie zuvor in der Random-Strategie durch die höhere Anzahl der Stapelmöglichkeiten erkennbar waren. Die Auswirkungen durch die Mischung von 20'- und 40'-Containern stellen sich für die Levelling-Strategie als fatal heraus. Das Auffüllen der Grundfläche kommt durch die Bedingung, dass nur Container derselben Länge übereinander gestapelt werden dürfen, einer Einteilung der Lagerkapazität nach Containerlängenklassen gleich. Da die Levelling-Strategie die Einlagerung der Container in die erste Lage, konform der tatsächlichen Containerlängenverteilung, nicht gewährleistet (dafür ist vor allem die Streuung der Liegezeiten verantwortlich), kommt es je nach Abweichung bereits bei geringen oder auch bei höheren Blockauslastungen zu einem Anwachsen der Warteschlange (Liste 1) und in weiterer Konsequenz zum Simulationsabbruch. Auffallend ist, dass die Simulationsdurchläufe mit höherem 20'-Containeranteil bei geringerer Blockauslastung abbrechen. Das liegt daran, dass ein hoher Anteil an 20'-Container viele Grundpositionen derart belegt, dass die bleibenden Lücken für die längeren 40'-Container nicht ausreichen.

Als Folge daraus können selbst wenige 40’-Container nicht eingelagert werden. Nimmt der Anteil der 20’-Container ab, wächst auch die Anzahl der 40’-Containerplätze, die durch die Belegung mit mehreren Containern nicht mehr zwischenzeitlich abgebaut werden und damit nicht mehr Gefahr laufen, von 20’-Containern okkupiert zu werden. Der jeweilige Anstieg der Servicehubanteilskurven kurz vor dem Abbruch ist durch ein extremes Ansteigen der Servicehubausnahmefälle (Liste 4) zu erklären. Da für die (hier 40’-Container) auch bei Servicehüben kein Lagerplatz gefunden wird, werden sie auf einer Ausweichfläche für die Dauer des Servicehubs abgestellt, und danach wieder in den Block an dieselbe Position gehoben. Dadurch fallen zusätzliche Servicehübe an, die den Anteil kurz vor dem Abbruch ansteigen lassen.

Die Wechselwirkung zwischen Lagerstrategie und dem Kapazitätsverlust ist ein besonders eindrucksvolles Beispiel von der Abweichung von nomineller und realer Lagerkapazität, welche rein durch die Lagerstrategie verursacht wird. Daraus lässt sich die Notwendigkeit ableiten, dass eine Levelling-Strategie nur innerhalb homogener Lagerbereiche ihre Stärken entfalten kann. Eine Lösung wäre die Kombination einer Yard-Planning-Strategie mit der Levelling-Strategie. Für diese Simulationsdurchläufe würde das bedeuten, den Lagerblock in Bereiche gemäß der Containerlängenverteilung zu unterteilen. Das setzt allerdings eine genaue Kenntnis über die tatsächliche Containerlängenverteilung voraus.

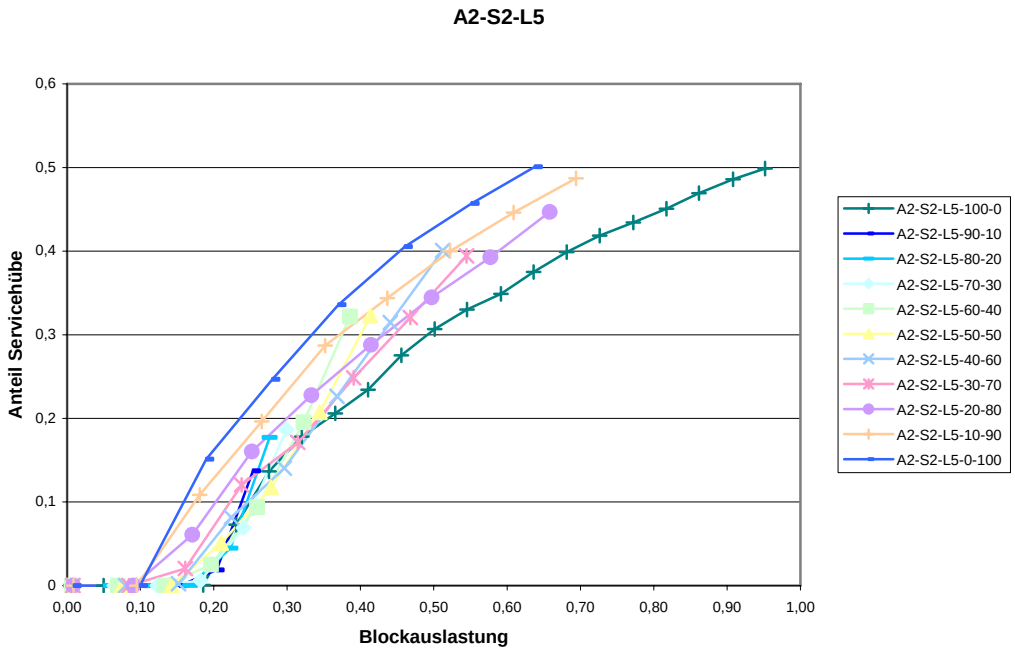


Diagramm 16: Phase A2, Strategie Levelling (S2), 3 Lagen, Sektorlänge 60’; Erhöhung des Anteils 40’-Container von 0% (A2-S2-L5-100-0) auf 100% (A2-S2-L5-0-100).

Bei einer Sektorlänge von 60’ ist in Diagramm 16 derselbe Effekt abzulesen, wie er in den Ergebnissen der Random-Strategie zu finden war. Die Minderung der Kapazität durch die

Lücken in den 60’-Sektoren, die nur durch 40’-Contaiener belegt werden, lassen den Servicehubanteil bei hohem 40’-Containeranteil schon bei geringerer Blockauslastung ansteigen. Wie zuvor liegt der Grund dafür in dem strukturellen Kapazitätsverlust von bis zu 30% bei homogenem 40’-Containereingang.
Auch in der Phase A3 zeigt der Servicehubanteil bei einer Sektorlänge von 80’ ein gleiches Verhalten wie bei den Ergebnissen unter der Sektorlänge 40’.

4.2.3. Stacking-Strategie (S3)

Die Stacking-Strategie zeigt durchwegs hohe Servicehubanteile. Wieder lassen sich die Niveaus des Servicehubanteils für die jeweilige Lagenanzahl deutlich erkennen. In allen Ergebnissen mit unterschiedlichen Sektorlängen erreichen die Servicehubanteile bei 3 Lagen ein Niveau von 53,6%, bei 4 Lagen 45,3% und bei 5 Lagen ein markantes Plateau von 52.4%. Das Diagramm 17 zeigt die Ergebnisse der Simulationsläufe mit einer Blockdefinition von 5 Lagen und einer Sektorlänge von 40’. Das leichte Ansteigen einiger Servicehubanteilkurven knapp vor dem Erreichen der vollen Blockauslastung ist wieder auf den Anteil der Servicehubausnahmefälle zurückzuführen.

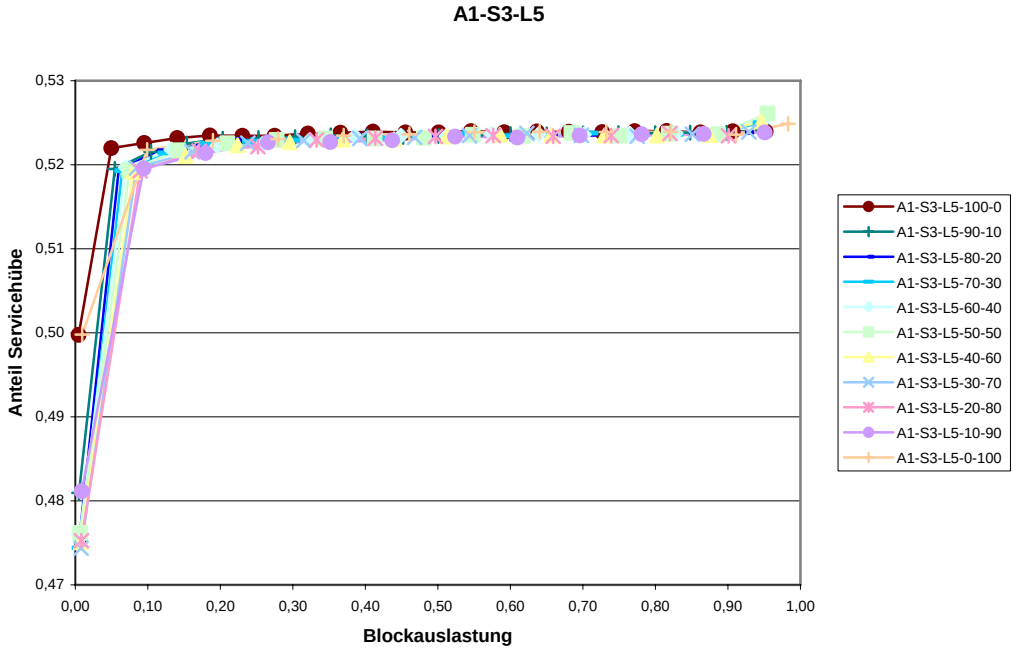


Diagramm 17: Phase A1, Strategie Stacking (S3), 5 Lagen, Sektorlänge 40’; Erhöhung des Anteils 40’-Container von 0% (A1-S3-L5-100-0) auf 100% (A1-S3-L5-0-100).

Die Verwendung einer Sektorlänge von 60’ (vgl. Diagramm 18) wirkt sich auf die Servicehubanteile bei der Stacking-Strategie kaum aus. Die Niveaus bleiben auf denselben Werten. Lediglich die Durchläufe mit hohem 40’-Containeranteil brechen wieder etwas früher ab. Auch die Ergebnisse der robusten Stacking-Strategie, die keinen strategischen

Kapazitätsverlust verursacht, unterliegen dem physisch verursachten Anteil zwischen nominaler und realer Kapazität. Die überhöhten Servicehubanteile kurz vor dem Abbruch sind wieder durch Servicehubausnahmefälle verursacht.

