

Entwicklung eines Modells zur Kosten- und Leistungsbewertung von Containerschiffen in intermodalen Transportketten

Vom Promotionsausschuss der
Technischen Universität Hamburg-Harburg
zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor Ingenieur
genehmigte Dissertation

von
Axel Schönknecht
aus Berlin

2007

1. Gutachter:	Prof. Dr.-Ing. Günther Pawellek
2. Gutachter:	Prof. Dr. Wolfgang Kersten

Tag der mündlichen Prüfung:	07.12.2007
-----------------------------	------------

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	I
Tabellenverzeichnis.....	VII
Abkürzungsverzeichnis	IX
1. Aufgabenstellung und Ziel.....	1
1.1 Untersuchungsgegenstand	1
1.2 Ausgangssituation.....	3
1.3 Ziel und erwartete Ergebnisse	6
1.4 Methode	6
2. Stand zur Modellierung von Transportketten und Einordnung des Containerschiffes	8
2.1 Vorbemerkung	8
2.2 Transportbeziehungen	8
2.3 Transportstrukturen.....	10
2.4 Transportmittel und Verkehrsträger	11
2.5 Transportketten.....	13
2.6 Systematisierung der Interdependenzen in intermodalen Transportketten.....	15
2.6.1 Objekte der Transportkette	15
2.6.2 Erreichbare Zustände einer Transportkette	17
2.6.3 Hierarchisierung der Zustände und Modellierungsmöglichkeiten.....	21
2.7 Schnittstellen für Sammel- und Verteilprozesse	28
3. Triebkräfte und Grenzen des Größenwachstums von Containerschiffen.....	31
3.1 Motivation des Wachstums	31
3.2 Economies of Scale	32
3.2.1 Vorbemerkung	32
3.2.2 Kapitalkosten	33
3.2.3 Operative Kosten	34
3.2.4 Bunkerkosten	35
3.2.5 Frachtakquirierung	36
3.3 Diseconomies of Scale	36
3.3.1 Wechsel des Operationsmodus	36
3.3.2 Hafenkosten	37
3.3.3 Investitionsvolumen für einen Containerdienst	38
3.4 Verifikation des Größenwachstums aus ganzheitlicher Sicht	38

4.	Kosten- und Leistungsmodell zur Bewertung von Containerschiffsgrößen....	42
4.1	Vorbemerkung.....	42
4.2	Schiffsgrößencluster	42
4.3	Fixkosten.....	46
4.4	Variable Kosten.....	53
4.4.1	Variable Kosten See	53
4.4.2	Variable Kosten Hafen	56
4.5	Vorgehen zur Kostenberechnung einer Rundreise	70
4.6	Einnahmen	72
4.7	Kosten- und Einnahmenverlauf einer ausgewählten Rundreise	77
4.7.1	Kostenverlauf	77
4.7.2	Einnahmenverlauf	86
4.7.3	Einnahmen-Kostenbewertung der ausgewählten Rundreisen	87
4.8	Allgemeines Bewertungsmodell zur Wirtschaftlichkeit von Containerschiffen	94
4.8.1	Allgemeines Kostenmodell	94
4.8.2	Allgemeines Einnahmenmodell	96
4.8.3	Allgemeines Bewertungsmodell zur Rentabilität und Produktivität	97
5.	Varianzuntersuchungen am Bewertungsmodell.....	99
5.1	Relevante Parameter	99
5.2	Einfluss der Wiederbelegung W_R	99
5.3	Einfluss der Auslastung α	101
5.4	Einfluss der Anzahl der Häfen.....	102
5.5	Einfluss der Umschlaggeschwindigkeit	104
5.6	Einfluss der Imbalance Q_{IB}	108
5.7	Einfluss des TEU-Faktors F_{TEU}	111
5.8	Zusammenfassender Überblick zu den unterschiedlichen Einflussfaktoren.....	113
5.9	Möglichkeiten und Grenzen zur Auswahl der Häfen	114
5.10	Möglichkeiten und Grenzen zur Veränderung des Liniensystems	117
6.	Anforderungen an Häfen und Hinterland durch die Veränderung des Liniensystems	125
6.1	Optimierungsmöglichkeiten in den Umschlagverfahren und Seehäfen ...	125
6.2	Anbindung der Hinterlandverkehre an die Seehäfen	129

6.2.1	Anschlussleistungen der Terminals an das Hinterland	129
6.2.2	Entwicklung der Variantenvielfalt im intermodalen Transport	132
6.2.3	Heutiger Umgang mit der Variantenvielfalt	138
6.3	Lösungsansätze zur Herstellung der Anschlussleistungen im Hinterlandverkehr.....	143
7.	Zusammenfassung und Ausblick	146
7.1	Zusammenfassung	146
7.2	Ausblick.....	150
	Literaturverzeichnis.....	152

