

DIPLOMARBEIT

Titel der Diplomarbeit

„Optimierung der bikriteriellen Liegeplatzzuordnung am
Containerterminal mit genetischem Algorithmus“

Verfasserin

Jasmin Yagmur-Holik

angestrebter akademischer Grad

Magistra der Sozial- und Wirtschaftswissenschaften
(Mag.rer.soc.oec.)

Wien, im Juli 2009

Studienkennzahl laut Studienbuchblatt:
Studienrichtung laut Studienbuchblatt:
Betreuer:

A 157
Internationale Betriebswirtschaft
Ao. Univ.-Prof. Dr. Walter Gutjahr

Eidesstattliche Erklärung

„Ich erkläre hiermit Eides Statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.“

Danksagung

Ich möchte mich hiermit bei all jenen bedanken, die mich bei meiner Arbeit unterstützt und mir mit Rat und Tat zur Seite gestanden sind. Besonderer Dank gilt meiner Familie und meinen Freunden.

Ich danke Prof. Gutjahr und seinem Assistenten Mag. Rath für die Betreuung. Weiteren Dank gilt meinem ehem. Arbeitgeber Panalpina, der mir eine Kontaktaufnahme zur Firma Eurogate verschafft hat. Letzteren danke ich für die Freigabe des Datenmaterials.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	I
Tabellenverzeichnis	II
1. Einleitung	11
2. Grundlagen der Seeverkehrswirtschaft.....	3
2.1 Einführungen in die Container.....	3
2.1.1 Vor- und Nachteile von Containern.....	3
2.1.2 Arten von Containern.....	5
2.1.2.1 Standardgut Container.....	5
2.1.2.2 Spezialgut Container.....	7
2.1.3 Kennzeichnung von Containern.....	9
2.1 Einführungen in die Containerschiffe	10
2.2.1 Vor- und Nachteile von Containerschiffen	10
2.2.2 Arten von Containerschiffen	11
2.2.3 Technische Daten zu Containerschiffen	14
2.3 Einführungen in die Terminals	15
2.3.1 Einsatz von Fahrzeugen am Terminal.....	16
2.3.2 Einteilung des Terminals	17
2.3.3 Standorte der weltweiten Containerterminals	19
2.4 Einführung in die Containerwirtschaft.....	20
2.4.1 Entwicklung des Containermarktes	21
2.4.2 Entwicklung der Reedereien.....	22
2.4.3 Kooperationen von Reedereien.....	24
3. Referenzmodelle nach Entscheidungsebene	27
3.1. Ankunft des Schiffes	28
3.1.1 Strategische Ebene	28
3.1.2 Operationale Ebene.....	29
3.1.3 DBAPE	31
3.2 Be- und Entladen des Schiffes.....	36
3.2.1 Strategische Ebene	36
3.1.2 Taktische Ebene.....	37
3.1.3 Operationale Ebene.....	40

3.3 Transfer vom Schiff zum Stellplatz und umgekehrt.....	43
3.3.1 Strategische Ebene	43
3.3.2 Taktische Ebene.....	44
3.3.3 Operationale Ebene.....	45
3.4 Stellplatzverwaltung	48
3.4.1 Strategische Ebene	49
3.4.2 Taktische Ebene.....	51
3.4.3 Operationale Ebene.....	53
4. Lösungsansätze zur dynamischen Liegeplatzzuordnung	55
4.1. Genetische Algorithmen.....	56
4.1.1 Vorgehensweise des GA.....	56
4.2.1.1 Rekombination	57
4.2.1.2 Mutation	58
4.2.1.3 Selektion	58
4.2 Mehrzieloptimierung.....	59
4.2.1 Das Konzept der Pareto Optimalität	60
4.2.2 Mehrfache Zielsetzung mit GA	61
4.2.2.1 Vector Evaluation GA.....	61
4.2.2.2 Strength Pareto Evolutionary Algorithm	62
4.2.2.3 Nondominated Sorting GA (NSGA) – NSGA.....	64
4.3 Anwendung der Lösungsansätze	67
4.3.1 Trade off des DBAPE	68
4.3.2 Chromosome des DBAPE	69
4.3.3 Algorithmus des DBAPE.....	72
4.3.3.1 Freizeit des ungenutzten Liegeplatzes.....	72
4.3.3.2 Wartezeit der Schiffe.....	73
4.3.3.3 Abfahrtszeit der Schiffe - ATD.....	74
4.3.3.4 Fitnesswerte für die Reproduktion	75
5. Implementierung der genetischen Liegeplatzzuordnung	76
5.1 Testinstanzen Hamburg und Bremen.....	77
5.1.1 Ausgangssituation Hamburgerhafen(HAM) und Bremerhafen(BRV).....	77
5.1.1.1 Hamburghafen	77
5.1.1.2 Bremerhafen	79
5.1.2 Datensätze zu den Hafen	80

5.1.2.1 Hamburghafen	80
5.1.2.2 Bremerhafen	82
5.2 Programmbeschreibung	83
5.2.1 Verwendete Variablen	84
5.2.2. Verwendete Methoden	85
5.2.3 Implementierte Schleifen	86
5.3 Analysen der Ergebnisse	90
5.3.1. Hamburghafen.....	90
5.3.1.1 Auswertung der Pareto- optimalen Front	91
5.3.1.2 Interpretation der Ergebnisse.....	94
5.3.1.3 Praktischer Bezug.....	96
5.3.2 Bremerhafen.....	97
5.3.2.1 Auswertung der Pareto- optimalen Front	97
5.3.2.2 Interpretation der Ergebnisse.....	99
5.3.2.3 Praktischer Bezug.....	100
6. Zusammenfassung und Ausblick	102
A Anhang	104
A.1 Segelliste Hamburghafen	III
A.2 Segelliste Bremerhafen	IV
A.3 Datensätze HAM.....	V
A.4 Datensätze BRV	VI
A.5 Ergebnisse für HAM	VII
A.6 Ergebnisse für BRV.....	VIII
A.7 Abstract	IX
A.8 Lebenslauf	X
Abkürzungsverzeichnis	XI
Literaturverzeichnis	XII

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Einteilung eines Terminals aus der Vogelperspektive	18
Abbildung 2: Entwicklung des Containerumschlags von 1980 bis 2015	21
Abbildung 3: Rekombination von Chromosomen an einer Stelle	57
Abbildung 4: Rekombination von Chromosomen an zwei Stellen	57
Abbildung 5: Mutation von Chromosomen	58
Abbildung 6: Schema der VEGA Selektion	62
Abbildung 7: Berechnung der gruppierten Distanz	65
Abbildung 8: Schematische Darstellung des NSGA II	67
Abbildung 9: Chromosom für das DBAPE	69
Abbildung 10: Darstellung des Chromosoms A	70
Abbildung 11: Crossover von A und B an 2 Punkten	71
Abbildung 12: Vorläufige Kinderchromosome	71
Abbildung 13: Endgültige Kinderchromosome	72
Abbildung 14: 1. Teil des Programms	84
Abbildung 15: 2. Teil des Programms	86
Abbildung 16: 3. Teil des Programms	86
Abbildung 17: Werte der Eingabevariablen	87
Abbildung 18: Pseudocode für das Kreieren	87
Abbildung 19: Pseudocode für das Sortieren	88
Abbildung 20: Pseudocode für die EBZ	89
Abbildung 21: Pseudocode für den Rang	89
Abbildung 22: Pseudocode für das Dominieren	90
Abbildung 23: Pareto optimale Front HAM	91
Abbildung 24: Pareto optimale Front für BRV	97

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Verwendung und Systematik von Container	9
Tabelle 2: Top 10 der Containerterminals weltweit.....	19
Tabelle 3: Verschiffte Kapazitäten (in TEU) in den Jahren 2000 und 2007	22
Tabelle 4: Allianzen der maritimen Containerwirtschaft, Stand 2007.....	26
Tabelle 6: Lösungen des Chromosomes	70
Tabelle 7: Berechnung des ungenutzten Zeitintervalls	73
Tabelle 8: Berechnung der Wartezeit	73
Tabelle 9: Numerisches Beispiel	74
Tabelle 10: Berechnung der Hilfsvariable	75
Tabelle 11: Liegeplätze HAM.....	79
Tabelle 12: Angewandte Liegeplätze HAM.....	81
Tabelle 13: Angewandte Liegeplätze BRV	83
Tabelle 14: Vergleich Pseudocode und Programm	85
Tabelle 15: Pareto Set für HAM.....	93
Tabelle 16: Liegeplatzzuordnung HAM für Chromosom 1	94
Tabelle 17: Pareto optimales Set für BRV	98
Tabelle 18: Liegeplatzzuordnung BRV für Chromosom 1.....	99

1. Einleitung

Seit Beginn des 20. Jahrhunderts widmen sich Forscher verschiedenster Disziplinen vermehrt der Entwicklung von Modellen zur Entscheidungsunterstützung in der Zuweisungsproblematik. Das große Interesse an der Modellierung von Zuweisungsproblemen steht im Zusammenhang mit dem sehr breiten Spektrum von Individuen und Institutionen, die eben solchen Entscheidungen treffen müssen. Für ein Unternehmen ist die Entscheidung, welcher Mitarbeit, welche Tätigkeit verrichten soll, von grundlegender Bedeutung, da sie meist mit hohen Personalkosten verbunden ist. Zuweisungsprobleme sind jedoch nicht nur im Bereich des Human Resource von Bedeutung, sondern auch in der Belegung von Maschinen. Ihre optimale Auslastung kann nur mithilfe einer gereiften Entscheidung über die Zuweisung von Arbeit und Maschine gelingen. Die vorliegende Arbeit widmet sich dieser Problematik aus Sicht einer Containerterminalbetreibers im Bereich der Seeverkehrswirtschaft. Das Interesse des Betreibers beruht in der optimalen Belegung seiner begrenzten Ankerplätze, so dass möglichst wenige Schiffe extern abgefertigt werden müssen. Wie in den meisten betriebswirtschaftlichen Problemen, wird eine möglichst effiziente Zeitplanerstellung erstrebt. Das Ziel ist festzulegen, welcher Auftrag wann und an welcher Maschine ausgeführt werden kann. Anders ausgedrückt, welches Schiff, an welchem Liegeplatz und in welcher Reihenfolge abgefertigt werden soll.

In den letzten Jahrzehnten bedient man sich zunehmend der Gruppe der evolutionären Algorithmen, die auf den Mechanismen der natürlichen Evolution aufbauen. Besonders viel Aufmerksamkeit wurde im Bereich der Mehrzieloptimierung, den genetischen Algorithmen (GA) zuteil. Die erste Implementierung eines GA zur Mehrzieloptimierung stammt aus den 1980er Jahren (vgl. [SCH85]). Im folgenden Jahrzehnt wurden weitere wichtige Neuerungen publiziert, die dazu beitrugen, den GA im Bereich der Mehrzieloptimierung populär zu machen. Diese Popularität schlägt sich in dieser Arbeit nieder, da ein solcher GA nach der Vorlage der Autoren Deb et al. (vgl. [DEB02]) implementiert worden ist.

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Optimierung einer Zuweisungsproblematik am Containerterminal, das mit NSGA II gelöst werden soll. Die dafür berücksichtigten Kriterien sind, wie in den meisten Zuordnungsproblemen, dass jede Arbeit und jede Maschine nur einmalig zugewiesen werden kann. Um der termingerechten Zuordnung Rechnung zu tragen, wurde als weitere Einschränkung, ein Zeitlimit des Wartens eingeführt. Dieses Limit wird von der Bereitschaft der Schiffe, auf Abfertigung zu warten, bestimmt. Die Höhe des Limits ist entscheidend, für die interne oder externe Bedienung des Schiffes. Die entwickelte Lösungsheuristik basiert auf einem genetischen Algorithmus, der mithilfe von Permutationen, Lösungsmengen generieren soll. Für den entwickelten Algorithmus werden als Testinstanzen reale Problemsituationen herangezogen. Es handelt sich um die deutschen Terminals Bremerhafen und Hamburgafen. Ausgehend von den jeweiligen Segellisten, wurden die Daten implementiert und getestet. Ein Vergleich der generierten mit den tatsächlichen Lösungen soll schließlich zeigen, wie effizient der entwickelte GA arbeitet und von welcher Qualität die Lösungen sind.

Die vorliegende Arbeit ist in fünf Teile gegliedert. Kapitel 2 beschäftigt sich mit den Grundlagen der Seeverkehrswirtschaft und beschreibt ihre wichtigsten Faktoren wie dem Container, das Containerschiff, den Terminal und den Containermarkt. Kapitel 3 ist ein Überblick wissenschaftlicher Arbeiten über die Bereiche der Containerwirtschaft, gegliedert nach Entscheidungsebenen. Die angewandten Lösungsansätze, wie etwa der GA und die mehrfache Zielsetzung, werden in Kapitel 4 erläutert, während im Kapitel 5 die Implementierung dieser Ansätze beschrieben wird. Zusätzlich beinhaltet Kapitel 5 eine Analyse der Ergebnisse zu den Testinstanzen. Abgeschlossen wird in Kapitel 6, welches die erzielten Ergebnisse zusammenfasst sowie weiterführende Forschungsansätze aufzeigt.

2. Grundlagen der Seeverkehrswirtschaft

In diesem Kapitel werden die Grundlagen des Containerverkehrs erläutert. Zunächst soll auf den Transportbehälter des internationalen maritimen Handels, dem Container, eingegangen werden (2.1). Danach sollen die Schiffe beschrieben werden, welche die Container von einem Hafen in den anderen befördern (2.2.). Am Terminal angekommen, soll dieser sowie die Fahrzeuge erläutert werden, mit denen Container innerhalb des Hafens, transportiert werden (2.3.). Schließlich soll auf die wichtigsten, gegenwärtigen „global player“ der Reedereien eingegangen werden, um jene Firmen und Allianzen zu beschreiben, die aktiven Containerverkehr betreiben(2.4.).

2.1 Einführungen in die Container

Dieser Abschnitt befasst sich mit Containern, den „Boxen“, die eine intermodale und globale Transportkette denkbar machen.

Container können sowohl per Schiff als auch per Bahn oder LKW befördert werden. Aus diesem Grund haben sie den internationalen Warenaustausch beflügelt.

In Folge soll zunächst die allgemeinen Vor- und Nachteile diskutiert werden, um dann auf verschiedenen Arten von Containern einzugehen. Abschließend wird auf international gültige Kennzeichnungen von Containern hingewiesen.

2.1.1 Vor- und Nachteile von Containern

Um die Bedeutung der Container im Welthandel nachvollziehen zu können, sollen zwei wichtige Aspekte über die Container, nämlich ihre Normierung und ihre Automatisierung beschrieben werden.

Die Normierung der Container nach ISO 668 impliziert, dass die weltweit am meist verbreitenden Container eine Länge von 20 oder 40 Fuß (ca. 6 bzw. 12 Meter) und eine Breite von 8 Fuß (ca. 2,5 Meter) aufweisen. Container mit 20 Fuß haben dem Term Twenty Foot Equivalent Unit (TEU)geprägt und ein einheitliches Maß für die Bestimmung von Dimension und Gewicht eines Containers ermöglicht.

Die Durchsetzung dieser Maße hat das Verladen und Befördern von Gütern nicht nur vereinfacht, sondern auch beschleunigt.

Die Normierung hat somit auch die Automatisierung des Umschlages herbeigeführt und zu einem regelrechten Boom beim Einsatz von Containern in der Seefracht geführt. Die einheitliche Abmessung der Container hat nämlich dazu geführt, dass passende Geräte und Fahrzeuge entwickelt worden sind, die den Umschlag der Container unbemannt, bewältigen können. Die zusätzliche Anpassung der Lagerhallen und der Schiffe an die Maße der Container, gemäß ISO 668, führte zudem zu einer besseren Raumnutzung bei der Lagerung. [WIK08]

Zusätzlich, erzielen Container einen raschen Transfer von Waren, da beim Transport der Ware mit den Boxen weniger Verpackungsmaterial benötigt wird. Zudem fördert der Transport mit Containern, die Lieferung unbeschädigter Ware, sodass eine Steigerung der Produktivität erzielt wird. [VIS03].

Der sichere Transport der Ware in Containern beruht auf der Stabilität dieser Boxen. Letztere ist so verlässlich, dass Container in bis zu dreizehn Lagen und mehr, auf einem Schiff, übereinander gestapelt werden. Diese Stapel werden mit so genannten Twistlocks befestigt, um so einen gesicherten Transport zu ermöglichen. Die undurchsichtigen Wände der Container werden als weiteres Sicherheitsmerkmal genannt.

An dieser Stelle wird darauf hingewiesen, dass dieser unsichtbare Inhalt der Container auch ein Risiko darstellt, da viele Schmuggler diese Tatsache nutzen, um illegale Ware zu verladen. Diesen Nachteil versuchen Sicherheitsexperten am Hafen entgegen zu wirken. Zu diesem Zweck werden die Container Röntgenstrahlen ausgesetzt, um so- ähnlich wie bei Gepäckstücken am Flughafen- den Inhalt der Boxen sichtbar zu machen. Das geschulte Auge der Hafenmitarbeiter erkennt meist rasch, versteckte Ware wie beispielsweise geschmuggelte Zigaretten, inmitten anderer, legaler Frachtgüter. Dennoch fliegt nur ein Bruchteil der Schmuggelware auf, da die Dimensionen des täglichen Umschlags an einem Containerterminal gigantisch sind.

Ein weiteres Manko stellt Gefahrgut dar, welches von Containern befördert wird. Das Auslaufen eines mit Öl befüllten Tankcontainers auf See, führt zu einem massiven Schaden der Natur. Die daraus resultierende Verschmutzung des Meeres sowie die Verpestung ihrer Einwohner ist ein immense Problematik, welche die Seeverkehrswirtschaft noch zu lösen hat.

Zusammenfassend existieren Argumente, welche sowohl für als auch gegen den Einsatz von Container im Welthandel sprechen. Betrachtet man jedoch die Entwicklung der Containernutzung wird schnell klar, dass die Vorteile mehr Einfluss auf die Wirtschaft hatten als die Nachteile.

Das lässt sich vermutlich auch damit erklären, dass eine besonders hohe Vielzahl von Waren mit Containern verschifft werden. Im nächsten Abschnitt soll daher auf die Containertypen eingegangen werden.

2.1.2 Arten von Containern

Die unterschiedlichen Arten von Containern lassen sich am Besten mit den verschiedenen Arten von Gütern beschreiben, die darin transportiert werden.

Es gibt mehrere Möglichkeiten Containertypen zu klassifizieren. In unserem Fall soll zwischen Standardgut oder Spezialgut Container unterschieden werden (vgl. [PUM00, S.8])

Standardgut Container eignen sich für den Transport von Gütern, die einfach zu handhaben sind. In Standardgut Container wird hauptsächlich Stückware, also Güter aller Arten, die zählbar und leicht zu handhaben sind, transportiert. Beispielsweise werden, Handschuhe, in Kartons verpackt, in solchen Containern verschifft.

Spezialgut Container sind für die Handhabung problematischer Güter geeignet. Beide Arten von Containern werden im nächsten Abschnitt einzeln erläutert.

2.1.2.1 Standardgut Container

Unter den Standard Containern befinden sich der Standard Container, der High Cube Container, der Hardtop Container, der Opentop Container, Flat, Plattform sowie der ventilierte Container.

Standard Container werden auch General Purpose Container genannt, da sie sich für den Transport jeder Art von Stückgut eignen. Insbesondere zählen dazu Güter, die in Kartons verpackt sind. Weiters gehören sie zu den geschlossenen Containertypen, d.h. sie sind an allen Seiten geschlossen. Aufgrund ihrer Vielfalt an Abmessungen und Gewichten, ergibt sich eine Vielzahl verschiedener Standard Container, auf die in Folge eingegangen wird.

Ein Standard Container, der besonders hoch gebaut ist, bezeichnet man als High Cube Container. Im Vergleich zu einem Standard Container mit Höhe von 20 Fuß also 1 TEU, ist ein High Cube Container bis 40 Fuß hoch. Sie eignen sich daher besonders für den Transport von leichten und voluminösen Waren, sowie Waren mit Überhöhe.

Ein Hard Top Container zeichnet sich durch sein abnehmbares Dach aus und durch den oberen Türquerträger, der sich ausschwenken lässt. Einerseits vereinfachen diese Konstruktionsmerkmale entscheidend das Be- und Entladen des Containers. Beispielsweise kann bei geöffnetem Dach, die Ladevorgänge von oben erfolgen oder durch die Türen, bei ausgeschwenktem Türquerträger. Andererseits kann beim Transport von Ladung mit Überhöhe, das Dach offen gelassen werden bzw. die Ladung an einer Seitenwand des Hard top Containers befestigt werden.

Als Open top Container wird ein Standardgut Container ohne Deckel bezeichnet. Diese Art von Container ist mit einer abnehmbaren Plane anstatt eines Daches versehen. Ähnlich wie der Hard top Container, lässt sich auch hier, der obere Türquerträger ausschwenken. Open top Container eignen sich daher besonders für hohe Ladung.

Flats sind Container, die speziell für den Transport von schweren Gütern eingesetzt werden. Sie bestehen daher aus einer hochbelastbaren Bodenkonstruktion und zwei fest installierten oder klappbaren Stirnwänden. Flats können außerdem für Ladungen mit Überhöhe bzw. Überbreite verwendet werden.

Im Vergleich zu Flats, bestehen Plattformen nur aus einer belastungsfähigen Bodenkonstruktion. Letztere ermöglicht hohe Massen, auf kleinen Flächen zu stellen. Plattformen werden daher für besonders schwere oder große Ladungen benutzt.

Der ventilierte Container ist ein Standardgut Container, der passiv belüftet wird. Die natürliche Belüftung dieses Containers erfolgt über Ventilationsöffnungen. Um eine Beschädigung der Ware durch Regen- oder Spritzwasser zu vermeiden, sind diese Öffnungen wasserdicht. Für Waren, die während des Transportes gelüftet werden müssen, eignet sich dieser Container besonders. Im Gegensatz zu Spezialgut Containern wie Kühlcontainer, kann die Ventilation dieser Container nicht reguliert werden.

Neben Standard Containern, existieren Spezialgut Container, welche für die Handhabung problematischer Güter eingesetzt werden.

2.1.2.2 Spezialgut Container

Bei Spezialgut Containern wird unterschieden zwischen temperierten, Tank und Bulk Containern.

Temperierte Container bzw. Reefer können entweder Thermal oder Isolier Container sein.

“ Kühl-Container werden für Waren verwendet, die bei einer konstanten Temperatur oberhalb oder unterhalb des Gefrierpunktes transportiert werden. Je nach vorgegebener Transporttemperatur werden diese Waren in Plus- bzw. Kühlwaren oder Gefrierwaren bei Minusgraden transportiert.“ [TIS08]

Isolier Container werden auch Conair oder Porthole Container genannt. Der Name Isolier Container bezieht sich auf deren eingebaute Isolierung, welche eine effiziente Temperierung des Inhaltes gewährleistet. Zudem sichert eine doppelte Wand, dass die Transportgüter im Container mithilfe der Zufuhr von Außenluft, kühl bleiben.

Conair Container verfügen über keine eigene Temperaturanzeige, ihre Temperatur wird mit dem Clip on Aggregat reguliert. Letztere werden benötigt, um den Container mit der zentralen Kühlanlage des Schiffes zu verbinden. Auf diese Weise wird die Zirkulation mit Frisch- bzw. Kühlluft ermöglicht. Das bedeutet, dass diese Art von Container nicht selbständig kühlen kann, da sie über kein eigenes Kühlaggregat verfügen. Aus diesem Grund, werden Thermal Container öfter eingesetzt als Isolier Container.

Thermal Container werden auch Integral Container genannt. Diese Container kommen ohne Clip on Aggregat aus, da sie über ein integrierten Heiz- oder Kühlaggregat verfügen. Dieses eingebaute Kühlaggregat führt jedoch zu einem Verlust an Innenvolumen und Nutzlast. Beim Transport auf Schiffen werden die Container an das bordeigene Stromnetz angeschlossen. Für den Transport auf der Straße und Schiene werden die meisten Kühlaggregate der Integral Container mit

einem Generator-Aggregat betrieben. Dieser kann entweder Bestandteil des Kühlaggregats sein oder an das Kühlaggregat angeschlossen werden. Integral Container können sowohl auf dem Schiff als auch unter Deck gestaut werden. Die Stauung an Deck hat den Vorteil, dass die entstehende Abluftwärme besser abgeführt werden kann. Nachteilig ist hier jedoch, dass die Container oft starker Sonneneinstrahlung ausgesetzt sind und dies eine erhöhte Kühlleistung erfordert.

Tank Container gehören ebenfalls zu den Spezialgut Container und werden für den Transport von flüssigen oder gasförmigen Gütern eingesetzt. Wird dieser Container mit Flüssigkeit gefüllt, so ist zu beachten, dass dieser „zu mindestens 80 % gefüllt sein muss, um während des Transportes gefährliche Schwallbewegungen zu vermeiden. Andererseits dürfen sie in der Regel jedoch nicht über 95% gefüllt sein, um den für die thermische Ausdehnung erforderlichen Freiraum zu gewährleisten.“ [TIS08]. Zudem sind Tank Container mit speziellen Wänden ausgestattet. Diese unterteilen den Container in ein oder mehrere Abschnitte und wirken so den genannten Schwallbewegungen wie zBsp. Aufschaukeln der Ladung, entgegen. Der Großteil der Tank Container entspricht der Normierung nach ISO 668 und eignen sich daher für den kombinierten Verkehr von Straßen-, Schienen und Seeweg. Nicht nur aus diesem Grund, haben Tank Container zu einem schnelleren Umschlag von Flüssigkeiten geführt. Tank Container sind zudem ein rascheres Transportmittel als die klassischen Straßentankwagen. Ähnlich wie letztere müssen auch Tank Container die Aufschrift „Nur für Lebensmittel / Produits alimentaires / Foodstuff only“ führen, wenn der Inhalt des Containers flüssige Lebensmittel sind. Werden jedoch Chemikalien transportiert, werden entsprechende Gefahrgut Kennzeichnungen verwendet. Aufgrund dieser Vielfältigkeit an Transportgüter, die Tank Container abdecken, können je nach Inhalt, Kühl-, Heiz- oder Rühraggregate verbaut sein.

Bulk Container gehören zu den jenen Spezialgut Containern, die am Einfachsten zu beschreiben sind und werden daher als letztes beschrieben. Sie werden auch Schüttgutcontainer genannt, da sie hauptsächlich für den Transport von eben solchen Gütern verwendet werden. Bulk Container verfügen daher im Dach über drei Einfüllöffnungen. An der Türseite befinden sich zwei Ausschüttöffnungen, die zum Teil mit kurzen Schläuchen zur Lenkung des Schüttgutes ausgestattet sind. Bulk Container eignen sich auch für den Transport von Stückgut.

Eine systematische Darstellung sowie die Verwendung der beschriebenen Container befinden sich in der unten stehenden Tabelle.

Containerarten	Containertypen	Verwendung
Standardgut Container	Standard Container	Stückgüter
	High Cube Container	Voluminöse Güter
	Hard Top Container	Hohe, schwere Güter
	Open Top Container	Hohe Güter
	Flat Container	Hohe, schwere Güter
	Plattform	Schwere Güter
	Ventilierter Container	Atmende Güter: Kaffee
Spezialgut Container	Isolier Container	Atmende Ware, Milchprodukte
	Thermal Container	Atmende Ware ,Milchprodukte
	Bulk Container	Schüttgut, wie z.B. Getreide, Futtermittel, Gewürze
	Tank Container	Flüssige Lebensmittel, Chemikalien

Tabelle 1: Verwendung und Systematik von Container

Um die Einführung in die Container abzuschließen, wird nach der Beschreibung der Containertypen nun auf ihre internationale Identifizierung eingegangen werden.

2.1.3 Kennzeichnung von Containern

Zwecks Kennzeichnung, steht auf jedem Container ein Code, mit Hilfe dessen, der Besitzer der Box identifiziert werden kann. Jeder Code besteht aus drei Buchstaben wie etwa PONU, CAXU, MSKU, MRKU, wobei das „U“ den Container als Container-Unit klassifizieren soll, gefolgt von sechs Ziffern. (vgl.[PUM00]) Die Kennzeichnung der Container ist, wie seine Abmessungen nach ISO 669, genormt und wird vom internationalen Containerbüro in Frankreich (kurz „BIC“ genannt) herausgegeben.

Diese „Namensgebung“ der Container ist unerlässlich, um sie – abgesehen von Farbe, Größe, Gewicht - voneinander unterscheiden zu können. Zusätzlich zu diesem Code, gibt es eine Siegelnummer, die bei jedem Container unterschiedlich

ist. Letztere besteht ebenfalls aus Zahlen und Ziffern, wobei die Siegel, das Öffnen und Verschließen der Container ermöglichen.

Nachdem die Container in oben stehenden Abschnitt beschrieben worden sind, kann nun auf ihre Transportmittel zu Wasser – den Containerschiffen – eingegangen werden.

2.1 Einführungen in die Containerschiffe

Containerschiffe ermöglichen den Transport der Container auf See oder auf dem Meer. Daraus resultiert auch ihre Bedeutung: Containerschiffe sind land- sowie kontinentalübergreifende Transportmittel und daher aus dem Welthandel nicht wegzudenken. Trotz dieser Vorteile, bergen Containerschiffe auch Gefahren in sich, weshalb auch auf ihre Nachteile eingegangen werden soll. Anschließend sollen die verschiedenen Arten von Schiffen beschrieben werden, da diese sich, ähnlich wie Container, aus der Vielfalt der transportierten Güter, ergeben. Letztlich wird auf technische Daten eines Schiffes eingegangen, wobei nur jene beschrieben werden, die für den Containertransfer von Bedeutung sind.

2.2.1 Vor- und Nachteile von Containerschiffen

Ein offensichtlicher Vorteil von Containerschiffen basiert auf der Tatsache, dass es ein maritimes Transportmittel ist. Auf dieser Weise können Container zwischen Ländern verladen werden, die geographisch gesehen, nur über das Meer, Handel betreiben können. Ein weiterer Vorzug von Containerschiffen ist die Überwindung von sehr großen Distanzen. Ein Containerschiff bewältigt mehrere tausend Kilometer, wenn es eine Ladung Container zBsp. von Ägypten nach Australien verfrachtet. Letztlich sollte auf die erhöhte Produktivität eines Containerschiffes, im Vergleich zum konventionellen Frachter, verwiesen werden. Das liegt unter anderem auch daran, dass das Verhältnis zwischen Fahr- und Löschzeit bei einem Frachter lediglich 1:1 beträgt, während sie bei einem Containerschiff 4:1 beträgt.

Als Nachteil von Containerschiffen kann die hohe Kapitalbindung für die Reedereien genannt werden. Zusätzlich zur Investition in ein solches Schiff, fallen hohe variable

Kosten wie jene für den Treibstoff, für die Mannschaft und für die Hafengebühren an (vgl. [PUM00]). Schließlich soll auf das umweltschädliche Manko von Containerschiffen eingegangen werden. Die Verwendung von Ballastwasser stellt ein ökologisches Problem dar, da auf diese Weise, nicht nur Meereswasser sondern auch darin lebende Tiere und Pflanzen, von einem Weltmeer ins andere transportiert werden. Aufgrund der Leerung der Tanks am Zielort, gelangen die mitgebrachten Organismen in neue Gewässer bzw. Lebensräume, an denen es, unter Umständen, an natürlichen Feinden fehlt. Zusammenfassend führt die Nutzung von Containerschiffen zur Störung des ökologischen Gleichgewichtes, da das Ablassen von „ortsfremdem“ Ballastwasser zur Einbringung und Verbreitung fremder Organismen führt.

Trotz der vorliegenden Nachteile, wurden Containerschiffe zunehmend weiterentwickelt bzw. differenziert, woraus eine Vielzahl von Schiffsarten entstand.

2.2.2 Arten von Containerschiffen

Frachtschiffe sind Handelschiffe, die speziell für den Transport von Frachtgut konzipiert worden sind. Zu den Frachtschiffen zählen Containerschiffe, Feederschiffe, Stückgutschiffe, Kühlschiffe, Massengutfrachter, RoRo Schiffe, Tanker sowie Schwergutfrachter. Der Wortlaut der Schiffe lässt sich rasch erkennen, dass die Schiffe aus den darin befindlich Containern bzw. Gütern, benannt worden sind.

Ein Containerschiff ist ein Schiff, das für den Transport von Container über Wasser konstruiert ist, da es durch seine Raumnutzung, eine effiziente Beladung mit Containern gewährleistet. Ein Containerschiff, das relativ wenig Container transportiert, ist in den meisten Fällen ein Feederschiff.

Ein Feederschiff ist ein flexibles Frachtschiff mit geringer Kapazität. Es agiert hauptsächlich als Lieferbote für große Seehäfen oder Seeschiffe, da es mühelos kleine Häfen anlaufen kann. Das Feederschiff transportiert Fracht aus den Tiefwasserhäfen zu einem kleinen Hafen oder verteilt die Container aus einem solchen Fluss- oder Küstenhafen. Der Feederverkehr findet zwischen den Seehäfen und kleineren Häfen statt, die von Überseecontainerschiffen nicht angelaufen werden. Einerseits, da es für letztere effektiver ist, nur jene Häfen anzulaufen, in denen sie eine große Anzahl von Containern umschlagen können. Andererseits

kommen für Überseeschiffe nur solche Häfen in Frage, die sowohl ausreichend Liegeplätze als auch Tiefgang und Kapazität besitzen. Feederschiffe sind aufgrund ihrer Möglichkeiten und ihrer Handhabung, am Besten für Häfen ohne direkten Zugang zu internationalen Seehandelswegen, geeignet.

Kein Containerschiff ist das Stückgutschiff. Es transportiert Güter, die keine Standardmaße wie bei Containern besitzen und auch nicht flüssig sind. Typische Stückgüter sind Kartons, Säcke und unverpackte Ware wie Anlagenteile. Stückgutschiffe wurden zum größten Teil von Containerschiffen verdrängt, da die meisten Transportgüter in Containern hineinpasst. Dennoch werden besonders schwere oder große Ladungen mit Stückgutschiffen verfrachtet, da sie für den Transport mit Containern schlechter geeignet sind. Besonders sperrige Güter wie Maschinen, Kräne, Fabrikteile werden mit Stückgutschiffen verladen, da der Transport mit Containerschiffen zu kompliziert ist. Im Gegensatz zum geringen Marktanteil der Stückgutfrachter, werden ca. 1/3 des weltweiten Seetransportes von Massengutfrachtern bewältigt.

Ein Massengutfrachter kann sowohl ein Schüttgutfrachter bezeichnen, falls das Schiff lose Massengüter wie Erz, Kohle oder Getreide transportiert. Ebenso kann es sich um einen Bulkcarrier handeln, wenn das Schiff neben festen Schüttgütern, auch Öl oder Container laden kann. Neben einer einfachen und preiswerten Konstruktion, zeichnen sich Massengutfrachter durch ihre sorgfältige Stauung der Ladung aus. Letztere ist notwendig, um das Verrutschen der Ladung und die daraus resultierende Schräglage des Schiffes, zu verhindern. Für den Transport von flüssigen Massengütern werden diese Frachter- trotz der präzisen Verladung ihrer Güter- nicht herangezogen.

Tanker sind jene Schiffe, die flüssige Stoffe wie Rohöl, Wasser oder Chemikalien verfrachten. Öltanker sind Schiffe, die speziell für den Transport von Erdöl gebaut werden, während LNG Tanker (LNG = Liquefied Natural Gas) dem Transport von Flüssigerdgas dienen. Tanker lassen sich optisch leicht von anderen Frachtschiffen unterscheiden, da sie- bis auf die Brücke- ein flaches Deck haben. Zudem zeichnen sich Tanker dadurch aus, dass sie kein Ladegeschirr benötigen. Das Ladegeschirr eines Schiffes bezeichnen Geräte zur Ausrüstung von bordeigenen

Ladeeinrichtungen. Die meisten Containerschiffe verfügen über ein Ladegeschirr bzw. über Lade- und Entladeeinrichtungen wie Kräne. So genannte Manifoldkräne sind bei Tankern die gängigsten Einrichtungen dieser Art. Diese Kräne werden benötigt, um jene Schläuche von Land an Bord heben zu können, welche anschließend mit dem Leistungssystem des Schiffes verbunden werden. Die Manifolds oder Anschlüsse sind ebenfalls leicht aus der Distanz zu erkennen und heben so die Tanker optisch von anderen Frachtschiffen ab. Bei Tankern wird für das Löschen der Ladung an Borden, Pumpen eingesetzt. Für das Beladen oder Füllen der Tankladung wird Inertgas eingesetzt. Dieses Gas soll den Tank sauerstofffrei machen, um bei entflammbarer Tankladung, Explosionen zu vermeiden.

Um die Gefahr des Auslaufens von Erdöl bei Öltankern entgegenzuwirken, beschloss die Internationale Maritime Organisation (IMO) 2001, dass nur Öltanker mit doppelwandigen Außenhüllen auf See gehen dürfen.

In der Regel werden Containerschiffe mittels dem LoLo Verfahren (Lift on, Lift off) be- und entladen. Das bedeutet, dass die Ladung mittels Hebezeug an Bord verladen oder gelöscht wird. Eine Ausnahme stellen Tanker als auch RoRo Schiffe dar. Tanker nutzen Pumpen, um ihre Ladung zu löschen; RoRo Schiffe nutzen das RoRo bzw. das Roll on, Roll off Verfahren, das diesem Schiff seinen Namen gegeben hat. Bei diesem Verfahren wird die Ladung horizontal - anstatt vertikal wie mit Kränen - mit Hilfe der befahrbaren Decks, an Bord des Schiffes gefahren. In den meisten Fällen handelt es sich dabei nicht nur um Kraftfahrzeuge wie PKW oder LKW sondern auch um Züge. Das RoRo Schiff hat daher einen raschen und einfachen Umschlag von beweglichen Gütern begünstigt.

Um besonders schwere Güter zu verfrachten, werden Schwergutschiffe eingesetzt. Diese sind mit entsprechenden Kränen ausgerüstet, um das Be- und Entladen dieser schweren Güter zu ermöglichen und haben gegenwärtig eine Kapazität von bis zu 900 Tonnen. Zudem sind Schwergutschiffe mit Ballastpumpen ausgerüstet, um einer Neigung des Schiffes, während Ladungsarbeiten, entgegen zu wirken. Kennzeichnend für Schwergutschiffe sind außerdem Deckausbauten, die vorne angeordnet sind. Folglich, ist auch bei hohen Ladungen, eine ausreichend gute Sicht gewährleistet. Das vorne gerichtete Deck eignet sich zudem als Schutz für die empfindliche Decklast.

Kühlschiffe sind Frachtschiffe, die für den Transport temperierter Güter konzipiert sind. Solche Güter sind in der Regel Früchte, Fisch oder Fleisch, die jeweils in dafür vorhergesehene Abteilungen im Schiff gelagert werden. Diese Einteilung im Rumpf des Schiffes ist notwendig, um die geeignete Temperatur - also sowohl Plus als auch Minus Grade- für jedes Gut zu gewährleisten. Zusätzlich wird jede Abteilung von der Wassertemperatur isoliert. Obwohl Kühlschiffe aufgrund temperierter Container an Bedeutung verlieren, werden sie immer noch- wie zBsp. für den Transport von Bananen- eingesetzt.

2.2.3 Technische Daten zu Containerschiffen

Aus wirtschaftswissenschaftlicher Sicht sind technische Daten, wie die Kapazität eines Schiffes sowie seine Stellplatzverwaltung an Bord von Bedeutung.

Hinsichtlich der Kapazität, ist anzumerken, dass Containerschiffe in Generationen eingegliedert werden. Es existieren fünf große Generationen. Die erste bis fünfte Generation gliedert Containerschiffe nach ihrer Länge, ihrer Breite, ihrem Tiefgang sowie ihrer wirtschaftliche Bedeutung - ihrer Kapazität in TEU – ein. Ab der fünften Generation, kennzeichnen sich die Schiffe durch den Panama Kanal. „ Der Panamakanal ist eine künstliche Wasserstraße, welche die Landenge von Panama in Mittelamerika durchschneidet und den Atlantik mit dem Pazifik für die Schifffahrt verbindet.“ [WIK08]

Die Panamax Generation sind Containerschiffe, die aufgrund ihrer Konstruktion knapp durch die Schleusen den Panama Kanals passen. Jene Schiffe, die sich aufgrund ihrer Konstruktion- in ihrer Länge, Breite oder am ehesten wegen ihrer Tiefe –nicht mehr für den Seeverkehr im Panama eignen, sind die so genannten Post Panamax.

Ähnlich wie die Panamax Schiffe, existieren Containerschiffe, die aufgrund ihrer Konstruktion knapp oder gar nicht den Suez Kanal passieren können. Das größte Schiff der Welt – Emma Maersk - der Firma Möller-Maersk ist ein Beispiel für ein Suezmax Schiff.

Nachdem Containerschiffe der letzten Generation eine Kapazität von ca. 5000 TEU vorweisen, ist eine genaue Verwaltung der Stellplätze an Bord unerlässlich, um die

Ressourcen des Schiffes auszuschöpfen. Dazu wird, mit Hilfe eines Systems, die optimale Position jedes Containers über oder unter Deck ermittelt. Jedes Schiff wird daher der Länge nach, in Bays und der Breite nach, in Tiers aufgeteilt.

Ein Stack ist eine Reihe von Container, die vertikal aufeinander gestapelt ist. Mithilfe der Bay- Tier- und Stacknummer lässt sich die Position jedes Containerstellplatzes an Bord eindeutig nachweisen. Je nach Schiffstyp wird weiterführend noch zwischen 20 und 40 Zoll Containerplätzen sowie der Verfügbarkeit eines Stromanschlusses für Reefer Container unterschieden. Entscheidend ist in den meisten Fällen eine vernünftige Beladung des Schiffes, wie sie in der Stauplanung berücksichtigt werden sollte.

Weiterführend zur Einführung in die Container und die Schiffe, soll nun auf die Containerterminals eingegangen werden. Sie stellen die Schnittstelle zwischen den Transport zu Wasser und zu Land dar.