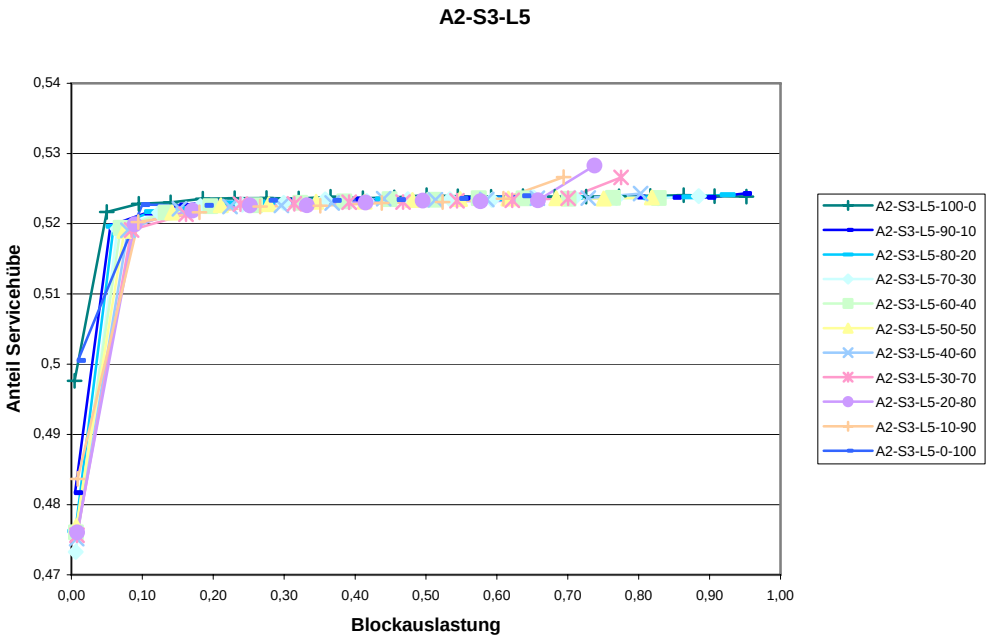


Diagramm 18: Phase A2, Strategie Stacking (S3), 5 Lagen, Sektorlänge 60'; Erhöhung des Anteils 40'-Container von 0% (A2-S3-L5-100-0) auf 100% (A2-S3-L5-0-100).

Wie zu erwarten, gleichen die Ergebnisse bei einer Sektorlänge von 80' jenen bei 40', da bei der Belegung der Sektorelemente nicht mehr Lücken entstehen.

4.3. Phase „B“

Die Szenarien der Simulationsphase „B“ haben zum Ziel, die Auswirkungen von Veränderungen in der Lagerdauer auf die Servicehubanzahl darzustellen. Dazu werden den bisherigen schnelldrehenden Containern mit einer Lagerzeitverteilung von 2 Stunden bis 48 Stunden mit einem Median von 24 Stunden, gemäß den Erfahrungswerten auf österreichischen Inlandterminals, Lagercontainer mit Lagerzeiten zwischen 1 Tag und 20 Tagen mit einem Median von 10 Tagen beigemischt. Wie auch bei den schnelldrehenden Containern werden die Lagerzeiten gemäß einer Dreiecksverteilung generiert. Untersucht werden die Auswirkungen auf den Servicehubanteil bei steigender Blockauslastung unter Verwendung der oben beschriebenen Basisstrategien. Aufbauend auf den Ergebnissen der Phase „A“, in der ein ausgeglichenes Containerlängenverhältnis zwischen 20'-Containern und 40'-Containern zu dem niedrigsten Servicehubanteil unter der Random-Strategie geführt hat, werden alle Simulationsdurchläufe der Phase „B“ mit einem 20'- und 40'-Containeranteil von jeweils 50% (ITE) durchgeführt. In der folgenden Ergebnisanalyse werden nur die

Ergebnisse mit einer Blockdefinition von 5 Lagen dargestellt. Wie schon in der letzten Phase sind die Ergebnisse mit 3- und 4-lagiger Blockdefinition analog erklärbar und können aus der Datensammlung im Anhang entnommen werden.

4.3.1. Random-Strategie (S1)

Wird dem Containerstrom ein Anteil an Containern mit längerer Lagerdauer beigefügt, so hat das, durch die längeren Liegezeiten und damit verbundenen Kapazitätsverlusten, für die schnelldrehenden Container sofort Auswirkungen auf die Umschlagskapazität. Bei den Ergebnissen des 5-lagigen Blocks unter Verwendung der Random-Strategie ist der Einbruch in der Umschlagskapazität deutlich zu erkennen. Ohne Lagercontainer verursacht ein Containerstrom von 103 Stück pro Stunde durch die kurze Lagerdauer von rund einem Tag eine Lagerauslastung von 71%. Ein Lagercontaineranteil von 10% hat bereits massive Folgen. Da die Lagercontainer in der Simulation im Durchschnitt etwa die 10-fache Liegezeit besitzen, wird dabei die Lagerauslastung von 71% bereits bei einem Containerstrom von 55 Containern pro Stunde erreicht. Die längere Liegezeit der Lagercontainer führt dabei zu einem überproportionalen Lagercontaineranteil von bereits 53% der Container im Lagerblock. Gelangen die Lagercontainer durch Umwälzung des Lagers in tiefere Lagen so beeinträchtigen sie den Umschlag von schnelldrehenden Containern für die Dauer ihrer Lagerzeit kaum, müssen aber bei der Auslagerung mit großer Wahrscheinlichkeit mit einem zusätzlichen Servicehubaufwand ausgelagert werden. Die Lagerdauer der Lagercontainer ist daher nicht nur für die Umschlagseinbuße sondern auch maßgeblich an der Einsparung von Servicehüben verantwortlich. Je größer der Unterschied zwischen den Lagerzeiten der Lagercontainer und der Schnelldreher beträgt, desto eher findet der Umschlag der schnelldrehenden Container in oberen Lagen und daher mit geringerem Servicehubanteil statt. Wird das Lager mit einem homogenen Lagercontainerstrom beschickt, stellen sich die gleichen Servicehubanteile ein, wie sie bei ausschließlich schnelldrehenden Containern auftreten, da beide Lagerzeitverteilungen symmetrisch sind. Unter dem Einsatz der Random-Strategie ist eine deutliche Abnahme der Servicehubanteile bis zu einem Lagercontaineranteil im Eingang von 20% festzustellen (vgl. Diagramm 19). Der Servicehubanteil geht dabei um bis zu 10 Prozentpunkte zurück. Diese Beobachtung gilt für alle 3 Lagerblockdimensionen von 3 bis 5 Lagen. Eine weitere Erhöhung des Lagercontaineranteils bewirkt keine Abnahme der Servicehubanteile mehr.

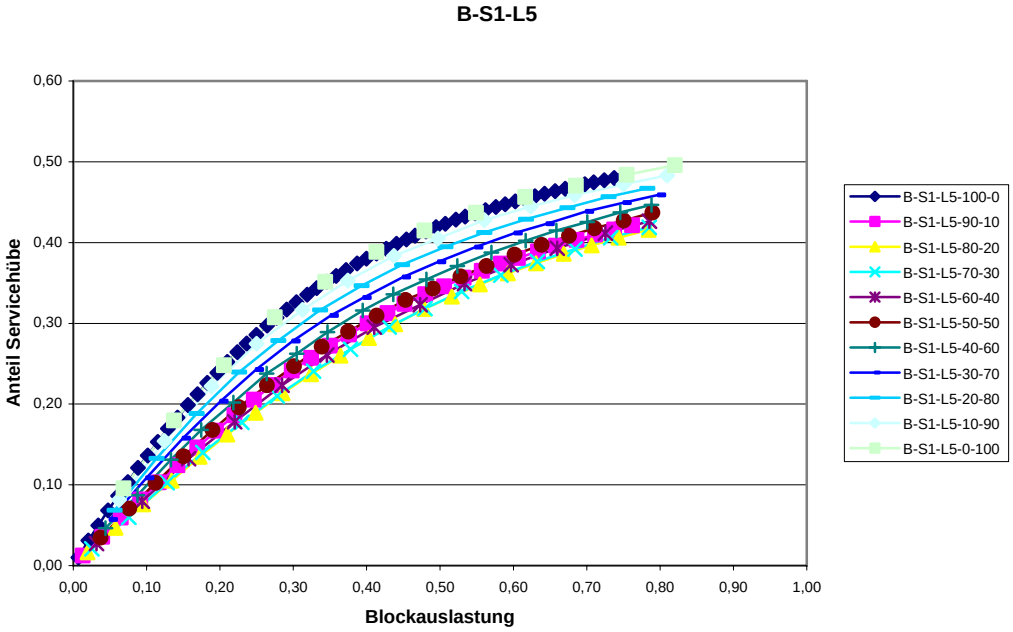


Diagramm 19: Phase B, Strategie Random-Stacking (S1), Sektorlänge 60', Erhöhung des Anteils Lagercontainer von 0% (B-S1-L5-100-0) auf 100% (B-S1-L5-0-100).

4.3.2. Levelling-Strategie (S2)

Ausgehend von den Simulationsergebnissen der Phase A2 ist auch in der Levelling-Strategie eine Abnahme des Servicehubanteils durch Lagercontaineranteile feststellbar. Wie auch in der Random-Strategie tritt der größte Effekt bei Anteilen um die 20% auf. Dabei verringern sich die Servicehubanteile nur um etwa 3%. Auch bei der Levelling-Strategie bilden sich die Servicehubanteilskurven für reinen Schnelldreher- und Lagercontaineranteil gleich ab (vgl. Diagramm 20).