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Intermodale Transportketten mit Vor-, Haupt- und Nachlauf	1
Abbildung 2:	Entwicklung der durchschnittlichen und maximalen Containerschiffsgrößen [Quelle: HHM auf Basis DRE-06-2, S. 51]	3
Abbildung 3:	Grundvoraussetzungen für Transporte	8
Abbildung 4:	Transportstruktur als Grundlage für Verkehrsträger	11
Abbildung 5:	Nutzung der Verkehrsinfrastruktur durch Verkehrsträger	12
Abbildung 6:	Transportketten als Nutzung des Verkehrsträgerangebots	12
Abbildung 7:	Transportkette als Folge von TUL-Prozessen für Vor-, Haupt- und Nachlauf	13
Abbildung 8:	Transportkette als Verknüpfung von Ressourcen für Vor-, Haupt- und Nachlauf	14
Abbildung 9:	Beziehungen der Objekte einer multimodalen Transportkette mit Kombinationen von Verkehrsträgern	16
Abbildung 10:	Beziehungen der Objekte einer intermodalen Transportkette mit Kombinationen von Verkehrsträgern	16
Abbildung 11:	Zustände der multimodalen Transportkette und Aufwandsdefinition	21
Abbildung 12:	Zeit-Zustandsdiagramm für eine intermodale Transportkette mit Umschlag zwischen den Transportmitteln	22
Abbildung 13:	Zeit-Zustandsdiagramm für eine intermodale Transportkette ohne Umschlag zwischen den Transportmitteln	23
Abbildung 14:	Petri-Netz zur Darstellung der Zustände einer Transportkette	25
Abbildung 15:	Erreichbarkeitsgraph des Petri-Netzes für die Transportkette	26
Abbildung 16:	Vereinfachtes Petri-Netz und Erreichbarkeitsgraph für eine Transportkette	27
Abbildung 17:	Universelle intermodale Schnittstelle	28
Abbildung 18:	Prinzipielle Verbindungsfunktion eines Hafens	28
Abbildung 19:	Lager zur zeitlichen Pufferung der Sammel- und Verteilprozesse zwischen verschiedenen Verkehrsträgern	29
Abbildung 20:	Trennung der Umschlagfunktionen für verschiedene Verkehrsträger	29

Abbildung 21:	Flottenstruktur in der Containerschifffahrt und gegenwärtige Neubauvorhaben [Quelle: HHM auf Basis DRE-06-2, S. 51]	30
Abbildung 22:	Jahresreihen des Welthandels, der weltweiten Containertransporte sowie des weltweiten Containerumschlags [WTO, ISL-05-1, HHM auf Basis DRE-06-02]	31
Abbildung 23:	Zusammenhang zwischen Volumen und Oberfläche bei der Vergrößerung des umbauten Raumes	33
Abbildung 24:	Prinzipieller Unterschied zwischen Multi-Port-System und Hub-and-Feeder-System	36
Abbildung 25:	Theoretische Bestimmung der optimalen Schiffsgröße [nach JAN-87, S. 139]	39
Abbildung 26:	Ausgangssituation des fiktiven Fallbeispiels	39
Abbildung 27:	Erhöhung des Marktanteils im fiktiven Fallbeispiel	40
Abbildung 28:	Übersättigung des Marktes mit Transportangeboten	41
Abbildung 29:	Neubaupreisentwicklung für ein 3.500-TEU-Schiff [ISL-05-1; S. 101]	47
Abbildung 30:	Abhängigkeit des Schiffsneubaupreises von der Containertransportkapazität pro Schiffsgrößencluster	48
Abbildung 31:	Large-Scale-Effect beim Schiffsneubaupreis pro TEU, dargestellt am gewählten Schiffsgrößencluster	49
Abbildung 32:	Kapitalkosten pro Tag und TEU in Abhängigkeit der Containertransportkapazität, die aus dem Schiffspreis resultieren	50
Abbildung 33:	Verlauf der Fixkosten $K_{FS_{TEU}}$ in $\left[\frac{\text{€}}{TEU \cdot d}\right]$ in Abhängigkeit der Schiffsgröße mit relativer Änderung zum Vorgänger	53
Abbildung 34:	Variable Kosten See $K_{VS_{TEU}}$ pro Stellplatz und Tag in Abhängigkeit der Schiffsgröße	55
Abbildung 35:	Verhältnis der eingesetzten Maschinenleistung pro Nettostellplatz	56
Abbildung 36:	Schiffsliegezeit pro umgeschlagener TEU in Abhängigkeit der Schiffsgröße im Hamburger Hafen im Jahr 2005 [Datenquelle: HPA 2005]	61
Abbildung 37:	Schiffsliegezeit pro umgeschlagener TEU in Abhängigkeit der Schiffsgröße im Hamburger Hafen im Jahr 2005 normiert auf die Schiffsgrößencluster [Datenquelle: HPA 2005]	62