2.3 Einführungen in die Terminals

Die Hauptaufgabe eines Terminals besteht darin, die reibungslosen Containertransfer zwischen dem Schiff und den Verkehrsmitteln auf der Straße und auf den Gleisen, zu gewährleisten.

Um diese Aufgabe gerecht zu werden, muss der Terminalbetreiber einerseits auf die optimale Lagerung der Container auf den Stellplätzen achten. Das bedeutet, dass jene Container die am Terminal lagern, entsprechend ihrer nachträglichen Versendung per Containerschiff, LKW oder Bahn, abgestellt werden müssen. Diese Aufgabe des Betreibers besteht daher in der Zwischenlagerung von Containern, die auf ihre kommende Transportmöglichkeit warten. Andererseits muss der Betreiber seine Fahrzeuge optimal einsetzen können. Letztere schlagen erst dann die beste Route ein, wenn die Container vernünftig gelagert werden und so auch ideal von einem Transportmittel zu anderen, transferiert werden können.

2.3.1 Einsatz von Fahrzeugen am Terminal

Zur Bewältigung des Containerverkehrs am Terminal werden wasserseitig Kräne und Containerbrücke eingesetzt. Landseitig werden ebenfalls Kräne als auch Fahrzeuge genutzt.

In der Literatur wird eine Vielzahl terminalgerechter Maschinen beschrieben, welche den technischen Voraussetzungen eines Containerterminals, gerecht werden.

Um diese Maschinen untereinander vergleichen zu können, bieten sich mehrere Möglichkeiten an. Eine Möglichkeit ist zu unterscheiden, ob die betreffende Maschine mit Fahrer geführt wird oder nicht (vgl. [VIS08], [PUM 00]). Eine andere Möglichkeit besteht darin, zu überprüfen, ob die Bewegung des Gerätes mit Schienen oder mit Reifen erzielt wird (vgl. [KIM00]). Geht man, bei einem ankommenden Container, von der Reihenfolge aus, in der dieser Maschinen genutzt werden, dann sollte man als erstes Containerbrücken, sog. Quay Cranes beschreiben.

Eine Containerbrücke besteht aus einem sog. Spreader, die sich auf der Laufkatze befindet. Der Spreader erfasst die Container mit Hilfe von vertikalen und horizontalen Bewegungen und befördert ihn somit vom Schiff zum Terminal. Der schienengebundene Teil der Containerbrücke ermöglicht einem zusätzlichen Transport der Container entlang der Kaimauer. Containerbrücken dienen somit der Abfertigung der Containerschiffe. Hinsichtlich ihrer Kapazität werden sie mit Hilfe von Kriterien wie Reichweite, fahrbare Entfernung entlang der Kaimauer und Umfang des Containerumschlags gemessen (vgl. [PUM00]).

Da Containerbrücken nur bedingt mobil sind, werden zusätzlich Fahrzeuge wie Portalhubwagen, sog. Straddle Carrier (SC) oder Van Carrier, eingesetzt. Diese transportieren die Container vom Ankerplatz in den Yardbereich des Terminals. Die gummibereiteten Fahrzeuge werden über Funk geführt, da sie mit der Zentrale verbunden sind. SC werden auch für den Transport der Container vom Yardbereich zum Abfertigungsbereich mit LKW oder Bahn genutzt. Die Fahrzeuge lassen sich mit Merkmalen wie ihrer Geschwindigkeit mit und ohne Container sowie ihrer Portalhöhe und- breite untereinander vergleichen.

Flurförderzeuge, sog. Reachstacker, dienen dem Um- und Aufstapeln beim Lagern von Containern. Reachstacker sind Flurförderzeuge, die über Greifarme verfügen, mit denen sie den Container erfassen und lagern können. Diese Fahrzeuge schlagen Container im kombinierten Verkehr um und werden aus Kostengründen teilweise anstatt Portalkränen eingesetzt.

Transtainer oder Portalkran wird sowohl für das Lagern der Container am Terminal genutzt als auch als Umschlagsmittel für andere Verkehrsmittel auf Schienen und/oder Straßen. Ebenso eignet sich dieses Gerät für das Stapeln von mehreren Containerreihen nebeneinander.

Chassis bieten, historisch gesehen, die älteste Möglichkeit, Container landseitig zu transportieren. Chassis werden in Kombination mit anderen Umschlaggeräten wie dem Van Carrier eingesetzt, da sie selbst nur zum Flächentransport nützlich sind. Zusätzlich kann auf den Chassis ein Container gelagert werden, um diesen nachträglich auf eine zugewiesene Position auf dem Yard abzustellen oder auf der Bahn abzufertigen.

Abschließend ist die Automatisierung der Geräte anzumerken. Insbesondere werden die Fahrzeuge, die zwischen Kaikran und Yardbereich des Terminals agieren, vollautomatisch und führerlos gesteuert. Diese Automatisierung der Fahrzeuge erfordert eine exakte Planung und Steuerung der Fahrzeuge innerhalb des Terminals, so dass die Container zeitgerecht transportiert werden können. Um eine solche Steuerung gewährleisten zu können, muss jeder Bereich im Terminal für verschiedenen Zwecke genutzt werden können. Im folgenden Abschnitt wird daher auf Einteilung des Terminals in bestimmte Bereiche und deren Funktionen eingegangen.

2.3.2 Einteilung des Terminals

Vergleicht man Containerterminal weltweit miteinander, so unterscheiden sie sich zwar in ihrer Größe und ihrem Aufbau, sie basieren aber auf ein einheitliches Konzept. Wie bereits erwähnt, agieren Terminals einerseits als Zwischenlager für Container, die zu einem späteren Zeitpunkt verladen werden.

Andererseits besteht die Hauptaufgabe eines Terminals darin, den Umschlag der Container vom Land auf das Schiff und umgekehrt, zu bewältigen. Zu diesem Zweck

ist ein Terminal in drei Bereiche eingeteilt: dem Schiffs-, dem Yard- und dem Übergangsbereich.

Der Schiffsbereich besteht aus den Ankerplätzen und Kaikränen. Dieser Bereich dient somit der Abfertigung der Schiffe.

Die zu lagernden Container werden dann in den Yardbereich gebracht, wo sich Stellplätze für die Import bzw. Export Container befinden. Ebenso befinden sich im Yardbereich speziellen Flächen, die beispielsweise für das Lagern für Leercontainer oder der Reparatur von beschädigten Container, reserviert sind.

Im Übergangsbereich der Container vom Terminal zur Bahn bzw. zum LKW, werden die Container vom Hafen in das Hinterland transportiert.

Für eine Darstellung der verschiedenen Bereiche eines Terminals, wird auf untenstehende Abbildung 1 verwiesen.

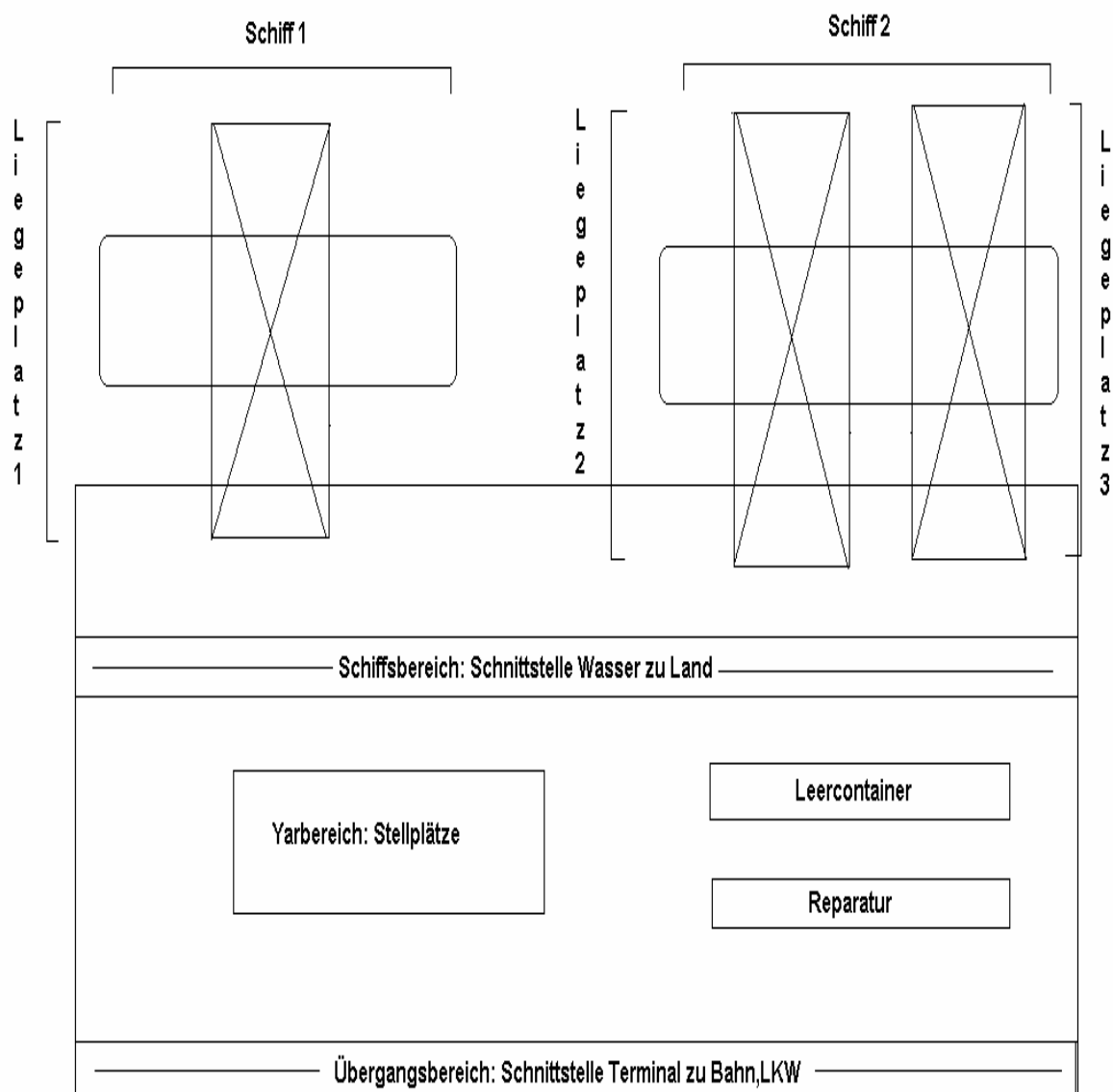


Abbildung 1: Einteilung eines Terminals aus der Vogelperspektive

Für den Betreiber sind abgesehen von oben genannter Einteilung des Terminals, zwei weitere Faktoren für die reibungslose Abwicklung der Container relevant. Zum einen ist er für Kaimauern und Wassertiefe der Liegeplätze verantwortlich. Diese müssen den Anforderungen der einlaufenden Schiffe entsprechen, so dass die Zufahrt der Schiffe zum Terminal zwangsläufig vom Betreiber organisiert wird. Neben der laufenden Überwachung der Wassertiefe, muss der Betreiber zum anderen auf die Belastbarkeit der Terminaloberfläche, Rücksicht nehmen. Letztere hängt vom Untergrund ab, auf den der Terminal gebaut worden ist. Zusammenfassend lassen sich die Eigenschaften eines Terminals mit Hilfe der Belastbarkeit des Bodens, der Anzahl der Liegeplätze, den Yardbereichen und der Kapazität in TEU beschreiben. (vgl.[PUM00])

Diese Eigenschaften soll ausschlaggebend für die Erwähnung der wichtigsten Standorte von Containerterminals weltweit sein.

2.3.3 Standorte der weltweiten Containerterminals

Jene Containerterminals, die im weltweiten Vergleich, am meisten Container umschlagen (gemessen in TEU) werden in folgender Tabelle, dargestellt.

Reihung	Umschlag	Hafen	Land
1	27.932.000	Singapur	Singapur
2	26.150.000	Shanghai	China
3	23.881.000	Hing Kong	China
4	21.099.000	Shenzhen	China
5	13.270.000	Pusan	Südkorea
6	10.790.604	Rotterdam	Holland
7	10.653.026	Dubai	VAE*
8	10.256.829	Kaohsiung	China,Taiwan
9	9.889.792	Hamburg	Deutschland
10	9.462.000	Qindao	China
*VAE: Vereinigte Arabische Emirate			

Tabelle 2: Top 10 der Containerterminals weltweit
(Umschlag und Reihung für das Jahr 2007; Quelle: www.hafen-hamburg.de)

Auffällig ist die Tatsache, dass sich die Hälfte der weltweit größten Terminals in China befindet. Diese Führung liegt vermutlich nicht nur am starken Export der Elektronik- und Telekommunikationsindustrie des Standortes Shenzhen, sondern auch am Export der Textilbranche sowie der chemischen und pharmazeutischen Produkte Shanghais.

Shanghai ist der größte Hafen Chinas und kombiniert einerseits den wasser- und schienengebunden Verkehr. Andererseits ist Shanghai auch mit 400 weiteren Hafen weltweit und Chinas Hinterland verbunden. Es ist daher verständlich das 99% der Exportgüter Chinas über diesen Hafen abgewickelt werden. 95% der Container, die für den Verkehr zu Wasser produziert sind, stammen aus China. Aus Sicht der maritimen Wirtschaft ist die chinesischen Reederei China Ocean Shipping Company (COSCO) erwähnenswert, da sie großen Einfluss auf den internationalen Austausch von Waren ausübt.

Die wichtigsten europäischen Häfen sind Rotterdam und Hamburg. Letzterer ist für seine Spitzenposition im Umschlag von Rohkaffe bekannt und bietet insgesamt vier Containerterminals. Rotterdam ist sogar der größte Seehafen und wichtigster Handelspunkt für Erdöl in Europa.

Singapur hat seine weltweite Führung nicht nur seinen vier großen Frachthäfen zu verdanken, die nach den Kriterien Tonnage, Güterumschlag und Umladung, gemeinsam den größten Hafen der Welt bilden. Zudem schlagen diese Seehäfen die Hälfte des jährlich transportierten Petroleums um.

Abschließend zu den Einführungen in die Seeverkehrswirtschaft soll nun auf die wichtigsten Akteure dieser Branche eingegangen werden.

2.4 Einführung in die Containerwirtschaft

In diesem Abschnitt soll zunächst auf die Entwicklung des Containermarktes eingegangen werden, um nachzuvollziehen zu können, auf welcher Grundlage die weltweit wichtigsten Reedereien wachsen konnten. Anschließend soll die Entwicklung dieser bedeutsamen Firmen erläutert werden, um schließlich interne Kooperationen von Reedereien zu beschreiben.

2.4.1 Entwicklung des Containermarktes

Die Nutzung von Containern im interkontinentalen maritimen Transport hat in den letzten Jahren rapide zugenommen. Folgende Abbildung veranschaulicht die dramatische Zunahme von Containern im Export und Import.

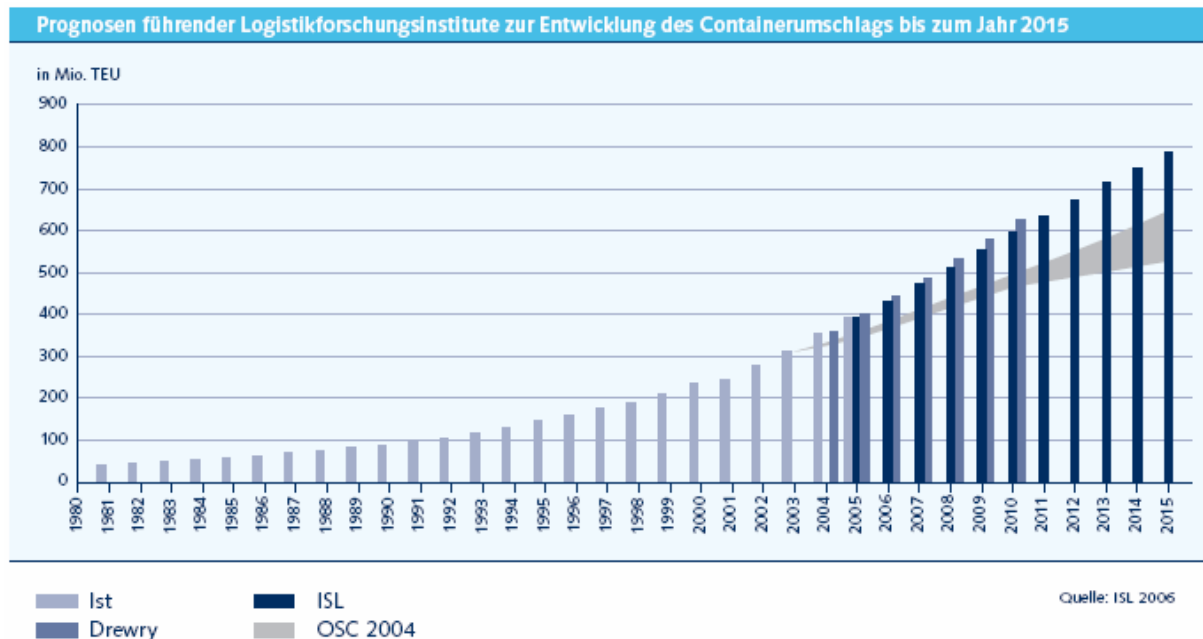


Abbildung 2: Entwicklung des Containerumschlags von 1980 bis 2015

(Quelle: <http://www.geschlossenefonds.de/containerbeteiligungen.htm>, abgerufen im Juli 2008)

Seit den frühen 80 er Jahren lässt sich eine progressive Steigung des Containerumschlages beobachten: Während 1988 knapp 70 Millionen TEU umgeschlagen wurden, sind es 2008 knapp über 500 TEU. Das sind über ein siebenfaches mehr, innerhalb von nur 30 Jahren. Glaubt den Prognosen, so wird sich dieser Trend auch weiterhin durchsetzen, so dass der Einsatz von Containern unerlässlich sein wird. In diesem Zusammenhang, ist es nicht überraschend, dass weltweit über eine Million Container pro Jahr hergestellt werden. Die Mehrheit dieser Container befindet sich im Eigentum von Reedereien. Seit ihrer Einführung in den 60er Jahren, repräsentieren Container das Standardkonzept für internationale Fracht. Ihr Anteil an der Tiefsee Cargo stieg auf über 60% in den üblichen Verkehrswegen zwischen Europa und Asien und den USA. An manchen Seewegen, stieg der Anteil von Containern sogar auf 100%. Das bedeutet, dass die Mehrheit der maritimen Frachtrouten nur mehr noch mit Containern abgewickelt wird. Das lässt

sich einerseits daran erkennen, dass sich der Containerumschlag in den Jahren 1990 bis 2003 verdreifacht, während das weltweite Bruttosozialprodukt in der gleichen Zeitspanne um nur 50% anstieg. Andererseits bezeugt der Hamburghafen, einer der weltweit führenden Häfen, dass 93,7% der Stückgüter mit Containern transportiert wird. (vgl.[KIM00])

Die rasante Entwicklung des Containermarktes spiegelt die Bedeutung des Containerumschlages im weltweiten Handel wieder. Beinahe parallel dazu, konnten auch Firmen, wie Reedereien, von diesem Wachstum profitieren und zunehmend an Marktanteil gewinnen. Im folgenden Abschnitt soll auf jene Firmen eingegangen werden, die von der Entwicklung des Containerumschlages profitieren konnten, so dass sie zu den weltweit führenden Reedereien der Gegenwart aufgestiegen sind.

2.4.2 Entwicklung der Reedereien

Um die Entwicklung von Reedereien zu verstehen, sollen die weltweit am stärksten tätigen Firmen in der Seeverkehrswirtschaft, mit Hilfe von Indizien wie den verschifften TEU, dem prozentuellen Marktanteil(MA) und dem Rang, untereinander verglichen werden.

In Tabelle 2.4.2 werden jene Firmen aufgelistet, die nach oben genannten Kriterien gefunden wurden, wobei die Spalte Steigerung, den prozentuellen Wachstum der betreffenden Firma zwischen dem Jahr 2000 und 2007, angibt.

	im Jahr 2000			im Jahr 2007			
Firma	TEU	MA	Rang	TEU	MA	Steigerung	Rang
Maersk	620.324	12 %	1	1.759.619	16,8%	184%	1
MSC	224.848	4,4%	3	1.026.251	9,8%	357%	2
CMA CGM	122.848	2,4%	4	685.054	6,5%	458%	3
Evergreen	317.292	6,2%	2	547.576	5,2%	73%	4
Hapag Llyod	102.769	2%	5	458.161	4,4%	346%	5

Tabelle 3: Verschiffte Kapazitäten (in TEU) in den Jahren 2000 und 2007
(Quelle:www.logisticsmgmt.com, abgerufen im Juli 2008)

Die Bedeutung der jeweiligen Firmen wird aus den beobachteten Daten wie verschiffte Kapazität in TEU, dem Marktanteil und dem daraus folgenden Rang zugeschrieben. Es soll nun auf die Entwicklung der drei weltweit wichtigsten Reedereien: A.P.Möller Maersk, Mediterranean Shipping Company (MSC) und der Compagnie Maritime d'Affrètement et Compagnie Générale Maritime (CMA CGM), eingegangen werden.

A.P. Möller- Maersk ist der mit Abstand wichtigste Betreiber von Überseecontainer. Die dänische Firma erlangte ihre Spitzenposition erstmals im Jahr 2000, in Folge der Übernahme des damaligen Rangführers, Sealand, im Jahr 1999.

Im gleichen Jahr übernahm A.P. Möller- Maersk die Firma Safmarine und drei Jahre später die Firma Smit-Wijsmüller. Mit einer Flotte bestehend aus über 250 Schiffen, operiert die dänische Firma aufgrund dieser letzten Übernahme mit der weltweit größten Flotte an Bergungsschiffen. In den darauf folgenden Jahren erwirbt die dänische Reederei weitere Firmen wie die Konkurrenzfirma P&O Nedllyod, die ihr eine Flotte von 162 Containerschiffen einbringt.

A.P. Möller- Maersk ist aber auch aufgrund der Produktion firmeneigener Schiffe Marktführer. Das bekannteste Schiff ist die Emma Maersk, da diese eine Kapazität von 11.000 TEU transportieren kann. Das sind 1.400 TEU mehr als jedes andere Containerschiff weltweit. Nicht zuletzt verdankt diese Reederei ihre Spitzenposition der Diversifikation ihrer Leistungen wie jene in der Gewinnung von Öl und Gas.

MSC ist eine Firma aus der Schweiz, die seit 2003 den zweiten Rang der weltweit größten Reederein besetzt. MSC differenziert sich selbst, bewusst von A.P. Möller-Maersk, in dem sie behauptet, dass ihre Größe nicht auf Übernahmen, sondern auf Investitionen und internem Wachstum beruht. Die Mehrheit der Investitionen ist in die Erweiterung von Leistungen geflossen, so dass die Firma die nicht nur die Kundenzufriedenheit erhöhen, sondern auch flexibler auf wirtschaftliche Trends reagieren konnte. Die Einführung einer neuen direkten Linie von Nordeuropa nach Westafrika ist ein Beispiel für eine weitere erfolgreiche Investition, die ihre Position als einer der größten Reederei weltweit, bestärkt hat.

Ähnlich wie der dänische Konkurrent, hat MSC in ein bedeutsames Containerschiff namens MSC Pamela investiert, das eine Kapazität von 9200 TEU erfasst.

Abschließend ist die Unabhängigkeit dieser Reederei nennenswert: Kaum eine Firma hält sich so aus Tarifverhandlungen heraus wie MSC. Letztere bevorzugt es, ihre Preise alleine zu beschließen und hält wenig von Kooperationen mit anderen Firmen. Nicht nur diese Strategie, auch ihr Wachstum aus eigener Kraft, macht MSC zu einer einzigartigen Reederei im maritimen Handel.

CMA CGM ist eine französische Firma, dessen Namen aus der Zusammenschließung der zwei Firma CMA und CGM im Jahr 1999 resultiert. Letztere erklärt auch ihren Aufstieg von Rang 4 zu Rang 3 im Jahr 2007, da diese Firmen bedeutend schwächer waren, als sie noch unabhängig voneinander agierten. Wie bei der dänischen Reederei A.P.Möller-Maersk, blickt auch CMA CGM auf diverse Übernahmen zurück, die ihr zu ihrer aktuellen Marktposition verholfen hat. Nennenswert ist in diesem Zusammenhang der Kauf der Firma Mac Andrews im Jahr 2003 und jene des Konkurrenten Delmas zwei Jahre später.

CMA CGM investiert aber auch in Containerschiffe wie dem Balzac mit Kapazitäten bis zu 6.500 TEU, um ihren weltweiten Rang gerecht zu werden.

Diversifikation gehört ebenfalls zur Strategie dieser französischen Reederei. Durch die Übernahme der Firma Tapis Rouge konnten die Dienstleistungen der Reederei, auf Luxusschiffahrten erweitert werden.

Um den Aufstieg der genannten Firmen besser nachvollziehen zu können, soll im nächsten Abschnitt auf Kooperationen zwischen Reedereien eingegangen werden.

2.4.3 Kooperationen von Reedereien

Die Kooperationen zwischen Firmen sind in der Seeverkehrswirtschaft einzigartig. Das liegt an der kartellfeindlichen Immunität der maritimen Industrie. In diesem Zusammenhang wird zwischen diversen Arten von Abkommen und Kooperationen unterschieden.

Das sog. Slot Abkommen impliziert den Kauf, Verkauf oder Tausch von Slots. Letzteres bezeichnet den Platz, der für den Transport von Containern vorgesehen ist. Ein solches Abkommen zielt stets auf die Ausnutzung einer Schiffslinie ab und kann entweder ein sog. Tonnage Pool oder Vessel Sharing Abkommen beinhalten.

Beim Tonnage Pool Abkommen ist jeder Partner für seine eigenen Schiffe verantwortlich ist. In Folge entsteht eine gemeinsame Schiffflinie, welche zwar eine gemeinsame Nutzungsmöglichkeit jedes Schiffes beinhaltet, aber eine getrennte Verantwortung und Kontrolle.

Beim Vessel Sharing Abkommen hingegen, wird die Verantwortung für jedes Schiff zwischen den Partnern aufgeteilt, ganz gleich ob es sich nun, um das eigene Schiff handelt oder nicht.

Diese Abkommen werden vereinbart, um eine reguläre maritime Linie anbieten zu können, die zu niedrigen Kosten operieren kann.

Jene Abkommen, die nicht auf eine gemeinsame Nutzung einer Schiffflinie abzielen, sind die sog. Slot Charter und Swap Abkommen.

Beim Slot Charter Abkommen überlässt eine Reederei entgeltlich einen Teil ihrer Transportkapazität. Der Vermieter bleibt trotz dieses Abkommen unabhängig, da er zwar die Nutzung einiger Stellplätze übernimmt, die Verantwortung über die betreffende Schiffflinie bleibt jedoch bei der Reederei.

Beim Swap Abkommen tauschen mehrere Partner, Stellplätze am Schiff untereinander aus, operieren aber weiterhin unabhängig voneinander. Die Partner können so Märkte erreichen, ohne neue Schiffe kaufen zu müssen.

Das Ziel dieser Abkommen ist nicht nur reguläre Dienste des maritimen Transportes anbieten zu können, sondern auch die Kosten gering zu halten und das Risiko bei der Erschließung neuer Märkte zu minimieren. (vgl.[NOT04])

Kooperationen wie Konferenzen, sog. Pools und Allianzen sind in der Seeverkehrswirtschaft ebenfalls von großer Bedeutung.

Eine Konferenz ist die Integration mehrerer Reedereien, die gemeinsam ein Kartell bilden. Dieses Kartell kann bezüglich der Preise, der Regionen oder der Transportbedingungen erschlossen werden. Konferenzen fördern den Informationsaustausch bezüglich Kosten und beschleunigen Rationalisierungen, so dass Kosten gesenkt werden und die Rentabilität steigt. Das Ziel einer Konferenz ist das Verhindern von destruktiver Konkurrenz bzw. die Entstehung von Zusammenarbeit zwischen den Reedereien.

Ein Pool entspricht der strikteren Form einer Konferenz. Die rechtliche Autonomie bleibt zwar erhalten, die wirtschaftliche Unabhängigkeit der Mitglieder wird aber stärker unterbunden als in einer Konferenz. Bei einem Frachtpool wird das Einkommen aus der Fracht, während bei einem Cargopool, die Kosten aus dem Cargo, zwischen den Mitgliedern aufgeteilt.

Eine Allianz ist die strategisch stärkste Zusammenführung von Reedereien und stellt die signifikanteste Entwicklung der Reedereien in den letzten Jahren dar. Eine Allianz ist eine Übereinkunft, die einer horizontalen Integration zwischen Reedereien entspricht. Das Ziel einer Allianz ist es Stellplätze am Schiff zu erhalten und zu teilen, so dass die volle Kapazität der Schiffe ausgenutzt werden kann.

Derzeit existieren drei große Allianzen wie sie in folgender Tabelle samt deren Mitgliedern zusammengefasst sind.

Name der Allianz	Namen der Mitglieder
CKYHS Gruppe	COSCO
	K Line
	Xang Ming
	Hanjin Shipping
	Senator Lines
Grand Alliance	Hapag-Llyod
	MSC
	Nippon Yusen Kaisha Line (NYK)
	Orient Overseas Container Line (OOCL)
New World Alliance	APL Hyundai Merchant Marine
	Mitsui Osaka Shosa Kaisha (OSK)

Tabelle 4: Allianzen der maritimen Containerwirtschaft, Stand 2007

Zusammenfassend werden solche Ankommen und Kooperation realisiert, um

- das Service zu erweitern,
- die Flotte zu vergrößern und
- um mehr Hafen zu erreichen. (vgl. [SL02])

Kooperationen sind ein wichtiger Bestandteil der maritimen Seeverkehrswirtschaft und ihre Betrachtung ist unerlässlich, um den heutigen Containermarkt zu verstehen.

Die Einführung in die Seeverkehrswirtschaft und die damit verbundene Erläuterung der Container, Schiffe, Terminals und Reedereien ermöglichen nun eine genaue wissenschaftliche Betrachtung der relevanten Teilgebiete. Letztere können erst dann verständlich betrachtet werden, wenn Grundkenntnisse der verwendeten Fachbegriffe gegeben ist. Der folgende Abschnitt befasst sich daher mit der mathematischen Betrachtung der Geschäftsprozesse, die im Zusammenhang mit dem maritimen Containerumschlag vorliegen.

3. Referenzmodelle nach Entscheidungsebene

Die wirtschaftswissenschaftliche Bedeutung des maritimen Welthandels ist in vier Prozesse gegliedert. In Folge soll jeweils auf einen dieser Prozesse des Containerumschlags eingegangen werden:

- die Ankunft des Schiffes (3.1.)
- das Be- und Entladen des Schiffes (3.2.)
- der Transfer vom Schiff zu den Stellplätzen(3.3.), sowie
- die Verwaltung von lagernden Containern am Hafen (3.4.)

Jeder Prozess wird in drei - die strategische, taktische oder operationale - Ebene gegliedert.

Auf strategischer Ebene wird entschieden, welche Maschinen oder Geräte für das Handhaben der Container genutzt werden. Der Entscheidungszeitraum erstreckt sich über maximal sieben Jahre. Entscheidungen, die auf dieser Ebene getroffen werden, führen zu einer Menge an Bedingungen, die anschließend auf taktischer und operationaler Ebene berücksichtigt werden müssen.

Auf taktischer Ebene wird entschieden, welche Informationen einbezogen werden. Zum Beispiel kann auf dieser Ebene entschieden werden, auf welcher Art und Weise, Container gelagert werden sollen.

Auf operationaler Ebene werden detaillierte Probleme gelöst, die sich aus dem täglichen Geschäftsprozess ergeben. Zum Beispiel, stellt sich auf dieser Ebene die Frage, wo ein bestimmter Container gelagert werden soll. ([vgl.VIS03])

Der nächste Abschnitt befasst sich mit der Ankunft des Containerschiffes am Hafen und somit mit dem ersten Teilprozess des maritimen Containertransfers.

3.1. Ankunft des Schiffes

Das Ziel eines jeden Containerschiffes ist die sichere Ankunft am vorherbestimmten Terminal. Hat das Schiff diesen Hafen erreicht, ersucht es um einen geeigneten Liegeplatz, so dass die Container am Bord wie vorgesehen, be- und entladen werden können. Diese Abfertigung soll möglichst rasch erfolgen, so dass das Containerschiff, den Hafen wieder verlassen bzw. den nächsten Hafen ansteuern kann.

3.1.1 Strategische Ebene

Auf strategischer Ebene wird entschieden, wie viele Liegeplätze für die ankommenden Schiffe zur Verfügung stehen sollen. Um diese Entscheidung zu fällen, schlagen Edmond und Maggs (vgl. [ED78]) vor, den Arbeitsprozess an einem Terminal mit Hilfe von Warteschlangen zu repräsentieren. In ihrer Arbeit vergleichen sie daher verschiedenen Arten von Warteschlangen miteinander, um herauszufinden, welche am Besten den Betrieb an einem Hafen darstellen kann. Um letzteres beurteilen zu können, wird darauf hingewiesen, dass ein wichtiger Bestandteil von Terminals, die Abhängigkeit zwischen der Ankunft des Schiffes und dessen Servicerate am Hafen ist.

Die Anforderungen an ein geeignetes Warteschlangenmodell sind daher, nicht nur diese Abhängigkeit widerzuspiegeln, sondern auch Modellergebnisse zu präsentieren, die für den Terminal anwendbar sind.

Für eine Anzahl von n Schiffen, werden drei Warteschlangenmodelle vorgestellt, die sich jeweils hinsichtlich des Parameters(PM), der Verteilung (VTL), der Zwischenankunftszeit (ZAZ) sowie der Servicezeit (SZ) unterscheiden.

Es werden drei möglichen Szenarien A, B, C berechnet und mit Hilfe der Modelle, vorherbestimmte Kostenfunktionen berechnet. Dabei geht es darum, die beste mögliche Investitionsentscheidung A, B oder C zu ermitteln, wobei klarerweise jedes der Modelle jeweils andere Kosten pro Szenario errechnet. Ziel ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein Schiff länger als 2,5 Tage am Hafen verbringt, auf ein akzeptables Kostenlevel zu minimieren. Die Auswahl eines optimalen Szenarios informiert darüber, wie viele Liegeplätze bzw. Kräne erworben werden sollen.

Die Autoren finden heraus, dass die ersten beiden Modelle, am besten den Geschäftsprozess eines Terminals bei Investitionsentscheidungen repräsentiert. Sie warnen jedoch davor, nicht modellierte Tatsachen außer Acht zu lassen. Werden diese Tatsachen entsprechend berücksichtigt, kann ein sorgfältig ausgewähltes Warteschlangenmodell sehr akkurat den Ablauf eines Terminals wiedergeben und zur einen vernünftigen Investitionsentscheidung beitragen. Weiters wird darauf hingewiesen, dass Simulation ein noch besseres Instrument ist, um solche Entscheidungen fällen zu können. Aufgrund der damit verbundenen hohen Kosten und des hohen Zeitaufwandes werden dennoch Warteschlangenmodelle bevorzugt. Der Verweis auf die Arbeit von Edmond et al. ist der Einzige im Zusammenhang mit den strategischen Entscheidungen bei der Ankunft des Schiffes. (vgl.[VIS03]) Im nächsten Schritt soll daher weiterführend auf die operationale Entscheidungsebene eingegangen werden.

3.1.2 Operationale Ebene

Bei Ankunft der Schiffe steht auf operationaler Ebene ihre optimale Zuweisung an Liegeplätze im Mittelpunkt. Imai et al. sind jene Autoren, die in diesem Zusammenhang eine große Auswahl an Arbeiten verfasst haben. Im folgenden Abschnitt wird daher auf drei ihrer Recherchen verwiesen.

Zunächst soll auf die dynamische Liegeplatzzuordnung im öffentlichen Sektor eingegangen werden. (vgl. [IMA01/1]) Diese Recherchen basieren auf der Motivation, die Kostensituation der japanischen Terminals zu verbessern. Nach Meinung der Autoren ist diese deshalb so schlecht, da die Terminals auf Basis eines privaten Systems, betrieben werden. Letzteres ist aber nur dann effektiv, wenn ein hohes Volumen an Containern und eine hohe Anzahl von Schiffen abzufertigen sind. Ist die Nachfrage jedoch, wie bei japanische Terminals, nicht ausreichend hoch, können die Kosten nicht mehr gering gehalten werden und die Terminals müssen hohe Gebühren erheben. Um dies zu vermeiden, schlagen die Autoren vor, ein öffentliches System einzuführen. Das öffentliche System zielt nämlich darauf ab - bei gleich bleibenden Servicelevel- die Anzahl der benötigten Liegeplätze, durch geeignete Zuweisung von Liegeplatz und Schiff, zu reduzieren. Aus diesem Grund impliziert das System eine Zuordnung von Schiff zu Liegeplatz, mit Berücksichtigung

des Volumens an Containern je Schiff. Eine solche Zuordnung führt nämlich dazu, dass die Abfertigungszeit je nach Liegeplatz variiert. Eine ähnliche Tatsache wird auch bei der Annahme berücksichtigt, dass die Bearbeitungszeit pro Schiff vom zugewiesenen Liegeplatz abhängt. Diese Annahme stützt sich auf der Begründung, dass die Abfertigung je nach geografischer Distanz der zu ladenden Container und des Liegeplatzes variieren kann, je näher bzw. weiter der tatsächlich zugewiesenen Ankerplatz ist. Nach der Beschreibung der statischen und dynamischen Modelle, wird eine Heuristik entwickelt, die mit Hilfe einer Relaxation mit Lagrange erweitert wird. Die Lagrange Multiplikatoren werden so gewählt, dass eine möglichst gute Lösung erhalten bzw. eine qualitativ gute untere bzw. obere Grenze errechnet werden kann.

In der nächsten Arbeit von Imai et al. (vgl. [IMAI01/2]) wird ebenfalls eine dynamische Zuweisung von Liegeplätzen und Schiffen erläutert. Das bedeutet, dass neue Schiffe, während der Abfertigung von anderen, in den Hafen einlaufen und laufend zugewiesen werden. Unterschiede zur vorher beschriebenen Arbeit bestehen einerseits in der Lösungsfindung: anstatt der Verwendung von Lagrange Multiplikatoren wird nun ein genetischer Algorithmus verwendet. Andererseits wird beim mathematischen Modell nicht mehr angenommen, dass jeder Liegeplatz für jedes Schiff geeignet ist. Unter der gleichen Zielsetzung, dass die gesamte Verweildauer des Schiffes am Hafen minimiert werden soll, wird nun auch die Wassertiefe und Länge der Ankerplätze sowie der Schiffe berücksichtigt. In den bereits erwähnten Arbeiten, basiert die Reihenfolge in der die Schiffe abgefertigt werden, prinzipiell auf dem First Come First Serve Prinzip. (Wer zuerst kommt, wird zuerst abgefertigt) Das öffentliche System zielt aber auch darauf ab, die Anzahl der benötigten Liegeplätze zu reduzieren. Aus diesem Grund werden die Schiffe je nach Anzahl der zu abfertigen Container, gereiht. Folglich, kommt das FCFS Prinzip nicht immer zum Tragen, da große Schiffe vor kleinen Schiffen abgefertigt werden.

In der folgenden Arbeit von Imai et al. (vgl. [IMA02]) soll das existierende Modell der Zuordnung so modifiziert werden, dass zu abfertigen Schiffe nach Servicepriorität anstatt nach Größe gereiht werden können. Diese Priorität scheint im folgenden Beispiel besonders notwendig: Laufen ein kleines und ein großes Schiff gleichzeitig in den Hafen ein, wird aufgrund der höheren Containervolumens das große Schiff vor dem kleinen Schiff abgefertigt. Wird aber das kleine Schiff vorher abgefertigt, muss

es nicht erst die lange Bedienzeit des großen Schiffes abwarten und kann folglich den Hafen früher verlassen. Aus dieser Überlegung heraus, basiert die Motivation ein Modell mit Serviceprioritäten zu schaffen. Die Priorität je Schiff wird mit Hilfe seiner benötigten Bedienzeit und der Wartezeit auf einen Liegeplatz, gemessen. Aus mathematischer Sicht, wird eine Gewichtung je Schiff eingeführt, die sowohl das Containervolumen als auch die Dringlichkeit von Ladevorgängen beinhalten kann. Gelöst wird das Modell mit einem genetischem Algorithmus. Für genauere Erläuterungen wird auf die bereits erwähnte Arbeit von Imai et al verwiesen.

Guan et al. (vgl. [GUN04]) befassen sich ebenfalls mit der optimalen Zuordnung von Liegeplätzen, mit dem Ziel Warte- und Bedienzeit der Schiffe am Hafen zu minimieren. Wie in der zuletzt erwähnten Arbeit von Imai, werden auch in dieser Recherche, die Zeiten je nach Dringlichkeit der Schiffe, gewichtet. Das vorgeschlagene Modell betrachtet ebenfalls einen dynamischen Ansatz, so dass mehrere Schiffe auf einen bestimmten Liegeplatz warten können. Um eine Lösung zu finden, kombinieren die Autoren eine Heuristik mit dem Baumalgorithmus, in dem Schiffe, die ca. zur gleichen Zeit ankommen, in einem Los gebündelt werden. Nennenswert ist die Darstellung der Schiffe in eine Zeit- Raum Diagramm, wobei der Raum die Liegeplätze repräsentiert.

3.1.3 DBAPE

Folgender Abschnitt befasst sich mit der Arbeit von Imai et al. (vgl. [IMA08]), insbesondere mit dem darin formulierten Modell: „Dynamic Berth Allocation Problem with an External Terminal (DBAPE) „ Diese Recherchen von Imai et al. sind von zentraler Bedeutung für diese Arbeit, da das darin befindliche Modell detailliert beschrieben, sowie implementiert und auf praktische Beispiele angewendet werden soll.