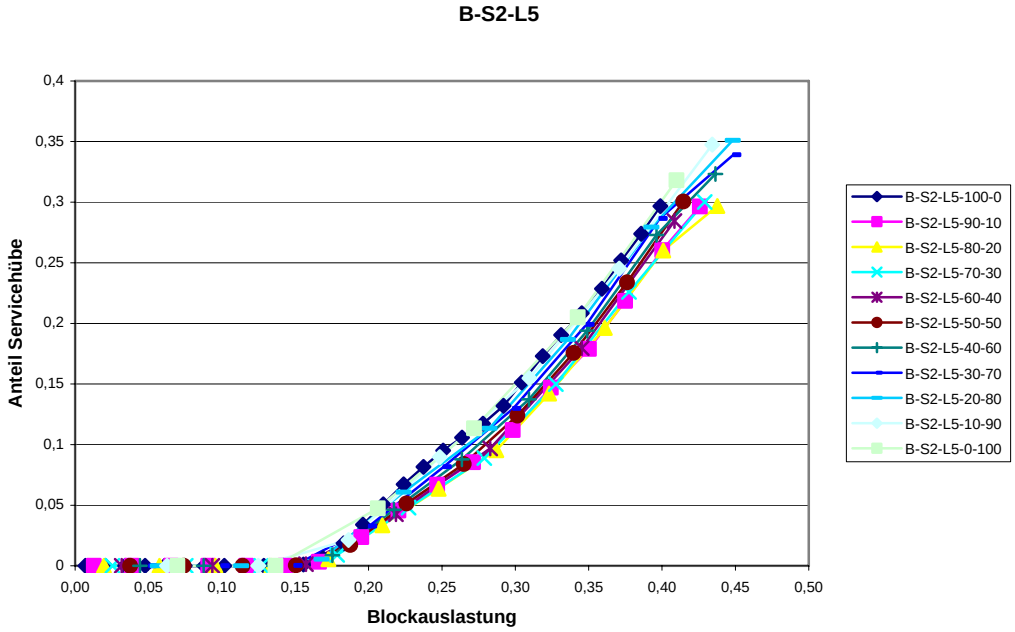


Diagramm 20: Phase B, Strategie Levelling (S2), Sektorlänge 60', Erhöhung des Anteils Lagercontainer von 0% (B-S2-L5-100-0) auf 100% (B-S2-L5-0-100).

4.3.3. Stacking-Strategie (S3)

Wie zu erwarten, ist der Einfluss der Lagercontaineranteile in der Stacking-Strategie über die gesamte Blockauslastung gleichverteilt. Durch die konstante Lagerhöhe tritt die Minderung des Servicehubanteils bereits bei geringen Lagerauslastungen ein. Wieder ist der stärkste Effekt bei Lagercontaineranteilen um 20% festzustellen. Dabei nimmt der Servicehubanteil um 6 Prozent ab (vgl. Diagramm 21). Auch in dieser Strategie zeigen sich identische Kurven bei reinem Schnell- und Lagercontaineranteil. Es kann angenommen werden, dass die Größe dieses Effektes in erster Linie mit dem Unterschied der beiden Lagerzeitverteilungen zusammenhängt. Ist der Unterschied größer, bleiben Lagercontainer länger in unteren Schichten und verhelfen der Struktur darüber dazu, sich auch länger wie ein System geringerer Lagerhöhe zu verhalten,.

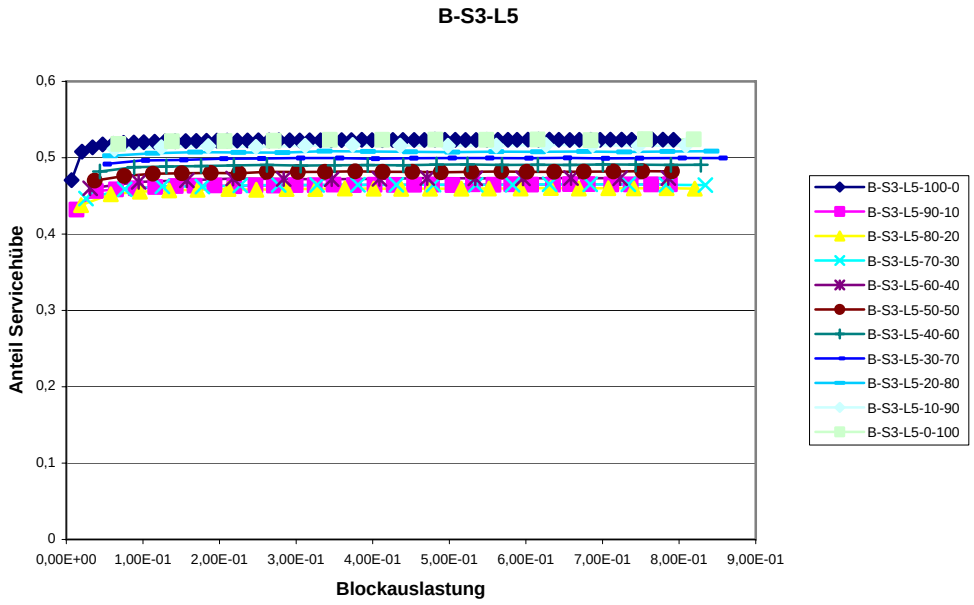


Diagramm 21: Phase B, Strategie Stacking (S3), Sektorlänge 60', Erhöhung des Anteils Lagercontainer von 0% (B-S3-L5-100-0) auf 100% (B-S3-L5-0-100).

4.4. Phase „C“

Die Phase C hat zum Ziel, den Einfluss der Containerzwischengrößen auf den Servicehubanteil abzubilden. Erwartet wird ein Anstieg des Servicehubanteils durch den Kapazitätsverlust, der durch Lückenbildung entsteht. Wieder wird von einer Gleichverteilung der 20'- und 40'-Containermengen (ITE) ausgegangen und diesem Containereingangsstrom ein Anteil von 30'-Containern bis zu einem Anteil von 33% beigemengt. Bei einer Sektorlänge von 60' kommt es daher zur Lückenbildung, wenn 20'-Container und 30'-Container in einem Sektorelement gelagert werden. Bei den Szenarien der Phase C kommmt eine Lagerblockkonfiguration von 5 Lagen zum Einatz.

4.4.1. Random-Strategie (S1)

Bei der Auswertung der Ergebnisse zeigt sich ein weitaus geringerer Effekt als erwartet. Die Sortierung der verfügbaren Lagerplätze nach der Restlänge des Sektorelements bevorzugt die Lagerung von jeweils zwei 30'-Containern. Deswegen wurde auf die Darstellung der Zwischenergebnisse verzichtet, und nur die Servicehubanteilskurve für einen Anteil von 33% 30'-Containern der Ausgangskurve (ohne Containerzwischengrößen) gegenübergestellt. (vgl. Diagramm 22). Hier lässt sich die Überlagerung von zwei Effekten erkennen. Zum einen hat die Aufteilung der Containermenge auf mehrere Längenkategorien einen mindernden Einfluss auf den Servicehubanteil (vgl. Phase „A“), zum anderen ist der erwartete Effekt der Lückenbildung durch ein etwas früheres Abbrechen der Simulation, aber vor allem durch eine zunehmende Erhöhung des Serviceanteils mit steigender Blockauslastung zu diagnostizieren. Die maximale Steigerung des Servicehubanteils durch einen Anteil von 33%

30’-Container ist erst über einer Blockauslastung von 45% zu beobachten und bewegt sich im Bereich unter 1%.

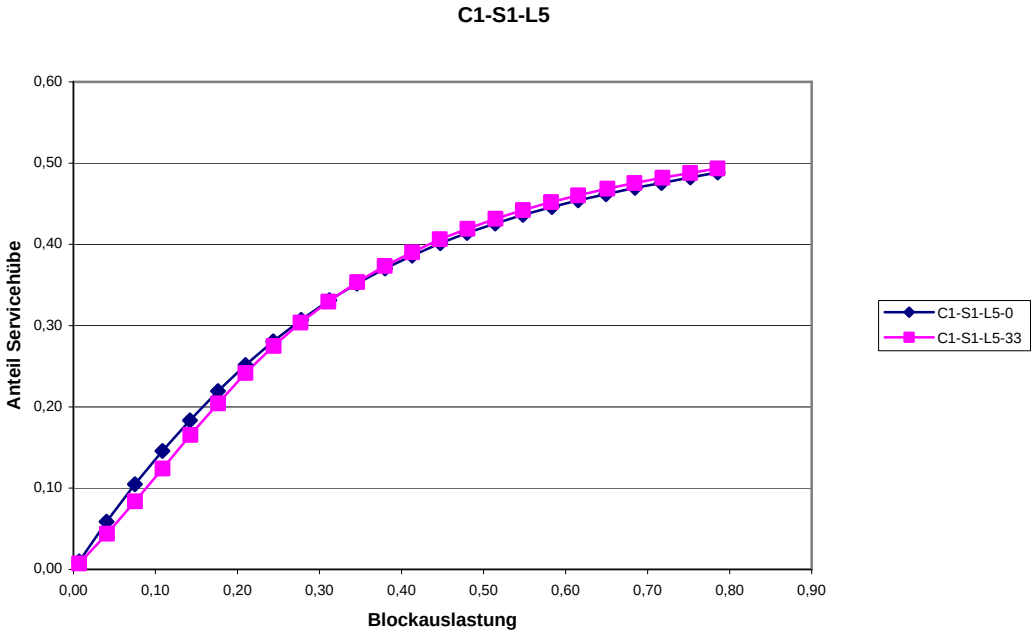


Diagramm 22: Phase C1, Strategie Random-Stacking (S1), Sektorlänge 60’, Erhöhung des Anteils 30’-Container von 0% (C1-S1-L5-0) auf 100% (C1-S1-L5-33).

Um den Effekt der Containerzwischenlängen durch die Lückenbildung zu verstärken wurde der letzte Simulationsdurchgang mit dem Einsatz von 23’-Containern wiederholt. Durch die Containerlänge von 23’ kann man eine Verstärkung des kapazitiven Effektes erwarten. Die dabei erzielten Ergebnisse zeigen zwar die Korrektheit der Annahme, doch ist festzustellen, dass dabei 33% 23’Container für eine maximale Steigerung des Servicehubanteils von nur 2% verantwortlich gemacht werden können (vgl. Diagramm 23).