Abbildung 38:	Vergleich der Hamburger Liegezeiten pro Lade- und Lösch-TEU mit den berechneten minimalen Lade- und Löschzeiten	63
Abbildung 39:	Vergleich der Wachstumsraten für Länge, Breite und Tiefgang für Containerschiffe [verschiedene Quellen]	64
Abbildung 40:	Verlauf der Liege- und Anlaufkosten pro NTEU für die ersten 24 h während eines Hafenaufenthalts	66
Abbildung 41:	Umgerechnete Passagekosten des Suezkanals in Abhängigkeit der Schiffsgröße [basierend auf LET-04]	70
Abbildung 42:	Verteilung der Containerströme in Mio. TEU in 2005 zwischen Europa, Asien und Nordamerika [HAP-06, S. 21]	73
Abbildung 43:	Typische Europa-Asien-Rundreise mit 10 Häfen	77
Abbildung 44:	Annahme über die Menge umzuschlagender Container im Verhältnis zur Slot-Kapazität je Hafen bei 10 Häfen pro Rundreise	78
Abbildung 45:	Zeitlicher Verlauf der Rundreise aus dem Beispiel der Abbildung 43	80
Abbildung 46:	Absoluter Vergleich der Rundreisezeiten in den Schiffsgrößenclustern gemäß des Beispiels aus Abbildung 43	81
Abbildung 47:	Relativer Vergleich der Rundreisezeiten einzelner Schiffsgrößen gemäß des Beispiels aus Abbildung 43	82
Abbildung 48:	Verlauf der spezifischen Gesamtkosten je Stellplatz der einzelnen Schiffsgrößen über die Reisestrecke für das gewählte Beispiel mit 10 Häfen	83
Abbildung 49:	Vergleich der Gesamtkosten pro Stellplatz und Reisestrecke für das ausgewählte Beispiel aus Abbildung 43 mit relativer Änderung zum Vorgänger	84
Abbildung 50:	Verteilung der Kosten einer Rundreise pro Stellplatz	85
Abbildung 51:	Kostenvergleich pro Stellplatz und Tag für das ausgewählte Beispiel	86
Abbildung 52:	Einnahmenvergleich pro Stellplatz und Tag für das Beispiel aus Abbildung 43	87
Abbildung 53:	Vergleich der Rentabilität R_R zwischen den verschiedenen Containerschiffen an Hand der ausgewählten Rundreise in Abbildung 43	88
Abbildung 54:	Rentabilität und Dauer einer Rundreise	89
Abbildung 55:	Vergleich der Rundreiseproduktivitäten P_R	90

Abbildung 56:	Abhängigkeit der Rentabilität R_R vom durchschnittlichen Containergewicht für die ausgewählte Rundreise aus Abbildung 43	91
Abbildung 57:	Rundreiseproduktivität P_R der verschiedenen Schiffe bei 12 t durchschnittlichem Containergewicht	92
Abbildung 58:	Entwicklung der durchschnittlichen Containergewichte im Hamburger Hafen [Quelle: HHM 2006]	92
Abbildung 59:	Bestimmung des Vollcontaineraufkommens einer Rundreise	94
Abbildung 60:	Allgemeines Bewertungsmodell zur Wirtschaftlichkeit verschiedener Containerschiffsgrößen	98
Abbildung 61:	Allgemeiner Einfluss der Wiederbelegung W_R auf die Rentabilität einer Rundreise	100
Abbildung 62:	Allgemeiner Einfluss der Wiederbelegung W_R auf die Produktivität einer Rundreise	101
Abbildung 63:	Allgemeiner Einfluss der Auslastung α auf die Rentabilität einer Rundreise	101
Abbildung 64:	Allgemeiner Einfluss der Auslastung α auf die Produktivität einer Rundreise	102
Abbildung 65:	Theoretischer Einfluss der Wiederbelegung und der Anzahl der Häfen auf die Wirtschaftlichkeit der Containerschiffe	103
Abbildung 66:	Veränderung der Reisezeiten unter Berücksichtigung der im Hamburger Hafen üblichen Liegezeiten	105
Abbildung 67:	Anzahl möglicher Rundreisen pro Schiffsgrößencluster in einem Jahr in Abhängigkeit unterschiedlicher Umschlaggeschwindigkeiten	105
Abbildung 68:	Prinzipieller Effekt der Umlaufbeschleunigung bei Containerschiffen auf die Einnahmen und Kosten	106
Abbildung 69:	Einfluss unterschiedlicher Umschlaggeschwindigkeiten auf die Rentabilität	107
Abbildung 70:	Einfluss unterschiedlicher Umschlaggeschwindigkeiten auf die Produktivität	107
Abbildung 71:	Einfluss verschiedener Imbalancen Q_{IB} auf die Rentabilität einer Rundreise	109
Abbildung 72:	Anzahl der Schiffe und Containerumlaufmengen für einen 7-Tage-Dienst	110