Im Mittelpunkt der Arbeit von Imai et al. stehen sog. Multi User Container Terminals (MUT), die sich von sog. Dedicated Terminals, darin unterscheiden, dass sie nicht ausschließlich spezifischen Reedereien zur Verfügung stehen. In einem MUT werden die Schiffe flexibel an einen der verfügbaren Liegeplätze zugeordnet, wobei in dieser Arbeit, die Abfertigung der Schiffe nach dem FCFS Prinzip, außer Acht gelassen

wird. Mit Hilfe der beschriebenen Kostensituation am Jaya Container Terminal, wird auf die Problematik hingewiesen, dass Terminals zeitweise auf andere zurückgreifen müssen, um besonders große Containervolumen abfertigen zu können. Das bedeutet, dass der betreffende Terminalbetreiber, aufgrund fehlender Investitionsmöglichkeiten, die Ressourcen eines externen Terminals nutzen muss. Die folgende Recherche zur optimalen Zuordnung von Schiffen und Liegeplätze, dem sog. Berth Allocation Problem (BAP), werden daher mit Rücksicht auf die begrenzte Anzahl eigener Kaikräne und der daraus resultierenden, potenziellen Nutzung eines externen Terminals, betrieben.

Da dem Betreiber bei der Nutzung von externen Liegeplätzen, Kosten anfallen, soll die Bedienzeit am externen Terminal minimiert werden.

Um diesen Nachteil zu berücksichtigen, werden diese Kosten mit Hilfe der gesamten Bedienzeit am externen Terminal je Schiff berücksichtigt. Letzteres wird darauf begründet, dass diese Kosten, Servicegebühren entsprechen, die basierend auf der gesamten Bedienzeit, abgerechnet werden.

Gleichzeitig ist es für Terminalbetreiber umso vorteilhafter, die Produktivität oder den internen Arbeitsaufwand der eigenen Ankerplätze zu maximieren. Eine Möglichkeit dieses Ziel zu messen besteht darin, eine Arbeitsrate einzuführen, welche die Produktivität des Terminals misst. Die Autoren entschließen sich jedoch dazu, ein Zeitlimit einzuführen, welches die Anzahl der intern abgefertigten Schiffe beeinflusst.

Dieser Einfluss äußert sich darin, dass jedes Schiff ein bestimmtes Zeitlimit des Wartens für sich definiert. Wird dieses Limit voraussichtlich überschritten, werden die betroffenen Schiffe, am externen Terminal abgefertigt. Das liegt daran, dass der Terminalbetreiber nur die dringenden Aufträge selber abgefertigt. Folglich werden diejenigen Schiffe, die eine hohe Wartebereitschaft aufweisen, an den externen Terminal zugeordnet. In diesem Fall wird angenommen, dass keine zusätzlichen Wartezeiten anfallen, da für den Betreiber ohnehin nur die Bedienzeit der Schiffe am externen Terminal, relevant ist.

Für eine explizite mathematische Betrachtung soll in Folge, das Modell zum DBAPE beschrieben werden. Zu diesem Zweck werden zunächst die Annahmen und dann das Mixed Integer Linear Programm des Modells betrachtet werden.

Beim Modell zum DBAPE werden folgende Annahmen getroffen:

- Das FCFS Prinzip wird vernachlässigt
- Bei Zuordnung an den externen Terminal, gibt es keine zusätzliche Wartezeit (außer dem Zeitlimit des Wartens)
- Die Bedienzeit je Schiff hängt vom zugewiesenen Liegeplatz ab: es existieren verschieden Bedienzeiten je Liegeplatz
- Die Bedienung eines Schiffes wird nie unterbrochen

Das mathematische Modell zum DBAPE lautet:

[IMA08]

$$\sum_{j \in V} \sum_{k \in U} c_{qj} x_{qjk} \rightarrow \min! \quad (1)$$

unter den Nebenbedingungen:

$$\sum_{i \in B} \sum_{k \in U} x_{ijk} = 1 \quad \forall j \in V, \quad (2)$$

$$\sum_{j \in V} x_{ijk} \leq 1 \quad \forall i \in B; \forall k \in U, \quad (3)$$

$$\sum_{k \in U} [S_i - A_j + \sum_{l \in V} \sum_{m \in Pk} (c_{il} x_{ilm} + y_{ilm}) + y_{ijk} + (y_{ijk} - 1)BN] \leq L_j \quad (4)$$

$\forall i (\neq Q) \in B, \forall j \in V,$

$$\sum_{j \in W} \sum_{k \in U} (c_{il} x_{ilm} + y_{ilm}) + y_{ijk} - (A_j - S_i) x_{ijk} \geq 0 \quad \forall i \in B; \forall j \in W; \forall k \in U \quad (5)$$

$$x_{ijk} \in [0;1] \quad \forall i \in B; \forall j \in V; \forall k \in U \quad (6)$$

$$y_{ijk} \geq 0 \quad \forall i \in B; \forall j \in V; \forall k \in U \quad (7)$$

Die Notation des DBAPE lautet für die Indices:

$i = 1, \dots, Q \in B$: für die Liegeplätze, wobei q jene am externen Terminal bezeichnen

$j = 1, \dots, T \in V$: für die Schiffe, wobei l den bzw. die Vorgänger von j bezeichnen

$k = 1, \dots, T \in V$: für die Serviceorder, wobei m den bzw. die Vorgänger von k bezeichnen

Die Notation des DBAPE lautet für die Parameter:

C_{ij} ... Bedienzeit am Liegeplatz i des Schiffes j , wobei

C_{qj} ... Bedienzeit am externen Liegeplatz q des Schiffes j bezeichnet

A_j ... Ankunftszeit des Schiffes j am Terminal

S_i ... Zeit, in der Liegeplatz i für die Zuordnung verfügbar ist

BN ... Eine sehr große Zeit (englisch: **Big Number**)

L_j ... Zeitlimit des Wartens von Schiff j

Die Entscheidungsvariablen des DBAPE lauten:

$X_{ijk} = \begin{matrix} 1 & \dots & \text{falls Schiff } j, \text{ als das } (T-k+1)\text{te Schiff, am Liegeplatz } i \text{ bedient wird} \\ 0 & \dots & \text{sonst} \end{matrix}$

y_{ijk} ... Zeitspanne, die zwischen der Ankunft des $(T-k+2)$ tes Schiffes (Nachfolger) und Abfahrt des $(T-k+1)$ te Schiff (Vorgänger) vergeht, falls Schiff j als das $(T-k+1)$ te Schiff bedient wird.

Die Erläuterungen zum DBAPE Modell lauten:

(1) Die gesamte Bedienzeit je Schiff am externen Terminal minimieren.

Einerseits weil dem Betreiber aufgrund der externen Abfertigung der betreffenden Schiffe, zusätzliche Kosten entstehen. Andererseits verliert der Betreiber aufgrund seiner fehlenden Kapazität, Kundschaft an den externen Terminal.

(2) Jedes Schiff wird an maximal einen Liegeplatz und Serviceorder zugeordnet.

(3) Jeder Liegeplatz soll maximal ein Schiff bedienen.

(4) Zusammenfassend, beschreibt die komplette linke Seite der Nebenbedingung die gesamte Wartezeit je Schiff, das intern abgefertigt wird. Letztere darf nämlich

maximal so hoch wie das Zeitlimit des Wartens des betreffenden Schiffes sein, sollte es tatsächlich intern abgefertigt werden. Um die Erläuterung simpler zu machen, wird die Nebenbedingung von links nach rechts in drei Teile geordnet.

Der erste Teil der Wartezeit wird von der Differenz zwischen der Ankunftszeit des Schiffes und der Öffnungszeit des Terminals bestimmt. Die Öffnungszeit wird als jener Zeitpunkt beschrieben, ab dem ein Liegeplatz für den Zeitraum der Planung bzw. der Zuordnung ungenutzt ist bzw. frei wird.

In dieser Nebenbedingung kommt das Schiff zwingend vor dem Zeitpunkt der Zuordnung an. Es kommt daher zu einer positiven Wartezeit des Schiffes, die im Vorhinein zu darauf folgenden Wartezeiten addiert wird.

Der zweite Teil impliziert eine dieser darauf folgenden Wartezeiten. Letztere hängt direkt mit der Zuordnung an einen konkreten Liegeplatz zusammen. Dieser Teil der betreffenden Wartezeit wird bestimmt durch die Bearbeitungszeit der Vorgänger am selben Liegeplatz des betreffenden Schiffes. Die Bedienzeit am gleichen Liegeplatz wird für alle Vorgänger kumuliert, als Wartezeit des betreffenden Nachfolgers hinzuaddiert.

Der dritte Teil impliziert die kumulierte Leerezeit des Liegeplatzes aller Vorgänger. Letztere werden wieder als Wartezeit für den Nachfolger interpretiert. Die Leerzeit bezeichnet jene Zeitdifferenz, die zwischen der Abfahrt des Vorgängers und der Ankunft des Nachfolgers vergeht. Das bedeutet, dass in dieser Zeit der betreffende Liegeplatz zwar frei wäre, aber ungenutzt ist. Das kann daran liegen, dass wie bereits erwähnt, der Nachfolger noch nicht am Liegeplatz angekommen ist oder weil der Liegeplatz zBsp. aufgrund von Wartungs- oder Reparaturarbeiten momentan nicht genutzt werden kann.

Als nächstes wird ebenfalls die Leerzeit des Liegeplatzes für das betreffende Schiff addiert, allerdings handelt es sich hier um die Leerzeit des Nachfolgers.

Der letzte Teil impliziert die tatsächliche Zuordnung an den internen Terminal. Trifft diese Tatsache zu, so muss die gesamte Wartezeit bzw. die gesamte rechte Seite der Nebenbedingung auf jeden Fall kleiner oder gleich dem Limit der Wartezeit für das betreffende Schiff, entsprechen.

Die gesamte Nebenbedingung wird auch dann erfüllt, falls das Schiff nicht intern bedient wird, da dann die linke Seite der Nebenbedingung unendlich negativ wird (Richtwert BN).

(5) Diese Nebenbedingung ist der vorherigen im Aufbau ähnlich. Ein markanter Unterschied besteht in der Berechnung der Differenz zwischen Ankunft des Schiffes und der Öffnungszeit des Liegeplatzes. In diesem Fall wird angenommen, dass das Schiff erst nach bzw. während der Zuordnung der Liegeplätze ankommt. Aus diesem Grund wird diese Zeitdifferenz subtrahiert, da letztere nicht als Wartezeit dazuaddiert werden darf.

(6)&(7) Diese Nebenbedingungen betreffen die Entscheidungsvariablen, wobei eine binär ist, während die andere jedenfalls positiv sein muss.

In den letzten Kapiteln dieser Arbeit wird ausführlicher auf dieses Modell eingegangen werden.

Nachdem das Schiff angekommen ist, befasst sich der nächste Prozess der Seeverkehrswirtschaft mit der Abfertigung des Schiffes.

3.2 Be- und Entladen des Schiffes

Nachdem das Schiff einen konkreten Liegeplatz zugeordnet bekommen hat, werden seine Container am betreffenden Ankerplatz be- und entladen. Die strategische Ebene informiert über das Equipment, welches für das Laden und dem Löschen des Containerschiffes benutzt wird. Während die taktische Ebene sich mit dem Einsatz der Kaikräne befasst, wird in der operationalen Ebene darüber entschieden, wie die Container am Schiff gestaut werden sollen.

3.2.1 Strategische Ebene

Sowohl auf bemannten als auch auf automatisierten Terminals, werden für die Abfertigung der Schiffe, Kaikräne eingesetzt. Diese sind schienengebundene Flurförderzeuge, die aufgrund ihres hohen Eigengewichtes, eine geringe Flexibilität aufweisen. Kaikräne werden dennoch eingesetzt, da sie entlang der Schienen parallel zur Kaimauer bewegt werden können und zudem zwei Kaikräne gleichzeitig ein Schiff bedienen können.

3.1.2 Taktische Ebene

Auf taktischer Ebene erfolgt die Brückeneinsatzplanung, welche direkt mit der Schiffs Liegeplatzplanung zusammenhängt. Das liegt daran, dass die Anzahl der einzusetzenden Containerbrücke an die Schiffsgröße und der Anzahl, der zu löschenden bzw. zu verladenden Container, gekoppelt ist. Wie bereits erwähnt kann es bei besonders großen Schiffen durchaus vorkommen, dass mehrere Kräne gleichzeitig an einem Schiff arbeiten. Prinzipiell erfolgt die Einteilung der Containerbrücken mit Hilfe von technischen Daten wie der maximalen Traglast und Hubhöhe sowie der Höhe und Breite der Brücke. Hinzu kommt, dass die Brücken, je nach ihrer Verführbarkeit und der Meterangabe der Kaimauer, entlang letzteren verteilt werden. In einem ersten Schritt wird eine Auswahl an passenden Brücken vorgenommen. Diese fällt dabei auf jene, die eine ausreichende Tragfähigkeit und Auslegerlänge für das entsprechende Schiff ausweisen. Erst wenn ein konkreter Liegeplatz zugeordnet worden ist, werden diejenigen Brücken verplant, deren Verführbarkeit eine Abfertigung des Schiffes ermöglichen. Im letzten Schritt wird die gesamte Kailänge betrachtet, wobei es zu einer Verschiebung der Brücken kommen kann.

In der Arbeit von Kim et al. (vgl. [KIM04]) wird eine solche Zuweisung behandelt. Gelöst wird das Modell mit Hilfe eines Branch und Bound Algorithmus sowie einem heuristischen Suchalgorithmus. Der Ablaufplan von Quay Cranes (QC) informiert über jede Servicesequenzen der QC an den Bays des Schiffes sowie über die Zeitsequenzen der Services. Basierend auf Daten wie dem Stauplan der Container auf dem Schiff, der Bereitschaftszeit der QC und dem Lagerplan der zu ladenden Container auf dem Yard, wird dieser Ablaufplan erstellt. Letzterer entscheidet auch über Lade- und Löschsequenz jedes einzelnen Containers. Das Ziel von Kim et al. ist jenen Ablaufplan von QC zu studieren, der diejenigen Lade- und Löschsequenzen der QC bestimmt, welche den Abfertigungszeitraum der Containerschiffe minimiert.

Im Stauplan für das Beladen, wird ein Cluster definiert, welches eine Gruppierung von benachbarten Slots bezeichnet, in denen das Beladen von Container derselben Gruppe geplant ist. Container sind dann in derselben Gruppe, wenn sie denselben Ladehafen haben, dieselbe Größe haben und vom selben Schiff transportiert werden. In diesem Fall handelt es sich um sog. inbound Container.

Sog. outbound Container sind in derselben Gruppe, wenn sie den gleichen Lösshafen haben, die gleiche Größe haben und auf denselben Schiff geladen werden sollen. Jeder Entlade- Stauplan impliziert ein Cluster. Das ist eine Gruppierung von benachbarten Slots, in denen inbound Containers derselben Gruppe gestapelt sind.

Für die Formulierung des mathematischen Modells, wird als Auftrag das Behandeln eines Clusters angesehen und das Minimieren der Produktionsspanne, dem Minimieren der gesamten Bearbeitungszeit bevorzugt. Dennoch wird aus allen möglichen minimalen Produktionsspannen, diejenige mit der minimalen gesamten Ausführungszeit gewählt, so dass möglichst viele QC für andere Schiffe wieder verfügbar werden. Das Modell informiert über den jeweils ersten und letzten Auftrag pro QC, so dass jeder Auftrag von maximal einem QC ausgeführt wird.

Zusätzlich wird sichergestellt, dass die Aufträge in einer vernünftigen Servicesequenz ausgeführt werden, so dass unnötige Bewegungen der QC vermieden werden. Die Lösung des Branch und Bound Algorithmus berichtet schließlich über die Sequenz aller nötigen Aufträge. Mit dieser Information kann eine Einteilung der QC erstellt werden. Letztere impliziert, dass der erste, nicht zugeordnete Auftrag von dem QC übernommen wird, der die kürzeste Bearbeitungszeit hat. Nach Durchführung numerischer Experimente, kommen die Autoren zum Schluss, dass die Integration von Entscheidungen auf verschiedenen Ebenen wie zBsp. die Zuordnung von Schiff und Liegeplatz oder der Lade- und Lösssequenzen und der Zuordnung von QC, zu einer besser Lösung letzterer führen könnte als wenn diese Entscheidung unabhängig voneinander getroffen werden.

In der folgenden Arbeit von Kim et al. (vgl. [KIM03]) wird daher sowohl die Zuordnung der Liegeplätze als auch jene der QC betrachtet. Letzteres wird damit begründet, dass die Bearbeitungsdauer eines Liegeplatzes unmittelbar mit der Anzahl der QC, die diesem zugeordnet sind, zusammenhängt. Die Arbeit beschäftigt sich daher mit der simultanen Betrachtung der QC- und Liegeplatzzuordnung.

Es wird angenommen, dass jedes Schiff eine maximale und minimale Anzahl an zugeordneten Kränen hat. Zudem wird angenommen, dass die Dauer der Abfertigung, aufgrund der Linearität der Liegezeit und der Anzahl der QC, invers

proportional zu der Anzahl der zugeordneten QC ist. Nennenswert ist auch die Annahme, dass jedes Schiff einen favorisierten Liegeplatz hat.

Die Priorität eines bestimmten Liegeplatzes basiert dabei vorrangig auf der geografischen Nähe zu dem Yardbereich, in dem die outbound Container lagern. Die Priorität kann aber auch auf die Wassertiefe des Ankerplatzes oder der Stärke und Richtung der Wellen begründet werden. Die Vorgehensweise für das simultane Problem wird in zwei Phasen eingeteilt, wobei die erste Phase sich mit der Liegeplatzposition und der Ankunftszeit des Schiffes sowie mit der Anzahl der dafür vorgesehenen QC beschäftigt. Die zweite Phase basiert auf den Ergebnissen der ersten Phase und entscheidet über Beginn und Ende der Aufträge jeder QC, auf jedem Schiff.

Für die Phase der Liegeplatzzuordnung wird ein Modell präsentiert, das darauf abzielt nicht nur die gewichtete Summe der Handhabungskosten der Container zu minimieren, sondern auch mögliche Strafkosten zu minimieren. Letztere entstehen entweder bei einer früheren oder späteren Abfertigung am Liegeplatz im Vergleich zur erwarteten Ankunftszeit des Schiffes oder wenn die Abfahrtszeit des Schiffes später ist, als der vereinbarte Termin. Das Modell wird dann mit Hilfe der Lagrange Relaxation erweitert und anschließend mit einer subgradienten Optimisierungsprozedur gelöst. Die Lösungen werden graphisch dargestellt, wobei Rechtecke, die Liegeplatzzuordnung eines Schiffes darstellt. Die Graphik berücksichtigt auf der horizontalen Seite sowohl die Position des Liegeplatzes als auch die Länge des Schiffes. Auf der vertikalen Seite lässt sich die tatsächliche Bedienzeit der Schiffe ablesen.

In der Phase der Kranzuordnung werden die Ergebnisse der vorherigen Phase verwendet, so dass nur mehr noch der Ablaufplan, jedes einzelnen QC, erstellt werden muss. Das Ziel ist, die gesamte Anzahl an Aufstellungen der QC, für den Beginn der Transferabläufe der Schiffe, zu minimieren. Bei dem dynamischen Programm für die Kranzuordnung werden insbesondere die Ankunft des Schiffes und die Änderung der Anzahl der zugewiesenen Kräne, berücksichtigt. Die Lösungen werden sowohl graphisch als auch mit Hilfe eines Netzwerkes dargestellt.

Zusammenfassend wird auf die Berechnungszeit der Modelle besonderen Wert gelegt. Die Autoren stellen in ihrer Arbeit bereits ein Programm vor, dass innerhalb weniger Sekunden, Ergebnisse liefern, so dass es auch in der Praxis angewandt

werden kann. Kim et al. wünschen sich jedoch weitere Recherchen, die eine schnellere Berechnungszeit ermöglichen.

Abschließend soll in diesem Zusammenhang darauf hingewiesen werden, dass am Anfang der 90er Jahre die Autoren Peterkofsky sowie Daganzo die Ersten waren, welche Recherchen zum Thema Brückeneinsatzplanung angestellt haben. Ihre Arbeiten waren ausschlaggebend für alle darauf folgenden wissenschaftlichen Texte, auf die eben eingegangen worden sind. (vgl. [DAG90])

3.1.3 Operationale Ebene

Auf operationaler Ebene wird nun darüber entschieden, auf welcher Art und Weise Container am Schiff gestaut werden sollen.

Zu diesem Zweck, wird zunächst die Arbeit von Wilson et al. (vgl. [WIR00]) erläutert. Die Autoren behandeln darin das optimale Verstauen von Containern auf der Ladefläche des Schiffes.

Es wird erklärt, dass der Stauplan von Containern auf Containerschiffen hauptsächlich darin besteht, das Be- und Entladen des Schiffes möglichst kosteneffektiv zu bewältigen. Das bedeutet, dass die Kosten für die Handhabung der Container minimiert werden sollen. Ein optimaler Stauplan muss aber auch die optimale Platzierung der Container erzielen. Dabei muss aber auch Einschränkungen, in der Art und Weise der Containerlagerung, berücksichtigt werden.

Die wichtigste Tatsache, die beim Stauen von Container am Schiff in Betracht gezogen werden muss, ist die erneute Handhabung von bestimmten Containern. Letzteres impliziert das Bewegen eines Containers entweder, um einen anderen erreichen zu können oder um die gesamte Stauung für spätere Ladungen in nachfolgenden Hafen zu verbessern. Eine effiziente Stauplanung minimiert daher solche erneuten Handhabungen von bestimmten Containern. Folglich, resultiert die Komplexität einer optimalen Stauplanung nicht nur darin die Ladeprozesse an einem Hafen zu berücksichtigen, sondern auch jene, die in allen nachfolgenden Hafen zu erwarten sind.

Wilson et al. weisen darauf hin, dass die Stauproblematik für Containerschiffe ein kombinatorisches Problem ist, dessen Größe nicht nur von der Kapazität des Schiffes (in TEU gemessen), sondern auch von Angebot und Nachfrage jedes

Ankunftshafens abhängt. Da diese Größe zunehmend größer wird, je mehr Hafen das Schiff einläuft, sind die meisten Probleme dieser Art, praktisch nicht mehr lösbar. Die Autoren möchten daher eine alternative Methode vorstellen, um die optimale Position der Container am Schiff zu ermitteln. Dazu spalten sie die Stauplanung in zwei Teilprozesse. Während im ersten eine allgemeine Zuordnung der Container in geblockte Slots erfolgt, wird im zweiten Prozess die individuelle Position jedes Containers festgelegt. Diese Einteilung reduziert zwar die kombinatorische Größe des Problems, impliziert aber weiterhin seine Eigenschaften. Für den ersten Teil des Problems, wird ein mathematisches Modell vorgestellt, das mehrere Ziele beinhaltet. Das Modell soll unter anderem erzielen, dass die Anzahl an erneuten Handhabungen der Container minimiert wird und die Anzahl an beschäftigten Kränen, an jedem Ankunftshafen, maximiert wird. Ein Branch und Bound Algorithmus wird anschließend eingeführt, um das Problem zu lösen. Für den zweiten Teilprozess wird ein Modell mit ähnlichen Zielen wie dem vorherigen vorgestellt. Nennenswert ist die Einführung jenes Zieles, das die aufsteigende Stapelung der Container, vom schwersten bis hin zum leichtesten, beschreibt. Gelöst wird dieses Problem mit Hilfe einer Tabusuche.

Dubrovsky et al. stellen in ihrer Arbeit über die Stauplanung, das Minimieren von unnötigen Kranbewegungen in den Mittelpunkt (vgl. [DUB02]). Dieses Ziel wird mit dem Argument begründet, dass jede Kranbewegung pro Container, hohe Kosten verursacht. In dieser Arbeit soll mit Hilfe eines genetischen Algorithmus eine potentielle Lösung gefunden werden.

Das Verschieben von Container stellt den Schwerpunkt der Arbeit von Avriel et al. (vgl. [AVR98]) dar. Die Autoren konzentrieren sich bei der Stauplanung auf das Minimieren von Verschiebungen. Solche Verschiebungen sind immer dann notwendig, wenn der benötigte Container nicht an oberster Stelle des Stapels gereiht ist. Im vorgestellten Modell wird ein Containerschiff mit einem Schacht betrachtet, welches in horizontale Zeilen und in vertikale Spalten eingeteilt wird. Jede Zeile kann dazu benutzt werden, Container zu lagern. Um auszurechnen, wie viele Container je Schacht gestapelt werden können, werden die Zeilen und Spalten miteinander multipliziert. Das ergibt zwar nur eine zwei dimensionale Betrachtung der Stauplanung an Bord, es wird aber auch zur Vereinfachung angenommen, dass

jeder Container die gleiche Größe hat. Weiters wird eine Transportmatrix eingeführt, die dann zulässig ist, wenn die gesamte Anzahl der zu transportieren Container tatsächlich in einer beliebigen Spalte an Bord befördert werden kann. Das vorgestellte Modell impliziert ein binäres Problem, das darauf abzielt, die Kosten der Verschiebungen zu minimieren. Um das Problem zu lösen, wird eine sog. "suspensory" (zu dt.: hängend, aufschiebend) Heuristik angewandt, welche, bei einer gegebenen Transportmatrix, ein Schema für eine dynamische Zuordnung der Spalten generiert und mit einer Stauplanung endet.

Nennenswert ist auch der Hinweis auf sog. blockierende Container. Letztere blockieren bzw. versperren die Entnahme von darunter liegenden Container, die am betreffenden Hafen sofort zu entladen sind. Folglich müssen diese blockierenden Container vorher weg bewegt werden. In diesem Fall spricht man von notwendigen Verschiebungen von Container. Wird ein blockierender Container jedoch vorzeitig verschoben, spricht man von freiwilligen Verschiebungen. Das ist der Fall, wenn ein solcher Container für die spätere Entnahme von darunter lagernden Containern, die am nachfolgenden Hafen benötigt werden, bereits zu diesem Zeitpunkt verschoben werden.

Um entscheiden zu können, ob blockierende Container entweder verschoben oder aber in einer Spalte gestapelt werden sollen, die weder voll noch leer ist, wird eine sog. "myopic" (zu dt.: kurzsichtig) Verschiebungsregel vorgestellt.

Es gibt zwei alternative Regeln, um eine Spalte für das Laden der Container zu bestimmen. Die notwendige Verschiebungsregel berechnet, basierend auf der Zuordnung von Containern in einer bestimmten Spalte, die Anzahl der benötigten Verschiebungen.

Die Funktionsregel stützt sich auf der Motivation, dass relativ leere Spalten bevorzugt werden, da darin Containers gestapelt werden können, die Verschiebungen verursachen.

Beim Testen dieser zwei Regeln stellt sich heraus, dass die Präferenz einer Regel im Vergleich zur anderen, eine weitere Funktion ergibt, welche sowohl über die Anzahl der Spalten in einem Bay, als auch über jene der Hafen informiert.

Die Funktionsregel wird bevorzugt, falls die Anzahl der Spalten kleiner gleich zehn ist bzw. falls mehr als zehn Hafen anzusteuern sind. Steht jedoch eine relativ hohe

Anzahl an Spalten zur Verfügung bzw. werden wenige Häfen angelaufen, so ist die notwendige Verschiebungsregel anzuwenden. Letztere Präferenz basiert auf der Tatsache, dass die Anzahl der notwendigen Verschiebungen, eine gute Prognose für die gesamte Anzahl an Verschiebungen zulässt.

Zusammenfassend lassen sich mehrere Ansätze über die Art und Weise der Stauplanung in einem Containerschiff erkennen. Zwar zielt die Mehrheit der Arbeiten darauf ab, unnötige Verschiebungen von Containern zu minimieren, die Lösungsfindung zu dieser Problematik ist jedoch unterschiedlich.

Während Wilson et al. die Stauplanung als kombinatorisches Problem betrachten, das sie in Teilprozesse gliedern, um es zu lösen, führen Avriel et al. (vgl. [AVR04]) Regeln für die Zuordnung von Containern ein, um eine optimale Stauplanung zu erzielen.

Nachdem die Entscheidung gefallen ist, wie das Containerschiff zu be- bzw. entladen ist, wird im nächsten Schritt bestimmt, wie die Container vom Yardbereich zum Schiff und vice versa transportiert werden sollen.

3.3 Transfer vom Schiff zum Stellplatz und umgekehrt

Der folgende Abschnitt befasst sich mit dem optimalen Transfer der Container vom landseitigen Bereich zum wasserseitigen Bereich des Terminals.

3.3.1 Strategische Ebene

Auf strategischer Ebene wird über die Arten von Transportfahrzeugen entschieden, die am Terminal eingesetzt werden sollen. Letztere können wie bei einem Straddle Carrier (SC) bemannt sein oder ein fahrerloses Transportfahrzeug (FTF) sein. In automatisierten Terminals ist die Nutzung von solchen FTF für den internen Transport wie beispielsweise von Stellplatz zum Containerschiff üblich.

Fahrerlose Transportfahrzeug (FTF) werden insbesondere in Terminals eingesetzt, die anfänglich relativ hohen Investitionskosten auf sich nehmen können, um so schließlich hohen Arbeitskosten entgegenwirken zu können.

Neben den geringeren Personalkosten, bieten FTF den Vorteil, pünktlichere und kalkulierbarere Transportvorgänge anzubieten als bemannte Fahrzeuge. Zudem erzielt man mit FTF eine bessere Minimierung von Transportschäden.

Das liegt daran, dass FTF stets einen vorherbestimmten Weg fahren und automatisch stoppen, sobald sich ein anderer FTF sich im gleichen Areal oder sich ein Hindernis in unmittelbarer Nähe befindet.

Erst nachdem sich die Terminalbetreiber sich für eine bestimmte Art von Transportfahrzeugen entschieden haben, wird auf taktischer Ebene die notwendige Anzahl der Fahrzeuge bestimmt.

3.3.2 Taktische Ebene

Basierend auf der Tatsache, dass ein automatisierter Terminal vorliegt, befassen sich Vis et al. (vgl. [VIS01]) in ihrer Arbeit mit der Anzahl an benötigten FTF für den reibungslosen Transport der Container vom landseitigen zum wasserseitigen Bereich des Terminals. In ihrem Text, werden Container als Job bezeichnet. Ein Entladungsjob impliziert daher nicht nur den Transport eines Container von Kaikränen zu automatisierten Stapelkränen (ASK) sondern auch den Beladungsjob von Stapelkränen zu Kaikränen. Letzterer beinhaltet somit einen Job, der mit Hilfe eines Stapelkranes vom Stellplatz auf ein FTF beladen wird. Der Entladungsjob, bezeichnet einen Job, der mit Hilfe eines Stapelkranes den Container vom FTF an einen Stellplatz gestaut wird.

Zusätzlich zu der Einteilung der Jobs in Entladung oder Beladung, wird im vorgestellten Modell angenommen, dass die Jobs sowohl für die ASK als auch für die QC zu jeweils einem ASK bzw. QC zusammengefasst werden. Das liegt daran, dass die Jobs keine Interferenz vorweisen. Weiters bezeichnet der Freigabemoment, jenen Zeitpunkt, indem ein Job am sog. „pick up and delivery point“ (zu dt.: Abhol- und Zustellpunkt, p&d point) des ASK oder QC ankommt und bereit für den Transport ist. Ausgehend vom Modell wird schließlich ein Graph konstruiert, der die Sequenzen der Jobs repräsentiert, die ein FTF erledigen kann. Das Ziel ist, die minimale Anzahl an gerichteten Wegen zu ermitteln, da diese der minimalen Anzahl an benötigten FTF entspricht. Dazu wird dieser Graph in einen Graphen mit minimalen Werten umgewandelt, indem die zulässigen Flüsse mit Hilfe eines Algorithmus ermittelt werden.

Zusammenfassend, weisen die Autoren darauf hin, dass der gewählte Algorithmus gut für die praktische Anwendung an Terminals eignet, da die getroffenen Annahmen

sich mit Daten eines realen Terminals decken. Zudem lassen sich sowohl das Modell als auch der Algorithmus verallgemeinern und somit auch für Lagerhallen anwenden. Sobald die Anzahl an benötigten Fahrzeugen bestimmt worden ist, kann auf operationaler Ebene entschieden werden, welcher Container, auf welcher Route, mit welchem Fahrzeug, befördert wird.

3.3.3 Operationale Ebene

In der Arbeit von Bish et al. (vgl. [BIS03] in: [KIM06]) wird diese Entscheidung auf operationaler Ebene auf mehrere Teilentscheidungen verteilt. Die Autoren möchten zunächst erläutern, welche Fahrzeuge zu bestimmten Containern versendet werden sollen, wo die entladenen Container gelagert werden sollen und schließlich die Routenplanung der Fahrzeuge bestimmen. Jedes Teilproblem soll separat mit einem jeweiligen Modell analysiert werden, so dass eine bessere Einsicht in das System gewährleistet ist. Im Mittelpunkt der Arbeit steht das Versenden der Fahrzeuge, so dass die gesamte Abfertigung des betreffenden Schiffes minimiert wird. Die Dauer der Abfertigung wird dabei von dem Zeitpunkt bestimmt, in dem das letzte Fahrzeug zu dem Schiff zurückkehrt, nachdem alle zu entladenen Container vom Schiff zum Stellplatz befördert worden sind und alle zu beladenen Container sich an Bord des Schiffes befinden.

Wie bereits erwähnt, widmen sich die Autoren mehreren Teilproblemen, um das optimale Versenden der Fahrzeuge zu bestimmen. Als erstes wird eine Analyse eines einzigen Kaikran Modells vollzogen. Darin betrachten Bish et al. ein einzelnes Schiff, das von einem einzelnen QC bedient wird und dem eine konstante Anzahl von Fahrzeugen zur Verfügung steht. Es wird angenommen, dass alle Fahrzeuge sich anfangs im Schiffsbereich befinden und zu diesen zurückkehren, sobald das Schiff gänzlich be- bzw. entladen worden ist. Jeder Container, der von den Fahrzeugen zu handhaben ist, wird als Job bezeichnet. Folglich wird von einem QC immer dann ein Fahrzeug benötigt, wenn ein Job auf das FTF zu platzieren ist.

Diese Platzierungszeit ist von jener Zeit zu unterscheiden, wenn ein QC einen Job lediglich vom Schiff entnimmt oder platziert. Letztere ist nämlich für die Fahrzeuge nicht relevant. Zusätzlich werden die Jobs unterteilt in jene, die auf ein Schiff zu

beladen sind (diese werden mit einem „+“ notiert) und jene, die vom Schiff zu entladen sind (diese werden mit einem „-“ notiert). Zusammenhängend mit einem „+“ Job steht der Abholpunkt und mit einem „-“ Job der Belieferungspunkt, welche als Jobstandorte für die Fahrzeuge bezeichnet werden.

Ein Fahrzeug legt somit zBsp. vom Yardbereich bis hin zum Belieferungspunkt, eine bestimmten Weg zurück, dessen Distanz bzw. Zeit als Datensatz erfasst wird. Es wird nun ein Greedy Algorithmus angewandt, der einen Job jenem Fahrzeug zuordnet, das am ehesten am Jobstandort ankommen kann. Die Ankunft eines Fahrzeuges zu einem solchen Standort kann entweder die Fahrzeit betragen, wenn das Fahrzeug frei ist oder zusätzlich die Zeit bis zur Fertigstellung eines aktuellen Jobs sein, falls das Fahrzeug gerade beschäftigt ist.

Als nächstes wird ein Mehrfach- Kran Modell betrachtet, da sich der Greedy Algorithmus, für den Einzelfall, als optimal erwiesen hat. Es wird nun angenommen, dass mehrere QC gleichzeitig ein Schiff bedienen und dass jeder QC eine Jobsequenz für die Fahrzeuge fordert. Letztere soll darauf abzielen, die Fahrzeuge den jeweiligen Kränen so zuzuordnen, dass die gesamte Bedienung des Schiffes über alle QC minimiert wird. Um den Greedy Algorithmus für den Fall von mehreren QC zu testen, wird eine Simulationsstudie angestellt. Es stellt sich schließlich heraus, dass der Algorithmus relativ gute Ergebnisse für das Versenden von FTF errechnet. Abschließend weisen die Autoren darauf hin, dass andere Ansätze in die Problematik einzubeziehen sind. Das Bestimmen eines geeigneten Lagerplatzes für jeden entladenen Container ist einer dieser Ansätze, die in dieser Arbeit als gegeben betrachtet worden ist und weitere Recherchen erfordert.

Zu diesem Zweck soll als Nächstes die Arbeit von Drexl et al. (vgl. [DRE06]) erläutert werden. In ihren Recherchen steht ebenfalls die Zuordnung von Transporttätigkeiten und FTF im Mittelpunkt, mit dem Unterschied, dass eine alternative Formulierung für das Zuweisungsproblem vorgestellt wird. Letzteres konzentriert sich anstatt auf die Fahrzeiten der FTF bzw. Bearbeitungszeiten des Schiffes, auf die Lagerpolitik der Container. Zu diesem Zweck werden Abgabetermine der FTF im vorgestellten Modell nicht berücksichtigt, da nach Ansicht der Autoren, Schätzungen über Fahrzeiten oder Bearbeitungszeiten der FTF ohnehin unzuverlässig sind. Mit Hilfe einer Simulation

wollen Drexl et al. schließlich beweisen, dass ein inventurgerechtes produktiver ist, als ein fristgerechtes Modell.

Die Arbeit zielt darauf ab, eine Methode zu präsentieren, die den FTF zu transportierende Jobs zuordnet, so dass einerseits möglichst viele Container pro Stunde befördert werden. Andererseits soll diese Zuordnung innerhalb kürzester Zeit berechnet werden können, so dass die Methode an Terminals praktisch anwendbar ist. Ähnlich wie in der vorherigen Arbeit, wird sowohl auf den Abholpunkt als auch Endlieferungspunkt hingewiesen, zwischen denen sich der FTF samt Container bewegt. Handelt es sich um die Entladung des Schiffes, so entsprechen diese Punkte jeweils dem Kaikran bzw. dem Stellplatz. Analog gilt, dass der Abholpunkt dem Stellplatz entspricht und der Kaikran dem Endladepunkt, wenn es sich um das Beladen des Schiffes handelt. Bei jedem Job sind die eben genannten Punkte fix und es wird angenommen, dass die Fahrzeit zwischen den beiden geschätzt worden ist bzw. bekannt ist.

Bei der Beschreibung des fristgerechten Modells wird darauf hingewiesen, dass die Frist als jene Zeit zu verstehen ist, in der das FTF am Kaikran entweder leer(bei Entladen des Schiffes) oder samt Container (bei Beladen des Schiffes) ankommen sollte. Nachdem FTF sich nicht selbst be- oder entladen können, müssen sie gerade noch rechtzeitig am Kaikran ankommen, um be- oder entladen zu werden.

Falls die FTF zu früh ankommen, so müssen sie darauf warten, bis der QC frei wird. Das führt dazu, dass die Kapazität des betroffenen FTF verschwendet wird. Kommt der FTF jedoch zu spät bei QC an, so muss letzterer auf den FTF warten und die Produktivität des QC sinkt.

Weiters strebt der Containerterminalbetreiber an, dass die FTF so gut wie nie, Strecken ohne Container zurücklegen, da sonst unnötig Treibstoff verbraucht wird. Zusammenfassend lassen sich somit mehrere Ziele erkennen, die im Zusammenhang mit der optimalen Zuordnung von FTF und Jobs stehen. Folglich wird eine Zielfunktion formuliert, die die gewichtete Summe aus Verspätung, Frühzeitigkeit und leere Fahrzeiten der FTF impliziert. Um das Problem zu lösen, wird sowohl die ungarische Methode als auch eine Greedy Heuristik angewandt.

Bei der Beschreibung des inventurgerechten Modells, wird darauf hingewiesen, dass es für die FTF ein Wartepuffer existiert. Letzteres entspricht einem Areal, in dem ankommende FTF darauf warten, dass die QC frei werden, so dass sie von ihnen bedient werden können. Die Autoren möchten diesen Puffer als ein Lager für die QC

bezeichnen, wobei die FTF Güter sind, welche für die Konsumenten, also den QC, verfügbar sind. Das bedeutet, dass der Lagerbestand der QC die Anzahl an FTF ist, die sich im Puffer befinden.

Die Einführung dieses Lagers ermöglicht es zu messen, wie dringend ein QC ein FTF benötigt. Das bedeutet, je niedriger der Lagerbestand eines QC, desto dringender benötigt letzterer ein oder mehrere FTF und desto mehr FTF werden diesem QC tatsächlich zugeordnet. Folglich besteht der Zuordnungsprozess darin, jenen Job an einen FTF zuzuweisen, der am dringlichsten ist. Zudem ist es wesentlich darauf zu achten, welche Vorgängerjobs bereits zugeordnet sind bzw. in Bearbeitung sind. Dadurch soll erreicht werden, dass keine unnötigen Wartezeiten für die FTF entstehen.

Um zu vermeiden, dass FTF leere Fahrzeiten absolvieren, werden duale Zyklenfahrten eingeführt. Diese Zyklen werden aufgrund der Einführung von Dringlichkeit, nur im Fall des inventurgerechten Modells, berücksichtigt und beinhalten das Abholen eines Jobs an jenem Punkt, der gleichzeitig dem Endlieferungspunkt des vorherigen Jobs entspricht.

In der Simulationsstudie werden schließlich beide Modelle miteinander verglichen. Dazu bestimmen die Autoren die jeweilige Produktivität per Stunde und per QC. Die Ergebnisse zeigen, dass selbst bei Anwendung desselben Algorithmus, das inventurgerechte Modell zu einer höheren Produktivität der QC führt als das fristgerechte Modell. Aufgrund dieser Ergebnisse, schlagen die Autoren schließlich vor, das Modell auf anderes Equipment am Terminal, wie straddle carriers, anzuwenden.

3.4 Stellplatzverwaltung

In diesem Abschnitt wird die optimale Lagerung der Container am Yard behandelt. Auf strategischer Ebene bedeutet die Verwaltung der Stellplätze nicht nur die neuerliche Positionierung von Containern, wie sie bei Buyang et al. (vgl. [BUY93]) beschrieben wird, sondern auch das Stapeln der Container, wie sie bei Dekker et al. (vgl. [DEK06]) erläutert wird.