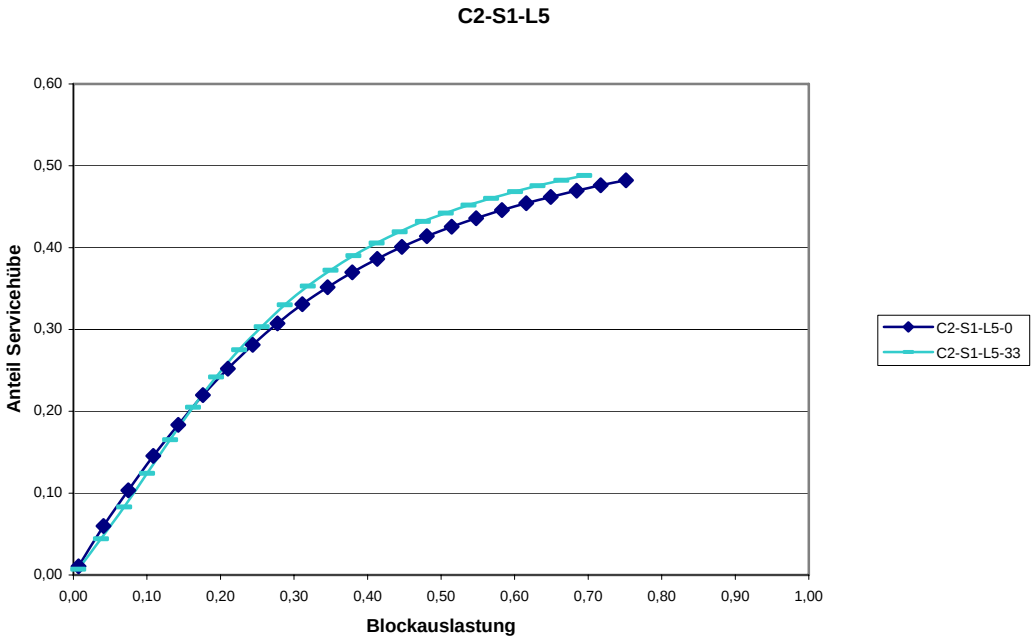


Diagramm 23: Phase C2, Strategie Random-Stacking (S1), Sektorlänge 60', Erhöhung des Anteils 23'-Container von 0% (C2-S1-L5-0) auf 100% (C2-S1-L5-33)

4.4.2. Levelling-Strategie (S2)

Die Beobachtungen in der Random-Strategie lassen sich anhand der Ergebnisse der Levelling-Strategie untermauern. Obwohl die Simulationen der Levelling-Strategie schon wesentlich früher abbrechen, weil der heterogene Containerstrom zu einer Belegung der Grundfläche entgegen der Längenverteilung führt, ist bereits deutlich die kapazitiv verursachte Servicehubanteilssteigerung zu erkennen (vgl. Diagramm 24). Die Ergebnisse stammen dabei aus dem Simulationsdurchgang unter Beimengung der 23'-Container. Da die Levelling-Strategie grundsätzlich die Stapelhöhe minimiert, ist der in der Random-Strategie diagnostizierte Effekt der Aufteilung der nun 3 Längenkategorien auf Stapel nicht vorhanden. Damit kommt es auch zu keiner Überlagerung der beiden, weshalb sich die Veränderung der Servicehubanteile allein durch den Kapazitätsverlust erklären lassen.

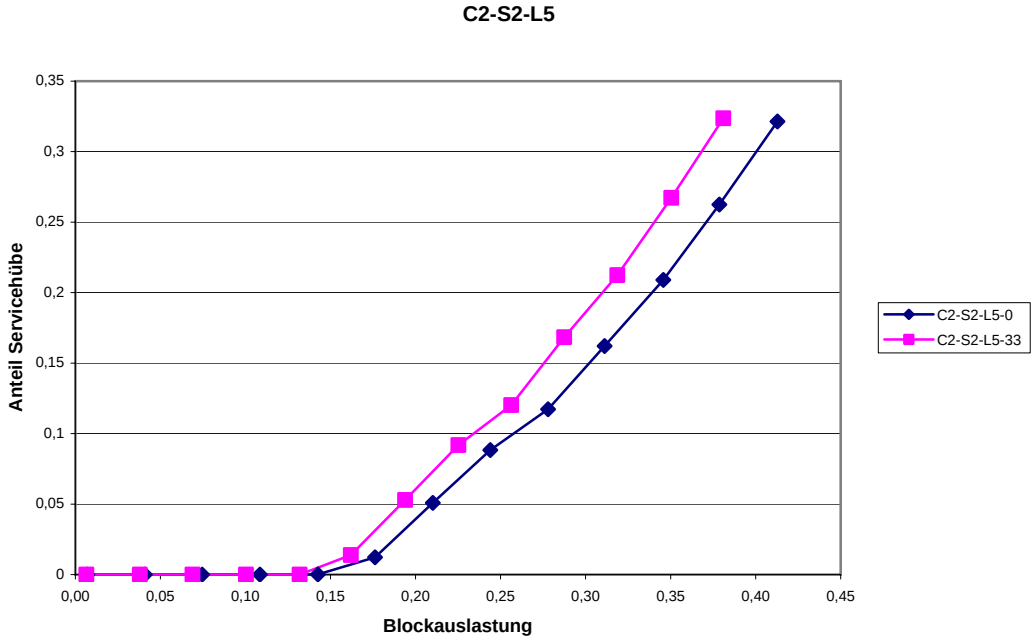


Diagramm 24: Phase C2, Strategie Levelling (S2), Sektorlänge 60', Erhöhung des Anteils 23'-Container von 0% (C2-S2-L5-0) auf 100% (C2-S2-L5-33)

4.4.3. Stacking-Strategie (S3)

Die Stacking-Strategie unterstreicht ein weiteres Mal ihre Robustheit gegenüber heterogenen Containerlängenverteilungen. Erst bei großen Blockauslastungen zeigt sich ein etwas früheres Abbrechen der Simulation durch einen 33% Anteil der 23'-Container (vgl. Diagramm 25). Dieses frühere Abbrechen ist rein auf die vorhandenen Lücken in der Grundfläche zurückzuführen (Die Servicehubanteilskurve verschiebt sich dadurch etwas nach links). Die nahezu gleiche Grundflächenauslastung (73%) und Blockauslastung (72,5%) beim letzten Simulationslauf höchster Umschlagsmenge ist der Beweis dafür. Das etwas langsamere Ansteigen bei geringen Blockauslastungen kann erneut der Aufteilung der Container auf mehrere Stapel (nun 3 statt 2 Kategorien) zugeschrieben werden.

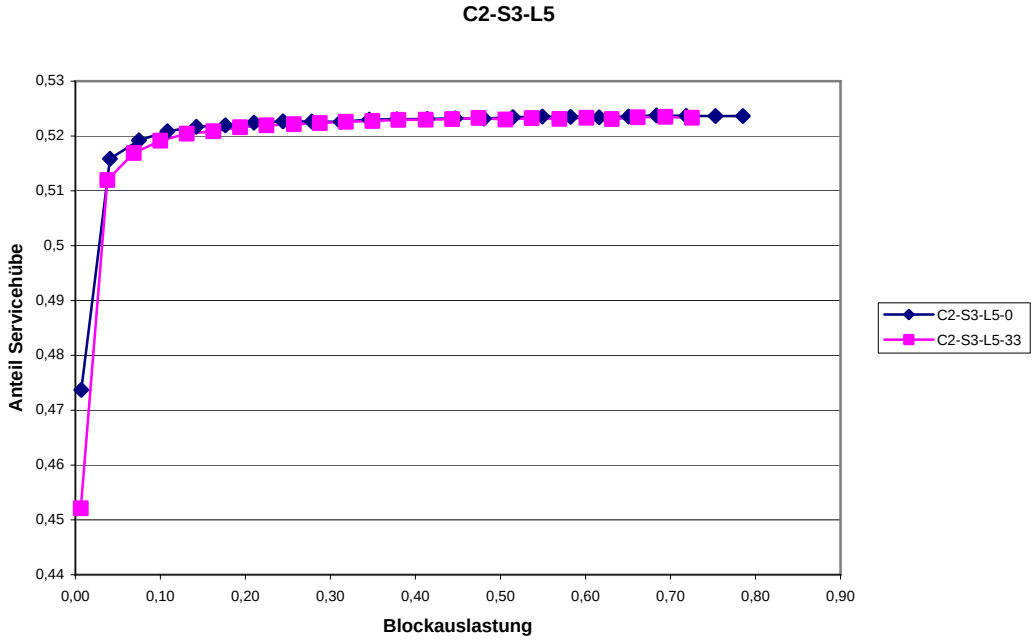


Diagramm 25: Phase C2, Strategie Stacking (S3), Sektorlänge 60', Erhöhung des Anteils 23'-Container von 0% (C2-S3-L5-0) auf 100% (C2-S3-L5-33)

4.5. Phase „D“

In den folgenden Simulationsdurchläufen wurde der Containereingangstrom auf sämtliche Containerlängen aufgeteilt. Dadurch sind alle verfügbaren Containerlängen zu gleichen Anteilen (11.11% ITE) im Eingang enthalten. Dabei kamen nur stapelbare schnelldrehende 20'-, 22'-, 23'-, 24'-, 25'-, 30'-, 35'-; 40'- und 45'-Container zum Einsatz. Durch die gleichverteilten Liegezeiten bleibt diese Längenverteilung (ITE) auch im Lager erhalten. Diese Eingangswerte wurden unter der Verwendung der drei Basisstrategien je Durchlauf mit steigender Eingangsmenge simuliert. Abbruchkriterium bei beiden Datenreihen bildete wiederum das Überschreiten der maximalen Anzahl 30 wartender Container (ITE).