Abbildung 73:	Einfluss verschiedener Imbalancen Q_{IB} auf die Produktivität einer Rundreise	111
Abbildung 74:	Einfluss des TEU-Faktors auf die Rentabilität einer Rundreise	112
Abbildung 75:	Einfluss des TEU-Faktors auf die Produktivität einer Rundreise	112
Abbildung 76:	Auswahl alternativer Varianten zur Bedienung eines Fahrgebietes im Liniendienst mit kombinierten Diensten	117
Abbildung 77:	Beispielhafte Kosteneinsparungen eines 12.000- bis 13.000-TEU-Schiffes durch Verkleinerung des Operationsgebietes	121
Abbildung 78:	Konkurrierende Dienste aus dem Liniensystem und dem Vor- und Nachlauf eines Hub-and-Feeder-Systems	122
Abbildung 79:	Verhältnis von Schiffsgröße und relativer Umschlagmenge zur Schiffsgröße im Hamburger Hafen 2005 [Datenquelle: HPA 2005]	124
Abbildung 80:	Einsatz von Mehrfachspreadern zur Erhöhung der Umschlagleistung [DER-07]	126
Abbildung 81:	Voraussetzungen und Wirkungen des Einsatzes von Umschlaginnovationen	126
Abbildung 82:	Verkettung der Forderungen an die einzelnen Subsysteme des Seetransports und des Hafens, die sich mit einer hohen Wirtschaftlichkeit von Containerschiffen verbindet	128
Abbildung 83:	Vergleich von see- und landseitiger Umschlagleistung eines Terminals	130
Abbildung 84:	Transportrelationen zwischen den Terminals und dem Hinterland	133
Abbildung 85:	Entwicklung der durchschnittlich beteiligten Häfen in der Relation Nord-West-Europa und Fernost [Quelle: HHM-Datenarchiv]	133
Abbildung 86:	Anzahl der angebotenen Fernost-Dienste über die Nordrange nach Jahren [Quelle: HHM-Datenarchiv]	134
Abbildung 87:	Entwicklung der durchschnittlichen wöchentlichen Abfahrten in der Relation Nord-West-Europa und Fernost [Quelle: HHM-Datenarchiv]	134
Abbildung 88:	Grobverteilung der Ladungsmengen der Nordrange-Häfen mit dem deutschen Hinterland in 2004 [interne Studie HHM]	135
Abbildung 89:	Prinzipielle Zunahme der Quelle-Ziel-Beziehungen und möglicher Schiffsabfahrten (Dienste) zum Transport	136

Abbildung 90:	Prinzipielles Verfahren im Nachlauf mit Lagerung zur Sammlung zielreiner Container	139
Abbildung 91:	Prinzipielles Verfahren zur Sammlung zielreiner Container durch den Nachlaufverkehrsträger	141
Abbildung 92:	Prinzipiskizze des Hafenhinterlandterminals für Bahnverkehre des Hamburger Hafens	144

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Beispielhafte Kombinationsmöglichkeit von Gütern, Transportbehältern und Transportmitteln	18
Tabelle 2: Mögliche Zustände in einer multimodalen Transportkette	19
Tabelle 3: Mögliche Zustände einer intermodalen Transportkette (dunkelgrauer Bereich)	20
Tabelle 4: Schiffe und deren Zuordnung zu einem Schiffsgrößencluster (grau gekennzeichnete Parameter sind geschätzt) [CMA-06; CON-04; DÜC-04; HLC-06; OV1-98; OV4-03; TEAM-06; WIJ-99]	44
Tabelle 5: Schiffsgrößencluster mit Referenz-TEU	45
Tabelle 6: Berechnung der Schiffsneubaupreise	48
Tabelle 7: Jahrespersonalkosten nach dem Heuertarifvertrag der Deutschen Seeschiffahrt 2005 für eine 24 Mann starke Beispielbesatzung	52
Tabelle 8: Minimale Lade- und Löschzeit pro TEU nach JAN-87	59
Tabelle 9: Minimale Lade- und Löschzeit pro TEU nach [CUX-00, S. 7-2]	60
Tabelle 10: Annahme für die Hafengebühren K_{vH} bei einer bis zu 24-stündigen Liegezeit	65
Tabelle 11: Vertrags- und Kostenmodelle für den Kaitarif [HAU-03]	67
Tabelle 12: Übersicht der Terminal Handling Charges (THC) ausgewählter Häfen in 2005 nach der Far-Eastern-Conference [Anfrage bei HHM]	67
Tabelle 13: Vergleich der Verkehrszahlen der wichtigsten Seekanäle in der Welt in 2005 [FZA-06, 2-22]	69
Tabelle 14: Zusammengefasste Vorgehensweise zur Berechnung der Kosten einer Rundreise	71
Tabelle 15: Containerimbalancen in 2005	74
Tabelle 16: Ausgewählte Frachtraten aus dem ersten Quartal 2006 inklusive der THCs [Basis DRE-06-1, S. 43]	75
Tabelle 17: Zusammengefasste Vorgehensweise zur Berechnung der Einnahmen einer Rundreise	76
Tabelle 18: Vergleich der Umschlagzahlen der 10 wichtigsten Containerhäfen der Welt in TEU [Quelle: HHM]	79
Tabelle 19: Ausgewählte Reedereien aus dem Transpazifik-Verkehr und deren beförderte Containermengen in 2005 [DYN-06-10]	110