Das Errechnen der notwendigen Anzahl von Transferkränen für eine effiziente Handhabung der Stellplätze wird auf taktischer Ebene getätigt und anhand der Arbeit

von Kim und Kim (vgl. [KIM98]) beschrieben. Operational wird über die Route von Portalhubwagen entschieden. Diesbezüglich wird auf ebenfalls auf die Recherchen von Kim und Kim (vgl. [KIM99]) eingegangen.

3.4.1 Strategische Ebene

Auf strategischer Ebene wird einerseits entschieden, welche Fahrzeuge für das Stapeln der Container zum Einsatz kommen (vgl. [VIS03]). Das können Gabelstapler, so genannte Reach Stacker oder auch Portalhubwagen sein, sodass eine effiziente Verwaltung der Stellplätze gewährleistet ist.

Andererseits wird über die Art und Weise der Lagerung von Containern am Hafen entschieden. Die Container können auf zwei Arten gelagert werden. Entweder sie werden provisorisch auf Containerchassis gelagert oder sie werden am Boden gestapelt. Im ersten Fall, sind die Container unmittelbar verfügbar. Werden die Container jedoch aufeinander gestapelt, ist nicht jeder Container direkt zugänglich. Sobald jener Container benötigt, der sich in der untersten Zeile befindet, müssen zuerst die darüber liegenden Container weg geräumt werden. Die Strategie der Stellplatzverwaltung beinhaltet daher das Vermeiden von unproduktiven Bewegungen, aber auch die effiziente Nutzung der Stellplätze sowie den zeitgerechten Transport vom Kai zu den Stellplätzen und andersrum.

Um einen geeigneten Lagerplatz für ankommende Container zu gewährleisten, müssen manche Container umgestapelt werden. Das bedeutet, ein Container wird von einem alten Lagerzeilenplatz in einen neuen umpositioniert. Diese Umpositionierung sollte so getätigt werden, dass die erwartenden Kosten darauf folgender Operationen- wie die Suchen oder das Laden eines Containers- möglichst gering gehalten werden.

Für strategische Überlegungen zur Stellplatzverwaltung, sollen nun die Recherchen von Buyang et al. (vgl. [BUY93]) erläutert werden. Im Mittelpunkt der Arbeit steht die Umstellproblematik. Diese beschreibt auf welcher Art und Weise Container neu gestaut werden sollen, so dass bestimmte Zeilen für ankommende Container rechtzeitig frei geräumt werden. Das erneute Verstauen von bereits vorhandenen Containern soll so durchgeführt werden, dass sowohl auf spätere Tätigkeiten wie der Suche oder dem Laden von Containern, als auch auf erwartete Kosten, Rücksicht genommen wird.

Um die neuerliche Positionierung von Containern zu veranschaulichen, sollen letztere in einem Netzwerk dargestellt werden. Die ausgewählten Zeilen, in denen gestapelte Container neu positioniert werden können, entsprechen den Knoten. Weiters werden die Container nach Kategorien, wie Größe oder Inhalt eingeteilt. Falls ein Container einer bestimmten Kategorie von einem zum anderen Knoten neu gestapelt werden kann, so existiert eine Verbindung zwischen den beiden Knoten. Diese Verbindung entspricht den erwarteten Kosten späterer Bewegungen.

Als nächstes wird das sog. Mehrfach Güter p –Median Transportproblem eingeführt. Es beschreibt den Zusammenhang zwischen jenen Knoten bzw. Zeilen, in denen sich Container befinden, die nicht zu leeren sind (Nachfrage oder p Median) und jenen, die mit ankommenden Containern zu leeren sind (Angebot). Im Mittelpunkt des Problems steht die Minimierung der Kosten, die beim Transportieren von Angebot zu p Median Zeilen, entstehen. Zusätzlich sind neben den Kategorien auch die Kapazitäten der Zeilen zu berücksichtigen. Im nächsten Schritt wird das vorgestellte Modell mit Hilfe einer Lagrange Relaxation gelöst, da letztere eine effiziente Methode zur Lösung von kombinatorischen Problemen ist. Alternativ werden mittels Branch& Bound ebenfalls potenzielle Lösungen gefunden. Die Autoren weisen jedoch darauf hin, dass der B&B nur dann eignet, wenn die Größe des Problems nicht allzu große Dimensionen annimmt, da sonst die Berechnungszeit zu lang wird.

Als nächstes soll auf strategischer Ebene entschieden werden, wie viel straddle carriers für die Import Container benötigt werden. Dazu soll die Arbeit von Kim et al. (vgl. [KIM98]) erläutert werden. Im Mittelpunkt der Arbeit steht der Trade off zwischen der Größe der Stellplätze, der Erreichbarkeit der Container, den Investitionskosten und dem Aufwand der Transferkräne. In diesem Zusammenhang gilt daher, je größer die Dimension der Stellplätze, desto seltener müssen benötigte Container umgestapelt werden, desto längere Distanzen müssen die Kräne bewältigen und desto höher sind die Investitionskosten. Werden für die Stellplätze relativ viel Platz vorgesehen, so können wenige und gleichzeitig niedrige Stapeln an Containern gelagert werden. Das bedeutet, dass gesuchte Container leichter wieder zu finden sind, da die darüber liegenden Container aufgrund der geringen Stapelhöhe, mit weniger Mühe, umgestapelt werden können.

Dieser Trade off wird mit Hilfe eines Modells aufgehoben, das darauf abzielt, die relevanten Kosten zu minimieren. Die Kosten stehen dabei im direkten Zusammenhang mit der Anzahl der benötigten Transferkräne und der Menge an Stellplätzen. Das Modell soll die optimale Anzahl an Kränen sowie die optimale Menge an Lagerplatz ermitteln. Wie das numerische Beispiel zeigt, sinkt die optimale Lagerfläche, wenn die Kosten für die Fläche steigen. Die Anzahl der Transferkräne bleibt, bei Veränderung der Lagerfläche, konstant. Die Autoren ziehen den Schluss, dass das Modell gut für die Praxis geeignet ist, da die Berechnungszeit weniger als eine Sekunde ist und gleichzeitig die optimale Anzahl an benötigten straddle carriers und die optimale Größe des Lagerplatzes bestimmt.

3.4.2 Taktische Ebene

Auf taktischer Ebene soll nun entschieden werden, wie die Container am Besten im Yardbereich gestapelt werden sollen. Als Referenz dazu, soll die Arbeit von Dekker et al. (vgl.[DEK06]) dienen. In dieser Arbeit widmen sich die Autoren einem automatisierten Yardbereich, dessen Layout genauer beschrieben wird. Der Stellplatzbereich wird in verschiedene Bahnen eingeteilt, die parallel zueinander verlaufen und an deren Anfang und Ende, jeweils Transferpunkte vorzufinden sind. Diese Punkte befinden sich jeweils am wasser- und landseitigen Bereich des Terminals und entsprechen den Schnittstellen zwischen Stellplatz und Schiff bzw. Bahn oder LKW. An jeder Bahn befindet sich ein automatischer Stapelkran, so dass die Distanz zwischen zwei Bahnen ausreichend für das Be- und Entladen von Containern ist. Die Container werden auf einen Stoß gestapelt, der dann als voller Stoß bezeichnet wird, wenn die maximale Stapelhöhe erreicht ist bzw. als leerer Stoß bezeichnet, falls sich keine Container auf dem betreffenden Stellplatz befinden. Das Layout beinhaltet weiters die Einteilung jeder Bahn in drei spezielle Bereiche. Der erste Bereich wird für Container verwendet, die keine Kühlung benötigen, während der zweite Bereich für Kühlcontainer vorgesehen ist und der dritte für beide Arten von Containern. FTF sorgen für den Transport der Container zwischen den Transferpunkten am wasserseitigen Bereich zu den Kaikränen und vice versa.

Das Kernstück der Arbeit bildet ein Stapelalgorithmus, welcher die Handhabung der Container beschreibt, die in oder aus den Stellplätzen bewegt werden bzw.

umgestapelt werden müssen. Die wichtigste Entscheidung, die daher mit Hilfe des Algorithmus getroffen werden kann ist , wo ein neuer Container gelagert werden soll bzw. wo ein Container, der umzustapeln ist, gebracht werden soll.

Zu diesem Zweck werden zwei Ansätze eingeführt. Der erste Ansatz impliziert das zufällige Anordnen von Containern im Yardbereich. Das bedeutet, dass die Container möglichst gleichmäßig über die gesamten Stellplätze verteilt werden und es somit keine Präferenzen bezüglich ihrer Lagerung gibt. Der zweite Ansatz beinhaltet die Einteilung der Container in Kategorien, welche dem Ladeplan gerecht werden. In der Kategorie Stapelung werden Container derselben Kategorie problemlos und so oft wie möglich untereinander vertauscht.

Aufgrund der Annahme, dass nur Container mit den gleichen Maßen übereinander gestapelt werden dürfen, findet der Algorithmus beim zufälligen Stapeln von Containern, nur dann einen geeigneten Stellplatz, wenn die Container bei einem bestimmten Stapel, die geeigneten Maße vorweist. Zudem muss der Stapel noch ausreichend Platz für den zu lagernden Container haben. Ist eines der beiden Bedingungen nicht erfüllt, so sucht der Algorithmus weiterhin zufällig nach einem geeigneten Stellplatz. Im Falle von Kühlcontainer, muss der Algorithmus zusätzlich den geeigneten Bereich (in diesem Fall Bereich 2 oder 3) beachten, so dass eine Stromzufuhr gewährleistet ist. Für den Fall, dass ein Container lediglich neu zu stapeln ist, weil darunter lagernde Container benötigt werden, so wird ein Stellplatz gesucht, der möglichst nahe zum davor benutzen Stapel befindet.

Der Algorithmus, welcher auf der Kategorie Stapelung basiert, versucht eine Variable für jede Kombination von Bahnen, Schiffen oder Kategorien, ausfindig zu machen. Diese Variable informiert nämlich darüber, wie viele Stapel, innerhalb dieser Bahn, mit derselben Kategorie von Containern existieren. Mit Hilfe der Variable soll somit die Suche nach einem geeigneten Stellplatz vereinfacht werden. Wenn nun ein neuer Container gestapelt werden soll, wird zunächst ermittelt, ob ein Stoß existiert, der nicht voll ist und zugleich ausnahmslos mit Containern der gleichen Kategorie und für das gleiche Schiff aufgestapelt ist. Nachdem alle Bahnen nach solchen Stößen durchsucht worden sind, informiert die Variable nun darüber, ob ein solcher Stoß vorhanden ist oder nicht. Falls ein geeigneter Stoß gefunden wird, wird der betreffende Container am obersten Ende des Stoßes gestapelt und die Variable wertmäßig angepasst. Wird kein passender Stoß gefunden, wird der Container

zufällig einem Stellplatz zugeordnet.

Um zu erkennen, welche Stapelpolitik am Besten geeignet ist, werden drei Leistungsmaße eingeführt. Die ersten zwei sind sich sehr ähnlich und werden als Umstapelung bzw. Umstapelungsgelegenheit bezeichnet. Letzterer wird in Prozent angegeben und bemisst die Anzahl der Container, die den Stellplatz verlassen. Zu diesem Zweck wird als Umstapelungsgelegenheit, die Tatsache bezeichnet, dass ein oder mehrere Umstapelungen getätigt werden müssen, um einen bestimmten Container aus den Stößen, zurückzuerlangen. Die gesamte Anzahl an Umstapelungen wird ebenfalls, basierend auf der Anzahl an Container, die den Stellplatz verlassen, als Prozent angegeben. Das dritte Leistungsmaß befasst sich mit dem Arbeitsaufwand der automatisierten Stapelkräne (ASK). Der Arbeitsaufwand wird viertelstündig als der Zeitanteil gemessen, in dem der ASK beschäftigt ist. In der Simulationsstudie wird angenommen, dass die ASK weit über ihre gewöhnliche Kapazität hinaus belegt werden können, so dass erkannt werden kann, wie häufig und gravierend solche Überlastungen in Anspruch genommen werden. Die Überbelegung der ASK kann somit auch als Kriterium für die Performanz der Algorithmus herangezogen werden.

3.4.3 Operationale Ebene

Die operationale Ebene der Stellplatzverwaltung beschäftigt sich mit der Bestimmung der Route der Portalhubwagen, die sich innerhalb des Terminals bewegen. In Arbeit von Kim (vgl.[KIM99]) ist das Ziel die gesamte Fahrdistanz der Fahrzeuge zu minimieren. Dazu wird die Reihenfolge der Bays im Yardbereich, die der Portalhubwagen besucht, festgelegt. Insbesondere beim Laden der Containerschiffe kann eine optimale Planung der Reihenfolge, in der die Export Container von den Fahrzeugen befördert werden sollen, die Bedienzeit der Schiffe bedeutend reduzieren. Diese Reihenfolge wird vorab von der Ladesequenz der QC bestimmt. Das bedeutet, dass die Fahrzeuge die betroffenen Container in genau der gleichen Reihenfolge zu den QC befördern müssen, wie es die Ladesequenzen der Kaikräne vorschreibt. Diese Bedingung impliziert, dass es gleichgültig ist, wo die betroffenen Container sich im Yardbereich befinden, die Fahrzeuge müssen die vorgeschriebene Reihenfolge einhalten. Es wird angenommen, dass die Container sowohl von

Portalhubwagen, sog. Straddle Carriers (SC) als auch von Yard LKWs, sog. Yard Trucks (YT) befördert werden.

Je Ladesequenz werden je ein SC und drei bis vier YT zugewiesen und in folgenden Operationen abgefertigt. Zunächst fährt der SC zu bzw. in den entsprechenden Yardbereich hinein, sammelt den betreffenden Container ein und transportiert ihn zur Grenze des Yardbereiches, wo die Box von einem YT entgegengenommen wird. Der YT bringt den Container schließlich zum QC, so dass er auf das Schiff beladen werden kann. Die Hauptaufgabe der Arbeit besteht darin, die Distanz zu minimieren, welche die SC innerhalb des Yardbereiches zurücklegen. Dazu wird zunächst ein Modell vorgestellt, das für die Zuweisung der Container zu den QC verwendet wird.

Die Zielfunktion impliziert die Minimierung der gesamten zurückgelegten Distanz der YT im Yardbereich, während die Nebenbedingungen gewährleisten, dass einerseits die Anzahl der Container, die von einem Yardbay zu den QC befördert werden, der Anzahl an Container im Arbeitsplan gleicht. Andererseits muss die Bedingung erfüllt sein, dass die gesamte Anzahl an Containern, die allen QC zugewiesen worden sind, der anfänglichen Anzahl an Containern im Yardbay entspricht.

Weiters wird ein Problem formuliert, dass die Route der SC bestimmt. Dazu wird diese Route in einem Netzwerk dargestellt, so dass der Weg von einem Startknoten bis hin zum Endknoten angezeigt wird und gleichzeitig die Anzahl an Container bestimmt, die an jedem Knoten abgeholt werden. Um festzulegen, wie viele Container je Knoten mitgenommen werden, wird eine sog. Beam Suche eingeführt, welche drei verschiedene Abholstrategien beinhaltet. Für nähere Details zu den eben genannten Strategien wird auf die Arbeit von Kim et al. verwiesen.

Nach der Auflistung des numerischen Beispiels zeigen die Autoren, dass die zurückgelegten Distanzen der SC gering gehalten werden können, wenn die Container im Vorhinein zu einem oder zwei Blöcken zugewiesen werden. Zusammenfassend haben Kim et al effektive Methoden vorgestellt, um sowohl die Anzahl der abzuholenden Container zu bestimmen, als auch die Besuchssequenzen der Yardbays festzulegen.

Der theoretische Teil über die Referenzmodelle nach Entscheidungsebene ist nun abgeschlossen. Der nächste Teil der Arbeit befasst sich mit der praktischen

Anwendung der Referenzmodelle. Insbesondere soll auf die bereits erwähnte Arbeit von Imai et al. eingegangen werden. Zu diesem Zweck wird im folgenden Abschnitt auf die Theorie der mehrfachen Zielsetzung von evolutionären Algorithmen beschrieben, da diese die Lösungsansätze zum DBAPE von Imai et al. bilden.

4. Lösungsansätze zur dynamischen Liegeplatzzuordnung

Im folgenden Abschnitt sollen jene Lösungsansätze beschrieben werden, mit Hilfe dessen die Zuweisung der Liegeplätze am Containerterminal nach Imai et al. gelöst werden soll.

Wie im bekannten Problem des Handlungsreisenden, handelt es sich bei unserem Modell um ein kombinatorisches Optimierungsproblem, da wir eine kostenoptimale Belegung der Liegeplätze suchen.

Im Gegensatz zur kontinuierlichen Optimierung, ermöglicht die kombinatorische Optimierung, die Findung einer endlichen oder zumindest abzählbar unendlichen Menge an Lösungen. Nicht alle Probleme aus der kombinatorischen Optimierungsklasse gelten als NP schwer. Sie finden nicht unbedingt optimale Lösungen, sondern nur "gute" Lösungen. Aus diesem Grund wurden einerseits Algorithmen wie das Branch and Bound Verfahren entwickelt, die den Suchraum beschränken, in dem sie das Problem als ganzzahliges Optimierungsproblem formulieren und so exakte Lösungen liefern können. Andererseits wurden Algorithmen entwickelt, die mit Hilfe der Informationen über die Problemstruktur versuchen, eine globale optimale Lösung zu finden. Diese Algorithmen werden Metaheuristiken genannt. Zu diesen Heuristiken gehören die lokalen Suche wie etwa Tabu search, aber auch die naturinspirierten Algorithmen wie der so genannte Ameisenalgorithmus (das natürliche Verhalten von Ameisen auf der Wegsuche wird modelliert) und die evolutionären Algorithmen wie der GA.

In erster Linie soll ein genetischer Algorithmus als Lösungsansatz für das DBAPE dienen und daher näher beschrieben werden(4.1.). In zweiter Linie wird dieser Algorithmus um eine mehrfache Zielsetzung(MZ) (4.2.) erweitert werden. Die MZ ist im Gegensatz zur einfachen Zielsetzung, deshalb interessant, da er die Ausarbeitung des herausragenden Kompromisses (trade off) beider Ziele ermöglicht. Abschließend werden die konkrete Anwendung der Lösungsansätze (GA und MZ) auf unser Modell beschrieben (4.3.).

4.1. Genetische Algorithmen

Der genetische Algorithmus ist ein heuristisches Optimierungsverfahren, welcher mit Techniken wie Mutation, Rekombination und Selektion arbeitet, um optimale Lösungen für das entsprechende Problem zu generieren. Im Folgenden soll auf diese Vorgehensweise eingegangen werden. Wenn nicht ausdrücklich auf eine andere Quelle verwiesen wird, beruht dieser Abschnitt weitgehend auf [HAR97].

4.1.1 Vorgehensweise des GA

Der genetische Algorithmus ist Teil der evolutionären Algorithmen. Der GA lehnt daher an die biologische Evolution an und basiert somit auf Erkenntnissen der Evolutionstheorie. Diese Theorie impliziert die Anpassung der Lebewesen durch die Manipulation ihres Erbgutes mit Hilfe der Rekombination, der Mutation und der Selektion. Die Anpassung der Lebewesen ist notwendig, um auf Veränderungen der Umwelt- und Lebensbedingungen reagieren zu können und so die Maximierung der Überlebenschancen einer Generation zu gewährleisten. Der GA baut auf diesen Prozess der Natur auf und ahmt daher ihre Vorgehensweise nach.

Der GA beginnt mit der Initialisierung bzw. der Bildung der ersten Generation.

Diese besteht aus einer Menge an Individuen oder Chromosomen, die in den meisten Fällen, einer zufälligen Zusammensetzung einer möglicher Lösung entspricht.

Um diese Lösungen untereinander vergleichen zu können, ordnet eine Zielfunktion, die so genannten Fitnessfunktion, jeder Lösung eine bestimmte Güte zu. Der Wert dieser Güte hängt vom gewählten Zielkriterium des Optimierungsproblems ab.

Es ist zwar möglich, bereits die Startpopulation gemäß dem Fitnesswert auszusuchen, es besteht aber dann die Gefahr nur lokale anstatt globale Lösungen herauszufiltern.

Nachdem die Startpopulation geformt worden ist, wird jeder ihrer Individuen mit Hilfe der Fitnessfunktion geprüft. Das bedeutet, dass jedes Chromosom eine Fitness zugeordnet wird, dessen Wert von der Zielfunktion des Optimierungsproblems abhängt. Je besser die Fitness eines Individuums, desto höher die Wahrscheinlichkeit vom Algorithmus selektiert zu werden. Es werden nun jene Individuen gewählt, die fit genug sind, die nächste Generation zu reproduzieren.

Diese Reproduktion erfolgt mit Hilfe der bereits erwähnten Mechanismen wie Rekombination, Mutation und Selektion.

4.2.1.1 Rekombination

Bei der Rekombination, dem so genannten „Crossover“, wird das Erbmateriale der nächsten Generation durch Vermischung bzw. Austausch der Eltern Chromosomen bestimmt. Zu diesem Zweck werden paarweise Chromosome für die Reproduktion ausgesucht, wobei jedes genau einmal involviert werden darf. Die ausgewählten Individuen werden nun an einer bestimmten Stelle durchtrennt und die dabei entstandenen Teile miteinander vertauscht, wie Abbildung 3 zeigt.

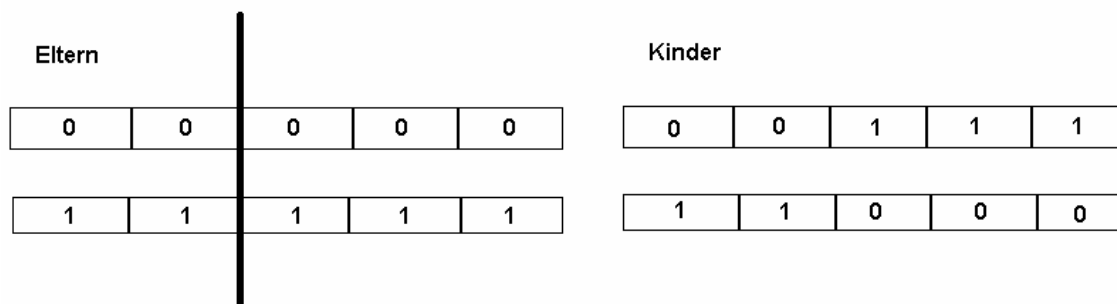


Abbildung 3: Rekombination von Chromosomen an einer Stelle

Eine weitere Möglichkeit neue Generationen mit Hilfe von Rekombination zu erzeugen ist, die Chromosome nicht nur an einer Stelle, sondern an zwei oder mehr Stellen zu teilen. Diese Art der Rekombination wird in Abbildung 4 veranschaulicht.

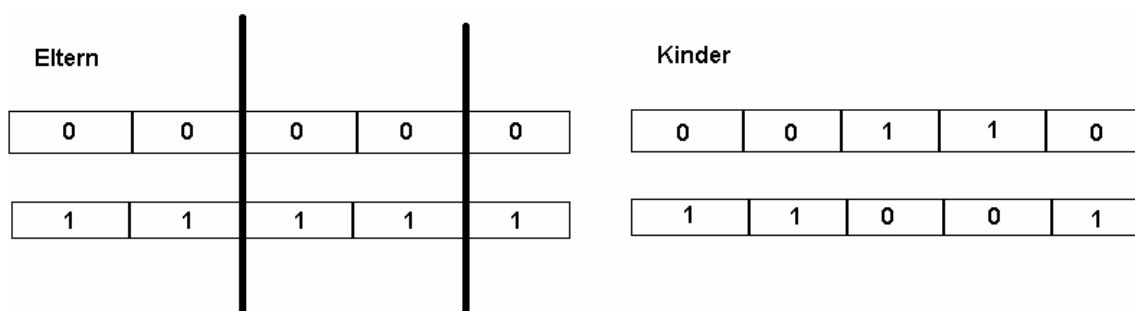


Abbildung 4: Rekombination von Chromosomen an zwei Stellen

Ein alternativer Prozess für die Veränderung des Erbgutes ist die Mutation.

4.2.1.2 Mutation

Im Vergleich zur Rekombination, wird bei der Mutation, ein oder mehrere Gene eines Chromosoms zufällig verändert.

Dabei gibt die Mutationswahrscheinlichkeit für jedes Gen je Chromosom an, ob es mutiert oder nicht. Kommt es zur Mutation, wird das mutierende Gen durch ein anderes, zufällig gewähltes Gen ersetzt. Abbildung 5 stellt diese Vorgangsweise dar.

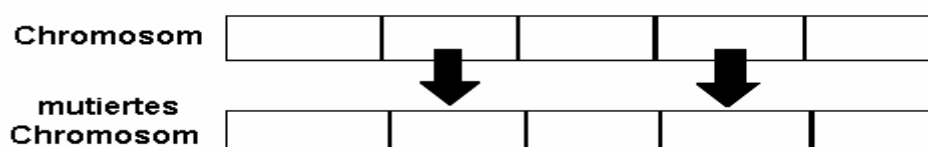


Abbildung 5: Mutation von Chromosomen

Neben Rekombination und Mutation kann durch Selektion das Erbgut verändert werden.

4.2.1.3 Selektion

Selektion ist die natürliche Auslese von Individuen. Es bedeutet, dass jene Individuen, die am Besten an ihre Umwelt angepasst sind, auch die größten Überlebenschancen haben und sich daher am ehesten reproduzieren. Um die Anpasstheit zu beurteilen, wird, wie bereits erwähnt, die Fitness eines Individuums als Gütemaß herangezogen. In der Literatur wie etwa bei Nis (vgl. [NIS97]) werden zwei wesentliche Methoden der Selektion erwähnt.

Die roulette wheel selection etwa ordnet jenem Individuum mit einer hohen Selektionswahrscheinlichkeit auch einen entsprechend großen Bereich im Roulette zu. Die Wahrscheinlichkeit dass die Kugel des Roulettes in diesem Bereich zum Stehen kommt ist daher hoch. Analog zur Selektion, ist die Wahrscheinlichkeit dieses Individuum für die Reproduktion zu wählen, sehr groß.

Eine weitere Möglichkeit wird als die tournament selection bezeichnet. Hierbei wählt man zwei oder mehrere Individuen und lässt sie gegeneinander antreten. Das Individuum, welches den besseren Fitnesswert besitzt, gewinnt und wird Teil der neuen Population.

Problematisch bei GA ist die Tatsache, dass manchmal stets dieselben Chromosomen den Fitnesstest bestehen. Folglich ist die nächste Generation der vorangegangenen sehr ähnlich. Es ist daher unerlässlich geeignete Selektionsoperatoren auswählen bzw. die Parameter für die Selektion anzupassen, sowie das nötige Kriterium für den Abbruch des GA festzulegen.

Das Entstehen einer ausreichend großen Menge sukzessiver Generationen kann ein solches Kriterium sein. Werden keine Verbesserung aufgrund der Generierung neuer Generation erzielt, kann der Prozess ebenfalls beendet werden.

Nachdem das Konzept des GA erläutert worden ist, soll auf den nächsten Lösungsansatz unseres Modells, der mehrfachen Zielsetzung (MZ) eingegangen werden.

4.2 Mehrzieloptimierung

Die meisten Modellierungen für die Lösungsfindung eines Optimierungsproblems in der Betriebswirtschaftslehre berücksichtigen die Realisierung mehrerer (meist konkurrierender) Ziele. Sie erzeugen daher eben solche Lösungen, die meist eine Menge an optimalen Lösungen für das vorgestellte Problem bietet.

Ob tatsächlich eine Menge an Lösungen gefunden werden kann, hängt jedoch vom Ansatz ab, der für die Lösungsfindung ausgewählt worden ist. Für den Fall, dass eine Menge an Lösungen gefunden wird, stellt dieses Set an Lösungen einen Kompromiss zwischen der Realisierung der unterschiedlichen Ziele dar. Das liegt daran, dass die Entscheidung für eine bestimmte Lösung aus diesem Set, zugunsten eines Zieles und gleichzeitig zu Lasten des anderen Zieles fällt.

Der Entscheidungsträger muss diesen Kompromiss schließen, um eine tatsächliche Lösung für sein Optimierungsproblem zu finden. Dieser Kompromiss (trade off) spiegelt seine Priorität für eines seiner, meisten widersprüchlichen, Ziele wieder.

Die mathematische Definition einer Mehrzieloptimierung ist das Maximierungsproblem, einen Vektor an Entscheidungsvariablen zu finden, das Nebenbedingungen erfüllt und eine Vektorfunktion optimiert, dessen Elemente die Zielfunktionen repräsentieren.

Formal lautet die Formulierung wie folgt:

Finden den Vektor $x^* = [x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*]^T \rightarrow \max !$

, welche die m Ungleichungsnebenbedingungen:

$$g_i(x) \geq 0 \quad i=1,2,\dots,m$$

und die p Gleichheitsnebenbedingungen erfüllt:

$$h_i(x)=0 \quad i=1,2,\dots,p$$

und die Vektorfunktion:

$f(x) = [f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x)]^T$ optimiert,

wobei $x = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T$ der Vektor an Entscheidungsvariablen darstellt. (vgl.[CC01])

Mit anderen Worten, will man feststellen, welche Lösung aus dem Set F, die NB (1) und (2) erfüllt, sodass den optimalen Wert aller Zielfunktionen erreicht wird.

4.2.1 Das Konzept der Pareto Optimalität

Da die Definition einer allgemein gültigen „optimalen“ Lösung in der mehrfachen Zielsetzung (MZ) relativ subjektiv ist, hat man sich in der Literatur auf den Wortlaut Pareto Optimum geeignet, welcher aus den Recherchen des Autors Vilfred Pareto stammt (vgl.[PAR96]) und eben Lösungen bezeichnen, die Teil des o.g. Set aus Kompromiss Lösungen sind.

Mathematisch formuliert ist ein Vektor an Entscheidungsvariablen $x^* \in F$ dann Pareto optimal, wenn kein anderes $x \in F$ existiert,

sodass $f_i(x) \leq f_i(x^*)$ für alle $i=1,\dots,k$ und

$f_j(x) < f_j(x^*)$ für mindestens ein j.

Andres ausgedrückt, besagt diese Definition, dass x^* Pareto optimal ist, wenn es keinen zulässigen Vektor an Entscheidungsvariablen $x \in F$ existiert, welche die Zielfunktion verbessert, ohne die andere zu verschlechtern.

Das Konzept der Pareto Optimalität ergibt ein Set an optimalen Lösungen, die als nichtdominierte Lösungen bezeichnet. Wird dieses Set in einem Grafen dargestellt, so entsteht eine Punktwolke aus der die Pareto optimale Front abgebildet werden kann, wenn die Achsen dieses Grafen, die Zielfunktionen bezeichnen.

4.2.2 Mehrfache Zielsetzung mit GA

Neben der Festlegung der Pareto Optimalität in den Recherchen der MZ, hat man herausgefunden, dass GA sich besonders gut für die Lösungsfindung von Optimierungsproblemen dieser Art eignen. Folglich kam es zur Entstehung jener Wissenschaft, die sich bei der MZ den Vorteilen des GA bedient. Dieser Bereich der Recherchen wird als Evolutionary Multi-Objective Optimization (EMOO) bezeichnet. Letztere wurde in den letzten Jahren durch viele Recherchen erweitert, da GA ähnlich wie die MZ mit einem Set an möglichen Lösungen, der sog. Population, arbeitet. Wie bereits erwähnt, besteht diese Population aus einer Menge an Individuen, die gemeinsam eine Generation bilden.

In Folge soll auf die wichtigsten Arbeiten der MZ mit GA, wie dem VEGA von Schaffer, dem SPEA von Zitzler sowie dem NSGA von Deb, eingegangen werden.

4.2.2.1 Vector Evaluation GA

VEGA ist die erste Implementierung von EMOO und wurde von Schaffer in den 80er Jahren vorgestellt (vgl.[SCH85]). Hierbei wird bei der Entstehung jeder Generation, eine bestimmte Anzahl an Subpopulation, durch proportionale Selektion, entsprechend der betreffenden Zielfunktion, generiert. Für ein Problem mit k Zielfunktionen und einer Populationsgröße von M werden daher k Subpopulationen der jeweiligen Größe M/k , generiert. Die Subpopulationen werden dann zusammengefasst, so dass eine neue Population der Größe M entsteht. Letztere wird dann mit Hilfe der genetischen Operatoren, wie Crossover und Mutation, wie Abbildung 6 zeigt, reproduziert.

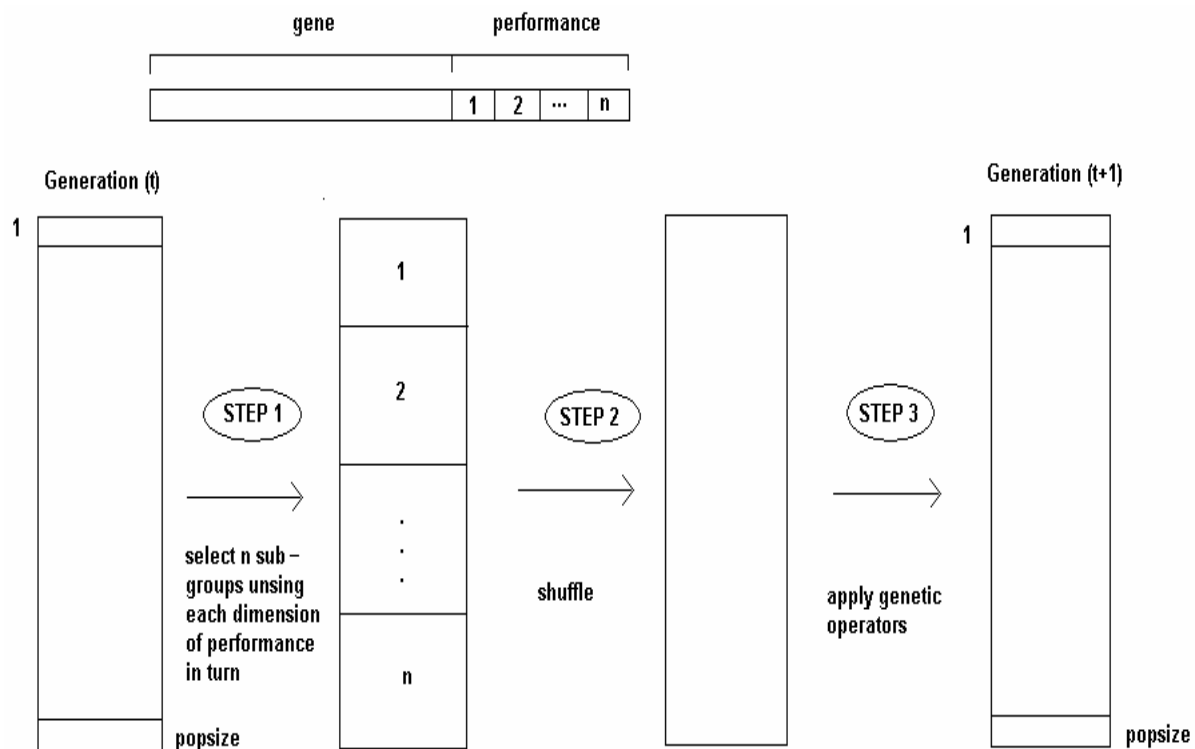


Abbildung 6: Schema der VEGA Selektion

Der Nachteil beim VEGA ist das sog. Spezifikationsproblem. Dieses wird dadurch verursacht, dass jene Individuen selektiert werden, die in einem Ziel überragen, ohne die anderen Ziele zu berücksichtigen. Die Gefahr ist dann, dass dann Individuen mit mittelmäßiger Performanz generiert werden. Letztlich führt das Spezifikationsproblem dazu, dass keine optimale Kompromisslösung gefunden werden kann. Bedenkt man nun, dass die proportionale Selektion bei VEGA genutzt wird, so führt die Zusammenfassung der Subpopulationen dazu, dass ein Durchschnitt der Fitnesskomponente gezogen wird.

Als nächstes soll daher der SPEA erläutert werden, so dass eine effizientere Methode der MZ mit GA in Betracht gezogen werden kann.

4.2.2.2 Strength Pareto Evolutionary Algorithm

SPEA ist ein neues Konzept der multiobjektiven Zielsetzung, dass Zitzler et al. erstmals in ihrer Arbeit präsentieren (vgl. [ZT98]).

SPEA speichert die Pareto optimalen Lösungen extern, so dass diese als Basis für die Evaluierung einer anderen Population dienen kann. Diese Methode der

Fitnesszuweisung ist in der Literatur recht beliebt, da das externe Pareto Set, nichtdominierte Lösungen enthält, die bisher aus dem Suchraum gesammelt worden sind.

Das Ziel des SPEA ist eine neue, nichtdominierte Lösungen zu finden. Aus diesem Grund werden die Individuen in Abhängigkeit der Anzahl an Pareto Punkten, von denen sie gedeckt werden, evaluiert. Um die Vielfältigkeit in der Population zu erreichen, wird letztere gleichmäßig in der Nähe der Pareto optimalen Front verteilt, so dass alle Pareto Lösungen, die gleiche Anzahl an Individuen abdeckt. Jeder Lösung im Pareto optimalen Set wird ein realer Wert $s \in [0,1]$ namens „strength“ (zu dt.:Stärke) zugewiesen, der proportional zur Anzahl der abgedeckten Individuen ist. Diese Stärke ist gleichzeitig die Fitness der betreffenden Lösung. Falls alle Pareto Lösungen die gleiche Stärke vorweisen, wird die Fitness dieser Lösungen mit Hilfe der Anzahl an Pareto Punkten bestimmt, durch die sie gedeckt werden.

Im Fall, dass die Bevölkerung ungleich ist, kommt wieder die Stärke ins Spiel: je stärker ein Pareto Punkt ist, desto weniger fit sind die gedeckten Individuen.

Das gewählte Schema des SPEA ist der bereits erwähnte tournament selection Mechanismus. Das bedeutet, dass sowohl die Bevölkerung als auch das Pareto optimale Set für die Reproduktion in Betracht gezogen werden. Schließlich gilt, je kleiner die Fitness eines Individuums, desto höher die Wahrscheinlichkeit ausgewählt zu werden.

Nach der Anwendung von zwei numerischen Beispielen und dem Vergleich des SPEA mit anderen evolutionären Algorithmen, kommen Zitzler et al. zu dem Schluss, dass SPEA eine signifikante Steigerung in der Effizienz der Lösungsfindung anbietet. Zusätzlich bedeutet die Einführung der Stärke, dass die Nischen nicht mit Hilfe eines speziellen Nischenradius geformt werden, sondern automatisch generiert werden. Diese Nischen sind notwendig, um eine heterogen Bevölkerung zu erhalten und werden im SPEA abhängig davon, wie die Individuen in Relation zueinander lokalisiert sind, geformt. SPEA nutzt daher, im Gegensatz zu den meisten anderen Algorithmen, keine Fitnesssteilung (eng: fitness sharing), um die Vielfältigkeit der Bevölkerung zu erzielen. Schließlich weisen die Autoren darauf hin, dass weiterführende Ansätze der evolutionären Algorithmen notwendig sind, um neuere Methoden der Fitnesszuweisung zu recherchieren.

4.2.2.3 Nondominated Sorting GA (NSGA) – NSGA

Der so genannte „Nondominated Sorting Genetic Algorithm“ (NSGAI) ist von zentraler Bedeutung für die vorliegende Arbeit.

Der Algorithmus von Deb et al. (vgl. [DEB02]) kurz „NSGA“, zerlegt die Menge an potentiellen Kandidaten in dominierte bzw. „nichtdominierten Lösungen“, und sortiert diese nacheinander in mehrere Pareto-optimale Fronten.

Pareto optimal bedeutet ein Kompromiss in der Erreichung mehrerer Ziele, die gleichzeitig im Konflikt zueinander stehen.

Das bedeutet, dass sich ein Wert der Lösungen aus dem Pareto optimalen Set (nichtdominierte Lösungen) nicht zugunsten einer Zielfunktion (auch Fitness genannt) verbessern lassen, ohne den Wert der anderen Lösung (oder Ziel) zu verschlechtern. Die Menge an Set, welche die erste Pareto Front bilden, wird sinngemäß von allen anderen Lösungen (folgender Fronten) nicht dominiert.

Ihr Dominierungszähler hat daher den Wert 0, da keine Lösungen existieren, welche die Punkte in der 1. Pareto Front, F_1 dominieren.

Für alle Lösungen, die nicht der ersten Pareto optimalen Front angehören, wird jedes Mitglied q aus dem Set S_p besucht und dessen Dominierungszähler um 1 reduziert. Sobald dieser Zähler den Wert 0 annimmt, wird das betreffende Mitglied q auf eine separate Liste Q gesetzt. Die Menge an diesen gehäuften Mitgliedern bildet dann die nächste, nicht dominierte Front (falls $n_q=0$, dann $q_{\text{rank}}=i+1$). Dieser Prozess wird mit jedem Mitglied aus der Menge Q wiederholt, bis die dritte Front bzw. letzte Front gegeben ist. Jede Lösung p wird folglich höchstens $(N-1)$ Mal besucht bevor dessen Dominierungszähler den Wert 0 annimmt. Erst dann wird die Lösung einer neuen Front zugewiesen und nicht mehr besucht.

Die Kriterien für die Auswertung der Pareto optimalen Front, sind einerseits eine gute Verteilung der sortierten Punkte entlang der Pareto Front und andererseits die Konvergenz zur „echten“ Pareto optimalen Front.

Zur Erzielung einer guten Streuung der Bevölkerung entlang der Front, wird der „crowded distance“ Operator eingeführt. Dieser Parameter soll die Vielfalt innerhalb der Bevölkerung erhalten bzw. gut gestreute Lösungspunkte generieren.

Die Schätzung der Dichte für den Operator „des gruppierten Vergleichs „ erhält man, indem die durchschnittliche Distanz berechnet Lösungen, die einen bestimmten Punkt i , in der Bevölkerung umgeben.