Um die Ergebnisse in Relation setzen zu können, finden sich in Diagramm 26 auch die Ergebnisse der Phase INIT. In den Ergebnissen der Strategie Random-Stacking lässt sich wiederum die Überlagerung des kapazitiv induzierten Servicehubanteilanstiegs mit der Minderung durch die hohe Anzahl verschiedener Containerlängen erkennen. Die Unterschreitung der Referenzkurve aus der ersten Simulationsphase (INIT-S1-L5) ist Effekt der Kategorisierung in nunmehr 8 Containerlängenkategorien. Trotzdem steigt der Servicehubanteil mit steigender Blockauslastung (bei 40%) über die Referenzkurve hinweg. Die Vielfalt der Containermengen erlauben es der Strategie beim Abbruch bei 61,4% Blockauslastung nur 81,6% der Grundfläche zu belegen. Ein weiterer Grund für den Anstieg des Servicehubanteils ist zuletzt noch der Anteil der Servicehübe auf den Ausweichplatz (Servicehubspezialfälle). Diese sind beim Abbruch für 1.86% der Servicehübe verantwortlich, und verschärfen dadurch die Servicehubanteilsteigerung.

Wegen der Konstanz des Verhältnisses der Containerlängen vermag die Stacking-Strategie (S3) die Einteilung der Grundfläche gemäß des Containereinganges am besten zu gewährleisten. Nach einer längeren Phase des Auffüllens der unterschiedlichen Stapel, nähert sich die Kurve wieder auffallend dem für 5 Lagen schon in der Phase „A“ erkannten Wert von 51,4 %. Erreicht wird jedoch nur ein Wert von 51,1%, da die vielen verschiedenen Längenkategorien ein ständiges Auffüllen aller Stapel auf 5 Lagen verhindern. Auch bei der Stacking-Strategie ist bei Erreichen des Abbruchkriteriums die Grundfläche durchschnittlich nur zu 77.6% belegt, weist aber eine durchschnittliche Blockauslastung von 76.2% auf. Daraus lässt sich ableiten, dass auch bei der Stackingstrategie der Kapazitätsverlust durch das Zusammenspiel von Sektorlänge und Containerlängenverteilung für das frühere Erreichen des Abbruchkriteriums verantwortlich ist. Dieser Effekt lässt auch den Servicehubanteil der Levelling-Strategie besonders ansteigen. Mit dem Erreichen von 81% Grundflächenauslastung (19,1% Blockauslastung) treten die ersten wartenden Container in der Simulation auf. Damit ist der Kapazitätsverlust bereits ab diesem Wert der Blockauslastung in seiner gesamten Größe aufgetreten. Durch die Strategie Levelling ist es nicht möglich, einen derart inhomogenen Containerstrom über ein Lager mit mehreren Lagen umzuschlagen. Bei derselben Auslastung sind auch schon die ersten Servicehubspeziallfälle zu beobachten. Bei bereits 29,8% Blockauslastung steigt die Länge der Warteschlange zeitweise über den kritischen Wert von 30.

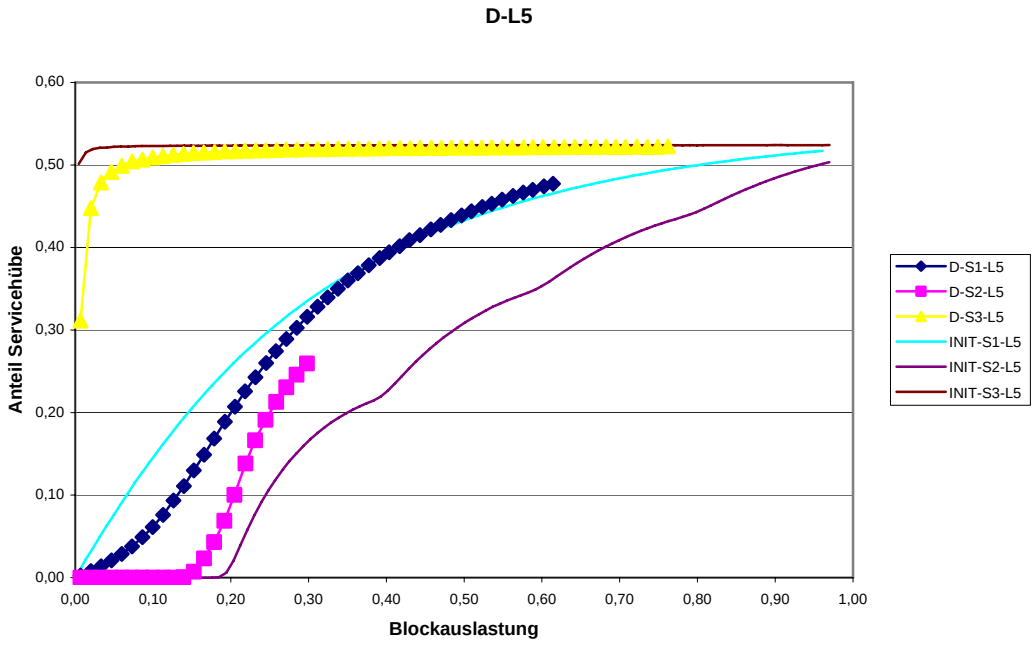


Diagramm 26: Phase D, Phase INIT, 3 Basistrategien, Sektorlänge 60’ (D), 5 Lagen; Gleichverteilung aller verfügbaren Containerlängen (D);

4.6. Phase „E“

Die Phase E widmet sich der Auswirkung nicht stapelbarer Container auf das Servicehubaufkommen. Nicht stapelbare Container dürfen nur auf der Grundfläche gelagert werden. Wie aus den vorherigen Phasen erkannt werden konnte, ist vor allem bei der Levelling-Strategie ein Einlagern bei einem inhomogenem Containerstrom ab einem Füllgrad über der Kapazität der Grundfläche problematisch, wenn keine passenden Lagerplätze für Container mehr gefunden werden können. Bei den Ergebnissen der Phase „E“ macht sich ein ähnlicher Effekt noch viel gravierender bemerkbar. Da für nicht stapelbare Container Lagerplätze in der untersten Ebene (Groundslots) gefunden werden müssen, die Belegung der Grundfläche durch stapelbare Container aber nicht beschränkt ist, ist schon bei niedrigen Blockauslastungen über dem Füllgrad der ersten Ebene (Blockauslastung von 20%) das Abbruchkriterium von 30 Containern in der Warteschlange (Liste 1) erreicht. Nicht stapelbare Container wirken auf den Servicehubanteil grundsätzlich mindernd, da sie selbst durch ihre Charakteristik nur zweimal gehoben werden müssen. Durch die besonders hohe Kapazitätseinbuße von 4 Stellplätzen in den Lagen 2 bis 5 pro nicht stapelbarem Container sind jedoch Steigerungen in den Stapelhöhen der stapelbaren Container die unvermeidbare Konsequenz. Dadurch steigt der Servicehubanteil vor dem Abbruch bei den Durchläufen unter Verwendung der Strategien Levelling und Random-Stacking stark an. Die Stacking-Strategie lässt ein höheres Stapeln der stapelbaren Container ohnehin nicht zu, deswegen macht sich nur der Effekt der Servicehubanteilsminderung durch das Lagern der nicht stapelbaren Einheiten auf der Grundfläche bemerkbar. Es zeigt sich deutlich, dass nicht stapelbare Ladeeinheiten (dazu zählen manche WAB aber vor allem SAL) die größten Probleme in der Lagerbewirtschaftung auslösen. Ein spezieller strategischer Umgang mit diesen Ladeeinheiten ist erforderlich, um von der Kapazitätseinbuße nicht in der Handlungsfähigkeit eingeschränkt zu werden.

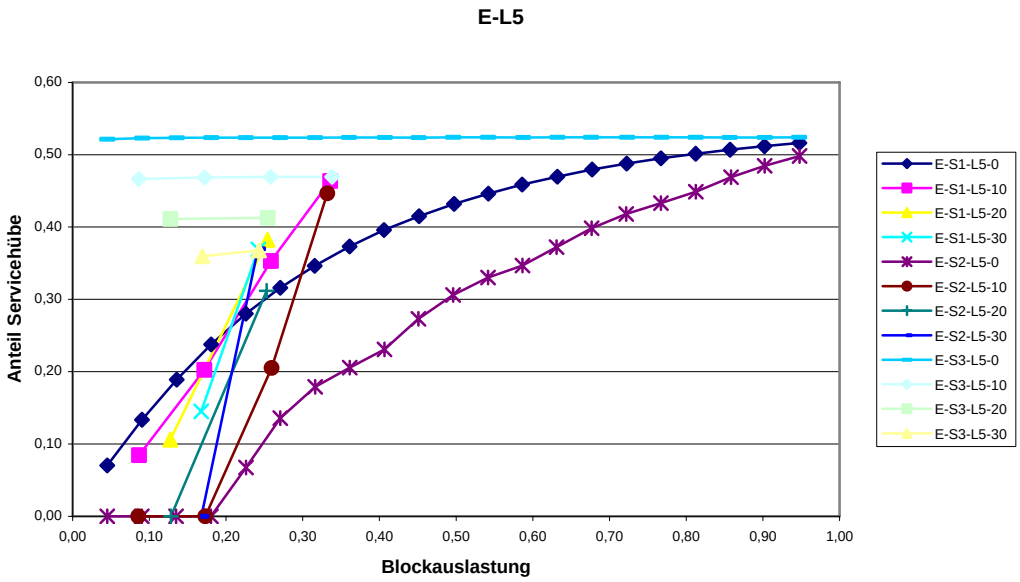


Diagramm 27: Phase E,, 3 Basistrategien, Sektorlänge 20', 5 Lagen; Anteil der nicht stapelbaren Ladeeinheiten 0, 10, 20, 30%;

5. Zusammenfassung und Ausblick

Es konnten im Wesentlichen 5 Einflussfaktoren auf den Servicehubanteil bestimmt und nachgewiesen werden. Diese lassen sich in zwei Kategorien einteilen. Jene, die über die Lagerkapazität den Servicehubanteil beeinflussen, sind von denen zu unterscheiden, die direkt über die Stapelhöhe den Servicehubanteil verändern. Der Kapazitätsverlust durch Lagerstrategien ist vor allem jener Faktor, der Einsparpotential besitzt. Weiters konnte der Einfluss des Verhältnisses der Containerlängenverteilung zu der Sektorlänge nachgewiesen werden. Strukturelle Schwächen in diesem Bereich führen ebenfalls zu einem Kapazitätsverlust, der sich negativ auf den Servicehubanteil auswirkt. Ebenfalls kapazitiver Art ist der Einfluss der nicht stapelbaren Ladeeinheiten. Die Auswirkung von Lagercontaineranteilen hingegen wirkt direkt über die Stapelhöhe positiv auf den Servicehubanteil. Durch das Ausbilden von temporären statischen Grundschichten im Lager reduzieren sie die servicehubwirksame Stapelhöhe der Schnelldreher während ihrer Liegezeit in tieferen Schichten. Die starke Korrelation zwischen dem Servicehubanteil und der Stapelhöhe ist zu erkennen, wird aber mit zunehmender Stapelhöhe bereits durch die steigende Lagerumwälzung durch bereits hohe Servicehubanteile gedämpft. Dadurch bewirkt eine Erhöhung des Lagers durch Verwendung weiterer Ebenen sinkende Servicehubanteilssteigerungen.