Tabelle 20: Dimensionen für 12.000-TEU-Schiffe	114
Tabelle 21: Tiefgangsbeschränkungen und Umschlagmöglichkeiten führender Welthäfen nach dem HHM e.V. 2006	115
Tabelle 22: Modal-Split des Hamburger Hafens in 2005 [Quelle: HHM 2006]	142

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bezeichnung	Einheit
B	Anzahl der möglichen Containerbrücken	
BAF	Bunker Adjustment Factor	$\frac{\$}{TEU}$
CAF	Currency Adjustment Factor	%
C_S	Spezifischer Verbrauch der Hauptmaschine	$\frac{g}{kWh}$
DoS	Diseconomies of Scale	
E_C	Einnahme pro Container zwischen zwei Häfen	€
EoS	Economies of Scale	
E_R	Einnahme pro Rundreise und Schiffsgrößencluster	€
F_{TEU}	TEU-Faktor	
HHM	Hamburg Hafen Marketing e.V.	
HFS	Hub-Feeder-System	
HPA	Hamburg Port Authority	
H_i	Hafen i einer Rundreise	
k	Anzahl der Häfen einer Rundreise	
K_C	Kapitalkosten pro Containersatz und Schiffsgrößencluster	$\frac{€}{d}$
K_{FR}	Fixkosten pro Rundreise und Schiffsgrößencluster	€
K_{FS}	Fixkosten pro Schiff	$\frac{€}{d}$
$K_{FS_{TEU}}$	Fixkosten pro Schiffsgrößencluster und 20'-Stellplatz	$\frac{€}{TEU \cdot d}$
K_{HDF}	Kosten pro t Schweröl	€
K_{HS}	Hafenhebesatz pro Zeiteinheit	$\frac{€}{TEU \cdot d}$
$K_{KAI_{20}}$	Kaitarif für 20'-Container	€

$K_{KAI_{40}}$	Kaitarif für 40'-Container	€
K_{KS}	Kapitalkosten pro Schiffsgrößencluster	$\frac{€}{d}$
K_{PS}	Personalkosten pro Schiffsgrößencluster	$\frac{€}{d}$
KF_{MDF}	Zuschlagfaktor für Hilfsenergie	%
K_R	Gesamtkosten pro Rundreise und Schiffsgrößencluster	€
K_{RES}	Kosten für Reservekapazitäten pro Schiffsgrößencluster	$\frac{€}{d}$
K_{sonst}	Sonstige Kosten pro Schiffsgrößencluster	$\frac{€}{TEU}$
K_U	Umschlagkosten	€
$K_{U_{20}}$	Umschlagkosten 20'-Container	$\frac{€}{TEU}$
$K_{U_{40}}$	Umschlagkosten 40'-Container	$\frac{€}{2TEU}$
K_{UR}	Umschlagkosten pro Rundreise und Schiffsgrößencluster	€
K_{VH}	Variable Kosten Hafen pro Schiffsgrößencluster	€
K_{VHR}	Variable Kosten Hafen pro Rundreise und Schiffsgrößencluster	€
K_{VS}	Variable Kosten See pro Schiffsgrößencluster	$\frac{€}{d}$
$K_{VS_{TEU}}$	Variable Kosten See pro Stellplatz und Tag	$\frac{€}{NTEU \cdot d}$
K_{VSR}	Variable Kosten See pro Rundreise und Schiffsgrößencluster	€
K_{VWRS}	Kosten für Versicherung, Verwaltung, Reparatur pro Schiffsgrößencluster	$\frac{€}{d}$
KF_{MDF}	Zuschlagfaktor für Hilfsenergie	%
L_S	Länge des Schiffes	m
MPS	Multi-Port-System	
N_C	Anzahl umzuschlagender Container pro Hafen	
N_{C20}	Anzahl umzuschlagender 20'-Container	

N_{C40}	Anzahl umzuschlagender 40'-Container	
$N_{CE_{20}}$	Anzahl 20'-Export-Container	
$N_{CE_{40}}$	Anzahl 40'-Export-Container	
$N_{CI_{20}}$	Anzahl 20'-Import-Container	
$N_{CI_{40}}$	Anzahl 40'-Import-Container	
N_{CR}	Anzahl aller pro Rundreise umzuschlagender Container	
N_{CV}	Anzahl umzuschlagender Vollcontainer pro Hafen	
N_{TEU}	Normierte Anzahl Container	TEU
P_R	Rundreiseproduktivität pro Schiffsgrößencluster	$\frac{\%}{d}$
P_S	Hauptmaschinenleistung pro Schiff	kW
P_{UTS}	seeseitige Umschlagleistung eines Terminals	$\frac{TEU}{h}$
P_{UTLKW}	landseitige Abfertigungsleistung eines Terminals für LKW	$\frac{Fz}{h}$
Q_R	Container-Imbalance zwischen zwei Kontinenten	%
R_{BAF}	Einnahme durch Bunker Adjustment Factor	$\frac{€}{TEU}$
R_{CAF}	Einnahme durch Currency Adjustment Factor	%
R_F	Relationsabhängige Frachtraten	$\frac{€}{N_C}$
$R_{F_{20}}$	Frachtrate pro 20'-Container	€
$R_{F_{40}}$	Frachtrate pro 40'-Container	€
Ro / Ro	Roll-on / Roll-off	
Con / Ro	Container / Roll-on, Roll-off	
R_R	Rundreiserentabilität pro Schiffsgrößencluster	%
R_{THC}	Einnahme durch Terminal Handling Charges	€
S_B	Abstand zwischen zwei Containerbrücken	m
S_{KAI}	Kaikantenlänge	m