Diese Distanz ergibt sich aus zwei Punkten $(i-1)$ und $(i+1)$, welche sich auf jeweils einer Seite eines Punktes i befinden, der entlang einer der Fronten verläuft. Diese Menge $i_{distance}$ dient der Schätzung der Größe des Quaders, dessen Eckpunkte sich aus dem benachbarten Punkte $(i-1)$ bzw. $(i+1)$ geformt werden.

In Abbildung 7 ist die „gruppierte Distanz der i ten Lösung“ innerhalb seiner Front mit leeren Kreisen gekennzeichnet. Es entspricht der durchschnittliche Länge des Quaders und in der Abbildung, mit einem Viereck gekennzeichnet.

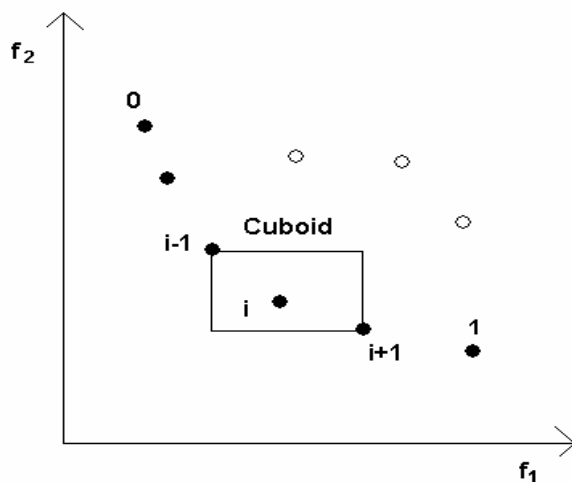


Abbildung 7: Berechnung der gruppierten Distanz

Die vollen Punkte kennzeichnen die Lösungen, derselben nichtdominierten Front.

Um die Berechnung der gruppierten Distanz zu gewährleisten, erfordert es eine Reihung der Bevölkerung, entlang der Fronten.

Falls zwei Lösungen miteinander verglichen werden und diese zu unterschiedlichen nichtdominierten Fronten angehören, wird jene bevorzugt mit dem geringen (besseren) Rang bevorzugt.

Falls die betreffenden Lösungen, den gleichen Rang vorweisen, wird jene mit weniger benachbarten Lösungen bevorzugt.

Der NSGA II Algorithmus beginnt mit einer zufällig gewählten Elterngeneration, P_0 , welche mit Hilfe der Nichtdominanz gereiht wird. Jeder Lösung wird daher, gemäß seinem nichtdominierten Rang, eine Fitness zugewiesen.

Um die nächste Generation Q_0 der Größe N zu produzieren, werden die tournament Selektion, die Rekombination bzw. die Mutation angewandt. Wie nächststehende Abbildung 8 zeigt, ist NSGA II ein elitärer Algorithmus, da die aktuelle Bevölkerung mit der vorherigen verglichen wird.

In der ersten Phase wird eine kombinierte Bevölkerung $R_t = P_t \cup Q_t$ geformt, welche $2N$ groß ist. Danach wird diese Bevölkerung, gemäß der Nichtdominanz, sortiert. Nachdem alle vorherigen und aktuellen Bevölkerungsmitglieder in R_t inbegriffen sind, wird der elitäre Charakter letzterer gewährleistet.

Jene Lösungen, die zu den besten nichtdominierten Set F_1 angehören, müssen im Vergleich zu anderen Lösungen, besonders hervorgehoben werden.

Falls die Größe der gewünschten Gesamtbevölkerung, F_1 kleiner als N ist, werden alle Mitglieder des Sets, für die neue Bevölkerung P_{t+1} , selektiert.

Die verbleibenden Mitglieder der Bevölkerung P_{t+1} wird von den folgenden, nichtdominierten Fronten, gemäß ihres Ranges, selektiert.

Folglich werden die Lösungen aus dem Set F_2 als nächstes ausgewählt, gefolgt von den Lösungen des Sets F_3 usw.

Um genau N Mitglieder auszuwählen, werden die Lösungen der letzten Front, mit Hilfe des gruppierten Vergleichsoperatoren $<_n$ in absteigender Reihenfolge, sortiert und die besten Lösungen ausgewählt, um die Bevölkerung komplett zu machen.

Die neue Bevölkerung P_{t+1} der Größe N wird nun für Selektion, Mutation und Rekombination genutzt, um die nächste Generation Q_{t+1} mit der gleichen Größe, zu produzieren. Anzumerken ist, dass zwar per tournament selection ausgewählt wird, das Selektionskriterium jedoch $<_n$ ist.

Sobald mit Hilfe des Prozesses für die Sortierung genügenden Fronten gefunden worden sind, um N Mitglieder in P_{t+1} zu haben, wird der Prozess beendet.

In Abbildung 8 wird der Prozess des NSGA II veranschaulicht.

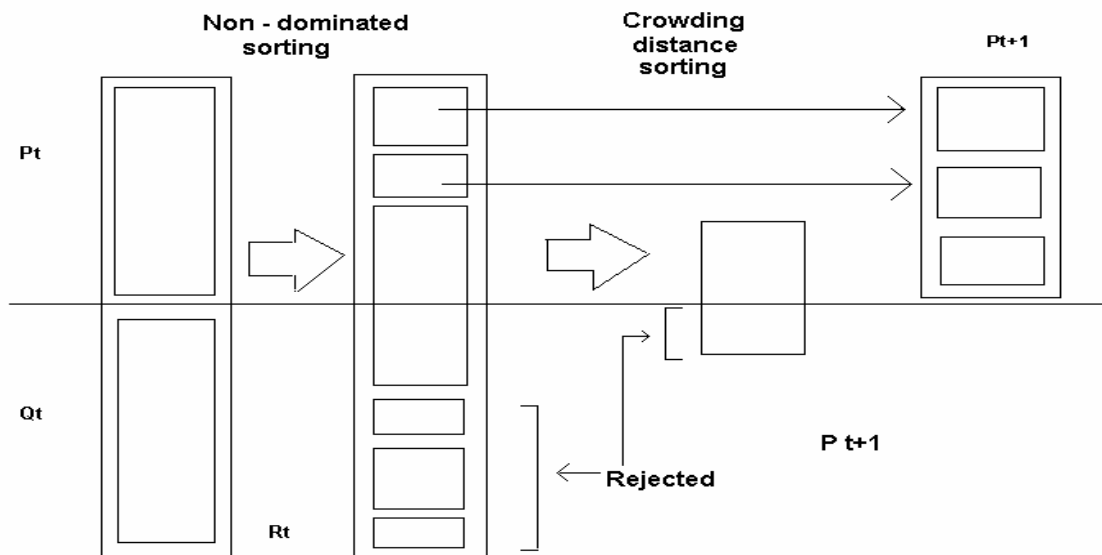


Abbildung 8: Schematische Darstellung des NSGA II

Die Autoren kommen nach Simulationsstudien zu dem Schluss, dass NSGA II eine bessere Streuung der Lösungen und eine bessere Konvergenz der nichtdominierten Front als andere Algorithmen erzielen konnte. Ihr Algorithmus konnte auch eine bessere Vielfalt der Bevölkerung gewährleisten und näher der an die wahre Pareto Front herankommen. Im Vergleich zum davor entwickelten NSGA ist NSGA II schneller in seiner Berechnungszeit.

Der eben beschriebene Algorithmus, NSGA II, dient als Vorlage für die Implementierung unseren Modells. Inwiefern alle Vorläufe des NSGA II tatsächlich umgesetzt werden konnten, zeigt der Pseudocode des Programms im späteren Abschnitt.

4.3 Anwendung der Lösungsansätze

4.3.1 Trade off des DBAPE

Imai et al setzen beim DBAPE das Ziel an, die Bearbeitungszeit am externen Liegplatz zu minimieren. Dazu wird in den Nebenbedingungen ein Zeitlimit eingeführt, welches dazu dient, abzuwiegen, wann externe Bearbeitungszeiten anfallen: Ist das Zeitlimit eines Schiffes sehr hoch, so wird es extern abgefertigt, da der Betreiber nur die dringenden Aufträge selber abfertigt. Die übrigen Schiffe werden, mangels ausreichender Kapazitäten, an externe Liegeplätze zugeordnet.

In erster Linie geht es darum, die externe Arbeitszeit zu minimieren und Kosten zu sparen.

Um das DBAPE auf ein interessantes, multiobjektives Modell auszudehnen, wird das Minimieren des erwähnten Zeitlimits des Wartens als zweites Ziel eingeführt.

Wird das Limit niedrig angesetzt (das erste Ziel wird erreicht), werden nur die sehr dringenden Aufträge intern abgefertigt, die Mehrheit der Aufträge wird jedoch extern abgewickelt. (das zweite Ziel wird nicht erreicht)

Wird das Limit zu hoch angesetzt (das erste Ziel wird nicht erreicht), kann der Betreiber zwar die Mehrheit der Schiffe selbst abfertigen (das zweite Ziel wird erreicht), da er zeitlich nicht unter Druck steht, die Zufriedenheit der Kunden ist jedoch zu gering, da die gesamte Wartezeit gemeinsam mit steigendem Betrieb des internen Terminals wächst. Wenn man versucht beide Ziele gleichzeitig zu erreichen, steht der Betreiber vor der nicht umsetzbaren Situation, so gut wie alle Schiffe selber abzufertigen, (das Zeitlimit ist schließlich gering) ohne die kumulierten Wartezeiten ansteigen zu lassen. Dieser Anstieg verläuft parallel mit ansteigenden Auftragsannahme und führt zwangsläufig zur externen Zuweisung: Je höher die Wartezeit wird und je niedriger das Zeitlimit ist, desto eher werden die Schiffe extern abgefertigt. (Die Steigerung der Wartezeit liegt in der Berechnung der Wartezeit, da diese für alle Nachfolger kumuliert wird. Diese Art und Weise der Berechnung wird, wie bereits erwähnt, auf der begrenzten Kapazität des Terminals begründet).

Es besteht folglich ein Trade off zwischen den beiden Ziele: Die Minimierung des Zeitlimits kann nicht ohne die Verschlechterung einer möglichst geringen externen Bearbeitungszeit erfolgen. Es muss daher ein geeignetes Zeitlimit festgelegt werden, das sowohl die Produktivität des Betreibers als auch die Zufriedenheit der Kunden sichert.

Das Minimieren des zweiten Zieles, dem Zeitlimit des Schiffes, wird mathematisch wie folgt formuliert:

$$\sum_{j \in V} L_j \rightarrow \min !$$

4.3.2 Chromosome des DBAPE

Wie bereits angekündigt, soll der genetische Algorithmus auf unser Modell angewandt werden. Je Generation sollen 40 Individuen erzeugt werden. Mit Hilfe eines einfachen Beispiels mit insgesamt zwei Liegeplätzen und sechs Schiffen, soll eine vereinfachte Darstellung in Chromosomen erfolgen. Die erste Generation weist je Chromosom eine zufällige Anordnung der Schiffe zu den Liegeplätzen auf. In den jeweiligen Genen des Chromosoms befindet sich das betreffende Schiff. Um zu erkennen, welcher Liegeplatz zugewiesen wird, wurde eine „0“ in eines der Gene eingeführt, welche zum Trennen der Liegeplätze verwendet wird. Das bedeutet, dass alle Schiffe, die sich links von „0“ befinden, dem Liegeplatz 1 zugewiesen wurde, und alle Schiffe, die sich rechts von „0“ befinden, dem Liegeplatz 2 zugewiesen wurden. Die Reihenfolge des Services wird stets von links nach rechts in aufsteigender Reihenfolge abgelesen, wobei nach „0“ neu gezählt wird.

Die Darstellung des Chromosoms befindet sich in nächst stehender Abbildung 9.

2	4	5	3	0	1	6
---	---	---	---	---	---	---

Abbildung 9: Chromosom für das DBAPE

Aus dieser Darstellung lässt sich zBsp. erkennen, dass Schiff 2 auf Liegeplatz 1 und als Erstes abgefertigt wird. Fasst man die aus dem Chromosom gewonnen Informationen in einer Tabelle zusammen, so ergeben sich folgende Lösungen.

Liegeplatz	1	1	1	1	2	2
Schiff	2	4	5	3	1	6

Serviceorder	1	2	3	4	1	2
--------------	---	---	---	---	---	---

Tabelle 5: Lösungen des Chromosomes

Wie bereits erwähnt, drückt die wichtigste Entscheidungsvariable unseren Modells die Zuweisung von Liegeplatz i , Schiff j und Serviceorder k aus. x_{ijk} kann daher problemlos aus dem Chromosom abgelesen werden, da $x_{121}=1$, $x_{142}=1, \dots, x_{262}=1$. Folglich haben x_{ijk} in der Tabelle den Wert 1 und alle anderen x_{ijk} den Wert 0.

Diese Liegeplatzzuordnung muss so erfolgen, dass jede Zahl nur maximal einmal vorkommen darf. Diese Beschränkung resultiert aus den Nebenbedingungen des Modells: Jedes Schiff, jeder Liegeplatz und jeder Serviceorder darf jeweils nicht öfter als einmal zugewiesen werden.

Diese Bedingung ist besonders dann bedeutsam, wenn mit Hilfe von Crossover neue Chromosome generiert werden. Als Beispiel soll unser vorangegangenes Chromosom, welches wir B nennen sowie ein weiteres Elternchromosom A herangezogen werden. Chromosom B bleibt unverändert, Chromosom A weist Lösungen, wie nächststehende Abbildung zeigt, vor.

1	2	3	4	0	5	6
---	---	---	---	---	---	---

Abbildung 10: Darstellung des Chromosoms A

Wieder lassen sich die Lösungen leicht ablesen: $x_{111}=1, x_{122}=1, \dots, x_{262}=1$.

Nun wird wie bereits im vorherigen Abschnitt erläutert, wie folgt ein Crossover an 2 Punkten durchgeführt werden.

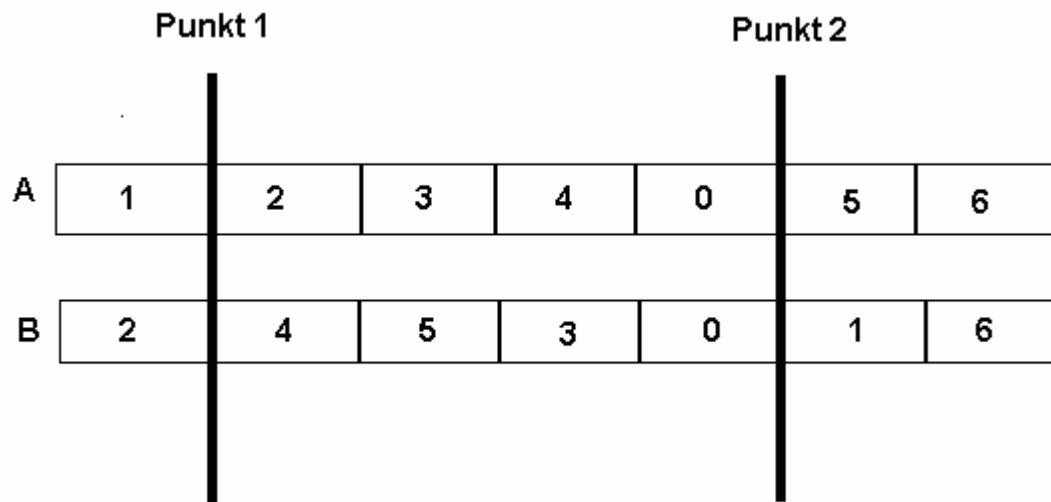


Abbildung 11: Crossover von A und B an 2 Punkten

Gemäß der Vorgehensweise beim Crossover von Imai et al., werden nun jene Gene zwischen den Elternteilen vertauscht, die sich jeweils innerhalb der zwei Punkte befinden. Wie nachstehende Abbildung zeigt, entstehen zunächst nur vorläufige Kinderchromosome C' und D'.

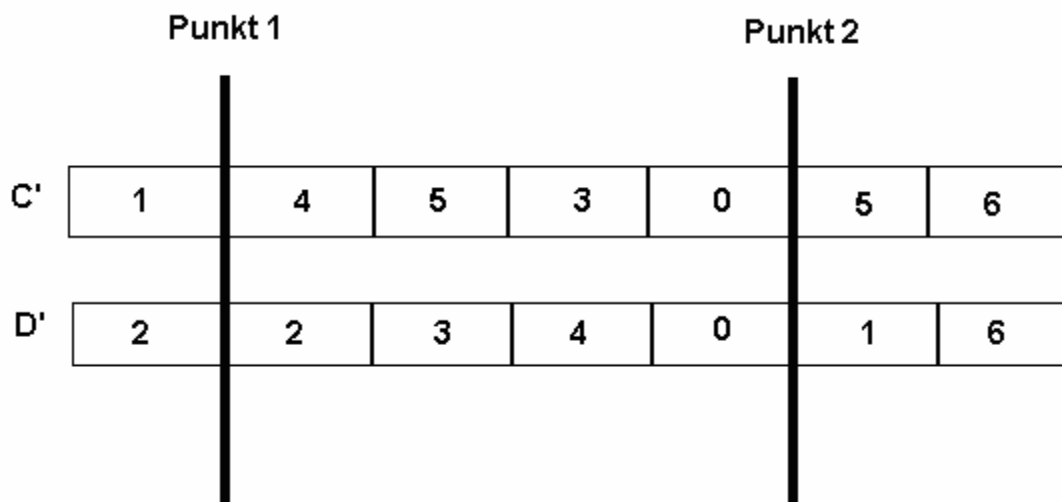


Abbildung 12: Vorläufige Kinderchromosome

Die entstandenen Chromosome verletzen nun die Nebenbedingungen, dass jede Zuweisung von Liegeplatz, Schiff und Serviceorder einmalig sein muss. Chromosom C' weist zweimal Schiff 5 vor und Chromosom D' Schiff 2. Aus diesem Grund werden jene Schiffe, die doppelt vorkommen vertauscht. Dieser Austausch findet

stets nur außerhalb der Punkte statt. Die Gene der endgültigen Kinder sind wie nachstehende Abbildung zeigt.

C	1	4	5	3	0	2	6
D	5	2	3	4	0	1	6

Abbildung 13: Endgültige Kinderchromosome

Nachdem die Darstellung der Chromosome erläutert ist, kann auf den angewandten Algorithmus eingegangen werden.

4.3.3 Algorithmus des DBAPE

Die Abbildung der Chromosome dient primär der Darstellung potentieller Lösungen unseres Modells. Ausgehend von x_{ijk} werden nun andere Variablen berechnet, um die Wartezeit der Schiffe zu berechnen. Letztere ist für die Ermittlung der Fitnesswerte ausschlaggebend.

4.3.3.1 Freizeit des ungenutzten Liegeplatzes

Als erstes wird y_{ijk} ermittelt. Diese Variable bezeichnet das ungenutzte Zeitintervall des Liegeplatzes, welches zwischen der Abfahrt des Vorgängers und die Ankunft des Nachfolgers vergeht. Für die Berechnung werden zwei Fälle betrachtet, die in folgender Tabelle zusammengefasst sind. Fall1 bezeichnet jenen Fall, in dem es keinen Vorgänger gibt ($k=0$) und Fall 2 jenen, in dem es einen Vorgänger gibt($k>0$).

Weiters wurde eine Hilfsvariable v_j eingeführt, welche den Zeitpunkt (in Stunden) angibt, an dem das Schiff j seine Bearbeitung abgeschlossen hat, wobei V_v , denselben Zeitpunkt des Vorgänger Schiffes v bezeichnet. Diese Hilfsvariable dient dazu, die Berechnung der Wartezeit, wie in den NB 5 und 6 des Modells, zu vereinfachen.

Fall 1	Fall 2	
Es gibt keine Vorgänger, $k=0$	Es gibt Vorgänger, $k>0$	
$y_{ijk}=0$	$y_{ijk}=0$, falls $A_j \leq V_v$	$y_{ijk}=A_j - V_v$, falls $A_j > V_v$

Tabelle 6: Berechnung des ungenutzten Zeitintervalls

Bei Fall 2 wird zusätzlich unterschieden, ob das Schiff vor oder nach dem Zeitpunkt ankommt, an dem sein Vorgänger abgefertigt ist. Die Unterscheidung ist unerlässlich, um die korrekte Berechnung von y_{ijk} zu erhalten.

4.3.3.2 Wartezeit der Schiffe

Als nächstes wird WZ_j berechnet. Diese Variable bezeichnet die gesamte Wartezeit der Schiffe. Wie bereits erwähnt, besteht diese aus der Bearbeitungszeit der Schiffe, kumuliert über alle Vorgänger. Hinzu kommt der Zeitintervall, in dem der betreffende Liegeplatz ungenutzt war, kumuliert über alle Vorgängerschiffe. Es werden wieder 2 Fälle unterschieden, wobei Fall 1, wieder den Fall bezeichnet, in dem es keine Vorgänger gibt und Fall 2, in dem es welche gibt.

Fall 1	Fall 2
Es gibt keine Vorgänger, $k=0$	Es gibt Vorgänger, $k>0$
$WZ_j = S_i - A_j$, falls $A_j \leq S_i$	$WZ_j = V_v - A_j$, falls $A_j \leq V_v$
$WZ_j = 0$, falls $A_j > S_i$	$WZ_j = 0$, falls $A_j > V_v$

Tabelle 7: Berechnung der Wartezeit

4.3.3.3 Abfahrtszeit der Schiffe - ATD

Letztlich wird die Hilfsvariable V_j berechnet. Diese bezeichnet die Abfahrtszeit der Schiffe, wobei V_v die Abfahrtszeit des Vorgängers ist. Da letztere angibt, zu welchem Zeitpunkt, das Vorgängerschiff den gleichen Liegeplatz verlassen hat, ist es nicht mehr nötig die gesamten Bedienzeiten und Leerzeiten aller Vorgänger neuerlich zu berechnen. V_j dient daher als Vereinfachung für die Berechnung der Wartezeit wie folgt: Angenommen es wird die Wartezeit des Schiffes 2 berechnet, welches nach Bearbeitung des Schiffes 1 abgefertigt wird. Um an einem numerischen Beispiel zu demonstrieren, inwiefern V_j die Berechnung der Wartezeit erleichtert, werden folgenden Annahmen getroffen:

Variable	Wert der Variable
V_1	10
A_2	7,5
S_1	9
c_{11}	1
x_{111}	1
y_{111}	0
y_{122}	0

Tabelle 8: Numerisches Beispiel

Anstatt wie in den Nebenbedingungen des Modells, die Wartezeit des Schiffes 2 wie folgt auszurechnen:

$$\begin{aligned} WZ_2 &= (S_1 - A_2) + c_{11} * x_{111} + y_{111} + y_{122} \\ &= (9 - 7,5) + 1 * 1 + 0 + 0 \\ &= 2,5 \end{aligned}$$

Wird die Wartezeit mit Hilfe der Variable V_j wie folgt berechnet:

$$\begin{aligned} WZ_2 &= V_1 - A_2 \\ &= 10 - 7,5 \\ &= 2,5 \end{aligned}$$

Es kommt daher zu einer verkürzten Berechnungszeit, ohne das Ergebnis zu verfälschen. Um V_j berechnen zu können wird wieder zwischen den bereits erwähnten Fall 1 und Fall 2 unterschieden. Die Ermittlung der Variable ist in nachstehender Tabelle zusammengefasst.

Fall 1	Fall 2
Falls es keine Vorgänger gibt, $k=0$	Falls es Vorgänger gibt, $k>0$
$V_j = S_i + c_{ij} * x_{ijk}$	$V_j = V_v + c_{ijk} * x_{ijk} + y_{ilm}$

Tabelle 9: Berechnung der Hilfsvariable

Nachdem die Variablen x_{ijk} , y_{ijk} , WZ_j und V_j ermittelt worden sind, kann nun die Berechnung der Fitnesswerte (FW) betrachtet werden.

4.3.3.4 Fitnesswerte für die Reproduktion

Wie bereits erwähnt sollen zwei Ziele minimiert werden. Für jedes dieser Ziele wird je ein Fitnesswert ermittelt. Mit anderen Worten wird sowohl das Limit der Wartezeit pro Chromosom als auch die Bearbeitungszeit am externen Liegeplatz pro Schiff ermittelt.

Da Fitnesswerte stets maximiert werden, lautet unser erster Fitnesswert:

$$FW_1 = \text{inv} (c_{qj} * x_{qjk})$$

und der zweite Fitnesswert:

$$FW_2 = \text{inv} (L_j)$$

Das Minimieren des Zeitlimits erfordert, dass bei jeder Iteration überprüft wird, ob die gesamte Wartezeit je Schiff, WZ_j über diesem Limit ist oder nicht. Wird das Zeitlimit übertroffen, wird das betreffende Schiff extern zugeordnet und der erste Fitnesswert erhöht sich.

Pro Generation werden 40 Individuen generiert, wobei 20 direkt über die besten gewichteten FW ausgewählt werden. Die übrigen 20 Individuen werden über Fitness

proportionale Selektion ausgewählt und schließlich mit Hilfe von Crossover an 2 Punkten produziert.

Fitness proportionale Selektion bedeutet, dass zunächst die gewichteten FW kumuliert werden. Danach wird eine zufällige Zahl zwischen 0 und der Summe der gewichteten FW ausgewählt. Je nachdem in welchem Bereich der kumulierten gewichteten FW sich diese Zahl befindet, wird das entsprechende Chromosom für das Crossover selektiert.

Die reproduzierten Individuen sollen sowohl die einmalige Zuordnung von Schiff je Liegeplatz und Serviceorder erfüllen als auch einen „besseren“ gewichteten Fitnesswert als die Elterngeneration vorweisen.

Das Ende des Algorithmus ist die Menge an Lösungen, die gemeinsam eine Pareto optimale Front bilden. Diese lässt mit Hilfe einer Punktwolke in einem Graphen darstellen, wenn eine Kurve entsprechend der Lösungspunkte abgebildet wird.

Die externe Bearbeitungszeit als primäres Ziel wird auf der x Achse und das Limit der Wartezeit als y Achse des Graphen abgebildet. Die Darstellung des Graphen in unserem Modell folgt im nächsten Abschnitt.

In der Regel wird der Algorithmus gestoppt, sobald ausreichend viele Generationen entstehen konnten oder es keine Verbesserung der FW in Generationen erzielt werden kann.

Es wird angenommen, dass ca. 15-20 Pareto optimale Lösungen für eine graphische Darstellung der Pareto Front genügen.

Nachdem die wesentlichen Ansätze und Methoden zur Lösungsfindung erläutert worden sind, wird im nächsten Abschnitt konkrete Beispiele aus der Praxis vorgestellt.

5. Implementierung der genetischen Liegeplatzzuordnung

Das letzte Kapitel dieser Arbeit widmet sich der Implementierung des DBAPE Modells mit der Programmiersprache C++. Ausgehend von den realen Datensätzen der zwei deutschen Häfen, Hamburg und Bremen, wurde der GA auf das DBAPE angewandt. Dieser Abschnitt gliedert sich in eine allgemeinen Erläuterung der

Testinstanzen Hamburghafen (HAM) und Bremerhafen (BRV) (5.1) sowie in eine Beschreibung des Programms (5.2.) und einer Interpretation der Ergebnisse (5.3.) mit Bezug auf den praktischen Nutzen.

5.1 Testinstanzen Hamburg und Bremen

Wie bereits erwähnt wurden Hamburg und Bremen als Testinstanzen für das GA ausgewählt. Zunächst folgt eine allgemeine sowie eine technische Beschreibung der Häfen, so dass anschließend die darauf basierenden Datensätze erläutert und benutzt werden können.

5.1.1 Ausgangssituation Hamburgerhafen(HAM) und Bremerhafen(BRV)

Deutschland ist ein wichtiger Standort für Containerterminals im weltweiten Vergleich. (vgl. Abschnitt 2.3.) Als Nachbarland Österreichs, bilden diese deutschen Häfen ein starkes Wachstumspotenzial für die maritime Containerwirtschaft.

Auf Ebene der Europäischen Union (EU) bilden Deutschland (Hamburg, Bremen) gemeinsam mit Partnern wie Frankreich (Le Havre), Italien (Genua) und der Schweiz gute Verkehrsverbindungen für den Handel.

Investition wie Erweiterungen oder Ausbau in Containerterminals ist ein guter Index, um den weltweiten Terminalbetrieb in einem Land festzulegen. Erst wenn solche getätigt werden und zudem das betreffende Land einen bedeutenden Im- und Export pflegt, kann es zu einem wichtigen Containerterminal Standort wie Hamburg oder Bremen ausreifen.

Im folgenden Abschnitt werden die beiden Häfen einzeln beschrieben, sowie auf ihre technologischen Voraussetzungen eingegangen.

5.1.1.1 Hamburghafen

Hamburghafen ist der größte Hafen Deutschlands und ist nach Rotterdam und Antwerpen der drittgrößte Hafen in Europa. HAM gehört als zweitgrößter Containerhafen Europas zu den Top 10 der Containerterminals weltweit. 2007 wurden 9,9 Millionen Standardcontainer umgeschlagen. Als Umschlagsplatz für

Rohkaffe ist seine Position an der Spitze sogar ungeschlagen. Trotz der Entfernung von etwa 110 km von der Mündung der Elbe in der Nordsee, gilt der Hafen als Seehafen. Ein großer Vorteil des Hafens in Hamburgs ist seine geografische Lage: die transportierten Güter befinden sich am Hafen auch gleich relativ nahe zum Landesinneren. Die gut ausgebaute Infrastruktur fördert zusätzlich den raschen Containeraustausch. Folglich werden die niedrigen Transportkosten im Schiffsverkehr gut genutzt und die Güter rasch befördert werden. (vgl.[WIK08])

Hamburghafen (HAM) verfügt über sieben Liegeplätze. Der Kai Wand ist eine Stahlkonstruktion, die mit sog. Fendern ausgestattet ist. Das sind unterschiedlich geformte Polster, die zum Schutz vor Beschädigungen des Schiffes beim Anliegen, außen an der Bordwand hängen und den Stoß abfangen.

Die Höhe des Kais variiert mit dem Tiefgang des konkreten Liegeplatzes: Je stärker der Tiefgang, desto niedriger sind die Kaikräne (in Metern) konstruiert. Die Höhe eines Kais ist daher teilweise zwischen 7,5 Metern beim Liegeplatz 4 und 7,7 Metern wie bei Liegeplatz 7. Diese Liegeplätze sind daher für niedrigen Tiefgang ausgestattet. Die Höhe des Kais kann aber bei denselben Liegeplätzen 4 und 7 bei hohem Tiefgang, jeweils auch zwischen 3,9 Metern und 4,13 Metern sein.

Die Liegeplätze sind ca.300 Meter lang und haben einen Tiefgang von ca.14 Metern. Um auch großen Schiffen die Passage in den Hafen zu ermöglichen, sind Baggerschiffe regelmäßig zur Elbvertiefung im Einsatz, um so eine dauerhafte Wassertiefe zu ermöglichen. Das Post Panamax -Containerschiff Xin Shanghai kann beispielsweise auf der Elbe bei Hamburg passieren.

Detaillierte Informationen zu Länge und Tiefgang der Liegeplätze sind in nachstehender Tabelle zusammengefasst. (Quelle: vgl. [HAM 09])

Liegeplatz	Länge	Tiefgang
1	380	15,5
2	330	k.A.
3	noch in Planung	noch in Planung
4	130	12,8
5	335	15,1
6	329	15,1

7	220	15,1
7a	230	15,1

Tabelle 10:Liegeplätze HAM

Die Länge der Liegeplätze ist ein Indiz für ihren Einsatz bei der Abfertigung von entsprechend kleinen oder großen Schiffen.

Wie jeder moderne Containerterminal, verfügt auch HAM über zusätzliches Equipment wie etwa Schlepper mit einer Zugkraft bis zu 25 Tonnen, Van Carriers und Greifstapler. Die Lagerfläche für Full Container Load (FCL) 1,2 Millionen m² und für leere Container 15 500 TEU beträgt.

Zuletzt soll auf die Öffnungszeiten von HAM eingegangen werden: Es gibt einen 24 Stunden Betrieb an 360 Tagen im Jahr.

5.1.1.2 Bremerhafen

Bremerhafen ist Teil der Hafengruppe Bremen/Bremerhafen.

Er besitzt mit seinem Überseehafengebiet einen des größten europäischen Hafens und ist somit ein wichtiges Exportzentrum für Deutschland.

Bremerhafen verfügt mit den Containerkajen der Terminals „CT I“ bis „CT IV“ über die längste zusammenhängende Kaianlage für Containerumschlag weltweit.

Auf dem Terminalgelände werden drei Umschlagsbereiche betrieben:

- Gemeinschaftsbetrieb BLG/Eurokai (Eurogate)
- Gemeinschaftsbetrieb Eurogate/MSK (MSCgate)
- Gemeinschaftsbetrieb Eurogate/Maersk (NTB)

Die Eurogate Gruppe ist ein führender europäischer Marktteilnehmer mit Betriebsgesellschaften in Bremerhafen und Hamburg sowie rund um das Mittelmeer.

Bremerhafen ist traditionell ein Eisenbahnhafen mit Hinterlandverkehren bis nach Ungarn und Schweiz. Der Umschlag von Seefracht – Containern ist die dominante Wirtschaftskraft in Bremerhafen. Es ist daher nicht verwunderlich, dass 2006 das derzeit größte Containerschiff der Welt, die Emma Maersk, am Bremerhafen anlegte. Schließlich verfügt BRV über Post Panamax Containerbrücken, so dass Mega Carrier mit Stellkapazitäten bis zu 10.000 TEU und mehr bedient werden können.

(vgl.[WIK08])

Der Umschlag von BRV beträgt mehr als 4,9 Millionen TEU im Jahr 2007. In BRV existieren insgesamt 15 Liegeplätze. Die Wassertiefe beträgt 14 bis 15,5 Meter und die Länge beträgt 1,33 Meter je Liegeplatz.

BRV zeichnet sich im Vergleich zum HAM hauptsächlich durch seine idealen Voraussetzungen für die jüngste Generation von Containerschiffen: BRV verfügt über 12 Containerbrücken, wobei 2 davon super post panamax und 9 post panamax Containerbrücken sind. (vgl.[BRV09])

Zusammenfassend bilden HAM und BRV gemeinsam starke Wirtschaftsfaktoren für den Containerverkehr zu Wasser und zu Land. Nachdem die technischen Bedingungen der Häfen beschrieben worden sind, soll nun analog auf die Datensätze der Häfen eingegangen werden.

5.1.2 Datensätze zu den Häfen

Um den praktischen Bezug unseres Modells zu testen, wurden die deutschen Häfen HAM und BRV für diese Arbeit einbezogen. Dazu wurden die internen Segellisten der Firma Eurogate für die erwähnten Häfen herangezogen und für die Implementierung genutzt.

5.1.2.1 Hamburghafen

Ausgehend von der internen Segelliste der Firma Eurogate, wurden 105 Datensätze für HAM zur Verfügung gestellt. (siehe Anhang) Um letztere für unsere Zwecke anwendbar zu machen, wurden folgende Umwandlungen der Daten vorgenommen.

Die erste wichtige Änderung der Daten betrifft die Actual Time of Arrival (ATA, zu dt.: die tatsächliche Ankunftszeit). Die ATA erstreckt sich über einen Zeitraum von 7

Tagen: beginnend vom 20.10.08 bis 27.10.08. Nachdem wir im DBAPE eine Ankunftszeit der Schiffe, A_j , benötigen und diese in Stunden angegeben wird, wurden die Tage in Stunden umgerechnet. Das bedeutet, dass für den ersten Tag, die ATA unverändert übernommen werden konnte, für den zweiten Tag wurden 24 Stunden zu der angegebenen ATA dazugerechnet, für den dritten Tag 48 Stunden usw. Bezüglich der Öffnungszeiten des Liegeplatzes, S_i wurde als Öffnungszeit 0 Uhr angenommen, da es einen 24 Stunden Betrieb gibt.

Die zweite Änderung der Datensätze betrifft die Liegeplätze. Für unser Modell wird eine durchgehende und einmalige Nummerierung der Liegeplätze benötigt. Die Segelliste weist jedoch die Zuweisung von zwei Liegeplätzen für ein Schiff auf. Folglich haben wir uns für die fiktive Existenz von insgesamt 8 Liegeplätzen entschieden. Die vorgenommenen Änderungen sind in nachstehender Tabelle zusammengefasst.

Fiktiver Liegeplatz	Tatsächliche(r) Liegeplätz(e)
1	1
2	2
3	5,6
4	6,7
5	5
6	6
7	7
8	7,7a

Tabelle 11: Angewandte Liegeplätze HAM

Die letzte Änderung beinhaltet jene der Schiffe. In der Segelliste werden die Schiffe namentlich erwähnt. Nachdem in unserem Modell der Index j für die Schiffe existiert, werden die Namen der Schiffe nicht benötigt. Die Nummerierung der Schiffe wurde beginnend mit Schiff 1 beim 1.Hauptschiff der Segelliste vorgenommen. Das bedeutet, dass zunächst die Hauptschiffe aufsteigend nummeriert worden sind, dann die Feeder und die Barge (siehe Typ laut Segelliste). Insgesamt wurden 74 Datensätze für diese Arbeit in Betracht bezogen.

Tabelle A.3 im Anhang fasst alle bereits beschriebenen Änderungen zusammen und informiert über die Datensätze, wie sie für diese Arbeit implementiert worden sind. Anzumerken ist noch, dass als Bearbeitungszeit je Schiff und Liegeplatz, c_{ij} , die sog. Porthours (zu dt.: Hafenstunden) gemäß Segelliste übernommen worden sind.

5.1.2.2 Bremerhafen

Analog zu HAM, wurden auch für BRV, dieselben Änderungen bezüglich der ATA und der Nummerierung der Schiffe vorgenommen.

Die Zuweisung der Liegeplätze entsprechend unserem Modell hat sich schwieriger gestaltet als für HAM. Laut Segelliste gibt es keine eindeutigen Liegeplätze, welche den Schiffen zugeordnet wird. Es werden jeweils Liegeplätze zugewiesen, die einem Intervall von ca 90 bis 200 Liegeplätzen entsprechen. Bei genauer Betrachtung, richtet sich dieses Intervall an Liegeplätzen nach der Länge des Schiffes.

Nachdem der niedrigste Liegeplatz 150 und der höchste aufgerundet 3100 ist, wurde zunächst die Differenz daraus berechnet: $3100 - 150 = 2950$. Wird nun der Quotient $2950/150$ berechnet, ergeben sich aufgerundet 20 Liegeplätze für BRV.

Die Nummerierung der Liegeplätze wurde wie in nachstehender Tabelle vorgenommen.

Fiktiver Liegeplatz	Tatsächliche Liegeplätze
1	150-300
2	301- 451
3	452- 602
4	603-753
5	754-904
6	905-1055
7	1056-1206
8	1207-1357
9	1358-1508
10	1509-1659

11	1660-1810
12	1811-1961
13	1962-2112
14	2113-2263
15	2264-2414
16	2415-2565
17	2566-2716
18	2717-2867
19	2868-3018
20	3019-3169

Tabelle 12: Angewandte Liegeplätze BRV

Die realen Liegeplätze wurden in einem Intervall zu je 150 den fiktiven Liegeplätzen zugewiesen, so dass insgesamt 20 Liegeplätze den Schiffen zugewiesen werden kann. Da sich die realen Liegeplätze laut Segelliste trotz o.s. Zuweisung nicht eindeutig war (die realen Liegeplätze erstrecken sich teilweise über mehrere fiktive Liegeplätze), wurde angenommen, dass stets die 2.Zahl des Intervalls laut Segelliste ausschlaggebend für die Zuweisung laut o.s. Tabelle war. Das Ergebnis der Zuweisung ist den Datensätzen BRV wie im Anhang zu entnehmen. Nun stand der Implementierung des Modells nichts mehr im Wege.

5.2 Programmbeschreibung

Wie bereits erwähnt wurden die tatsächlichen Datensätze modifiziert, so dass sie für unser Modell anwendbar sind. Die nächste Hürde beinhaltet nun die tatsächliche Implementierung des Modells in der Programmiersprache C++. Der Standard Aufbau eines Programms mit C++ besteht aus 4 Teilen. Der erste Teil deklariert die verwendeten Parameter. Der zweite Teil deklariert die verwendeten Methoden. Der dritte Teil definiert die Hauptmethode und der vierte Teil definiert alle anderen Methoden.

Der nächste Abschnitt beschreibt das implementierte Programm, indem ausgehend von einem Pseudocode zunächst auf die Auswahl der Parameter und Methoden eingegangen wird, um schließlich die implementierten Schleifen zu erläutern.

5.2.1 Verwendete Variablen

Im ersten Teil des Programms werden die benützten Variablen festgelegt. Nachstehende Abbildung informiert im Stil des Pseudocodes die Eingabevariablen des Programms.

- o die Anzahl der Schiffe
- o die Anzahl der Liegeplätze
- o die Anzahl der Chromosome
- o die Anzahl der Iterationen
- o das Maximale Zeitlimit des Wartens
- o das Minimale Zeitlimit des Wartens
- o die Schritte für das Zeitlimit
- o die Ankunftszeit der Schiffe
- o die interne Bearbeitungszeit
- o die externe Bearbeitungszeit
- o die Öffnungszeit des Terminals

Abbildung 14: 1. Teil des Programms

Die Ausgabevariablen des Programms sind die Pareto optimalen Fronten. Es existieren zusätzliche Variablen im Programm, die nicht als Eingabe- oder Ausgabevariablen betrachtet werden können und daher nicht Teil des Pseudocodes sind. Erwähnenswert ist die implementierte Formel „ $dpnum = 2 * pnum$ “, da sie der Umsetzung des NSGA II entspricht. Wie im vorherigen Abschnitt erläutert, geht der Algorithmus von einer Bevölkerung der Größe $2N$ aus. Aus diesem Grund wurde analog die doppelte Anzahl an Chromosomen für die Generierung der 1. Bevölkerung herangezogen.

Um zu veranschaulichen, welche Parameter im Programm, welchen Variablen oder Indexen im Modell entsprechen, wurden die Parallelen zwischen letzteren in folgender Tabelle zusammenfasst.