Die für Inlandterminals charakteristische Problematik der unterschiedlichen Containerlängenverteilungen zeigt sich besonders in der Levelling-Strategie. Servicehubeinsparungen sind mit zunehmender Streuung der Containerlängen mit einem besonders hohen strategischen Aufwand verbunden. Die Gefahr in Zeiten hoher Auslastung nicht alle Containerlängen problemlos aufnehmen zu können, stellt ein wesentliches Risiko dar. Lagercontaineranteile sind aus Sicht des Servicehubanteils unproblematisch und wirken sich in geringer Zahl sogar positiv aus. Die Kehrseite dabei sind gravierende Umschlagskapazitätseinbußen. Besonders sensibel reagiert die Servicehubanzahl auf nicht stapelbare Ladeeinheiten. Die enorme Kapazitätseinbuße birgt ebenfalls ein großes Risiko für die Handlungsfähigkeit.

Die markanten Servicehubanteilniveaus aus den Simulationsphasen „INIT“ und „A“ bieten unter Umständen eine Möglichkeit des Benchmarks für Lagerstrategien. Wenn es gelänge, jedem Lagersystem abhängig von der Anzahl der Lagen und der Lagerzeitverteilungen ein Grenzniveau zuzuordnen, wäre eine Beurteilung der Strategieeffizienz in Richtung des Servicehubanteils denkbar. Voraussetzung wäre der Ausschluss von nicht stapelbaren Einheiten.

Es zeigt sich, dass besonders durch den inhomogenen Containerstrom in Inlandterminals eine Lagerstrategieentwicklung nur mit einer erheblichen Informationsbeschaffung einhergehen muss. Da bereits geringe Veränderungen im Containerstrom zuvor noch ideale Strategien höchst riskant werden lassen können, sind große Einsparungen nur mit einem hohen Informationsstand möglich.

Wenn Terminaloperatoren in der Lage sind, ständig eine qualitativ gute Containerinformation einzuholen, befähigt sie das durch verbesserte Managementmaßnahmen die Folgen eines dichteren und höheren Containerlagers auf andere Terminaloperationen (vor allem den Entlade-, Lade-, und Annahmevorgang) auf ein Minimum reduzieren. Anders gesagt, Operatoren, die die Produktivität mithilfe von höherem Lager steigern wollen, müssen zur selben Zeit alle relevanten Bedingungen einbeziehen, um die Auswirkungen des höheren Lagers auf andere Terminalbereiche gering zu halten. Wird das nicht befolgt, wird das höhere Stapeln der Container, zusammen mit einem schlechten Informationsstand über die Container und einem unzureichenden Terminalmanagement zu einer großen Anzahl von unproduktiven Containerbewegungen führen, die die Prozesseffizienz reduzieren und Kosten ansteigen lassen.(Chen, 1999)

Aus Sicht der Servicehubanteile ist eine optimale Strategie nur mit einer einhergehenden Risikoabschätzung umzusetzen. Die Minimierung der Servicehubanteile durch den Ansatz der Levelling-Startegie in Zeiten konstanter Längenverteilungen erfordert vor allem eine Beobachtung des Containermixes, um bei signifikanten Änderungen eine Anpassung der notwendigen Grundflächenreservierung vorzunehmen. Um Vorteile durch den Strategieeinsatz bei der Servicehubminimierung zu generieren, ist die genaue Kenntnis und Prognose der Containerlängenverteilung durch den Einsatz eines Monitoring-Systems notwendig. In Abhängigkeit dieser Charakteristik stehen die Wahl der Sektorlänge genauso wie die strategischen Ansätze zur Servicehubminimierung. Die gravierende Auswirkung von nicht stapelbaren Containern auf die Umschlagkapazität wirft die Frage auf, ob diese Einbußen sogar höhere Umschlagspreise für derartige Container in Spitzenzeiten rechtfertigen.

Die große Bedeutung von Information für die Umsetzung geeigneter Lagerstrategien gilt für Seehafenterminals genauso wie für Systeme auf Inlandterminals. Die große Variabilität der Containerströme auf Inlandterminals lässt aus dem Informationsbedürfnis nahezu eine Notwendigkeit werden.

Containerterminals repräsentieren die Verbindung zwischen Marktteilnehmern. Die mit ihrem Geschäft rund um den Maritimen Transport agieren. Wir glauben, dass ein besseres Verständnis der Beziehungen und deren Einfluss auf Terminalabläufe zu bedeutungsvolleren objektiveren Funktionen für Optimierungstools führen würden. (Vacca et al., 2007)

Dieses Zitat drückt das größte Potential aus, das zur Optimierung eines Lagersystems bestmöglich beitragen kann. Die Umsetzung einer effizienten Lagerstrategie kann nur auf Basis eines guten Informationssystems geschehen. Zusammenhänge zwischen dem Servicehubanteil und anderen Größen lassen sich darstellen, aber Prognosen über die Eingangsgrößen für die Strategieauswahl können nur durch ein enges betriebsübergreifendes Informationsnetz präzise werden.

6. Literaturverzeichnis

BIELLI, M., BOULMAKOUL, A. & RIDA, M. (2006) Object oriented model for container terminal distributed simulation. *European Journal of Operational Research,* 175**,** 1731-1751.

CANONACO, P., LEGATO, P., MAZZA, R. M. & ROBERTO, M. (2008) A queuing network model for the management of berth crane operations. *Computers & Operations Research,* 35**,** 2432-2446.

CHEN, T. (1999) Yard operations in the container terminal-a study in the `unproductive moves'. *Maritime Policy & Management,* 26**,** 27-38.

CHENG, R. C. H. (2006) Validating and comparing simulation models using resampling. *Journal Of Simulation,* 1.

DE CASTILLO, B. & DAGANZO, C. F. (1993) Handling strategies for import containers at marine terminals. *Transportation Research Part B: Methodological,* 27**,** 151-166.

DEKKER, R., VOOGD, P. & VAN ASPEREN, E. (2006) Advanced methods for container stacking. *OR Spectrum,* 28**,** 563-586.

FREDERICKSON, G. N., HECHT, M. S. & KIM, C. E. (1976) Approximation algorithms for some routing problems. *17th Annual Symposium on Foundations of Computer Science (FOCS 1976).*

GAMBARDELLA, L. M., MASTROLILLI, M., RIZZOLI, A. E. & ZAFFALON, M. (2001) An optimization methodology for intermodal terminal management. *Journal of Intelligent Manufacturing,* 12**,** 521-534.

GAMBARDELLA, L. M., RIZZOLI, A. E. & ZAFFALON, M. (1998) Simulation and Planning of an Intermodal Container Terminal. *SIMULATION,* 71**,** 107-116.

GAMBARDELLA, L. M. R., ANDREA E. (2000) The Role of Simulation and Optimization in Intermodal Container Terminals. *European Simulation Symposium 28-30th September 2000.* Hamburg, Germany.

GRONALT, M., BENNA, T. & POSSET, M. (2005) SimConT - Simulation von Funktionen von Containerterminals - Zwischenbericht. Wien, Institut für Produktionswirtschaft und Logistik, Universität für Bodenkultur Wien.

GRONALT, M., HÄUSLMAYR, H. & SCHINDLBACHER, E. (2008) SSC-Secure Supply Chains - Anfälligkeitsanalyse, Desaster Relief Logistics und Potentiale für erhöhte Sicherheit in der Güterversorgungskette und Güterverkehrsinfrastruktur Österreichs. Wien, Institut für Produktionswirtschaft und Logistik, Universität für Bodenkultur Wien.

GÜNTHER, H.-O. & KIM, K.-H. (2006) Container terminals and terminal operations. *OR Spectrum,* 28**,** 437-445.

HAN, Y., LEE, L. H., CHEW, E. P. & TAN, K. C. (2008) A yard storage strategy for minimizing traffic congestion in a marine container transshipment hub. *OR Spectrum,* 30**,** 697-720.

HARTUNG, J., ELPELT, B. & KLÄUSENER, K.-H. (1993) *Statistik Lehr- und Handbuch der angewandten Statistik,* München ; Wien, Oldenbourg.

KELTON, W. D., SADOWSKI, R. P. & SADOWSKI, D. A. (1998) *Simulation with ARENA,* New York, NY [u.a.], McGraw-Hill.

KIM, K. H. (1997) Evaluation of the number of rehandles in container yards. *Computers and Industrial Engineering,* 32**,** 701-711.

KIM, K. H. & KIM, H. B. (1998) The optimal determination of the space requirement and the number of transfer cranes for import containers. *Computers & Industrial Engineering,* 35**,** 427-430.

KIM, K. H. & KIM, H. B. (1999) Segregating space allocation models for container inventories in port container terminals. *International Journal of Production Economics,* 59**,** 415-423.

KIM, K. H. & PARK, K. T. (2003) A note on a dynamic space-allocation method for outbound containers. *European Journal of Operational Research,* 148**,** 92-101.

KIM, K. H., PARK, Y. M. & RYU, K.-R. (2000) Deriving decision rules to locate export containers in container yards. *European Journal of Operational Research,* 124**,** 89-101.