<i>STVO</i>	Straßenverkehrsordnung	
T_H	Zeiten für Festmachen, Zollkontrolle usw. eines Schiffes	h
T_L	Gesamtliegezeit eines Schiffes im Hafen	h
T_R	Dauer einer Rundreise	d
T_U	Containermengenabhängige Umschlagzeit	h
T_{U_M}	Spezifische Umschlagzeit eines Containers pro Brücke	$\frac{\text{min}}{N_C}$
$T_{U_{\min}}$	Minimale Lade- und Löschzeit eines Schiffes	h
<i>TEU</i>	Twenty foot equivalent unit	
<i>THC</i>	Terminal Handling Charge	€
V_s	Geschwindigkeit eines Schiffes	
<i>WTO</i>	World Trading Organization	
W_R	Wiederbelegungsfaktor pro Rundreise	
α	Auslastungsfaktor pro Rundreise	
β	Verhältnis der Kaitarife zwischen zwei Kontinenten	
δ	Verhältnis der Einnahmen zwischen zwei Kontinenten	
η	Leistungsnutzung der Hauptmaschine	%
Δ_i	Menge umzuschlagender Container im Hafen i	
ω	Steigerungsfaktor in der Umschlagleistung eines Terminals	

1. Aufgabenstellung und Ziel

1.1 Untersuchungsgegenstand

Gegenstand der vorliegenden Arbeit sind intermodale Transportketten für ISO-Container¹ im Seeverkehr mit den vor- und nachlaufenden Hinterlandtransporten. Eine intermodale Transportkette ist als Transport von Gütern in ein und demselben Ladungsträger über mindestens zwei verschiedene Verkehrsträger definiert [EU-94]. Der seetransportfähige ISO-Container in seinen ca. 20-30 Grundausführungen und Variationen [Übersicht z.B. in OV1-99 u. OV2-01] hat sich dabei als wichtigster intermodaler Ladungsträger im internationalen Transport durchgesetzt. Über See werden ca. 62 % des europäischen und mehr als 90 % des Welt-handels abgewickelt [JAN-05, S. 1-4]. Der ISO-Container hat dabei im seewärtigen Stückgutbereich zwischen den industrialisierten Ländern einen Anteil von über 95 % erreicht [HWWI-06/1, S. 67]. Dominierende Elemente der internationalen seewärtigen Stückguttransportketten sind die ISO-Container als Ladungsträger und die Containerschiffe als Massentransportmittel im Hauptlauf der Transportkette. Verbindende Glieder zu den Vor- und Nachläufen bilden die Seehäfen, während der jeweilige Hinterlandverkehr von Binnentransportmitteln wie Bahn, Straßenverkehr sowie Binnen- und Feederschiffahrt² ausgeführt wird. Die prinzipielle Gestaltung der Transportketten zeigt die nachstehende Abbildung.