Code	Pseudocode
snum	Anzahl der Schiffe (i)

bnum	Anzahl der Liegeplätze (j)
pnum	Anzahl der Chromosome
inum	Anzahl der Iterationen
minLT	Maximale Wartezeit
maxLT	Minimale Wartezeit
tstep	Schritte für das Zeitlimit
arrivt	Ankunftszeit (Aj)
handlt	Bearbeitungszeit (cij)
handlt_ext	Externe Bearbeitungszeit (cqj)
opent	Öffnungszeit (Si)

Tabelle 13: Vergleich Pseudocode und Programm

Abgesehen von den Variablen des Modells wurden weitere Parameter implementiert, um den genetischen Aspekt der Lösungsfindung gerecht zu werden. So etwa existieren PM (Parameter) für die Chromosome, die je Generation produziert werden und für die Fitnesswerte, die bei der Auswahl der Chromosome für die Reproduktion, zum Einsatz kommen.

Im 2. Teil des Programms werden die verwendeten Methoden deklariert. Diese werden im folgenden Abschnitt im Stil eines Pseudocodes vorgestellt.

5.2.2. Verwendete Methoden

Die nun vorgestellten Methoden sollen in diesem Abschnitt vorerst nur namentlich erwähnt werden. Zu diesem Zweck wurden sie in folgender Abbildung zusammengefasst.

- o Für das Initialisieren der Parameter für Hamburg und Bremen
- o Für die zufällige Generierung der ersten Bevölkerung
- o Für das Sortieren der Bevölkerung
- o Für die Erzeugung der nächsten Generation
- o Für den Dominierungszähler
- o Für das Berechnen des Ranges
- o Für das Crossover: an 2 Punkten
- o Für die Berechnung der externen Bearbeitungszeit

Abbildung 15: 2.Teil des Programms

Die Abläufe der Methoden werden im 4. Teil des Programms erläutert. Davor soll der 3. Teil des Programms, die Hauptmethode vorgestellt werden. Zunächst werden in der Hauptmethode die Eingabevariablen initialisiert, um anschließend die erste zufällig generierte Elternbevölkerung zu erzeugen. Danach wird für $i=0$ bis $i=50$ (Anzahl der Iterationen) die folgenden Generationen produziert und die entsprechenden Pareto optimalen Fronten angezeigt. Abbildung 16 stellt diesen Prozess als Pseudocode dar.

Hauptmethode()

1. Initialisiere die Eingabevariablen
2. Kreiere die 1.zufällige Bevölkerung
3. Für $i=0$ bis Anzahl der Iterationen, kreiere die nächste Bevölkerung
4. Zeige die Pareto optimale Front
5. Ende HM

Abbildung 16: 3.Teil des Programms

Nachstehender Abschnitt befasst sich mit der Erläuterung der eben vorgestellten Methoden und schließt daher mit dem 4. und letzten Teil des Programms ab.

5.2.3 Implementierte Schleifen

Zu Beginn des 4.Teils werden die Eingabevariablen mit Hilfe von Werten wie folgt festgelegt:

- o Anzahl der Schiffe :74
- o Anzahl der Liegeplätze: 8 bzw.20
- o Anzahl der Chromosome je Generation : 200
- o Minimales Limit der Wartezeit : 1 Stunde
- o Maximales Limit des Wartens : 96 Stunden (4 Tage)
- o Anzahl der Iterationen :50 (gesamte Anzahl der Generationen)
- o Schritte für das Generieren des Zeitlimit : zu je 0,5 Stunden

Abbildung 17: Werte der Eingabevariablen

Für die zufällige Generierung der ersten Bevölkerung soll auf den Prozess eingegangen werden, der für die Entstehung der Chromosome gewählt worden ist. Es handelt sich hierbei um eine Permutation. Das ist die Veränderung der Anordnung einer Menge durch Vertauschen ihrer Elemente. (vgl.[WIK08]) In unserem Fall besteht diese Anordnung aus der Menge an Schiffen und Liegeplätzen. Es wird nun eine Zahl zufällig ausgewählt, welche die Position des Elementes bestimmt, welches mit dem letzten Element vertauscht wird. In der ersten Phase bedeutet es, dass ein Element der Schiffe mit einem Element der Liegeplätze die Position tauscht, danach tauschen Elemente der Schiffe untereinander die Position. Das liegt daran, dass zunächst das letzte Element die Position tauscht, dann das vorletzte Element usw. In unserem Fall existieren insgesamt n Positionen, die p Permutationen ausgesetzt werden. Mit Hilfe des eben beschriebenen Prozesses werden die Chromosome für unsere Generationen produziert.

Erwähnenswert ist weiters die Implementierung der Formel aus der Arbeit von IMAI, die für die Anzahl der Zellen im Chromosom zuständig ist:

$$n = s+b-1$$

wobei n , der Anzahl der Zellen im Chromosom, s der Anzahl der Schiffe und b der Anzahl der Liegeplätze entsprechen.

Im Stil eines Pseudocodes sieht die Methode für die zufällige Generierung der ersten Bevölkerung wie folgt aus:

Methode für das Kreieren der zufälligen Bevölkerung()

1. Für $i=0$ bis N , generiere die zufällige Elemente :Schiffsordnung und Limit der WZ
2. Berechne für alle Elemente, die externe Bearbeitungszeit
3. Sortiere die Generation nach Rängen

Abbildung 18: Pseudocode für das Kreieren

Für das Sortieren der Bevölkerung wird der Rang mittels Permutation herangezogen. Der Rang richtet sich nach den Fitnesswerten: das Limit der Wartezeit und die

externe Bearbeitungszeit. Diese beiden Werte müssen in jedem Fall „besser“ sein als jene der nachfolgenden Ranges, so dass die Nichtdominanz der vorangegangenen Fronten gewährleistet ist. Um die Vorgangsweise für das Sortieren zu erläutern wird dieser im Pseudocode dargestellt.

Methode für das Sortieren der Bevölkerung()

1. Für $i=0$ bis $2N-1$, sortiere die Elemente nach Rang
2. Gehe alle Elemente durch und finde das „Beste“(Minimum)
3. Reihe das Beste an erster Stelle, in dem die Plätze der betreffenden Elemente vertauscht werden
4. Ausgehend vom 2.Element bis zum Ende: suche das beste Element aus den verbleibenden Elementen und vertausche seine Position mit dem 2.Element
5. Wiederhole diesen Vorgang bis alle Elemente durchgegangen worden sind

Abbildung 19: Pseudocode für das Sortieren

Für das Erzeugen der nächsten Generation wird wie in der Arbeit von Deb vorgegangen. Analog zum NSGA II, wird zunächst eine zufällig generierte Elternbevölkerung produziert und nach deren Fitness sortiert. Aus dieser Bevölkerung wird nun die Kindergeneration produziert, bis diese ebenfalls die Größe N hat. In nachstehender Abbildung wird dieser Prozess mittels Pseudocode erläutert.

Methode für das Erzeugen der nächsten Generation()

1. Wähle 2 Elternteile aus den N Elementen des „besseren“ Teils
2. Generiere 2 Kinder und füge diese in den anderen Teil der Größe N
3. Wiederhole bis N Kinder generiert sind
4. Für alle Kinder, berechne die Fitness und sortiere die Bevölkerung nach Rang

Für die Berechnung der externen Bearbeitungszeit muss ermittelt werden, ob es intern oder extern abgefertigt wird. Zu diesem Zweck wird die Wartezeit des Schiffes, die Öffnungszeit des Liegeplatzes bzw. die Abfahrtszeit des Vorgängers sowie der Beginn der Bearbeitungszeit des Schiffes ermittelt. Um den Ablauf der Methode zu erläutern, wird er im Pseudocode dargestellt.

Methode für das Berechnen der externen Bearbeitungszeit()

1. Falls die Ankunftszeit des Schiffes kleiner ist als die Öffnungszeit des Terminals (das Schiff kommt vor Öffnung des Terminals an), warte bis der Terminal öffnet. Die Wartezeit ist die Differenz aus Ankunftszeit und Öffnungszeit)
2. Ansonsten gibt es keine Wartezeit, das Schiff wird bei seiner Ankunft bedient.
3. Falls das Limit zu Warten kleiner ist, als die tatsächliche Wartezeit, wird das Schiff extern abgefertigt. Die externe Bearbeitungszeit wird zum Fitnesswert dazuaddiert.
4. Andernfalls wird das Schiff intern abgefertigt. Der Zeitpunkt, an dem der Liegeplatz frei wird entspricht dann der Abfahrtszeit des Vorgängers (Zeitpunkt, ab dem die Bearbeitung der Vorgänger beginnt + Bearbeitungszeit der Vorgänger)

Abbildung 20:Pseudocode für die EBZ

Für das Berechnen des Ranges, muss analog die Pareto Front ermittelt werden, zu dem der betreffende Punkt angehört. Je nachdem wie oft der Punkt dominiert wird, gelangt er zu der ersten, zweiten, dritten etc. Pareto Front. Um alle Punkte zuordnen zu können, werden sie nacheinander besucht und miteinander verglichen. Jene Punkte, die nicht dominiert werden, werden aus der restlichen Menge an Punkte herausortiert und einem Rang zugeordnet. Dieser Vorgang wird so oft wiederholt, bis alle Punkte einen Rang zugewiesen bekommen haben. In nachfolgender Abbildung wird der Vorgang mittels Pseudocode erklärt.

Methode für das Berechnen des Ranges()

1. Alle Chromosome dieser Generation haben anfangs keinen Rang
2. Besuche jedes Chromosom und finde jene, die nicht dominiert werden
3. Nicht dominierte Chromosome erhalten den Rang 1
4. Sortiere diese Chromosome aus der restlichen Bevölkerung vorläufig raus
5. Wiederhole ab Punkt 2 bis alle Chromosome einen Rang haben, nummeriere die Ränge fortlaufend beginnend mit 1.

Abbildung 21: Pseudocode für den Rang

Um den Rang berechnen zu können, wird ein Dominierungszähler benötigt. Dieser wird verwendet, um herauszufinden, welcher der zwei Punkte dominiert, wenn diese miteinander verglichen werden. Der Vergleich bezieht sich stets auf die Fitnesswerte: die externe Bearbeitungszeit und das Limit des Wartens. Beide Werte

sollen minimiert werden. Mithilfe dieser Methode, kann schließlich der Rang ermittelt werden, zu dem der betreffende Punkt angehört.

Die Methode für den Dominierungszähler wird im folgenden Abschnitt als Pseudocode dargestellt.

Methode für das Dominieren()

1. Vergleiche die Fitnesswerte des Chromosom mit Index i mit jenen des Chromosom mit Index j
2. Falls die FW des Chromosoms i dominiert: Ergebnis „1“
3. Falls die FW des Chromosoms j dominiert: Ergebnis „2“
4. Andernfalls (keines der Chromosome dominiert): Ergebnis „0“

Abbildung 22: Pseudocode für das Dominieren

Abschließend soll die Methode für das Crossover erläutert werden. Wie bereits im vorherigen Abschnitt 4.1 erläutert, wird das Crossover an zwei Punkten durchgeführt. Diese Punkte werden zufällig ausgewählt und teilen die zwei Eltern Chromosome in drei Teile. Die „inneren“ Teile werden untereinander vertauscht. Anschließend wird geprüft, welche Schiffe doppelt vorkommen. Die betreffenden Schiffe werden wieder vertauscht, bis jedes Schiff nur einmal vorkommt.

Nachdem die wesentlichen Bestandteile des Programms beschrieben worden sind, soll nun auf die Auswertung des Programms eingegangen werden.

5.3 Analysen der Ergebnisse

In diesem Abschnitt sollen die Ergebnisse des Programms analysiert werden. Dazu werden die ermittelten Lösungen in einer Tabelle zusammengefasst und anschließend interpretiert.

5.3.1. Hamburghafen

Das vorgestellte Programm produziert für Hamburg insgesamt 31 Chromosome, die zur 1.Pareto optimalen Front angehören. Das erste Chromosom weist die Fitnesswerte vor, die aus Sicht des Terminalbetreibers am interessantesten sind. Das liegt daran, dass der für den Terminalbetreiber relevanten Fitnesswert, die externe Bearbeitungszeit, mit zunehmender Anzahl an Chromosomen ebenfalls ansteigt. Da der Betreiber eine möglichst geringe externe Bearbeitungszeit anstrebt,

sind die Ergebnisse des 1.Chromosoms am bedeutsamsten und sollen daher in Folge näher erläutert werden.

Im Gegensatz dazu, nehmen die Werte für den 2.Fitnesswert, dem Limit der Wartezeit mit zunehmender Anzahl an Chromosomen ab. Das bedeutet, dass das letzte Chromosom, in unserem Fall das 31., aus Sicht der Kunden am interessantesten ist. Dieses Chromosom soll ebenfalls näher erläutert werden.

Abschließend soll der gesamten Verlauf der Kurve analysieren werden, um die Ergebnisse dieser Pareto optimalen Front besser nachzuvollziehen.

5.3.1.1 Auswertung der Pareto- optimalen Front

Die vorgestellte Front wurde aus mehreren Durchläufen des Programms ausgewählt, da sie die aus optischer Sicht, den besten Verlauf für eine Pareto Front hergibt. Dieser Verlauf soll in diesem Abschnitt analysiert werden. Die grafische Darstellung der ausgesuchten Front befindet sich in nachstehender Abbildung 23.

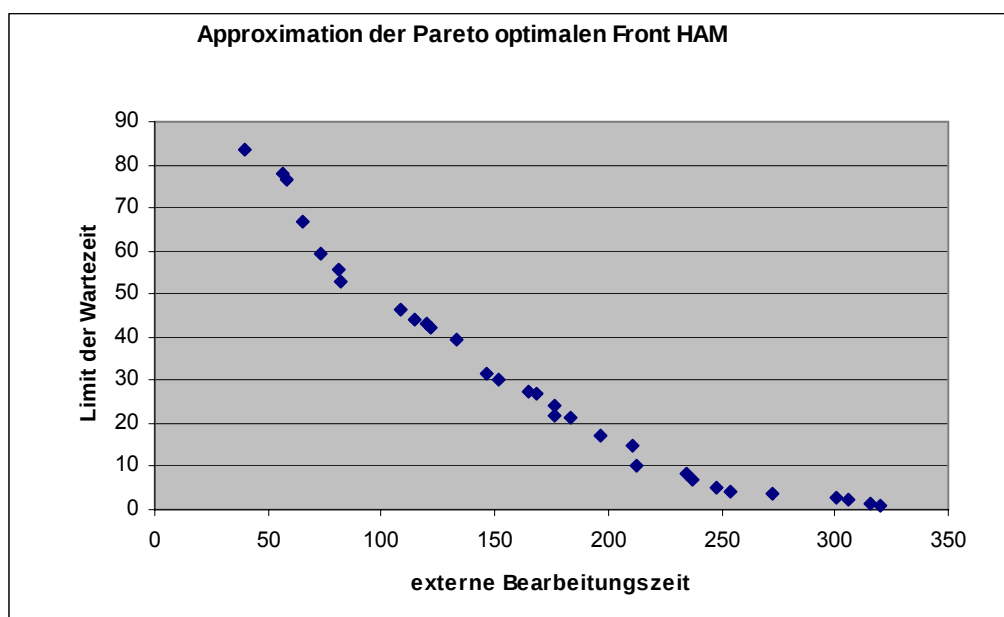


Abbildung 23:Pareto optimale Front HAM

Die erhaltene Front verläuft recht gerade, so dass davon ausgegangen kann, dass die Senkung der y Werte ebenso regelmäßig verläuft wie die Steigung der x Werte. Anders formuliert, bedeutet es, dass das Limit der WZ in beinahe gleich hohen Intervallen sinkt, wie die externe Bearbeitungszeit steigt. Der Verlust in der Priorität des einen Zieles ist daher ebenso regelmäßig wie der Gewinn in der Priorität des

anderen Zieles. Gleichzeitig muss jedoch beachtet werden, dass die Ausgangswerte beider Ziele recht unterschiedlich sind. Die externe Bearbeitungszeit bewegt sich in einem Intervall von 40 Stunden und endet bei einem maximalen Wert von ca. 320 Stunden, während das Limits der WZ sich im Bereich von ca. 1 bis ca. 80 Stunden bewegt. Daraus lässt sich schließen, dass die Ergebnisse eher zugunsten der Kunden als zugunsten des Betreibers gefallen sind: während das Limit der WZ beinahe verschwindet (ca nur 1 Stunde als minimaler Wert), kann die externe Bearbeitungszeit nur auf 40 Stunden reduziert werden. Der Betreiber strebt aber eine externe BZ an, die sich, wie das Limit der WZ, im Bereich von 0- 5 Stunden, bewegen soll. Der Verlauf der Pareto Front ist daher eher aus Sicht des Betreibers eher enttäuschend.

Die für den Betreiber relevanten Punkte befinden sich im Grafen links oben. Diese Punkte weisen im Vergleich zu den restlichen Punkten, eine relativ geringe externe Bearbeitungszeit auf. Die detaillierten Daten zu jedem dargestellten Punkt sind in nachstehender Tabelle zusammengefasst.

Chromosom	Externe BZ	Limit der WZ
1	40	83,5
2	56	78
3	58,5	76,5
4	65	67
5	73	59,5
6	81	55,5
7	82	53
8	108	46,5
9	115	44
10	120	43
11	122	42
12	133	39,5
13	146	31,5
14	151,5	30
15	164,5	27,5
16	168,5	27
17	176	24

18	176,5	22
19	183,5	21,5
20	197	17
21	210,5	15
22	212,5	10
23	234,5	8,5
24	237,5	7
25	247,5	5
26	253,5	4
27	272,5	3,5
28	300,5	3
29	305,5	2,5
30	315,5	1,5
31	320	1

Tabelle 14: Pareto Set für HAM

Wie bereits erwähnt, stellen die Ergebnisse des 1.Chromosoms, jene dar, die der Betreiber am ehesten für seinen Terminal umsetzen möchte. In diesem Fall müsste der Unternehmer für die Kosten einer externen BZ von insgesamt 40 Stunden aufkommen und die Kunden müssten ihr Limit des Wartens auf ca. 80 Stunden ansetzen. Bei diesem hohen Limit kann man jedoch davon ausgehen, dass die Kunden unzufrieden reagieren bzw. sich ein geringeres Limit wünschen.

Zu diesem Zweck betrachten wir daher als Nächstes die Werte, die sich in der Mitte der Ergebnistabelle befinden, da die Ergebnisse in diesem Fall eine gleich hohe Gewichtung beider Ziele zulassen sollten. Die externe Bearbeitungszeit ist bei Chromosom 16 beinahe 4 Mal so hoch als im vorherigen Fall, das Zeitlimit ist ca. um 1/3 weniger als beim Chromosom 1. Das Zeitlimit beträgt nur mehr noch 27 Stunden. Dieses Limit ist weit weniger erschreckend als zuvor und durchaus zumutbar, um eine akzeptable Kundenzufriedenheit zu erreichen. Betrachtet man nun die externe Bearbeitungszeit, so wird rasch klar, dass der Betreiber dieses Zeitlimit nicht anbieten wird. Die Beabreitungszeit beträgt nun beinahe 170 Stunden und ist somit für einen effizienten Betrieb des Terminals unzumutbar.

Daraus lässt sich schließen, dass sich das Zeitlimit trotz gleichwertiger Gewichtung der Prioritäten nicht wirklich zu Gunsten der Kunden verändert hat. Die externe Bearbeitungszeit erreicht ab dem 8. Chromosom einen 3-stelligen Wert, so dass alle darauf folgenden Pareto optimalen Punkte für den Betreiber keinesfalls in die nähere Auswahl kommen. Sollte sich der Betreiber dazu entschließen auch im Sinne der Kunden zu handeln, wird er sich vermutlich für die Ergebnisse des Chromosoms 7 entscheiden: Die externe Bearbeitungszeit ist dann zwar doppelt so hoch (82 Stunden) als beim Chromosom 1, das Limit der WZ beträgt jedoch nur mehr noch 53 Stunden. Dieses Limit schafft jedenfalls eine bessere Servicequalität als bei Chromosom 1.

Zusammenfassend lassen die erzielten Ergebnisse keine eindeutige Präferenz für den Betreiber und die Kunden zu. Erst wenn der Betreiber bereit ist, sein Ziel zugunsten der Kunden etwas zurückzustecken, kann für beide Teilnehmer des Terminalbetriebes zufrieden stellende Ergebnisse erzielt werden.

Im nächsten Abschnitt wird die detaillierte Liegeplatzzuordnung zu Chromosom 1 analysiert, da in diesem Fall die besten Ergebnisse aus Sicht des Betreibers erzielt werden konnte.

5.3.1.2 Interpretation der Ergebnisse

Eine externe Bearbeitungszeit von insgesamt 40 Stunden, stellt den geringsten Wert aus allen Pareto optimalen Punkten dar und weist folgende Zuweisung der Schiffe zu den Liegeplätzen dar.

Liegeplatz	Schiffe
1	27 : 44 : 33 : 51 : 11
2	19 : 34 : 16 : 71
3	30 : 38 : 18 : 20 : 39 : 26 : 43 : 36 : 9 : 60 : 53 : 72 : 47
4	5 : 54 : 52 : 64 : 69 : 61 : 58 : 66 : 62 : 73 : 55 : 74
5	24 : 2 : 41 : 17 : 1 : 50 : 32 : 56 : 6 : 70 : 45
6	3 : 4 : 68 : 59 : 67 : 65 : 12 : 63 : 57 : 13
7	29 : 35 : 7 : 46
8	8 : 10 : 49 : 15 : 14
extern	37 : 23 : 22 : 25 : 31 : 40 : 42 : 48 : 21 : 28

Tabelle 15: Liegeplatzzuordnung HAM für Chromosom 1

Auf der ersten Blick lässt sich erkennen, dass die Verteilung der Schiffe auf die Liegeplätze fast gleichmäßig ist: Pro Liegeplatz werden 4 – 13 Schiffe zugewiesen. Nachdem diese Zuweisung, den besten Fitnesswert für die externe BZ geliefert hat, ist es nicht überraschend, dass lediglich zehn Schiffe extern abgefertigt werden.

Auffallend ist dabei, dass die extern zugewiesenen Schiffe jeweils eine sehr geringe Bearbeitungszeit vorweisen, sie bewegen sich im Bereich von 1 bis maximal 6 Stunden. Der Betreiber verliert zwar 10 Schiffe an den externen Terminal, dies wird aber durch die Tatsache abgeschwächt, dass die Schiffe jeweils nur wenige Stunden bearbeitet werden.

Abgesehen vom externen Liegeplatz, weisen die Zuweisung der Schiffe bei allen anderen Liegeplätzen den gleichen Trend auf: Man findet stets ein Schiff mit einer sehr hohen Bearbeitungszeit gemeinsam mit mehreren Schiffen mit jeweils geringer Bearbeitungszeit. Besonders markant ist dieser Trend bei Liegeplatz 7: Während Schiff 49 eine Bearbeitungszeit von 40 Stunden benötigt, kommen alle restlichen Schiffe mit einer Bearbeitungszeit von 5 bzw. 10 Stunden aus.

Ein ähnliches Bild lässt sich für die Zuweisung der Schiffe am Liegeplatz 6 erkennen: Hier gibt es eine einmalige Bearbeitung von 30 Stunden, die geringe Bearbeitungszeit beträgt 1 Stunde, alle anderen Bearbeitungszeiten liegen dazwischen. Der eben beschriebene Trend zieht sich durch alle weiteren Liegeplätze hindurch, außer für den externen Liegeplatz.

Um herauszufinden, ob sich diese Art der Zuweisung sich tatsächlich bewährt, soll diese mit jener des Chromosoms 31 verglichen werden, da hier die schlechteste Fitness (höchste externe Bearbeitungszeit) errechnet worden ist.

In diesem Fall werden nicht nur eines sondern mehrere Schiffe mit hoher Bearbeitungszeit je Liegeplatz zugewiesen. Auffällig ist auch die Zuordnung zahlreicher Schiffe mit ausschließlich geringer Bearbeitungszeit je Ankerplatz, wie etwa beim Liegeplatz 5. Nachteilig ist diese Weise der Zuordnung vermutlich wegen der einseitigen Belegung der Ankerplätze.

Um die Analyse der Ergebnisse für HAM abschließen zu können, sollen diese nun mit den Daten aus der Praxis verglichen werden.

5.3.1.3 Praktischer Bezug

Für den praktischen Bezug sollen ebenfalls die Ergebnisse des Chromosoms 1 herangezogen werden. Beim direkten Vergleich der zugewiesenen Schiffe, gibt es insgesamt 8 Übereinstimmungen: Schiff 27 wird am Liegeplatz 1, Schiff 19 am Liegeplatz 2, die Schiffe 38 und 43 werden am Liegeplatz 3, Schiff 5 wird am Liegeplatz 4, die Schiffe 59 und 63 werden am Liegeplatz 6 und Schiff 10 am Liegeplatz 8 abgefertigt. Die Anzahl der Übereinstimmung ist zwar relativ gering, wenn man bedenkt, dass insgesamt 74 Schiffe zugeordnet worden sind.

Dennoch bestätigen die Übereinstimmung, dass das implementierte Modell sich in der Praxis durchaus bewähren kann. Eine Erklärung für die geringen Übereinstimmungen ist vermutlich die Tatsache, dass das implementierte Modell praxisorientierte Beschränkungen der Liegeplätze bzw. der Schiffe ignoriert. Zum Beispiel werden in der Praxis technische Voraussetzungen wie der Tiefgang, die Länge und Breite des Schiffes bei der Zuweisung berücksichtigt. Diese Bedingungen wurden zu Gunsten der Kundenzufriedenheit (Zeitlimit des Wartens) und der begrenzten Kapazität des Terminalbetreibers (externe Bearbeitungszeit) außer Acht gelassen. Ein besserer Vergleich mit der Praxis wäre sicherlich mit einem Terminal gelungen, indem, wie im Modell von Imai, die Anzahl der verfügbaren Liegeplätzen, so begrenzt ist, dass auf externe Terminals zurückgegriffen werden muss, um sämtliche ankommende Schiffe abfertigen zu können. In der Arbeit von Imai wird daher auf den Hafen von Colombo verwiesen und dessen Daten ausgewertet. Ein vergleichbarer europäischer Hafen konnte trotz intensiver Recherchen nicht gefunden werden. Folglich befasst sich diese Arbeit mit den Häfen HAM und BRV, da sie die fortschrittlichsten Hafen europaweit repräsentieren. Die Anwendung des Modells ist somit eine Simulation der Situation „was wäre wenn“ die genannten Hafen, die Möglichkeit hätten, die Kapazitäten externer Terminals zu nutzen. Wie im nächsten Abschnitt erläutert wird, ist dieses Szenario für BRV nicht nötig.

5.3.2 Bremerhafen

Als nächstes sollen die Ergebnisse für Bremerhafen näher betrachtet werden. Analog zu HAM wird zunächst die Pareto optimal Front analysiert, um schließlich die Ergebnisse zu interpretieren sowie den Bezug zur Praxis zu erläutern.

5.3.2.1 Auswertung der Pareto- optimalen Front

Das Programm errechnet eine Approximation der Pareto optimale Front, die sich aus insgesamt 12 Chromosomen ergeben. Wie bei HAM wurde aus mehreren Durchläufen des Programms, unten stehende Front ausgewählt und grafisch dargestellt.

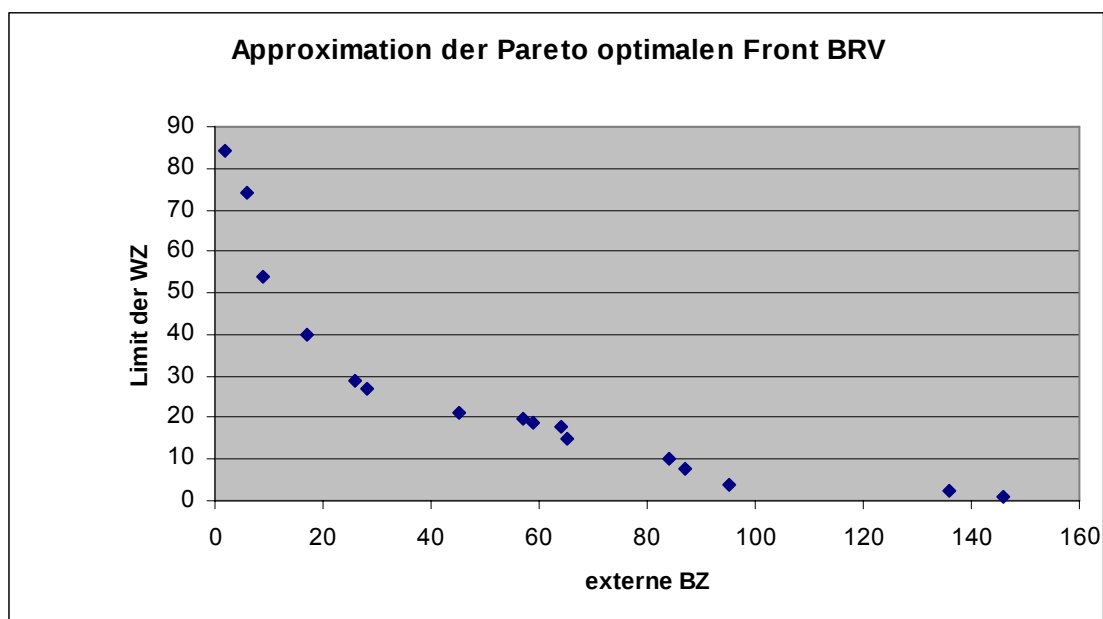


Abbildung 24: Pareto optimale Front für BRV

Ähnlich wie bei HAM, ist der Bereich links oben im Grafen für den Betreiber am interessantesten: Chromosom 1 bietet eine Liegeplatzzuweisung der Schiffe, die ohne externe Bearbeitungszeit auskommt. Diese Zuordnung der Schiffe ist ideal für den Terminalbetreiber, da er mit seinen Kapazitäten an Liegeplätzen auskommt, ohne auf den externen Liegeplatz zugreifen zu müssen.

Aus Sicht der Kunden ist dieses Ergebnis eher bedenklich: sie müssen sich mit einem Limit der Wartezeit von 81 Stunden begnügen. Um herauszufinden, ob es Ergebnis gibt, die eher zugunsten der Kunden gefunden werden können, werden die detaillierten Ergebnisse zu dieser Pareto optimalen Front sind in nach stehender Tabelle zusammengefasst.

Chromosom	Externe BZ	Limit der WZ
1	0	81
2	6	53,5
3	16	32
4	18	23
5	33	22
6	42	17
7	46	11
8	48	8
9	56	7
10	69	6
11	74	5
12	90	3
13	94	1

Tabelle 16: Pareto optimales Set für BRV

Wie bereits erwähnt, stellen die Ergebnisse des Chromosom 1 das ideale Szenario für den Terminalunternehmer dar, da er keine Kunden an die Konkurrenz verliert. Aus Sicht der Kunden, stellt das Zeitlimit von 81 Stunden jedoch ein recht unbefriedigendes Ergebnis dar. Der Betreiber läuft daher Gefahr, unzufriedene Kunden abzufertigen. Es ist daher überlegenswert, die Qualität des Services zu verbessern. Zu diesem Zweck sollen die Ergebnisse des letzten Chromosoms betrachten werden. In diesem Fall beträgt das Limit der Wartezeit nur mehr noch 1 Stunden, die Kunden wären also sehr zufrieden mit dem Service. Die externe Bearbeitungszeit beträgt nun aber beinahe 100 Stunden und ist vergleichsweise mit den Ergebnissen des Chromosoms 1, eine Zumutung für den Unternehmer.

Eine ausgeglichene Gewichtung der Ziele ist daher strebenswert. Die Ergebnisse des Chromosoms 6 sprechen für ein solches Streben. Die externe Bearbeitungszeit

beträgt zwar 42 Stunden, das Limit der Wartezeit (17 Stunden) ist nun aber nicht mehr so hoch wie bei Chromosom 1 (86 Stunden).

Natürlich kann der Betreiber den Terminal dennoch so betreiben, dass ihm keine externen Bearbeitungskosten entstehen. Die Zufriedenheit der Kunden wird dabei jedoch außer Acht gelassen werden. Es ist daher ratsam, nicht nur die Produktivität des Betriebes, sondern auch die Qualität des Services in Betracht zu ziehen. Nur wenn für beide Ziele gleichermaßen Prioritäten gesetzt werden, ist der Betrieb ein erfolgreiches Unternehmen gewährleistet.

5.3.2.2 Interpretation der Ergebnisse

Nach Analyse der Pareto optimalen Front, wurde festgestellt, dass für Chromosom 1 das produktivste Ergebnis aus Sicht des Betreibers erzielt werden kann. Aus diesem Grund soll nun die detaillierte Zuordnung der Schiffe und Liegeplätze zu diesem Ergebnis betrachtet werden. Diese sind in nachstehender Tabelle zusammengefasst.

Liegeplatz	Schiffe
1	38 : 56 : 60
2	14
3	35 : 13 : 58 : 69
4	34 : 30 : 6 : 54 : 73 : 71
5	3 : 41 : 25
6	4 : 28 : 36 : 24 : 39 : 37
7	33
8	49 : 62 : 72 : 20
9	10
10	2 : 31 : 7 : 45 : 47 : 15 : 18 : 74
11	42 : 9 : 44 : 12 : 19
12	29 : 48 : 55 : 61 : 64 : 65 : 70 : 22
13	21
14	26 : 1 : 40
15	11 : 66
16	5 : 7 : 63
17	23 : 27 : 43 : 17 : 57 : 67
18	32 : 68
19	50 : 52 : 53
20	51 : 46 : 16 : 59
extern	keine

Tabelle 17: Liegeplatzzuordnung BRV für Chromosom 1

Auffällig bei dieser Zuweisung der Schiffe und Liegeplätze ist, dass die Liegeplätze 2, 7, 9 und 13 nur ein Schiff zugeordnet bekommen. Alle anderen Liegeplätze fertigen zwei oder mehr Schiffe ab. Maximal werden bis zu acht Schiffe von einem Liegeplatz bedient. Betrachtet man die Bearbeitungszeit der zugewiesenen Schiffe je Liegeplatz, zeichnet sich folgender Trend ab: Je Liegeplatz werden entweder wenige Schiffe mit hoher Bearbeitungszeit oder mehrere Schiffe mit jeweils wenig Bearbeitungszeit zugewiesen. Dieser Trend zeigt sich vor allem bei den Liegeplätzen, die nur ein Schiff bedienen. Letztere fertigen jeweils Schiffe mit hoher Bearbeitungszeit ab.

Als nächstes soll ein Vergleich mit den praktischen Daten gezogen werden.

5.3.2.3 Praktischer Bezug

Wie eben beschrieben, hat Chromosom 1 die besten Ergebnisse aus Sicht des Betreibers geliefert. Aus diesem Grund soll diese Zuweisung der Liegeplätze und Schiffe mit jener aus der Praxis verglichen werden.

Beim Vergleich stellt sich heraus, dass die Zuweisung der Schiffe 1, 12, 17, 52 und 74 mit der Praxis übereinstimmen. Es kommt daher zu weniger Übereinstimmungen als bei HAM.

Ein Grund dafür, dass es weniger Übereinstimmungen als bei HAM gibt, ist mit Sicherheit die Tatsache, dass in Praxis kein Liegeplatz ungenutzt bleibt. Das erarbeitete Programm ist so konzipiert, dass die Schiffe nicht zwangsläufig über alle verfügbaren Liegeplätze verteilt werden müssen. Diese Einschränkung wird auch in der Arbeit von Imai et al nicht erwähnt. Der Mangel dieser praxisorientierten Voraussetzung ist nicht das einzige Problem, wenn man die Ergebnisse des Programms mit jenen der Praxis vergleicht.

Ein weiterer Nachteil stellt die Schwierigkeit dar, die tatsächlichen Liegeplätze (150-1369) des Bremerhafens unverändert zu implementieren. Wie im vorherigen Abschnitt erläutert, wurden die tatsächlichen Liegeplätze auf insgesamt 20 Liegeplätze umgewandelt. Diese Änderung führte dazu, dass die tatsächlichen Liegeplätze auf der Segelliste ebenfalls umgewandelt worden sind, so dass manche Liegeplätze wie 1,4,6,7, und 9 in der Segelliste nicht mehr vorkommen. Das Programm weist den genannten Liegeplätzen jedoch Schiffe zur Abfertigung zu. Selbst wenn das Programm manchen Liegeplätzen keine Schiffe zuordnet, so kann das keinesfalls der Realität entsprechen, da in der Praxis alle Liegeplätze am

Terminal betrieben werden. Wie bereits erwähnt, kann eine Übereinstimmung eines ungenutzten Liegeplatzes nur darin begründet werden, dass manche Liegeplätze aufgrund der Umwandlung nicht mehr vorkommen.

Zusammenfassend gestaltet sich der Bezug zur Praxis relativ schwierig, da die praktischen Daten zu Gunsten der Implementierung „verfälscht“ worden sind. Die Umwandlung der Daten dürfte trotz allem, die Ergebnisse nicht zur Gänze verändert haben, da es exakte Übereinstimmungen in der Zuweisung der Schiffe gibt.

Im Vergleich zu HAM, war es in BRV möglich keine externe Bearbeitungszeit zu erzielen. Diese Tatsache unterstreicht, dass die Umsetzung des Modells auf deutsche Häfen nicht unbedingt sinnvoll ist. Das vorgestellte Modell von Imai ist eigentlich für asiatische Häfen gedacht, da manche davon mit eingeschränkten Liegeplatzkapazitäten zu kämpfen haben und möglichst selten auf externe Terminals zugreifen möchten. In der Fallstudie HAM beweisen die Ergebnisse, dass das Modell durchaus für europäische Häfen anwendbar ist. Die Analyse hat gezeigt, dass der Terminalbetreiber jedenfalls den externen Liegeplatz nutzen würde, um seine Schiffe abzufertigen. Folglich ist eine Kooperation mit anderen Terminalbetreibern in HAM ein vernünftiger Vorschlag an die agierenden Unternehmer, um die Effizienz des Betriebes zu fördern.

Interessant ist auch die Tatsache, dass HAM nicht nur aus eben genannten Gründen besser für die Anwendung des Modells geeignet ist, sondern auch weil es mehr Übereinstimmungen in der Zuweisung der Schiffe gibt als bei BRV. Die Begründung liegt vermutlich darin, dass die Umwandlung der Datensätze bezüglich der Liegeplätze im Fall von HAM wesentlich einfacher und praxisnaher war als bei BRV.

Vergleicht man weiterführend die beiden Testinstanzen, so wird klar, dass in beiden Fällen, also sowohl für HAM und auch für BRV entscheidende Ergebnisse erzielt werden konnten. Sie informieren präzise darüber, wie viel in externe Ressourcen investiert werden soll, sowie inwiefern die Kunden mit dem eigenen Service bzw. jenes des Partners zufrieden sind. Diese Datensätze können sowohl die Strategie sowie die Kultur eines Unternehmens maßgeblich beeinflussen und sollte daher weiter studiert werden, um die Techniken eines erfolgreichen Containerterminalbetreiber nachzuvollziehen.

Abschließend ist darauf hinzuweisen, dass die Reihenfolge, in der die Schiffe abgefertigt werden sollen, diejenige ist, in der sie aufgelistet sind. Somit erklärt sich

auch, warum die Schiffe je Liegeplatz, ausgehend von ihrer Nummer, nicht in aufsteigender Reihenfolge angeführt sind.

6. Zusammenfassung und Ausblick

Diese Arbeit bietet einen umfassenden Überblick zum Thema Seefracht in der Containerwirtschaft. Der Beginn dieser Arbeit beschreibt allgemeine Definitionen der Seeverkehrswirtschaft und geht dann in den praktischen Teil über, der sich mit der Anwendung eines genetischen Algorithmus auf ein Zuweisungsproblem der maritimen Containerwirtschaft beschäftigt. Es handelt sich dabei um die optimale Zuordnung der ankommenden Schiffe zu den verfügbaren Liegeplätzen des Terminalbetreibers, wobei die Kriterien Kundenzufriedenheit und Wirtschaftlichkeit einbezogen worden sind.

Das vorgeschlagene Optimierungsproblem wurde unter Berücksichtigung des Modells von Imai et al. implementiert, so dass es auf die Hafen Hamburg und Bremen getestet worden ist. Die Ergebnisse, die mit Hilfe des genetischen Algorithmus erzielt wurden, sind unterschiedlich.

Es konnten Übereinstimmungen in der praxisorientierten Zuweisung von Schiffen und Liegeplätzen gefunden werden. Allerdings sind diese zu gering, um die Anwendung dieser Testinstanzen auf das präsentierte Modell rechtfertigen zu können. Der direkte Vergleich mit der Praxis zeigt, dass es sich bei der Nutzung eines externen Terminals lediglich um eine „Verbesserungsvorschlag“ für bereits bestehende, aktive Betreiber handeln kann, die mit ihren eigenen Ressourcen den Kundenbedarf selbständig, decken kann. Eine Firma, die bereits Kooperationen mit anderen Terminalbetreibern pflegt, kann mit Hilfe des Programms seine Kosten jedoch besser einschätzen und sogar optimieren.

Die erhaltenen Pareto optimale Punkte sowie deren Verlauf haben dazu geführt, dass interessante Lösungen für das vorgestellte Optimierungsproblem generiert werden konnten. Diese Lösungen bilden das Kernstück der Arbeit. Die Aufgabe, die in dieser Arbeit erfüllt werden konnte, ist die Generierung potenzieller Lösungen für das Optimierungsproblem der bikriteriellen Liegeplatzzuordnung am Containerterminal. Die nötigen Informationen, um diese Lösungen mit jenen der Praxis vergleichen zu können, waren nicht verfügbar. Ein direkter Vergleich wäre

möglich, falls HAM oder BRV tatsächlich einen externen Liegeplatz nutzen. In diesem Fall könnte man die Zielfunktionswerte der Praxis mit jenen der Arbeit vergleichen.

Rückblickend konnten dennoch interessante Lösungen generiert werden, die sinnvolle Ergebnisse zur Studie der optimalen Liegeplatzzuweisung am Containerterminal beitragen.