KOMBICONSULT, MERTEL, R., SONDERMANN, K.-U. & PETRI, K. (2006) Workpackage A1 - Trends in Domestic Combined Transport. *Developing Infrastructure and Operating Models for Intermodal Shift (DIOMIS).* Frankfurt am Main,Freiburg, KombiConsult GmbH.

KOZAN, E. & CASEY, B. (2007) Alternative algorithms for the optimization of a simulation model of a multimodal container terminal. *Journal of the Operational Research Society,* 58**,** 1203-1213.

KOZAN, E. & PRESTON, P. (2006) Mathematical modelling of container transfers and storage locations at seaport terminals. *OR Spectrum,* 28**,** 519-537.

LEE, Y. & HSU, N.-Y. (2007) An optimization model for the container pre-marshalling problem. *Computers & Operations Research,* 34**,** 3295-3313.

OTTJES, J., VEEKE, H., DUINKERKEN, M., RIJSENBRIJ, J. & LODEWIJKS, G. (2006) Simulation of a multiterminal system for container handling. *OR Spectrum,* 28**,** 447-468.

PARK, T., CHOE, R., HUN KIM, Y. & RYEL RYU, K. (2010) Dynamic adjustment of container stacking policy in an automated container terminal. *International Journal of Production Economics,* In Press, Corrected Proof.

PETERING, M., WU, Y., LI, W., GOH, M. & DE SOUZA, R. (2008) Development and simulation analysis of real-time yard crane control systems for seaport container transshipment terminals. *OR Spectrum*.

PETERING, M. E. H. & MURTY, K. G. (2009) Effect of block length and yard crane deployment systems on overall performance at a seaport container transshipment terminal. *Computers & Operations Research,* 36**,** 1711-1725.

PRESTON, P. & KOZAN, E. (2001) An approach to determine storage locations of containers at seaport terminals. *Computers and Operations Research,* 28**,** 983-995.

RIZZOLI, A. E., FORNARA, N. & GAMBARDELLA, L. M. (2002) A simulation tool for combined rail/road transport in intermodal terminals. *Mathematics and Computers in Simulation,* 59**,** 57-71.

SAANEN, Y. A. & DEKKER, R. (2006a) Intelligent stacking as way out of congested yards? Part 1. *Port Technol Int,* 31**,** 87-92.

SAANEN, Y. A. & DEKKER, R. (2006b) Intelligent stacking as way out of congested yards? Part 2. *Port Technol Int,* 32**,** 80-86.

SAANEN, Y. A. & VALKENGOED, M. V. (2005) Comparison of three automated stacking alternatives by means of simulation. *Proceedings of the 37th conference on Winter simulation.* Orlando, Florida, Winter Simulation Conference.

SCULLI, D. & HUI, C. F. (1988) Three dimensional stacking of containers. *Omega,* 16**,** 585-594.

SEIDELMANN, D. C. (2010) 40 Jahre Kombinierter Verkehr Straße-Schiene in Europa. *Vom Huckepackverkehr zum Intermodalen Transportsystem.* Frankfurt am Main, Internationale Vereinigung der Gesellschaften für den kombinierten Verkehr Schiene-Straße UIRR scrl.

STAHLBOCK, R. & VOß, S. (2008) Operations research at container terminals: a literature update. *OR Spectrum,* 30**,** 1-52.

STEENKEN, D., VOß, S. & STAHLBOCK, R. (2004) Container terminal operation and operations research - a classification and literature review. *OR Spectrum,* 26**,** 3-49.

TALEB-IBRAHIMI, M., DE CASTILHO, B. & DAGANZO, C. F. (1993) Storage space vs handling work in container terminals. *Transportation Research Part B: Methodological,* 27**,** 13-32.

VACCA, I., BIERLAIRE, M. & SALANI, M. (2007) Optimization at Container Terminals: Status, Trends and Perspectives.

YANG, J. & KIM, K. (2006) A grouped storage method for minimizing relocations in block stacking systems. *Journal of Intelligent Manufacturing,* 17**,** 453-463.

YUN, W. Y. & CHOI, Y. S. (1999) A simulation model for container-terminal operation analysis using an object-oriented approach. *International Journal of Production Economics,* 59**,** 221-230.

ZHANG, C., LIU, J., WAN, Y.-W., MURTY, K. G. & LINN, R. J. (2003) Storage space allocation in container terminals. *Transportation Research Part B: Methodological,* 37**,** 883-903.

7. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Eigenschaften und Kennwerte der österreichischen Containerterminals (BMVIT 2007) 32

Tabelle 2: Reihungskriterien der Liste der verfügbaren Lagerplätze nach strategischen Vorgaben 56

Tabelle 3: Darstellung der verwendeten Blockdimensionen durch Wahl der Sektorlänge und Sektorenanzahl 58

Tabelle 4: Darstellung der Blockkapazitäten bei den jeweils verwendeten Anzahlen von Lagen 59

Tabelle 5: Darstellung der pro Simulationsdurchlauf erhobenen akkumulierten Werte und Zeitpunkte der Einzelmessungen 59

Tabelle 6: Darstellung der nach Phasen gegliederten Simulationsszenarien 60

8. Diagrammverzeichnis

Diagramm 1: Darstellung der durchschnittlichen Flächenauslastung bei durchschnittlicher Blockauslastung der Simulationsdurchläufe der Phase INIT unter Verwendung der 3 Basisstrategien und einer Lagernutzung bis in die 3. Lage sowie der Sektorlänge 20'; 62

Diagramm 2: INIT-SSA, Strategie Levelling (S2), Sektorlänge 20', nur 20'-Container,30 Durchlaufe, je 30000Stunden, 291 Container im Eingang pro Stunde, Messintervall 300 Stunden; 63

Diagramm 3: INIT-SSA, Strategie Levelling (S2), Sektorlänge 20', nur 20'-Container, 30 Durchlaufe, je 30.000Stunden, 291 Container im Eingang pro Stunde, Messintervall 300 Stunden; 64

Diagramm 4: INIT-SSA, Strategie Levelling (S2), Sektorlänge 20', nur 20'-Container, 30 Durchlaufe, je 30.000Stunden, 291 Container im Eingang pro Stunde, Messintervall 300 Stunden; 64

Diagramm 5: INIT-SSA, Strategie Levelling (S2), Sektorlänge 20', nur 20'-Container,30 Durchlaufe, je 30000Stunden, 291 Container im Eingang pro Stunde, Messintervall 300 Stunden; 65

Diagramm 6: Phase INIT, Strategie Random-Stacking, Sektorlänge 20', 100% Schnelldreher, 100% stapelbare Container; 1 Lage (INIT-S1-L1) bis 7 Lagen (INIT-S1-L7);..... 66

Diagramm 7: Phase INIT, Strategie Random-Stacking, Sektorlänge 20', 100% Schnelldreher, 100% stapelbare Container; 1 Lage (INIT-S1-L1) bis 7 Lagen (INIT-S1-L7);..... 67

Diagramm 8: Phase INIT, Strategie Levelling, Sektorlänge 20', 100% Schnelldreher, 100% stapelbare Container; 1 Lage (INIT-S2-L1) bis 7 Lagen (INIT-S2-L7);..... 68

Diagramm 9: Phase INIT, Strategie Levelling, Sektorlänge 20', 100% Schnelldreher, 100% stapelbare Container; 1 Lage (INIT-S2-L1) bis 7 Lagen (INIT-S2-L7);..... 69

Diagramm 10: Phase INIT, Strategie Stacking, Sektorlänge 20', 100% Schnelldreher, 100% stapelbare Container; 1 Lage (INIT-S3-L1) bis 7 Lagen (INIT-S3-L7);..... 70

Diagramm 11: Phase INIT, Strategie: Random-Stacking (Levelling, Stacking), 1-7 Lagen, Sektorlänge 20'; 100% Schnelldreher, 100% stapelbare Container;..... 71

Diagramm 12: Phase A1, Strategie Random-Stacking (S1), 3 Lagen, Sektorlänge 40'; Erhöhung des Anteils 40'-Container von 0% (A2-S1-L3-100-0) auf 100% (A2-S1-L3-0-100). 73

Diagramm 13: Phase A2, Strategie Random-Stacking (S1), 3 Lagen, Sektorlänge 60'; Erhöhung des Anteils 40'-Container von 0% (A2-S1-L3-100-0) auf 100% (A2-S1-L3-0-100). 73

Diagramm 14: Phase A3, Strategie Random-Stacking (S1), 3 Lagen, Sektorlänge 80'; Erhöhung des Anteils 40'-Container von 0% (A3-S1-L3-100-0) auf 100% (A3-S1-L3-0-100). 75

Diagramm 15: Phase A1, Strategie Levelling (S2), 5 Lagen, Sektorlänge 40'; Erhöhung des Anteils 40'-Container von 0% (A1-S2-L5-100-0) auf 100% (A1-S2-L5--0-100). 76

Diagramm 16: Phase A2, Strategie Levelling (S2), 3 Lagen, Sektorlänge 60'; Erhöhung des Anteils 40'-Container von 0% (A2-S2-L5-100-0) auf 100% (A2-S2-L5-0-100). 77

Diagramm 17: Phase A1, Strategie Stacking (S3), 5 Lagen, Sektorlänge 40'; Erhöhung des Anteils 40'-Container von 0% (A1-S3-L5-100-0) auf 100% (A1-S3-L5-0-100). 78

Diagramm 18: Phase A2, Strategie Stacking (S3), 5 Lagen, Sektorlänge 60'; Erhöhung des Anteils 40'-Container von 0% (A2-S3-L5-100-0) auf 100% (A2-S3-L5-0-100). 79

Diagramm 19: Phase B, Strategie Random-Stacking (S1), Sektorlänge 60', Erhöhung des Anteils Lagercontainer von 0% (B-S1-L5-100-0) auf 100% (B-S1-L5-0-100). 81

Diagramm 20: Phase B, Strategie Levelling (S2), Sektorlänge 60', Erhöhung des Anteils Lagercontainer von 0% (B-S2-L5-100-0) auf 100% (B-S2-L5-0-100). 82