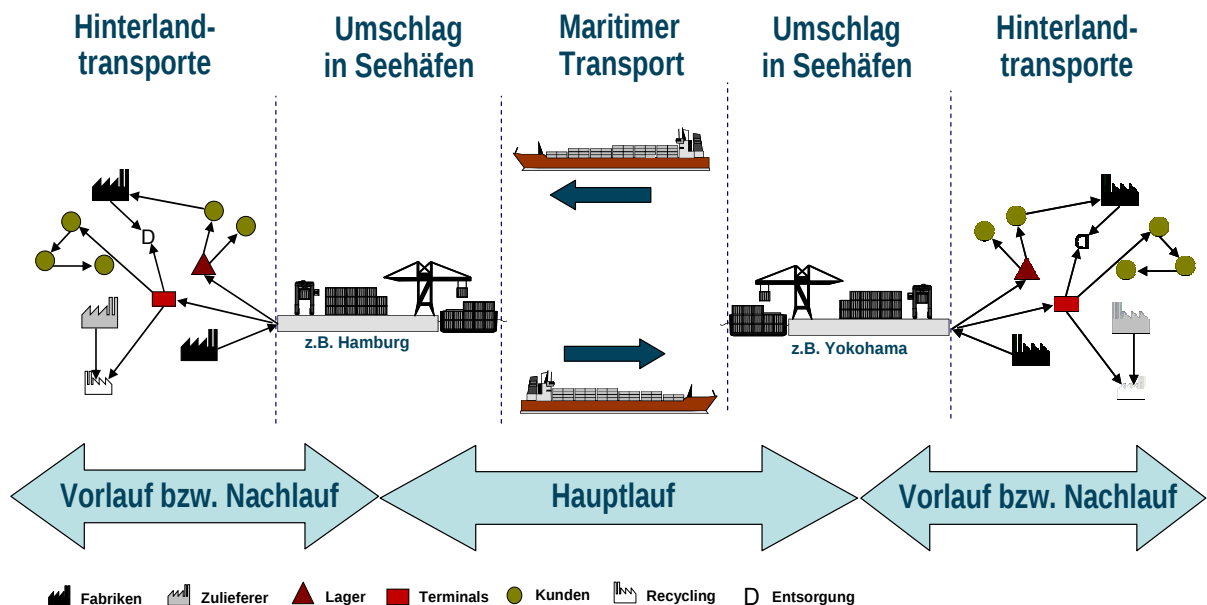


Abbildung 1: Intermodale Transportketten mit Vor-, Haupt- und Nachlauf

¹ ISO – International Organization for Standardization, Container nach DIN ISO 668 und DIN ISO 830

² Feederschiffahrt – seewärtige Zubringerdienste der Containerschiffahrt

Ein markantes Merkmal der seewärtigen Containertransportketten zeigt sich darin, dass das eigentliche Transportgut unangetastet in einem ISO-Container alle Transportkettenglieder vom Versender bis zum Empfänger durchläuft³. Der ISO-Container ist der eigentliche standardisierte Transportgegenstand. Trotz gewisser Modifikationen in der Ausführung⁴ bildet der ISO-Container an sich im Seeverkehr derzeit und wahrscheinlich auch zukünftig kein Feld für die Suche nach weiteren Effektivitätssteigerungen in seewärtigen Containertransportketten. Ganz anders sieht es dagegen bei den technischen Mitteln für Transport, Umschlag und Lagerung sowie bei der Organisation der Abläufe in Transportketten aus.

Da die Transportkettenglieder im Vor- und Nachlauf mit Eisenbahn, Straßenverkehr, Binnenschifffahrt und zum Teil auch die Feederschifffahrt relativ starken Restriktionen in ihrer Dimensionierung unterworfen sind, der Seeverkehr und die Seehäfen sich dagegen unter weit aus weniger Beschränkungen entwickeln können, bilden letztere das bedeutendste Untersuchungsfeld für effektivitätssteigernde Maßnahmen in der seewärtigen Containertransportkette. Am auffälligsten ist die Zunahme der Containerschiffsgrößen.

Da Seehäfen die Funktion einer Schnittstelle übernehmen, die die einzelnen Massentransporte des maritimen Hauptlaufs mit den massenhaften Einzeltransporten des Hinterlandes verbinden, müssen sie sich den Entwicklungen im Seetransport anpassen.

Wie bereits eingangs erwähnt, bildet die intermodale Transportkette mit ISO-Containern im Seeverkehr den Untersuchungsgegenstand der vorliegenden Arbeit. Jedoch stellt diese Transportkette nur den Rahmen dar, während sich die vertiefenden Untersuchungen darauf ausrichten, die Wirkung der quantitativen Veränderungen im Seetransport, also Zunahme der Containerschiffsgrößen, auf die zweckmäßigen und notwendigen Anpassungsmaßnahmen in den Seehäfen sowie den Hinterlandverkehren schwerpunktmäßig orientieren. Dabei spielt selbstverständlich eine maßgebliche Rolle, ob die Containerschiffsgrößenzunahme als nachhaltig oder vielleicht nur vorübergehende Entwicklung zu beobachten ist, wie sie ja zum Beispiel bei Supertankern zu beobachten war [z.B. STP-02-1]. Schließlich sollten alle die Aspekte, die darüber Aufschluss geben können, ob quantitative Veränderungen in der seewärtigen Transportkette im oben genannten Sinn zu quantitativen Anpassungen bei einzel-

³ Ausgenommen LCL – Less than Containerload, Einsammeln von unterschiedlichen Kleinstsendungen in einen Container [KLA-04, S.283]

⁴ Es gibt derzeit Versuche mit 45' Containern bei einigen Reedereien

nen Gliedern der Transportkette führen müssen oder nicht, zum Untersuchungsgegenstand zählen.

1.2 Ausgangssituation

Zu den seewärtigen Transportketten und Schnittstellen speziell mit Containern existiert bereits eine Vielzahl von Publikationen und Forschungsarbeiten [z.B. BOX-05; BRE-93; KRA-97; LEM-01; PAWL-99; WIT-04], u.a. auch Dissertationen [z.B. REI-04; SWI-06]. Das Phänomen dieser Transportketten ist hinreichend detailliert betrachtet und untersucht worden. Allerdings sind in jüngster Zeit Erscheinungen zu verzeichnen, die zu neuen Überlegungen Anlass geben. Von großer Bedeutung und Tragweite ist in diesem Zusammenhang – wie schon erwähnt – das scheinbar ungebremste Wachstum der Containerschiffe [z.B. STP-02 S. 3]. Allein daraus leiten sich Wirkungen auf die gesamte Transportkette ab, die nicht widerspruchsfrei zu beurteilen sind.