Dieser Beitrag erweist sich die Art und Weise, in der die Schiffe zugewiesen worden sind. Während sich bei BRV, das Konzept bewährt hat, dass jeweils wenige Schiffe mit hoher Bearbeitungszeit bzw. mehrere Schiffe mit wenig Bearbeitungszeit je Liegeplatz abgefertigt werden sollen, zeichnet sich in HAM ein anderer Trend ab. In diesem Fall ist es effizienter jeweils ein Schiff mit hoher Bearbeitungszeit gemeinsam mit mehreren Schiffen mit geringer Bearbeitungszeit je Liegeplatz abzufertigen. Die vorliegenden Zuweisungen lassen sich leicht nachvollziehen und entsprechen einer vernünftigen Logistik.

In Hinblick auf die Zukunft empfiehlt sich eine Studie, die einen GA so entwickelt, dass die Ziele Kundenzufriedenheit bzw. Wirtschaftlichkeit mit anderen Instrumenten, als dem Limit des Wartens und der externen Bearbeitungszeit misst und auch so implementiert werden kann.

Die Tatsache, dass nicht nur die Bewertungskriterien überdacht werden sollten, sondern auch praktische Einschränkungen technischer Natur, in das Modell eingebunden werden sollten, gibt Anreiz zu weiterführenden Studien.

A Anhang

A.1 Segelliste Hamburghafen

Segelliste (intern)

Filter: Site IN ("CTH") und Eta >= 20.10.2008 07:00:00 und Eta <= 27.10.2008 07:00:00

Sortierung: Eta, Moves(SOLL), Arbeitsbeginn, Site (absteigend)

#	Site	IMO	Schiff	Typ	Länge	Eta	Ata	Atd	Porthours	Liegeplatz	Moves(SOLL)
	CTH		DBR	Barge	90	20.10.08	20.10.08 07:00	20.10.08 10:00	3	5	1
	CTH	9119658	BALTIC TRADER	Feeder	116	20.10.08	20.10.08 06:00	20.10.08 09:30	4	2	40
	CTH	9299939	MAERSK SHEERNESS	Hauptschiff	335	20.10.08	20.10.08 07:40	20.10.08 16:00	8	7 / 7a	550
	CTH	9339014	JRS CANIS	Feeder	130	20.10.08	20.10.08 08:00	20.10.08 15:00	7	2	84
	CTH	9149756	AL FARAHIDI	Hauptschiff	277	20.10.08	20.10.08 10:45	21.10.08 06:00	19	6 / 7	4
	CTH	9277383	GOTLAND	Feeder	138	20.10.08	20.10.08 12:30	20.10.08 22:00	10	2	139
	CTH	9354349	BIRKALAND	Feeder	134	20.10.08	20.10.08 05:00	20.10.08 10:30	6	1	81
	CTH	9126211	NORRLAND	Feeder	101	20.10.08	20.10.08 14:20	20.10.08 18:10	4	5	58
	CTH		BOERDE	Barge		20.10.08	20.10.08 17:10	20.10.08 18:30	1	5	34
	CTH	9339064	RBD ALEXA	Feeder	130	20.10.08	20.10.08 15:30	20.10.08 22:00	6	2	80
	CTH	9398773	DELTA HAMBURG	Feeder		20.10.08	20.10.08 18:00	21.10.08 00:30	6	1	138
	CTH	9255402	SIRRAH	Feeder	132	20.10.08	20.10.08 18:20	20.10.08 23:00	5	7	66
	CTH	9339026	MARNEDIJK	Feeder	130	20.10.08	20.10.08 20:20	21.10.08 06:00	10	7 / 7a	132
	CTH	9188506	HANNI	Feeder	118	20.10.08	20.10.08 20:30	21.10.08 06:00	10	1	242
	CTH	7811484	MSC TOGO	Hauptschiff		20.10.08	21.10.08 00:45	22.10.08 03:30	27	5	30
	CTH	9404089	KRISTIN SCHEPERS	Feeder		20.10.08	20.10.08 23:20	21.10.08 04:45	5	7	65
16						20.10.08					1744
	CTH	9126728	ANNA	Feeder	101	21.10.08	20.10.08 23:20	21.10.08 04:00	5	5 / 6	57
	CTH		EURO STORM	Feeder	133	21.10.08	21.10.08 06:20	21.10.08 11:00	5	7	29
	CTH		LINAH	Barge	86	21.10.08	21.10.08 07:00	21.10.08 08:20	1	5 / 6	6
	CTH	9349552	AL HILAL	Hauptschiff		21.10.08	21.10.08 07:00	22.10.08 13:00	30	2	20
	CTH	9143403	HENNY	Feeder	100	21.10.08	21.10.08 07:00	21.10.08 08:45	2	6 / 7	33
	CTH	9322009	CMA CGM VOLGA	Feeder		21.10.08	21.10.08 07:00	21.10.08 14:30	8	6	117
	CTH	9388417	MONSUN	Feeder		21.10.08	21.10.08 06:50	21.10.08 16:00	9	7 / 7a	246
	CTH	9354430	HENNEKE RAMBOW	Feeder	134	21.10.08	21.10.08 07:30	21.10.08 17:00	10	1	141
	CTH	9186405	ANTJE	Feeder	119	21.10.08	21.10.08 11:00	21.10.08 14:30	4	6 / 7	60
	CTH		DBR	Barge	90	21.10.08	21.10.08 11:10	21.10.08 14:30	3	5 / 6	43
	CTH	9334105	ROGALAND	Feeder	134	21.10.08	21.10.08 13:20	21.10.08 19:30	6	7	80
	CTH	9123817	CARTAGENA	Feeder	101	21.10.08	21.10.08 14:45	21.10.08 20:30	6	5 / 6	94
	CTH	9237369	ANNA SOPHIE DEDE	Feeder	134	21.10.08	21.10.08 14:00	22.10.08 06:00	16	1	265
	CTH		FUZ HHLA UMFUHR	Barge		21.10.08	21.10.08 18:30	21.10.08 21:40	3	6 / 7	38

Segelliste (intern)

Filter: Site IN ("CTH") und Eta >= 20.10.2008 07:00:00 und Eta <= 27.10.2008 07:00:00

Sortierung: Eta, Moves(SOLL), Arbeitsbeginn, Site (absteigend)

#	Site	IMO	Schiff	Typ	Länge	Eta	Ata	Atd	Porthours	Liegeplatz	Moves(SOLL)
14						21.10.08					1229
	CTH	9328041	JORK RELIANCE	Feeder	141	22.10.08	22.10.08 03:15	22.10.08 07:30	4	1	73
	CTH	9278143	MSC ELENi	Hauptschiff	294	22.10.08	22.10.08 06:00	22.10.08 22:00	16	6 / 7	1020
	CTH		DBR	Barge	90	22.10.08	22.10.08 07:00	22.10.08 14:00	7	5 / 6	18
	CTH	9349215	TRANS ANUND	Feeder	142	22.10.08	22.10.08 07:00	22.10.08 12:00	5	5	21
	CTH	9304447	MSC ROMA	Hauptschiff		22.10.08	22.10.08 07:30	23.10.08 06:00	22	7 / 7a	1818
	CTH	9144689	NORFEEDER	Feeder		22.10.08	22.10.08 10:00	22.10.08 17:00	7	5 / 6	17
	CTH		SCHUTE LAUK	Barge		22.10.08	22.10.08 12:00	22.10.08 12:30	0	5 / 6	3
	CTH		FUZ HHLA UMFUHR	Barge		22.10.08	22.10.08 12:00	22.10.08 12:30	0	5 / 6	5
	CTH	9123790	CATANIA	Feeder		22.10.08	22.10.08 11:30	22.10.08 22:30	11	5	139
	CTH	9339038	WMS GRONINGEN	Feeder	130	22.10.08	22.10.08 13:30	22.10.08 20:20	7	1	96
	CTH	9141053	NORTH EXPRESS	Feeder		22.10.08	22.10.08 14:00	22.10.08 19:00	5	5 / 6	22
	CTH	9292943	CEPHEUS J	Feeder	134	22.10.08	22.10.08 14:30	22.10.08 18:40	4	1	66
	CTH		SCHUTE	Barge	40	22.10.08	22.10.08 17:00	22.10.08 20:35	4	5	0
	CTH	9142447	BARBARA	Feeder	99	22.10.08	22.10.08 18:30	22.10.08 22:00	4	1	41
	CTH	9087532	PLANET 5	Feeder	116	22.10.08	22.10.08 18:00	22.10.08 22:30	4	2	38
	CTH		ELECTRA	Feeder		22.10.08	22.10.08 22:00	22.10.08 23:00	1	5	74
	CTH	9134139	SVEN	Feeder	121	22.10.08	22.10.08 22:30	23.10.08 03:00	4	2	62
	CTH	9307229	CSCL PUSAN	Hauptschiff	337	22.10.08	22.10.08 22:30	24.10.08 15:00	40	1	3640
	CTH	9312767	HANJIN TIANJIN	Hauptschiff	304	22.10.08	22.10.08 23:00	24.10.08 10:00	35	6 / 7	3659
19						22.10.08					10812
	CTH	9053919	URANUS	Feeder	117	23.10.08	23.10.08 03:00	23.10.08 09:00	6	5	29
	CTH	9244207	EURO SNOW	Feeder	133	23.10.08	23.10.08 07:15	23.10.08 18:30	11	2	4
	CTH		DBR	Barge	90	23.10.08	23.10.08 06:55	23.10.08 12:30	6	5	95
	CTH		SCHUTE LAUK	Barge		23.10.08	23.10.08 13:30	23.10.08 17:00	4	5	21
	CTH	9143829	DORIS	Feeder		23.10.08	23.10.08 16:00	23.10.08 17:00	1	5	11
	CTH	9242986	MERWEDIJK	Feeder	132	23.10.08	23.10.08 12:00	23.10.08 22:30	10	2	100
	CTH	9302633	YM UNISON	Hauptschiff	336	23.10.08	23.10.08 23:00	25.10.08 01:40	27	2	2302
	CTH	9242560	NATHALIE EHLER	Feeder	134	23.10.08	24.10.08 01:20	24.10.08 08:15	7	5	203
8						23.10.08					2765
	CTH	9248136	HANJIN BASEL	Hauptschiff	279	24.10.08	24.10.08 05:00	25.10.08 23:59	43	7 / 7a	27

Segelliste (intern)

Filter: Site IN ("CTH") und Eta >= 20.10.2008 07:00:00 und Eta <= 27.10.2008 07:00:00

Sortierung: Eta, Moves(SOLL), Arbeitsbeginn, Site (absteigend)

#	Site	IMO	Schiff	Typ	Länge	Eta	Ata	Atd	Porthours	Liegeplatz	Moves(SOLL)
	CTH		BOERDE	Barge		24.10.08	24.10.08 08:00	24.10.08 11:40	4 5		45
	CTH	9186388	LAPPLAND	Feeder	118	24.10.08	24.10.08 07:00	24.10.08 11:45	5 5		57
	CTH	9297591	BIANCA RAMBOW	Feeder	134	24.10.08	24.10.08 11:00	24.10.08 13:40	3 6		34
	CTH	9375252	ICE BIRD	Feeder		24.10.08	24.10.08 11:30	24.10.08 19:00	8 5		121
	CTH	9244192	EURO SQUALL	Feeder	133	24.10.08	24.10.08 16:00	24.10.08 21:00	5 1		77
	CTH		SCHUTE LAUK	Barge		24.10.08	24.10.08 13:30	24.10.08 14:30	1 6		6
	CTH		FUZ HHLA UMFUHR	Barge		24.10.08	24.10.08 13:40	24.10.08 15:40	2 6		10
	CTH	9226372	MAIKE D	Feeder	133	24.10.08	24.10.08 14:00	24.10.08 22:30	8 5 / 6		158
	CTH		CONT.TAXI	Barge		24.10.08	24.10.08 16:40	24.10.08 17:30	1 6		5
	CTH		DBR	Barge	90	24.10.08	24.10.08 16:00	24.10.08 21:30	6 7		90
	CTH	9113745	GERDA	Feeder	101	24.10.08	24.10.08 17:30	24.10.08 23:00	6 6		98
	CTH	9113721	MARJA	Feeder	101	24.10.08	24.10.08 19:00	24.10.08 21:00	2 5		17
	CTH	9440590	ICE CRYSTAL	Feeder		24.10.08	24.10.08 22:00	25.10.08 02:30	4 1		73
	CTH	9328041	JORK RELIANCE	Feeder	141	24.10.08	24.10.08 23:00	25.10.08 06:30	8 5 / 6		113
	CTH	9312212	ENSEMBLE	Feeder	135	24.10.08	24.10.08 23:00	25.10.08 06:30	8 6 / 7		188
	CTH	9242560	NATHALIE EHLER	Feeder	134	24.10.08	24.10.08 22:00	25.10.08 06:30	8 1		270
17						24.10.08					1389
	CTH	9123805	ELUSIVE	Feeder		25.10.08	25.10.08 03:00	25.10.08 06:30	4 6		35
	CTH	9031454	BELIEVER	Feeder	117	25.10.08	25.10.08 02:30	25.10.08 07:00	4 2		41
	CTH		DENEB	Feeder	101	25.10.08	25.10.08 07:00	25.10.08 16:30	10 6		1
	CTH	9301093	DELTA ST.PETERSBURG	Feeder	155	25.10.08	25.10.08 07:00	25.10.08 12:10	5 2		8
	CTH		HEIKE	Feeder		25.10.08	25.10.08 07:00	25.10.08 12:30	6 7		72
	CTH	9404089	KRISTIN SCHEPERS	Feeder		25.10.08	25.10.08 07:00	25.10.08 12:30	6 6		95
	CTH	9152260	FOWAIRET	Hauptschiff	277	25.10.08	25.10.08 07:45	26.10.08 05:00	21 5		928
	CTH	9285976	CSCL ASIA	Hauptschiff	334	25.10.08	25.10.08 10:00	26.10.08 09:00	23 1		1712
	CTH	9219862	ELISABETH PECG	Feeder	118	25.10.08	25.10.08 11:50	25.10.08 18:00	6 2		90
	CTH	9226372	MAIKE D	Feeder	133	25.10.08	25.10.08 13:30	25.10.08 18:00	4 6		64
	CTH	9173329	RAGNA	Feeder	101	25.10.08	25.10.08 14:30	25.10.08 18:00	4 7		39
	CTH		LINAH	Barge	86	25.10.08	25.10.08 16:45	25.10.08 20:45	4 7		15
	CTH	9186390	ELECTRON	Feeder	118	25.10.08	25.10.08 17:30	26.10.08 01:00	8 2		117
	CTH		JOHANNA	Feeder	122	25.10.08	25.10.08 19:15	25.10.08 22:30	3 2		50

Segelliste (intern)

Filter: Site IN ("CTH") und Eta >= 20.10.2008 07:00:00 und Eta <= 27.10.2008 07:00:00

Sortierung: Eta, Moves(SOLL), Arbeitsbeginn, Site (absteigend)

#	Site	IMO	Schiff	Typ	Länge	Eta	Ata	Atd	Porthours	Liegeplatz	Moves(SOLL)
	CTH		PERCEIVER	Feeder	117	25.10.08	25.10.08 21:40	26.10.08 05:30	8 6		105
	CTH	9336294	BCL IWONA	Feeder	133	25.10.08	25.10.08 20:30	26.10.08 05:30	9 6		144
	CTH	9234991	JORK	Feeder	134	25.10.08	25.10.08 23:00	26.10.08 06:00	7 2		119
17						25.10.08					3635
	CTH	9246140	VEERSEDIJK	Feeder	132	26.10.08	26.10.08 01:30	26.10.08 04:30	3 2		30
	CTH	9332511	MAERSK TANJONG	Hauptschiff		26.10.08	26.10.08 03:00	26.10.08 18:00	15 7 / 7a		939
	CTH	9318761	X PRESS FUJI	Feeder		26.10.08	26.10.08 06:45	26.10.08 13:00	6 5 / 6		113
	CTH		HANSE VISION	Feeder		26.10.08	26.10.08 07:00	26.10.08 14:35	8 2		180
	CTH	9376024	MISTRAL	Feeder		26.10.08	26.10.08 06:30	26.10.08 17:30	11 5		285
	CTH	9138305	CSAV NEW YORK	Hauptschiff		26.10.08	26.10.08 07:45	27.10.08 01:00	17 6 / 7		534
	CTH	9337913	XIN OU ZHOU	Hauptschiff		26.10.08	26.10.08 10:30	28.10.08 01:30	39 1		3110
	CTH	9134139	SVEN	Feeder	121	26.10.08	26.10.08 10:00	26.10.08 22:00	12 6		107
	CTH	9334105	ROGALAND	Feeder	134	26.10.08	27.10.08 00:50	27.10.08 06:00	5 2		57
	CTH	9188506	HANNI	Feeder	118	26.10.08	26.10.08 18:50	26.10.08 21:15	2 5		3
	CTH	9339014	JRS CANIS	Feeder	130	26.10.08	26.10.08 20:15	27.10.08 00:30	4 2		85
	CTH	9277383	GOTLAND	Feeder	138	26.10.08	26.10.08 20:00	27.10.08 06:00	10 5		115
12						26.10.08					5558
	CTH		EURO STORM	Feeder	133	27.10.08	26.10.08 23:15	27.10.08 05:00	6 6		22
	CTH	9339038	WMS GRONINGEN	Feeder	130	27.10.08	27.10.08 07:50	27.10.08 14:00	6 6 / 7		114
2						27.10.08					136
105											27268

105 Datensätze gefunden

A.2 Segelliste Bremerhafen

Segelliste (intern)

Filter: Site IN ("CTB") und Eta >= 20.10.2008 07:00:00 und Eta <= 27.10.2008 07:00:00

Sortierung: Eta, Moves(SOLL), Arbeitsbeginn, Site (absteigend)

#	Site	IMO	Schiff	Typ	Länge	Eta	Ata	Atd	Porthours	Liegeplatz	Moves(SOLL)
	CTB		KOBE EXPRESS	Hauptschiff	294	20.10.08	20.10.08 12:00	21.10.08 18:00	30	1870-2170	9
	CTB		MSC LORENA	Hauptschiff	275	20.10.08	20.10.08 16:00	21.10.08 14:00	22	970-1250	1127
	CTB	9141053	NORTH EXPRESS	Feeder		20.10.08	20.10.08 18:00	21.10.08 14:00	20	2200-2320	101
	CTB		MEDUSA	Feeder	90	20.10.08	20.10.08 18:30	20.10.08 21:00	2	590-680	50
	CTB	9349215	TRANS ANUND	Feeder	142	20.10.08	20.10.08 20:00	21.10.08 12:00	16	1520-1660	111
	CTB		SATURN	Feeder	85	20.10.08	20.10.08 21:00	20.10.08 22:00	1	590-680	13
	CTB		DIONE	Barge	60	20.10.08	20.10.08 23:00	21.10.08 01:00	2	590-680	58
7						20.10.08					1469
	CTB		ZIM XIAMEN	Hauptschiff		21.10.08	21.10.08 03:00	21.10.08 22:00	19	2490-2750	1340
	CTB	9339038	WMS GRONINGEN	Feeder	130	21.10.08	21.10.08 06:00	21.10.08 10:00	4	2940-3070	63
	CTB	9226372	MAIKE D.	Feeder	133	21.10.08	21.10.08 08:00	21.10.08 18:00	10	2780-2910	194
	CTB	9292943	CEPHEUS J.	Feeder	134	21.10.08	21.10.08 12:00	21.10.08 18:00	6	2940-3070	83
	CTB	9277383	GOTLAND	Feeder	138	21.10.08	21.10.08 14:00	21.10.08 16:00	2	1700-1840	38
	CTB	9126211	NORRLAND	Feeder	101	21.10.08	21.10.08 14:00	21.10.08 18:00	4	1530-1630	70
	CTB	9299513	BELUGA STIMULATION	Feeder	134	21.10.08	21.10.08 17:30	21.10.08 20:00	2	1660-1800	156
	CTB		DIONE	Barge	60	21.10.08	21.10.08 19:00	21.10.08 22:00	3	1850-1940	24
	CTB		MEDUSA	Feeder	90	21.10.08	21.10.08 20:00	21.10.08 23:59	4	800-890	50
	CTB	8913667	HANJIN KAOHSIUNG	Hauptschiff	243	21.10.08	21.10.08 21:00	22.10.08 14:00	17	2100-2340	903
	CTB		SATURN	Feeder	85	21.10.08	21.10.08 22:00	21.10.08 23:59	2	1970-2060	28
	CTB	9126728	ANNA	Feeder	101	21.10.08	21.10.08 23:00	22.10.08 10:00	11	1530-1630	27
12						21.10.08					2976
	CTB	9354349	BIRKALAND	Feeder	134	22.10.08	22.10.08 01:00	22.10.08 16:00	15	2780-2920	340
	CTB		TINA	Feeder	85	22.10.08	22.10.08 06:00	22.10.08 10:00	4	800-890	47
	CTB		HERO	Hauptschiff	243	22.10.08	22.10.08 06:00	22.10.08 22:00	16	1820-2060	1118
	CTB	9143829	DORIS	Feeder		22.10.08	22.10.08 09:00	22.10.08 12:00	3	2950-3050	28
	CTB		MSC ELOISE	Hauptschiff		22.10.08	22.10.08 11:30	22.10.08 22:00	10	1000-1240	506
	CTB	9301108	BELUGA MOTIVATION	Feeder		22.10.08	22.10.08 16:00	23.10.08 13:00	21	150-310	0
	CTB		SAF NOKWANDA	Hauptschiff	265	22.10.08	22.10.08 23:00	23.10.08 18:00	19	2100-2370	21
	CTB	9222297	CMA CGM BERLIOZ	Hauptschiff		22.10.08	22.10.08 23:00	23.10.08 20:00	21	2400-2700	908
8						22.10.08					2968
	CTB		NYLAND	Feeder		23.10.08	23.10.08 01:00	23.10.08 13:00	12	1970-2070	20

Segelliste (intern)

Filter: Site IN ("CTB") und Eta >= 20.10.2008 07:00:00 und Eta <= 27.10.2008 07:00:00

Sortierung: Eta, Moves(SOLL), Arbeitsbeginn, Site (absteigend)

#	Site	IMO	Schiff	Typ	Länge	Eta	Ata	Atd	Porthours	Liegeplatz	Moves(SOLL)
	CTB	9354454	ANNALAND	Feeder	134	23.10.08	23.10.08 06:00	23.10.08 14:00	8	1760-1900	162
	CTB		GOETALAND	Feeder	138	23.10.08	23.10.08 10:00	23.10.08 18:00	8	1590-1730	131
	CTB	9142447	BARBARA	Feeder	99	23.10.08	23.10.08 12:00	23.10.08 21:00	9	1760-1860	48
	CTB		MEDUSA	Feeder	90	23.10.08	23.10.08 12:00	23.10.08 16:00	4	780-870	73
	CTB		EVER DECENT	Hauptschiff	294	23.10.08	23.10.08 13:00	24.10.08 06:00	17	2770-3070	19
	CTB	9123790	CATANIA	Feeder		23.10.08	23.10.08 14:00	23.10.08 22:00	8	1970-2070	0
	CTB	9301108	BELUGA MOTIVATION	Feeder		23.10.08	23.10.08 14:00	24.10.08 05:00	15	400-560	13
	CTB	9433444	MANFRED	Feeder		23.10.08	23.10.08 14:00	23.10.08 22:00	8	1430-1560	131
	CTB	9304447	MSC ROMA	Hauptschiff		23.10.08	23.10.08 16:00	25.10.08 06:00	38	910-1250	4
	CTB	8318075	HANNE CHRISTINE	Feeder	90	23.10.08	23.10.08 20:00	24.10.08 05:00	9	2420-2510	0
	CTB		MSC FLORIDA	Hauptschiff	286	23.10.08	23.10.08 20:00	24.10.08 21:00	25	590-880	1156
	CTB	9336294	BCL IWONA	Feeder	133	23.10.08	23.10.08 21:00	24.10.08 14:00	17	1690-1820	0
13						23.10.08					1757
	CTB	9113745	GERDA	Feeder	101	24.10.08	24.10.08 02:00	24.10.08 08:00	6	2100-2200	91
	CTB		MSC SERENA	Hauptschiff	241	24.10.08	24.10.08 02:00	24.10.08 22:00	20	1420-1660	442
	CTB	9165308	VICTORIA	Feeder		24.10.08	24.10.08 06:00	24.10.08 23:00	17	440-540	0
	CTB	9031454	BELIEVER	Feeder	117	24.10.08	24.10.08 06:00	24.10.08 10:00	4	2270-2390	21
	CTB	9440576	PANTONIO	Feeder		24.10.08	24.10.08 06:00	24.10.08 18:00	12	2420-2550	109
	CTB	9222091	CSCL GENOA	Hauptschiff	207	24.10.08	24.10.08 06:00	24.10.08 22:00	16	1860-2070	632
	CTB	9197521	JOHANNA	Feeder	121	24.10.08	24.10.08 12:00	25.10.08 04:00	16	2580-2700	319
	CTB		TINA	Feeder	85	24.10.08	24.10.08 14:00	24.10.08 16:00	2	1700-1790	5
	CTB		SATURN	Feeder	85	24.10.08	24.10.08 16:00	24.10.08 20:00	4	1700-1790	84
	CTB		ARIAKE	Hauptschiff		24.10.08	24.10.08 19:00	25.10.08 12:00	17	2150-2370	639
	CTB		MSC BENEDETTA	Hauptschiff		24.10.08	24.10.08 22:00	26.10.08 01:00	27	580-880	20
	CTB	8201703	MSC MARIA	Hauptschiff	203	24.10.08	24.10.08 23:00	26.10.08 18:00	43	350-550	71
	CTB	9242986	MERWEDIJK	Feeder	132	24.10.08	24.10.08 23:59	25.10.08 09:00	9	2730-2860	118
13						24.10.08					2551
	CTB		DIONE	Barge	60	25.10.08	25.10.08 02:00	25.10.08 06:00	4	1560-1650	26
	CTB		PERCEIVER	Feeder	117	25.10.08	25.10.08 06:00	25.10.08 10:00	4	2000-2120	34
	CTB	9186388	LAPPLAND	Feeder	118	25.10.08	25.10.08 06:00	25.10.08 12:00	6	1700-1820	98
	CTB	9164550	PIONEER BAY	Feeder	100	25.10.08	25.10.08 06:00	25.10.08 14:00	8	1430-1530	130

Filter: Site IN ("CTB") und Eta >= 20.10.2008 07:00:00 und Eta <= 27.10.2008 07:00:00

[illegible]

Segelliste (intern)

Filter: Site IN ("CTB") und Eta >= 20.10.2008 07:00:00 und Eta <= 27.10.2008 07:00:00

Sortierung: Eta, Moves(SOLL), Arbeitsbeginn, Site (absteigend)

83 Datensätze gefunden

A.3 Datensätze HAM

Schiffsname	Schiff	Liegeplatz	Bearbeitungszeit	Ankunftszeit	Öffnungszeit
M.Sheerness	1	8	8	7,6	0
Al Farahidi	2	4	19	10,75	0
Msc Togo	3	5	27	24,75	0
Al Hilal	4	2	30	31	0
Msc Eleni	5	4	16	54	0
Msc Roma	6	8	22	55,5	0
Cscl Pusan	7	1	40	70,7	0
HanjinTianjin	8	4	35	71	0
Ym Unison	9	2	27	95	0
Hanjin Basel	10	8	43	101	0
Fowareit	11	5	21	127,75	0
Cscl Asia	12	1	23	130	0
M.Tanjong	13	8	15	147	0
Csav NY	14	4	17	151,75	0
Xin Ou Zhou	15	1	39	154,5	0
Dbr	16	5	3	7	0
Baltic Trader	17	2	4	6	0
Jrs Canis	18	2	7	8	0
Gotland	19	2	10	12,5	0
Birkaland	20	1	6	5	0
Norrland	21	5	4	14,3	0
D. Hamburg	22	1	6	18	0
Boerde	23	5	1	17,16	0
Rbd Alexa	24	2	6	15,5	0
Sirrah	25	7	5	18,3	0
Marnedijk	26	8	10	20,3	0
Hanni	27	1	10	20,5	0
K.Schepers	28	7	5	23,3	0
Anna	29	3	5	23,3	0
Eurostorm	30	7	5	30,3	0
Linah	31	3	1	31	0
Henny	32	4	2	31	0
C.C.Volga	33	6	8	31	0
Monsun	34	8	9	30,8	0
H.Rambow	35	1	10	31,5	0
Antje	36	4	4	35	0
Rogaland	37	7	6	37,3	0
Cartagena	38	3	6	38,75	0
Anna Sophie	39	1	16	38	0
Fuz Hhla	40	4	3	42,5	0
J. Reliance	41	1	4	51,25	0
Trans Anund	42	5	5	55	0
Norfeeder	43	3	7	58	0
Schute Lauk	44	3	0,5	60	0
W.Groningen	45	1	7	61,5	0
N.Express	46	3	5	62	0

Cepheus J	47	1	4	62,5	0
Schute	48	5	4	65	0
Barbara	49	1	4	66,5	0
Planet 5	50	2	4	66	0
Electra	51	5	1	70	0
Sven	52	2	4	70,5	0
Uranus	53	5	6	75	0
Euro Snow	54	2	11	79,25	0
Doris	55	5	1	88	0
Merwedeijk	56	2	10	84	0
N.Ehler	57	5	7	97,3	0
Lapland	58	5	5	103	0
B.Rambow	59	6	3	107	0
Ice Bird	60	5	8	107,5	0
Euro Squall	61	1	5	112	0
Maike D.	62	3	8	110	0
Cont.Taxi	63	6	1	112,6	0
Gerda	64	6	6	113,5	0
Marja	65	5	2	115	0
Ice Crystal	66	1	4	118	0
Ensemble	67	4	8	119	0
Elusive	68	6	4	123	0
Believer	69	2	4	122,5	0
Deneb	70	6	10	127	0
Kristin	71	6	6	127	0
Elisabeth	72	2	6	131,83	0
Ragna	73	7	4	134,5	0
Heike	74	7	6	127	0

A.4 Datensätze BRV

Schiffsname	Schiff	Liegeplatz	Bearbeitungszeit	Ankunftszeit	Öffnungszeit
K. Express	1	14	30	12	0
Msc Lorena	2	8	22	16	0
Zim Xiamen	3	18	19	27	0
H.Kaosiung	4	15	17	45	0
Hero	5	13	16	54	0
Msc Eloise	6	8	10	59,5	0
S.Nokwanda	7	15	19	71	0
C.C.Berlioz	8	17	21	71	0
Ever Decent	9	19	17	85	0
Msc Roma	10	8	38	88	0
Msc Florida	11	5	25	92	0
Msc Serena	12	11	20	98	0
Cscl Genoa	13	13	16	102	0
Ariake	14	15	17	115	0
M Benedetta	15	5	27	118	0
Msc Maria	16	3	43	119	0
Apl N J	17	17	24	126	0
Msc Rhone	18	8	21	129	0
P.Express	19	13	14	154,5	0
Clipper	20	5	12	169	0
Msc Eyra	21	3	19	169	0
Msc Shanon	22	8	9	174	0
N. Express	23	15	20	18	0
Medusa	24	4	2	18,5	0
TransAnund	25	11	16	20	0
Saturn	26	4	1	21	0
Dione	27	4	2	23	0
W.Groningen	28	20	4	30	0
Maike D.	29	19	10	32	0
Cepheus D.	30	20	6	42	0
Gotland	31	12	2	38	0
Norrland	32	10	4	38	0
B.Stimulation	33	11	2	41,5	0
Anna	34	10	11	47	0
Birkaland	35	19	15	49	0
Tina	36	5	4	54	0
Doris	37	20	3	57	0
B.Motivation	38	2	21	64	0
Nyland	39	13	12	73	0
Annaland	40	12	8	76	0
Goetaland	41	11	8	82	0
Barbara	42	12	9	84	0
Catania	43	13	8	86	0
Manfred	44	10	8	86	0
H.Christine	45	16	9	92	0
Bcl Iwona	46	12	17	93	0
Gerda	47	14	6	98	0

Victoria	48	3	17	102	0
Believer	49	15	4	102	0
Pantonio	50	16	12	102	0
Johanna	51	17	16	108	0
Merwedijk	52	19	9	119,9	0
Perceiver	53	14	4	126	0
Lapland	54	12	6	126	0
Pioneer Bay	55	10	8	126	0
Anne Sibum	56	20	8	128	0
Marja	57	12	3	129	0
Ice Bird	58	11	6	134	0
HanseVision	59	19	4	138	0
Rogaland	60	10	7	143	0
Ida Rambow	61	19	10	145	0
Nor Feeder	62	10	15	150	0
Jrs Canis	63	17	3	150	0
Ragna	64	11	4	150	0
Reinbek	65	8	18	150	0
Elisabeth	66	12	6	156	0
Annabella	67	16	17	156	0
Ensemble	68	12	6	156	0
Vaermland	69	11	5	161	0
Cepheus J.	70	17	12	162	0
Trans Alrek	71	11	10	166	0
Henny	72	13	5	174	0
Birkaland	73	17	8	174	0
Hanni	74	10	7	175	0

A.5 Ergebnisse für HAM

Chromosom 1

Liegeplatz	Schiffe
1	27 : 44 : 33: 51 : 11
2	19 : 34 : 16 : 71
3	30 : 38 : 18 : 20 : 39 : 26 : 43 : 36 : 9 : 60 : 53 : 72 : 47
4	5 : 54 : 52 : 64 : 69 : 61 : 58 : 66 : 62 : 73 : 55 : 74
5	24 : 2 : 41 : 17 : 1 : 50 : 32 : 56 : 6 : 70 : 45
6	3: 4 : 68 : 59 : 67 : 65 : 12 : 63 : 57 : 13
7	29 : 35 : 7 : 46
8	8 : 10 : 49 : 15 : 14
extern	37 : 23 : 22 : 25 : 31 : 40 : 42 : 48 : 21 : 28

Chromosom 2

Liegeplatz	Schiffe
1	26 : 41 : 56 : 43 : 11 : 63 : 55 : 14 : 15
2	28 : 38 : 17 : 19 : 16 : 20 : 2 : 36 : 9 : 66 : 72 : 47
3	5 : 8 : 52 : 64 : 69 : 61 : 53 : 68 : 67 :
4	27 : 3 : 39 : 7
5	1 : 4 : 6 : 46 : 21 : 44 : 37 : 49 : 45 : 65
6	42 : 51 : 35 : 18 : 40 : 62 : 12
7	58 : 57 : 71 : 13 : 74 : 70
8	54 : 10 : 60 : 73 : 59
extern	31 : 30 : 22 : 34 : 32 : 23 : 24 : 29 : 25 : 48 : 33 : 50

Chromosom 3

Liegeplatz	Schiffe
1	34 : 33 : 28 : 18 : 38 : 49 : 19
2	71 : 15
3	21 : 46 : 35 : 20 : 39 : 43 : 36 : 9 : 53 : 72
4	8 : 54 : 52 : 64: 7 : 61 : 58 : 66 : 62 : 74
5	24 : 2 : 41 : 17 : 1 : 50 : 32 : 56 : 27 : 48 : 45
6	3 : 4 : 68 : 59 : 67 : 65 : 12 : 63 : 57
7	10 : 14
8	29: 6 : 5 : 70 : 51 : 11 : 69 : 73
extern	26 : 30 : 47 : 37 : 23 : 60 : 55 : 22 : 25 : 31 : 40 : 42 :44 : 16

Chromosom 4

Liegeplatz	Schiffe
1	27 : 44 : 33 : 51 : 71
2	19 : 10 : 11 : 73
3	38 : 18 : 20 : 39 : 26 : 43 : 36 : 9 : 53 : 72
4	5 : 54 : 52 : 64 : 69 : 61 : 58 : 66 : 62 : 60 : 74
5	24 : 2 : 41 : 17 : 1 : 50 : 32 : 56 : 6 : 70
6	3 : 4 : 68 : 59 : 67 : 65 : 12 : 63 : 57 : 13
7	29 : 35 : 7 : 46
8	8 : 48 : 49 : 15 : 14
extern	16 : 30 : 47 : 37 : 23 : 55 : 22 : 45 : 25 : 31 : 40 : 42 : 34 : 21 : 28

Chromosom 5

Liegeplatz	Schiffe
1	27 : 44 : 33 : 38 : 71
2	19 : 10 : 11 : 73
3	18 : 20 : 39 : 26 : 43 : 36 : 9 : 53 : 72
4	5 : 64 : 52 : 54 : 69 : 61 : 58 : 66 : 62 : 60 : 74
5	24 : 2 : 41 : 17 : 1 : 50 : 32 : 56 : 6 : 70
6	3 : 4 : 68 : 59 : 67 : 65 : 12 : 63 : 13
7	29 : 35 : 7 : 46
8	8 : 48 : 49 : 15 : 14
extern	16 : 51 : 30 : 47 : 37 : 23 : 55 : 22 : 45 : 25 : 31 : 40 : 57 : 42 : 34 : 21 : 28

Chromosom 6

Liegeplatz	Schiffe
1	24 : 21 : 5 : 22 : 57 : 8 : 61 : 9 : 71
2	30 : 38 : 17 : 19 : 58 : 62 : 69
3	43 : 2 : 70 : 56 : 64 : 74 : 67 : 68 : 73 : 72
4	27 : 3 : 29 : 7
5	1 : 4 : 6 : 46 : 54 : 44 : 49 : 45 : 11
6	20 : 40 : 26 : 39 : 10 : 63 : 15 : 13
7	42 : 35 : 37 : 31 : 12 : 14
8	60
extern	25 : 36 : 51 : 52 : 33 : 28 : 55 : 53 : 34 : 32 : 18 : 47 : 66 : 50 : 59 : 16 : 48 : 41 : 65 : 23

Chromosom 7

Liegeplatz	Schiffe
1	27 : 44 : 33 : 51 : 71
2	19 : 10 : 11 : 73
3	38 : 18 : 20 : 39 : 43 : 36 : 9 : 53 : 72
4	5 : 64 : 52 : 54 : 69 : 61 : 58 : 66 : 62 : 60 : 74
5	24 : 2 : 41 : 17 : 1 : 50 : 32 : 56 : 6 : 70
6	3 : 4 : 68 : 59 : 67 : 65 : 12 : 63 : 13
7	29 : 35 : 7 : 46
8	8 : 48 : 49 : 15 : 14
extern	16 : 26 : 30 : 47 : 37 : 23 : 55 : 22 : 45 : 25 : 31 : 40 : 57 : 42 : 34 : 21 : 28

Chromosom 8

Liegeplatz	Schiffe
1	8 : 56 : 52 : 57 : 59 : 60 : 9 : 71
2	30 : 38 : 35 : 19 : 39 : 37 : 69 : 63 : 66
3	5 : 33 : 73 : 74 : 67 : 68 : 64 : 72
4	27 : 3 : 29 : 7
5	1 : 4 : 6 : 46 : 54 : 44 : 49 : 45 : 11
6	20 : 40 : 26 : 65 : 14 : 12
7	61 : 10 : 15
8	47 : 58 : 70 : 62 : 13
extern	31 : 48 : 36 : 50 : 42 : 17 : 23 : 55 : 53 : 34 : 32 : 18 : 16 : 21 : 22 : 2 : 43 : 28 : 41 : 25 : 24 : 51

Chromosom 9

Liegeplatz	Schiffe
1	27 : 44 : 33 : 51 : 71
2	19 : 10 : 11 : 73
3	32 : 18 : 20 : 39 : 26 : 43 : 36 : 9 : 72
4	5 : 54 : 52 : 64 : 69 : 62 : 58 : 66 : 62 : 60 : 74
5	24 : 2 : 41
6	1 : 4 : 3 : 8 : 12
7	38 : 50 : 69 : 59 : 67 : 65 : 70 : 63 : 13
8	45 : 36 : 8 : 57 : 16 : 15
extern	16 : 30 : 53 : 47 : 37 : 23 : 55 : 22 : 6 : 29 : 25 : 31 : 40 : 57 : 42 : 46 : 17 : 34 : 48 : 49 : 21 : 28

Chromosom 10

Liegeplatz	Schiffe
1	27 : 44 : 33 : 51 : 71
2	19 : 61 : 11 : 73
3	38 : 18 : 39 : 43 : 36 : 9 : 72
4	5 : 54 : 52 : 64 : 69 : 58 : 66 : 62 : 60 : 74
5	24 : 2 : 41 : 50 : 32 : 56 : 6 : 70
6	3 : 4 : 68 : 59 : 67 : 65 : 12 : 13
7	29 : 35 : 7
8	8 : 10 : 15 : 14
extern	16 : 20 : 26 : 30 : 53 : 47 : 34 : 37 : 23 : 55 : 22 : 17 : 1 : 45 : 25 : 31 : 40 : 63 : 57 : 42 : 46 : 48 : 49 : 21 : 28

Chromosom 11

Liegeplatz	Schiffe
1	26 : 41 : 56 : 43 : 11 : 63 : 55 : 14 : 15
2	28 : 38 : 17 : 19 : 16 : 20 : 2 : 36 : 9 : 66 : 72 : 47
3	5 : 8 : 52 : 64 : 69 : 61 : 53 : 68 : 67
4	27 : 3 : 39 : 7
5	1 : 4 : 6 : 46 : 21 : 44 : 37 : 49 : 45 : 65
6	42 : 51 : 35 : 18 : 40 : 62 : 12
7	58 : 57 : 71 : 13 : 74 : 70
8	54 : 10 : 60 : 73 : 59
extern	31 : 30 : 22 : 34 : 32 : 23 : 24 : 29 : 25 : 48 : 33 : 50

Chromosom 12

Liegeplatz	Schiffe
1	57 : 59 : 60 : 61 : 9 : 71
2	30 : 38 : 8 : 58 : 62 : 69
3	18 : 2 : 50 : 56 : 52 : 64 : 63 : 74 : 67 : 68 : 73
4	27 : 3 : 26 : 7
5	1 : 4 : 6 : 46 : 54 : 44 : 49 : 55 : 12 : 11 : 14
6	31 : 22 : 72
7	48 : 43 : 10 : 15
8	25 : 20 : 37 : 24 : 13 : 70
extern	41 : 5 : 29 : 21 : 19 : 36 : 51 : 23 : 33 : 53 : 34 : 32 : 39 : 17 : 45 : 40 : 35 : 65 : 16 : 42 : 66 : 28 : 47