Diagramm 21: Phase B, Strategie Stacking (S3), Sektorlänge 60', Erhöhung des Anteils Lagercontainer von 0% (B-S3-L5-100-0) auf 100% (B-S3-L5-0-100). 83

Diagramm 22: Phase C1, Strategie Random-Stacking (S1), Sektorlänge 60', Erhöhung des Anteils 30'-Container von 0% (C1-S1-L5-0) auf 100% (C1-S1-L5-33). 84

Diagramm 23: Phase C2, Strategie Random-Stacking (S1), Sektorlänge 60', Erhöhung des Anteils 23'-Container von 0% (C2-S1-L5-0) auf 100% (C2-S1-L5-33) 85

Diagramm 24: Phase C2, Strategie Levelling (S2), Sektorlänge 60', Erhöhung des Anteils 23'-Container von 0% (C2-S2-L5-0) auf 100% (C2-S2-L5-33) 86

Diagramm 25: Phase C2, Strategie Stacking (S3), Sektorlänge 60', Erhöhung des Anteils 23'-Container von 0% (C2-S3-L5-0) auf 100% (C2-S3-L5-33) 87

Diagramm 26: Phase D, Phase INIT, 3 Basistrategien, Sektorlänge 60' (D), 5 Lagen; Gleichverteilung aller verfügbaren Containerlängen (D); 88

Diagramm 27: Phase E,, 3 Basistrategien, Sektorlänge 20', 5 Lagen; Anteil der nicht stapelbaren Ladeeinheiten 0, 10, 20, 30%; 90

9. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Welt-Containerbestand (TEU), (Seidelmann, 2010) 10

Abbildung 2: Weltcontainerverkehr (TEU), (Seidelmann, 2010) 11

Abbildung 3: Marktanteile der intermodalen Techniken in 2009 (Seidelmann, 2010) 14

Abbildung 4: Kaikran 16

Abbildung 5: RTGC 17

Abbildung 6: RMGC 18

Abbildung 7: Portalhubwagen 18

Abbildung 8: Reach Stacker 19

Abbildung 9: Schematische Darstellung eines Seehafenterminals mit IMPORT-EXPORT-Charakter 21

Abbildung 10: Schematische Darstellung eines Terminals mit Transshipment-Charakter . 21

Abbildung 11: Lage der österreichischen Containerterminals 31

Abbildung 12: Darstellung der Umschlagsmengen 2005 nach Bundesländern kumuliert (KombiConsult et al., 2006) 33

Abbildung 13: Beispiel eines Inlandterminals mit gekrümmter Kranbahn und angepasstem Layout. 34

Abbildung 14: Terminal Wels (2008) Beispiel der starken Verflechtung von Umschlag- und Lagerbereich in Inlandterminals. 35

Abbildung 15: Durchgangsterminal 36

Abbildung 16: Kopfterminal 36

Abbildung 17: Darstellung der Lagerblockorganisation in Reihen, Sektoren und Lagen ... 44

Abbildung 18: Beispiel einer Sektorbelegung mit dem Problem der übrig bleibenden Restflächen 50

Abbildung 19: Eingabemaske1 für die Definition des Containereingangstromes 52

Abbildung 20: Eingabemaske2 für die Definition der Lagerblockdimensionen und der Strategie 52

Abbildung 21: BPM-Darstellung des Simulationsmodells 55

10. Abkürzungen

AGV	Automated guided vehicle, Führerloses automatisiertes Vehikel
BPMN	Business Prozess Modelling Notation
GC	Gantry Crane, Portalkran
GCR	Gross Crane Rate, Mittlere Kranhubleistung in Hüben pro Stunde
ITE	Internationale Transporteinheit (hier Containerstückzahl)
LKW	Lastkraftwagen
lt.	laut
QC	Quay Crane, Kaikran
RMGC	Rail mounted Gantry Crane, Schienengeführter Portalkran, Transtainer
RoLa	Rollende Landstraße
SAL	Sattelauflieger, Trailer
TEU	Twenty feet equivalent unit, Zwanzig Fuß-equivalente Einheit; Standardisiertes Maß für die Containermenge
UIRR	Union Internationale des sociétés de transport combiné Rail-Route
vgl.	vergleiche
WAB	Wechselaufbau
YT	Yard Truck, Lagerlastkraftwagen

11. Anhang

Dieser Arbeit liegt ein Datenträger bei, der die gesamten Simulationsergebnisse in tabellarischer Form enthält. Pro Simulationsphase liegt eine Microsoft-Excel-Datei vor. Die Simulationsdurchläufe sind im Identifikationsfeld nach folgendem Schlüssel nummeriert:

Simulationsphase	Strategie	Lagenanzahl	Veränderliche Größe	Laufende Nr.
INIT	S1	L1	0-100	*
INIT-SSW	S2	L2		
A1,A2, A3	S3	L3		
B		L4		
C1,C2		L5		
D		L6		
E		L7		

Die jeweiligen Kürzel sind durch Bindestriche voneinander getrennt.

Pro Simulationsdurchlauf sind folgende Eingangswerte (Spalte A bis AO) und Ergebniswerte (Spalte AP bis BE) in folgender Reihenfolge protokolliert:

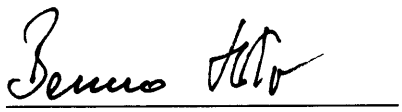
Spalte	Kurzzeichen	Erklärung
A	*ID*	Simulationsdurchlauf Identifikation
B	*S*	Strategie
C	*B*	Sektorenanzahl
D	*R*	Anzahl der Reihen
E	*L*	Anzahl der Lagen
F	*SL*	Sektorlänge (Fuß)
G	*T*	Simulationsdauer in Stunden
H	*E*	Eingang in ITE pro Stunde
I	*Ps*	Anteil der Stapelbaren Einheiten
J	*Ps20*	Anteil der stapelbaren 20'-Container
K	*Ps22*	Anteil der stapelbaren 22'-Container
L	*Ps23*	Anteil der stapelbaren 23'-Container
M	*Ps24*	Anteil der stapelbaren 24'-Container
N	*Ps25*	Anteil der stapelbaren 25'-Container
O	*Ps30*	Anteil der stapelbaren 30'-Container
P	*Ps35*	Anteil der stapelbaren 35'-Container
Q	*Ps40*	Anteil der stapelbaren 40'-Container
R	*Ps45*	Anteil der stapelbaren 45'-Container
S	*Pn20*	Anteil der nicht stapelbaren 20'-Container
T	*Pn22*	Anteil der nicht stapelbaren 22'-Container
U	*Pn23*	Anteil der nicht stapelbaren 23'-Container
V	*Pn24*	Anteil der nicht stapelbaren 24'-Container
W	*Pn25*	Anteil der nicht stapelbaren 25'-Container
X	*Pn30*	Anteil der nicht stapelbaren 30'-Container
Y	*Pn35*	Anteil der nicht stapelbaren 35'-Container

Z	*Pn40*	Anteil der nicht stapelbaren 40'-Container
AA	*Pn45*	Anteil der nicht stapelbaren 45'-Container
AB	*PSS*	Anteil der stapelbaren Schnelldreher
AC	*PNS*	Antel der nicht stapelbaren Schnelldreher
AD	*minDss*	Lagerzeit der stapelbaren Schnelldreher (Dreiecksverteilung Min-Wert)
AE	*avgDss*	Lagerzeit der stapelbaren Schnelldreher (Dreiecksverteilung Median-Wert)
AF	*maxDss*	Lagerzeit der stapelbaren Schnelldreher (Dreiecksverteilung Max-Wert)
AG	*minDsl*	Lagerzeit der stapelbaren Lagercontainer (Dreiecksverteilung Min-Wert)
AH	*avgDsl*	Lagerzeit der stapelbaren Lagercontainer (Dreiecksverteilung Median-Wert)
AI	*maxDsl*	Lagerzeit der stapelbaren Lagercontainer (Dreiecksverteilung Max-Wert)
AJ	*minDns*	Lagerzeit der nicht stapelbaren Schnelldreher (Dreiecksverteilung Min-Wert)
AK	*avgDns*	Lagerzeit der nicht stapelbaren Schnelldreher (Dreiecksverteilung Median-Wert)
AL	*maxDns*	Lagerzeit der nicht stapelbaren Schnelldreher (Dreiecksverteilung Max-Wert)
AM	*minDnl*	Lagerzeit der nicht stapelbaren Lagercontainer (Dreiecksverteilung Min-Wert)
AN	*avgDnl*	Lagerzeit der nicht stapelbaren Lagercontainer (Dreiecksverteilung Median-Wert)
AO	*maxDnl*	Lagerzeit der nicht stapelbaren Lagercontainer (Dreiecksverteilung Max-Wert)
AP	N_{IN}	Summe der Eingänge in ITE, kumuliert
AQ	N_{OUT}	Summe der Ausgänge in ITE, kumuliert
AR	$avgT_S$	Mittlere Anzahl Container im Lager in TEU
AS	$avgN_S$	Mittlere Anzahl Container im Lager in ITE
AT	$avg\ l_C$	Mittlere Containerlänge in TEU (Containermix)
AU	P_{ST}	Anteil stapelbarer Container
AV	C_B	Blockkapazität
AW	$avgU_B$	Durchschnittliche Blockauslastung
AX	$avgU_G$	Durchschnittliche Grundflächenauslastung
AY	N_Q	Anzahl wartende Container in ITE, kumuliert
AZ	$maxN_Q$	Maximale Länge der Warteliste in ITE
BA	N_{SH}	Anzahl der Servicehübe, kumuliert
BB	N_{OC}	Anzahl der Servicehubaufträge
BC	N_M	Anzahl der gesamten Hübe, kumuliert
BD	P_{SH}	Servicehubanteil
BE	N_{SP}	Anzahl der Hübe auf Ausweichfläche (Servicehubausnahmefall)

Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere,

- dass ich diese Diplomarbeit selbständig verfasst, keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet und mich keiner unerlaubten Hilfe bedient habe.
- dass ich dieses Diplomarbeitsthema bisher weder im In- noch im Ausland in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe.
- dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit übereinstimmt.



Benno Hüttler