Chromosom 13

Liegeplatz	Schiffe
1	2 : 41 : 56 : 63 : 55 : 14 : 15
2	30 : 38 : 35 : 42
3	19: 26 : 36 : 62 : 66 : 72
4	5 : 54 : 51 : 64 : 69 : 61 : 58 : 11
5	27 : 3 : 39 : 7
6	1 : 4 : 6 : 46 : 44 : 49 : 45 : 65
7	20 : 52 : 9 : 12 : 71 : 13
8	8 : 10 : 73
extern	43 : 28 : 31 : 53 : 47 : 34 : 32 : 68 : 23 : 67 : 21 : 37 :17 : 18 : 40 : 16 : 22 : 57 : 74 : 24 : 29 : 70 : 25 : 48 : 33 : 60 : 59: 50

Chromosom 14

Liegeplatz	Schiffe
1	24 : 25 : 56 : 57 : 59 : 64 : 61 : 9 : 71
2	30: 38 : 8: 69 : 62 : 66
3	5 : 42 : 60 : 63 : 74 : 67 : 68 : 70 : 72
4	27 : 3 : 7
5	1 : 4 : 6: 46 : 54 : 11
6	20 : 40 : 51 : 58 : 10 : 15
7	2 : 35 : 37 : 31 : 28 : 12 : 14
8	73
extern	21 : 19 : 39 : 26 : 36 : 18 : 33 : 17 : 23 : 53 : 34 : 32 :29 : 44 : 43 : 49 : 45 : 47 : 55 : 52 : 50 : 13 : 22 : 16 : 48 : 41 : 65

Chromosom 15

Liegeplatz	Schiffe
1	8 : 56 : 57 : 59 : 64 : 61 : 71
2	30 : 37 : 35 : 39 : 69 : 12 : 14
3	5 : 42 : 60 : 63 : 72 : 68 : 66
4	27 : 3 : 53 : 7
5	1 : 4 : 6 : 46 : 54 : 74 : 11 : 73
6	31 : 9
7	28 : 43 : 70 : 15
8	24 : 48 : 10 : 13
extern	52 : 21 : 29 : 19 : 26 : 47 : 18 : 33 : 50 : 23 : 22 : 62 :34 : 32 : 58 : 44 : 17 : 49 : 45 : 36 : 40 : 38 : 65 : 16 : 2 : 67 : 55 : 25: 41 : 20 : 51

Chromosom 16

Liegeplatz	Schiffe
1	39 : 31 : 5 : 57 : 61 : 9 : 71
2	30 : 26 : 43 : 58 : 62 : 69
3	18 : 2 : 50 : 56 : 52 : 64 : 63 : 74 : 67 : 68 : 73 : 72
4	27 : 3 : 7
5	1 : 4 : 6 : 46 : 54 : 12 : 11 : 14
6	66 : 59
7	48 : 60 : 10 : 15
8	47 : 70 : 13
extern	22 : 8 : 25 : 19 : 36 : 51 : 23 : 33 : 53 : 34 : 32 : 29 : 44 : 17 : 49 : 45 : 20 : 40 : 38 : 65 : 16 : 42 : 24 : 28 : 55 : 41 : 37 : 21 : 35

Chromosom 17

Liegeplatz	Schiffe
1	24 : 29 : 5 : 56 : 57 : 59 : 71 : 73
2	32 : 39 : 44 : 51 : 69 : 60
3	33 : 2 : 7 : 63 : 61 : 58 : 67 : 62 : 74 : 68 : 12
4	1 : 4 : 6 : 46 : 54 : 11
5	19 : 27 : 34 : 45 : 66
6	31 : 8
7	30 : 48 : 10 : 15
8	35 : 50 : 72 : 70 : 13
extern	25 : 53 : 16 : 43 : 20 : 9 : 18 : 28 : 55 : 22 : 37 : 52 : 64 : 47 : 23 : 65 : 26 : 17 : 49 : 42 : 38 : 41 : 14 : 40 : 2 : 21 : 36

Chromosom 18

Liegeplatz	Schiffe
1	8 : 56 : 58 : 61 : 59 : 14
2	26 : 43 : 9 : 72
3	5 : 54 : 52 : 64 : 74 : 67 : 69 : 68
4	27 : 3 : 7
5	1 : 4 : 6 : 46 : 49 : 11
6	19 : 25 : 62 : 65 : 71 : 12
7	48 : 60 : 10 : 15
8	50 : 70 : 13
extern	31 : 42 : 18 : 21 : 51 : 20 : 28 : 32 : 35 : 36 : 30 : 53 : 47 : 55 : 34 : 38 : 2 : 29 : 33 : 44 : 17 : 45 : 16 : 66 : 63 : 57 : 40 : 23 : 22 : 41 : 39 : 24 : 37

Chromosom 19

Liegeplatz	Schiffe
1	34 : 5 : 41 : 55 : 9 : 64 : 71
2	30 : 36 : 25 : 39 : 69 : 12 : 14
3	28 : 3 : 7 : 66 : 68 : 63 : 72
4	27 : 42 : 62
5	1 : 4 : 6 : 46 : 54 : 67 : 11
6	20 : 10 : 13 : 15
7	8 : 73 : 74
8	21 : 61 : 70
extern	29 : 56 : 45 : 19 : 26 : 47 : 18 : 33 : 50 : 22 : 53 : 52 : 17 : 43 : 58 : 16 : 44 : 2 : 37 : 23 : 48 : 65 : 32 : 31 : 57 : 60 : 51 : 24 : 49 : 40 : 38 : 59 : 35

Chromosom 20

Liegeplatz	Schiffe
1	27 : 44 : 51 : 71
2	19 : 10 : 11
3	32 : 39 : 43 : 9 : 72
4	5 : 54 : 64 : 69 : 61 : 66 : 74
5	24 : 2 : 15
6	4 : 6 : 8 : 70
7	3 : 68 : 67 : 12 : 13
8	45 : 7 : 60 : 14
extern	33 : 16 : 73 : 18 : 20 : 26 : 36 : 30 : 53 : 47 : 52 : 58 : 37 : 23 : 62 : 49 : 55 : 22 : 38 : 50 : 29 : 1 : 25 : 31 : 59 : 65 : 40 : 63 : 57 : 42 : 35 : 46 : 17 : 56 : 34 : 48 : 21 : 41 : 28

Chromosom 21

Liegeplatz	Schiffe
1	keine
2	53 : 51 : 56 : 59 : 9 : 71
3	30 : 36 : 39 : 69 : 12 : 14
4	21 : 3 : 60 : 63 : 58 : 62 : 65 : 68 : 73
5	1 : 4 : 6 : 54 : 11
6	20 : 27 : 34 : 45 : 66
7	7 : 67 : 61 : 13
8	8 : 10 : 15
extern	38 : 28 : 17 : 25 : 19 : 26 : 47 : 18 : 33 : 50 : 22 : 40 : 5 : 37 : 52 : 64 : 55 : 23 : 31 : 46 : 44 : 41 : 49 : 42 : 43 : 57 : 74 : 24 : 16 : 70 : 32 : 48 : 72 : 35 : 2 : 29

Chromosom 22

Liegeplatz	Schiffe
1	24 : 25 : 56 : 57 : 64 : 61 : 13
2	30 : 38 : 8 : 69 : 66
3	5 : 60 : 63 : 67 : 68 : 72
4	27 : 3 : 7
5	1 : 4 : 6 : 54 : 11
6	20 : 40 : 51 : 58 : 10 : 15
7	2 : 35 : 37 : 12 : 14
8	73
extern	22 : 21 : 16 : 19 : 39 : 26 : 36 : 62 : 18 : 33 : 17 : 42 : 23 : 52 : 53 : 34 : 33 : 50 : 29 : 46 : 44 : 43 : 49 : 45 : 47 : 55 : 74 : 70 : 9 : 59 : 71 : 48 : 41 : 65 : 31 : 28

Chromosom 23

Liegeplatz	Schiffe
1	2 : 41 : 56 : 57 : 60 : 71
2	30 : 42 : 69 : 66 : 14
3	5 : 73 : 72
4	27 : 3 : 7
5	1 : 4 : 6 : 54 : 63 : 12 : 13
6	21 : 22 : 8
7	48 : 10 : 15
8	47 : 9 : 70
extern	43 : 28 : 38 : 59 : 25 : 19 : 39 : 26 : 35 : 58 : 16 : 50 : 33 : 23 : 55 : 74 : 67 : 53 : 34 : 32 : 68 : 64 : 29 : 46 : 44 : 17 : 49 : 45 : 40 : 11 : 37 : 65 : 18 : 31 : 20 : 61 : 52 : 36 : 62 : 24 : 51

Chromosom 24

Liegeplatz	Schiffe
1	2 : 41 : 56 : 57 : 59 : 64 : 71
2	30 : 38 : 8 : 69 : 12 : 14
3	5 : 73 : 72
4	27 : 3 : 7
5	1 : 4 : 6 : 54 : 74 : 11
6	31 : 67 : 13
7	35 : 10 : 15
8	28 : 52
extern	21 : 61 : 9 : 19 : 39 : 26 : 47 : 18 : 33 : 50 : 42 : 23 : 62 : 22 : 53 : 34 : 32 : 68 : 60 : 58 : 29 : 46 : 44 : 17 : 49 : 45 : 36 : 40 : 37 : 65 : 16 : 66 : 43 : 55 : 51 : 24 : 20 : 70 : 25 : 48 : 63

Chromosom 25

Liegeplatz	Schiffe
1	24 : 56 : 57 : 59 : 64 : 71
2	30 : 38 : 8 : 69 : 12 : 14
3	28 : 3 : 7 : 66 : 68 : 72
4	27 : 42 : 62 : 73
5	1 : 4 : 46 : 54 : 55 : 11
6	20 : 74
7	48 : 10 : 15
8	32 : 40 : 45 : 70 : 13
extern	52 : 21 : 61 : 9 : 19 : 39 : 26 : 47 : 18 : 33 : 50 : 22 : 53 : 35 : 17 : 63 : 43 : 58 : 6 : 44 : 49 : 45 : 37 : 65 : 16 : 60 : 36 : 31 : 67 : 2 : 34 : 29 : 41 : 51 : 25 : 23

Chromosom 26

Liegeplatz	Schiffe
1	24 : 53 : 56 : 59 : 64 : 73
2	32 : 39 : 43 : 9 : 14
3	33 : 7 : 63 : 61 : 69 : 68 : 72
4	27 : 42 : 62
5	1 : 4 : 46 : 54 : 11
6	19 : 74 : 12
7	48 : 10 : 15
8	8 : 70 : 13
extern	17 : 30 : 21 : 57 : 16 : 51 : 20 : 26 : 36 : 29 : 28 : 23 : 3 : 22 : 47 : 50 : 52 : 58 : 38 : 6 : 44 : 18 : 49 : 45 : 37 : 65 : 71 : 60 : 31 : 67 : 2 : 34 : 40 : 5 : 55 : 41 : 35 : 66 : 25

Chromosom 27

Liegeplatz	Schiffe
1	24 : 56 : 57 : 59 : 64 : 71
2	30 : 38 : 58 : 69 : 12 : 14
3	28 : 3 : 7 : 66 : 68 : 72
4	74 : 73
5	1 : 4 : 46 : 54 : 11
6	20 : 27 : 37 : 65 : 67
7	48 : 10 : 15
8	29 : 40 : 5 : 70 : 13
extern	52 : 21 : 61 : 9 : 19 : 39 : 26 : 47 : 18 : 33 : 50 : 22 : 53 : 35 : 17 : 63 : 43 : 8 : 42 : 62 : 6 : 44 : 2 : 49 : 45 : 16 : 60 : 36 : 31 : 32 : 34 : 55 : 41 : 51 : 25 : 23

Chromosom 28

Liegeplatz	Schiffe
1	35 : 56 : 57 : 59 : 64 : 71
2	30 : 38 : 8 : 69 : 12 : 14
3	5 : 73
4	27 : 7
5	1 : 4 : 46 : 54 : 11
6	20 : 74
7	48 : 10 : 15
8	62 : 70 : 13
extern	52 : 21 : 61 : 9 : 19 : 39 : 26 : 47 : 17 : 33 : 50 : 42 : 23 : 63 : 72 : 22 : 53 : 34 : 32 : 68 : 60 : 58 : 3 : 29 : 6 : 44 : 18 : 49 : 45 : 37 : 65 : 16 : 66 : 36 : 31 : 67 : 2 : 43 : 55 : 51 : 24 : 28 : 40 : 25 : 41

Chromosom 29

Liegeplatz	Schiffe
1	24 : 56 : 57 : 59 : 64 : 71
2	30 : 38 : 58 : 69 : 12 : 14
3	28 : 7 : 66 : 68 : 72
4	74 : 73
5	1 : 4 : 46 : 54 : 11
6	20 : 27 : 37 : 65 : 67
7	48 : 10 : 15
8	32 : 5 : 70 : 13
extern	52 : 31 : 61 : 9 : 19 : 39 : 26 : 47 : 18 : 33 : 50 : 3 : 22 : 53 : 35 : 17 : 63 : 44 : 8 : 42 : 62 : 6 : 44 : 29 : 49 : 45 : 40 : 60 : 36 : 22 : 2 : 34 : 16 : 55 : 51 : 23 : 25 : 41

Chromosom 30

Liegeplatz	Schiffe
1	31 : 5 : 57 : 60 : 12
2	30 : 8 : 62 : 69
3	43 : 52 : 56 : 64 : 74 : 73
4	27 : 7
5	1 : 4 : 46 : 54 : 11
6	20 : 40 : 10 : 15
7	24
8	70 : 14
extern	22 : 42 : 21 : 61 : 71 : 23 : 19 : 58 : 36 : 51 : 2 : 17 : 33 : 28 : 55 : 67 : 53 : 34 : 32 : 68 : 72 : 3 : 29 : 6 : 44 : 18 : 49 : 45 : 26 : 39 : 47 : 63 : 66 : 50 : 13 : 59 : 16 : 48 : 41 : 65 : 9 : 35 : 38 : 37 : 25

Chromosom 31

Liegeplatz	Schiffe
1	27 : 44 : 51 : 11
2	19 : 10
3	30 : 38 : 43 : 9 : 73
4	5 : 54 : 64 : 74
5	24 : 41
6	1 : 50 : 8 : 70
7	3 : 68 : 12
8	29 : 35 : 7 : 15
extern	33 : 16 : 71 : 18 : 20 : 39 : 26 : 36 : 66 : 72 : 47 : 28 : 55 : 67 : 53 : 34 : 32 : 62 : 60 : 69 : 22 : 61 : 2 : 23 : 6 : 45 : 4 : 25 : 31 : 59 : 58 : 65 : 40 : 63 : 57 : 42 : 13 : 46 : 17 : 56 : 37 : 48 : 49 : 21 : 52 : 14

A.6 Ergebnisse für BRV

Chromosom 1

Liegeplatz	Schiffe
1	38 : 56 : 60
2	14
3	35 : 13 : 58 : 69
4	34 : 30 : 6 : 54 : 73 : 71
5	3 : 41 : 25
6	4 : 28 : 36 : 24 : 39 : 37
7	33
8	49 : 62 : 72 : 20
9	10
10	2 : 31 : 7 : 45 : 47 : 15 : 18 : 74
11	42 : 9 : 44 : 12 : 19
12	29 : 48 : 55 : 61 : 64 : 65 : 70 : 22
13	21
14	26 : 1 : 40
15	11 : 66
16	5 : 7 : 63
17	23 : 27 : 43 : 17 : 57 : 67
18	32 : 68
19	50 : 52 : 53
20	51 : 46 : 16 : 59
extern	keine

Chromosom 2

Liegeplatz	Schiffe
1	24 : 49
2	33 : 10 : 60 : 15
3	37 : 28 : 8 : 63 : 57
4	30 : 25 : 56
5	3 : 31 : 32 : 18 : 67
6	14 : 55 : 50 : 66 : 17 : 69
7	2 : 16 : 20 : 21 : 73
8	53 : 39 : 59
9	29 : 34
10	4 : 72 : 19 : 48
11	46
12	36 : 6 : 43 : 13
13	12 : 52 : 47
14	62 : 71
15	7 : 35 : 61 : 68 : 64 : 70 : 22
16	9
17	1 : 41 : 45 : 38 : 54
18	59
19	40
20	27 : 51 : 5 : 44 : 11 : 42 : 65

extern	26 : 74 : 23
--------	--------------

Chromosom 3

Liegeplatz	Schiffe
1	24 : 48
2	33 : 10 : 60 : 15
3	37 : 28 : 8 : 18 : 57
4	30 : 7 : 56
5	25 : 31 : 49 : 63 : 67
6	14 : 55 : 50 : 66 : 17 : 69
7	2 : 16 : 20 : 21 : 73
8	53 : 39 : 59
9	29 : 34
10	4 : 72 : 19
11	46
12	36 : 6 : 43 : 13
13	12 : 52 : 47
14	62 : 71
15	3 : 41 : 61 : 68 : 64 : 70 : 22
16	9
17	1 : 35 : 45 : 38 : 54
18	58
19	40
20	27 : 51 : 5 : 44 : 11 : 42 : 65
extern	26 : 32 : 74 : 23

Chromosom 4

Liegeplatz	Schiffe
1	24 : 48
2	33 : 10 : 60
3	keine
4	34 : 28 : 8 : 18 : 57
5	30 : 7 : 56
6	25 : 31 : 49 : 63 : 67
7	14 : 55 : 50 : 66 : 17 : 69
8	2 : 16 : 20 : 21 : 73
9	53 : 59
10	29 : 37
11	4 : 72 : 19
12	46
13	36 : 6 : 43 : 13
14	12 : 52 : 47
15	62 : 71
16	3 : 41 : 61 : 68 : 64 : 70 : 22
17	9
18	1 : 35 : 45 : 58 : 54
19	38 : 42 : 40
20	27 : 51 : 4 : 44 : 11 : 15 : 65

extern	26 : 39 : 32 : 74 : 23
--------	------------------------

Chromosom 5

Liegeplatz	Schiffe
1	24 : 48
2	33 : 10 : 60
3	keine
4	34 : 28 : 8 : 18 : 57
5	30 : 7 : 56
6	3 : 31 : 49 : 63 : 67
7	14 : 55 : 50 : 66 : 69
8	2 : 16 : 20 : 21 : 73
9	53 : 59
10	29 : 37
11	4 : 72 : 19
12	46
13	36 : 6 : 43 : 13
14	12 : 52 : 47
15	62 : 71
16	25 : 41 : 61 : 68 : 64 : 70 : 22
17	9
18	1 : 35 : 45 : 58 : 54
19	38 : 42 : 40
20	27 : 51 : 5 : 44 : 11 : 15 : 65
extern	17 : 26 : 39 : 32 : 74 : 23

Chromosom 6

Liegeplatz	Schiffe
1	24 : 48
2	33 : 10 : 60
3	keine
4	37 : 8 : 18 : 57
5	30 : 7 : 56
6	25 : 31 : 49 : 63 : 67
7	14 : 55 : 50 : 66 : 69
8	4 : 16 : 20 : 21 : 73
9	53 : 59
10	29 : 34
11	2 : 72 : 19
12	46
13	36 : 6 : 43 : 13
14	12 : 52 : 47
15	62 : 71
16	3 : 41 : 61 : 68 : 64 : 70 : 22
17	9
18	1 : 35 : 45 : 58 : 54
19	38 : 42 : 40
20	27 : 51 : 5 : 44 : 11 : 15 : 65

extern	28 : 17 : 26 : 39 : 32 : 74 : 23
--------	----------------------------------

Chromosom 7

Liegeplatz	Schiffe
1	24 : 48
2	33 : 10 : 60
3	keine
4	37 : 8 : 18 : 57
5	30 : 7 : 56
6	25 : 31 : 49 : 63 : 67
7	14 : 55 : 66 : 69
8	4 : 16 : 20 : 21 : 73
9	53 : 59
10	29 : 34
11	2 : 72 : 19
12	46
13	36 : 6 : 43 : 13
14	12 : 52
15	62 : 71
16	3 : 41 : 61 : 68 : 64 : 70 : 22
17	9
18	1 : 35 : 45 : 58 : 54
19	38 : 42 : 40
20	27 : 51 : 5 : 44 : 11 : 15 : 65
extern	28 : 50 : 17 : 26 : 39 : 32 : 47 : 74 : 23

Chromosom 8

Liegeplatz	Schiffe
1	24 : 48
2	33 : 10 : 60
3	keine
4	37 : 8 : 18 : 57
5	30 : 7 : 56
6	25 : 31 : 49 : 63 : 67
7	14 : 55 : 66 : 69
8	4 : 16 : 20 : 21 : 73
9	53 : 59
10	29 : 34
11	2 : 72 : 19
12	46
13	36 : 6 : 43 : 13
14	12 : 52
15	62 : 71
16	3 : 41 : 61 : 68 : 64 : 70 : 22
17	9
18	1 : 35 : 45 : 58 : 54
19	38 : 42 : 40
20	27 : 51 : 5 : 44 : 11 : 65

extern	28 : 50 : 17 : 26 : 39 : 32 : 47 : 74 : 23 : 15
--------	---

Chromosom 9

Liegeplatz	Schiffe
1	24 : 48
2	33 : 10 : 60
3	keine
4	37 : 8 : 18 : 57
5	30 : 7 : 56
6	25 : 31 : 49 : 63 : 67
7	14 : 55 : 66 : 69
8	4 : 16 : 20 : 21 : 73
9	53 : 59
10	29 : 34
11	2 : 72
12	46
13	36 : 6 : 43 : 13
14	12 : 52
15	62 : 71
16	3 : 41 : 61 : 68 : 64 : 70 : 22
17	9
18	1 : 35 : 45 : 58 : 54
19	38 : 42 : 40
20	27 : 51 : 5 : 44 : 11 : 65
extern	28 : 50 : 17 : 26 : 39 : 19 : 32 : 47 : 74 : 23 : 15

Chromosom 10

Liegeplatz	Schiffe
1	24 : 48
2	33 : 10 : 60
3	keine
4	37 : 8 : 18 : 57
5	30 : 7 : 56
6	25 : 31 : 49 : 63 : 67
7	14 : 55 : 66 : 69
8	4 : 16 : 20 : 21 : 73
9	53 : 59
10	29 : 34
11	2 : 72
12	46
13	36 : 6 : 43 : 13
14	12 : 52
15	62 : 71
16	3 : 41 : 61 : 68 : 70 : 22
17	9
18	1 : 35 : 45 : 58 : 54
19	38 : 42 : 40
20	27 : 51 : 5 : 44 : 11 : 65
extern	28 : 50 : 17 : 26 : 39 : 19 : 32 : 47 : 64 : 74 : 23 : 15

Chromosom 11

Liegeplatz	Schiffe
1	24 : 48
2	33 : 10 : 60
3	keine
4	37 : 8 : 18 : 57
5	30 : 7 : 56
6	25 : 31 : 49 : 63 : 67
7	14 : 55 : 66 : 69
8	4 : 16 : 20 : 73
9	53 : 59
10	29 : 34
11	2 : 72
12	46
13	36 : 6 : 43 : 13
14	12 : 52
15	62 : 71
16	3 : 41 : 61 : 68 : 70 : 22
17	9
18	1 : 35 : 45 : 58 : 54
19	38 : 42 : 40
20	27 : 51 : 5 : 44 : 11 : 65
extern	28 : 50 : 17 : 21 : 26 : 39 : 19 : 32 : 47 : 64 : 74 : 23 : 15

Chromosom 12

Liegeplatz	Schiffe
1	24 : 48
2	33 : 10 : 60
3	keine
4	37 : 8 : 18
5	30 : 7 : 56
6	25 : 31 : 49 : 63 : 67
7	14 : 55 : 66 : 69
8	2 : 16 : 20 : 73
9	53 : 59
10	29 : 34
11	2 : 72
12	46
13	36 : 6 : 43 : 13
14	12 : 52
15	62 : 71
16	3 : 41 : 61 : 68 : 70 : 22
17	9
18	1 : 35 : 45 : 58
19	38 : 42 : 40
20	27 : 51 : 5 : 44 : 11 : 65

extern	28 : 57 : 50 : 17 : 21 : 26 : 39 : 19 : 32 : 47 : 64 : 74 : 23 : 54 : 15
--------	--

Chromosom 13

Liegeplatz	Schiffe
1	24 : 48
2	33 : 10 : 60
3	37 : 8 : 18
4	30 : 7 : 56
5	25 : 31 : 49 : 63 : 67
6	14 : 55 : 66 : 69
7	2 : 16 : 20
8	53 : 59
9	29 : 34
10	4 : 72
11	46
12	36 : 6 : 43 : 13
13	12 : 52
14	62 : 71
15	3 : 41 : 61 : 68 : 70 : 22
16	9
17	1 : 35 : 45 : 58
18	38 : 15
19	27 : 51 : 5 : 44 : 11
20	65
extern	42 : 28 : 57 : 50 : 17 : 21 : 26 : 73 : 39 : 19 : 32 : 47 : 64 : 74 : 23 : 54 : 40

Chromosom 14

Liegeplatz	Schiffe
1	24 : 48
2	33 : 10 : 60
3	37 : 8 : 18
4	30 : 7 : 56
5	25 : 31 : 49 : 63 : 67
6	14 : 55 : 66 : 69
7	2 : 16 : 20
8	53 : 59
9	29 : 34
10	4 : 72
11	46
12	36 : 6 : 43 : 13
13	12 : 52
14	62 : 71
15	3 : 41 : 61 : 68 : 70 : 22
16	9
17	1 : 35 : 45 : 58
18	38 : 15
19	27 : 5 : 44 : 11
20	65

extern	42 : 28 : 57 : 50 : 17 : 21 : 26 : 73 : 39 : 19 : 32 : 47 : 64 : 74 : 23 : 54 : 40 : 51
--------	--

Chromosom 15

Liegeplatz	Schiffe
1	24 : 48
2	33 : 10 : 60
3	34 : 8 : 18
4	30 : 7 : 56
5	25 : 31 : 49 : 63 : 67
6	14 : 55 : 66
7	2 : 16 : 20
8	53 : 59
9	29 : 34
10	4 : 72
11	46
12	36 : 6 : 43 : 13
13	12 : 52
14	62 : 71
15	3 : 41 : 61 : 68 : 22
16	9
17	1 : 35 : 45 : 58
18	38
19	40
20	26 : 4 : 43 : 14 : 64
extern	42 : 28 : 57 : 50 : 17 : 69 : 21 : 26 : 73 : 39 : 19 : 32 : 47 : 64 : 70 : 74 : 23 : 54 : 51 : 11

Chromosom 16

Liegeplatz	Schiffe
1	24 : 48
2	33 : 10 : 60
3	37 : 8 : 18
4	30 : 7 : 56
5	25 : 31 : 49 : 63 : 67
6	14 : 55 : 66
7	2 : 16 : 20
8	53 : 59
9	29 : 37
10	4 : 72
11	46
12	36 : 6 : 43 : 13
13	12 : 52
14	62 : 71
15	3 : 41 : 61 : 68 : 70 : 22
16	9
17	1 : 35 : 45 : 58
18	38
19	40

20	27 : 5 : 44 : 15 : 65
extern	42 : 28 : 57 : 50 : 17 : 69 : 21 : 26 : 73 : 39 : 19 : 32 : 6 : 47 : 64 : 70 : 74 : 23 : 54 : 51 : 11

A.7 Abstract

Diese Arbeit befasst sich mit der multiobjektiven Liegeplatzzuweisung an einem Containerterminal. Die mehrfache Zielsetzung wurde unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit und der Kundenzufriedenheit des Betriebes gesetzt. Die Produktivität des Unternehmens wurde mit der Anzahl an externen Bearbeitungsstunden und die Servicequalität mit dem Limit der Wartezeit der Schiffe gemessen. Die externe Bearbeitungszeit beinhaltet, dass manche Schiffe nicht intern, sondern von einem anderen, externen Terminalbetreiber abgefertigt werden. Der Unternehmer verliert somit Kunden an die Konkurrenz, um eine gute Servicequalität aufrecht zu erhalten. Dieses Szenario entsteht daher stets dann, wenn das Limit der Wartezeit, bzw. die Bereitschaft der Schiffe zu warten sehr hoch ist. In diesem Fall müssten die betroffenen Schiffe relativ lange abwarten um intern abgefertigt zu werden. Folglich werden sie an den externen Betreiber zugewiesen, um die Kundenzufriedenheit nicht zu trüben. Um herauszufinden, wie hoch das optimale Maß beider Kriterien ist, wurde ein genetischer Algorithmus angewandt. Ausgehend von einer zufällig gewählten Elterngeneration, wurden weitere Generationen produziert, die sich in ihrer Güte (Zielfunktionswerten) verbessert haben, bis schließlich eine effiziente Lösungsmenge generiert werden konnte. Die daraus entstandenen Chromosome informieren nicht nur über die Werte der gewählten Zielfunktionen, sondern legen auch fest, an welchem Liegeplatz, welches Schiff und in welcher Reihenfolge abgefertigt werden soll. Die vorliegenden Lösungen ermöglichen daher nicht nur die Festlegung einer langfristigen Unternehmensstrategie, sondern informieren auch darüber, wie das Tagesgeschäft eines produktiven Containerterminals abgewickelt werden kann. Die herangezogenen Testinstanzen Hamburghafen und Bremerhafen, ermöglichten einen direkten Vergleich der vorgestellten Lösungen mit Daten aus der Praxis. Es stellte sich heraus, dass eine zufrieden stellende Übereinstimmung in der Abfertigung der Schiffe erzielt werden konnte. Darüber hinaus, kristallisierte sich für eine von beiden Testinstanzen, ein Verbesserungsvorschlag in der Zuweisung der Schiffe heraus. Hamburghafen könnte seine Servicequalität entscheidend verbessern, wenn der betreffende Terminalbetreiber bereit ist, manche Schiffe an einem externen Terminal abfertigen zu lassen. Folglich konnte diese Arbeit einen interessanten Beitrag zu der wissenschaftlichen als auch praktischen Betrachtung der maritimen Containerindustrie beitragen.

This paper analyses a multiobjective berth allocation problem for a container terminal. The studied objectives are the productivity of the terminal as well as the satisfaction of the clientele. The productivity was measured by the quantity of external handling hours of the ships, while the satisfaction of the clientele was measured by the limit of waiting time of the ships. The external handling time of the ships implies that those ships were not treated internally by the entrepreneur but externally by another entrepreneur. As a result, our entrepreneur loses the mentioned ships to his competitor in order to maintain a good service quality. This fact happens every time the limit of waiting time of a ship is very high because in that case the ship will have to wait a long time until it will be handled by the internal entrepreneur. That's why it will be allocated to the external berth so that the internal entrepreneur can preserve a good service quality.

In order to find out, which level of both objectives to choose, we apply a genetic algorithm. Starting from a randomly chosen parent generation, we produced offspring with better results until we got the best generation concerning their fitness. The achieved chromosomes informed us on one hand about the values of the objectives. On the other hand we received the information which ship should be handled on which berth and in which service order. That's why the achieved results did not only tell us how to define a company's strategy but also how to organise the daily business of a container terminal. In order to find out, how good the results are, we compared them with the practical data from two terminals in Germany called Hamburgafen and Bremerhafen. The comparison showed that a satisfying level of matches could be found between our allocation and the one of the practice. Furthermore we could achieve a suggestion of improvement for one of the two container terminals: Hamburgafen could gain a better satisfaction of his clientele if it would allocate some of his ships to an external terminal. As a result this paper could make a contribution to the academic as well as the practical research in the maritime container industry.

A.8 Lebenslauf

Persönliche Daten

Name:	Yagmur
Vorname:	Jasmin
Geburtsdatum:	14.12.1982
Geburtsort:	Wien
Staatsbürgerschaft:	Österreich
Familienstand:	verheiratet, 1 Kind (geb.2006)
Adresse:	1230 Wien, Karl Tornay Gasse 41-43/76/11

Ausbildung

1989 - 2001	Lycée francais de Vienne
-------------	--------------------------

WS 2001 - SS 2009:
Studium der Internationalen Betriebswirtschaftslehre an der Universität Wien
(Betriebswirtschaftszentrum) mit den KFK Logistikmanagement und Operation Research

Praktische Erfahrung

08/00, 08/01, 10/04, 07/05	Praktikantin bei der Bank Austria Tätigkeiten: Sekretariat und Kundenbetreuung
Februar 2003	Call Center Agentin für 88.6 - Radiosender Tätigkeiten: Telefonische Interviews
Oktober 2004 - Juni 2005	Werkstudentin bei der Bank Austria Tätigkeiten: Front Office, Kundenbetreuung
August 2006	Verkäuferin bei Schlecker
Dezember 2007	Verkäuferin bei Time &Trend Tätigkeiten: Kassa, Kundenbetreuung
Oktober 2008	Sekretärin beim WEKA Verlag Tätigkeiten: Ablage, Postverteilung, Telefondienst
November 2008 – Februar 2009	Speditionsangestellte bei Panalpina Tätigkeiten: Disposition, Verrechnung

Besondere Kenntnisse

EDV Kenntnisse	gut in MS Office (Word, Excel, Power Point)
Sprachkenntnisse	sehr gut in Französisch und Englisch, gut in Arabisch
Sonstiges	Führerschein B und eigener PKW vorhanden

Abkürzungsverzeichnis

ASK.....	A utomatisierter S tapelkran
ATA.....	A ctual time of a rrival (engl.: Tatsächliche Ankunftszeit)
ATD.....	A ctual time of d eparture (engl.: Tatsächliche Abfahrtszeit)
BAP.....	B erth A llocation P roblem
BRV.....	B remerhafen
bzw.	b eziehungsweise
ca.	c irca (lat.: ungefähr)
d.h.	d as heißt
et al.	e t a lii/ a liae (lat.: und andere)
ETA.....	E stimated time of a rrival (engl.: Geschätzte Ankunftszeit)
FTF.....	F ahrerlose T ransportfahrzeuge
FW.....	F itnesswert
GA.	G enetischer A lgorithmus
HH.....	H amburghafen
MA.....	M arktanteil
MZ.....	M ehrfache Z ielsetzung
NB.....	N eben b edingung
NSGA.....	N ondominated S orting G A
QC.....	Q uay C ranes (engl.:Kaikräne)
PM.....	P arameter
SC.....	S traddle C arrier (engl.:Portalhubwagen)
sog.....	s o genannten
SPEA.....	S trengh P areto E volutionary A lgorithm
TEU	T wenty feet E quivalent U nit
usw.....	u nd s o w eiter
VEGA.....	V ector E valuation G A
Vtlg.....	V erteilung
vgl.	v ergleiche
YT.....	Y ard T ruck (engl.:Yard LKW)
ZAZ.....	Z wischenankunftszeiten
zBsp.	z um B eispiel

Literaturverzeichnis

- [AVR98] AVRIEL, M., Penn, M., SHPIRER, N., WITTEBOON, S. (1998), Stowage planning for container ships to reduce the number of shifts, *Annals of Operations Research* 76, 55-71
- [BIS06] BISH, E.K., CHEN, F.Y., LEONG, Y.T., NELSON, B.L., Dispatching vehicles in a mega container terminal, in: [KIM06]
- [BUY93] BUYANG, .C, UEBE, G. (1993), An algorithm for solving capacitated multicommodity p-median transportation problems, *Journal of the Operational Research Society* 44(3), 259-269.
- [CC01] COELLO-COELLO, Carlos A. (2001): A short Tutorial on Evolutionary Multi objective Optimization. In: *Evolutionary Multi-Criterion Optimization, First International Conference, Berlin/Heidelberg. Springer*, S.21-40
- [DAG90] DAGANZO, C.F. PETERKOVSKY, R.I., (1990), A branch and bound solution method for the crane scheduling problem, *Transportation Research B* 24(3), 159-172.
- [DEB02] DEB, K., PRATAP A., AGARWAL, S. and MEYARIVAN T. (2002): A Fast and Elitist Multi objective Genetic Algorithm: NSGA-II, *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, Vol. 6, No. 2, S. 182-197
- [DEK06] DEKKER, R., VOOGD,P., van ASPEREN, E., Advanced methods for container stacking, In: [KIM06]
- [DRE06] DREXL, A., DIRK, B., HARTMANN,S., Inventory- based dispatching of automated guided vehicles on container terminals, In: [KIM06]
- [DUB02] DUBROVSKY, O., LEVITIN, G., PENN, M. ;(2002) A Genetic Algorithm with a Compact Solution Encoding for the Container Ship Stowage Problem, *Journal of Heuristics* 8, 585–599
- [ED78] EDMOND, E.D. and MAGGS, R.P. (1978): How useful are queue models in port investment decisions for container berths? , *Journal of the Operational Research Society* 29(8), 741-750
- [FF93] FONSECA, Carlos M., FLEMING, Peter J. (1993): Genetic Algorithms for Multiobjective Optimization: Formulation, Discussion and Generalization. In. Proceedings of the Fifth International Conference on Genetic Algorithms, San Mateo/Californian, S.416-423
- [GUN04] GUAN, Y., CHEUNG, R.K. (2004): The berth allocation problem: models and solution methods, *OR Spectrum* 26, 75-92.

- [HAR07] HARBICH Steffen(2007): Einführung genetischer Algorithmen, http://www.e.unimagdeburg.de/harbich/genetische_algorithmen/genetische_algorithmen.pdf, Stand Oktober 2008
- [GUN04] GUAN, Y., CHEUNG, R.K. (2004): The berth allocation problem: models and solution methods, *OR Spectrum* 26, 75-92.
- [IMA01/1] IMAI, A., NISHIMURA, E., PAPADIMITRIOU, S. (2001): The dynamic berth allocation problem for a container port, *Transportation Research B* 35, 401-417.
- [IMA01/2] IMAI, A., NISHIMURA, E., PAPADIMITRIOU, S. (2001), Berth allocation planning in the public berth system by genetic algorithms, *European Journal of Operational Research* 131, 282-292
- [IMA02] IMAI, A., NISHIMURA, E., PAPADIMITRIOU, S. (2002): Berth allocation with service priority, *Transportation Research Part B* 37, 437-457
- [IMA08] IMAI, A., SASAKI, K., NISHIMURA, E., PAPADIMITRIOU, S. (2008) Berthing ships at a multi-user container terminal with a limited quay capacity *Transportation Research, Part E* 44, 136-151
- [KIM98] KIM, K.H., KIM, H.B. (1998): The optimal determination of the space requirement and the number of transfer cranes for import, *Computers ind. Engng*, Vol. 35, Nos 3-4, pp. 427-430
- [KIM99] KIM, K.H., KIM, K.Y. (1999): Routing straddle carriers for the loading operation of containers using a beam search algorithm, *Computers & Industrial Engineering* 36, 109-136
- [KIM03] KIM, K.H., PARK, Y. -M., (2003): A scheduling method for Berth and Quay cranes, *OR Spectrum* 25, 1-23
- [KIM04] KIM, K.H., PARK. Y.M. (2004): A crane scheduling method for port container terminals, *European Journal of Operational Research* 156, S.752-768.
- [KIM06] KIM, K. H. (2007): Container Terminals and Cargo Systems. Design, Operations Management, Logistics Control Issues
- [KOZ99] KOZAN, E., PRESTON, P., (1999), Genetic algorithms to schedule container transfers at multimodal terminals, *International Transactions Operational Research* 6(3), 311-329
- [NIS97] NISSEN, Volker (1997) Einführung in evolutionäre Algorithmen, Braunschweig/Wiesbaden: Vieweg, 1988
- [NOT04] NOTTEBOOM, Thomas (2004) Container Shipping and Ports: An Overview, *Review of Network Economics*, Vol. 3 (2), 86-106

- [PAR98] PARETO, Vilfredo (1896) Cours d'economie politique, Volume I und III, F.Rouge, Lausanne

- [PUM00] PUMPE, Dieter (2000): Ein Referenzmodell zur Planung und Steuerung der Abläufe in Seehafen- Containerterminals

- [SCH85] SCHAFFER, David, J. (1985): Multi Objective Optimization with Vector Evaluated Genetic Algorithms. In *Genetic Algorithms and their Applications: Proceedings of the First International Conference on Genetic Algorithms*, S.93-100, Lawrence Erlbaum

- [SL02] SLACK B., COMTOIS C., and MC CALLA R. (2002) Strategic Alliances in the Container Shipping Industry: A Global Perspective, *Maritime Policy & Management*, Vol. 29 (1), 65-76.

- [STE04] STEENKEN, D.,VOß, S., STAHLBOCK, R.,(2004) Container terminal operation and operations research- a classification and literature review, *OR Spectrum* 26: 3 -49

- [TIS08] « <http://www.tis-gdv.de> » Transport –Informations- Service, Fachinformationen der Deutschen Transportversicherer (Hsg.)

- [VIS01] VIS, I.F.A., De KOSTER, R., ROODBERGEN, K.J., PEETERS, L.W.P. (2001), Determination of the number of automated guided vehicles required at a semi-automated container terminal, *Journal of the Operational Research Society* 52, 409-417.

- [VIS03] VIS, I.F.A., and KOSTER de, R. (2003): Transshipment of containers at a container terminal: An overview, *Journal of the Operational Research*, 147, 1-16

- [VIS04] VIS, I.F.A., HARIKA, I. (2004), Comparison of vehicle types at an automated container terminal, *OR Spectrum*, 26, S.117-143.

- [WIK08] VIBBER, Brian (Hrsg.) Wikipedia. Die freie Enzyklopädie <http://de.wikipedia.org>

- [WIR00] WILSON, I.D., ROACH, P.A. (2000), Container stowage planning: a methodology for generating computerised solutions, *Journal of the Operational Research Society* 51, 1248-1255.

- [ZT98] ZITZLER, Eckart; THIELE, Lolthar (1998): An Evolutionary Algorithm für Multi objective Optimization: The (Strength) Pareto Approach. In. TIK-Report 43