Die Verkehrsträger des Haupt- und des Vor- bzw. Nachlaufes der intermodalen Transportkette entwickeln sich in unterschiedlichen Tendenzen. Containerschiffe werden immer größer und unterliegen in ihrem Größenwachstum scheinbar nur wenigen unlösbaren technischen oder technologischen Grenzen [z.B. MÜL-05]. Die Neubauentwicklung der Containerschiffe innerhalb der letzten 30 Jahre weist ein beachtliches Größenwachstum auf (siehe Abbildung 2).

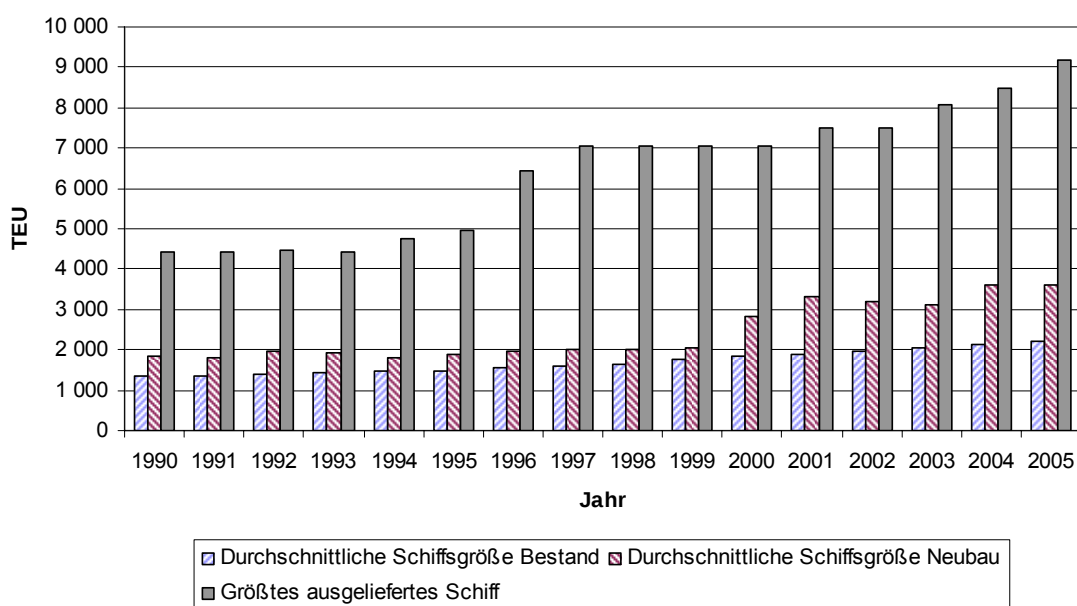


Abbildung 2: Entwicklung der durchschnittlichen und maximalen Containerschiffsgrößen [Quelle: HHM auf Basis DRE-06-2, S. 51]

Die Hinterlandverkehrsträger LKW, Bahn und Binnenschiff sind dagegen in ihrem Größenwachstum begrenzt. Durch Gewichts- und Längenbegrenzungen aufgrund gesetzlicher Vorschriften [z.B. STVO] oder Randbedingungen aus der Verkehrsinfrastruktur [z.B. VBW-95-2, S. II/1] kann sich keiner dieser Verkehrsträger in seinen Dimensionen oder Traggewichten mehr vergrößern. Diese Verkehrsträger können lediglich in ihrer Anzahl zunehmen⁵, um die zwar auch in ihrer Anzahl zunehmenden, jedoch vor allem in ihrer Größe wachsenden Containerschiffe zu bedienen. Seehäfen verbinden diese beiden unterschiedlichen Tendenzen durch ihre Umschlag- und Lagerfunktion und müssen den sich ständig verändernden Randbedingungen – Größenwachstum der Schiffe auf der einen Seite und Anzahl der Hinterlandtransporte auf der anderen Seite – gerecht werden. Dabei haben es nicht alle Häfen der Welt geschafft, diese Grundfunktionen konkurrenzfähig am Markt auszuüben. Einige einst bedeutende Seehäfen haben ihre Umschlagfunktion verloren wie beispielsweise San Francisco oder London. Auch im Seetransport hat es in den letzten 150 Jahren bemerkenswerte Veränderungen gegeben. Zum Zeitpunkt des Beginns dieser Veränderungen wurden einige für unwahrscheinlich gehalten, andere überbewertet. Dabei sei auf folgende historische Analogie verwiesen.

Segelschiffe liefen Mitte bis Ende des neunzehnten Jahrhunderts in Bezug auf Größe und Geschwindigkeit zu ihrer Höchstform auf. Manche Schiffe erreichten Geschwindigkeiten von 18–20 kn [REH-84, S. 217]. 1880 entfielen noch von 18 Mio. Nettoregistertonnen insgesamt, 14,5 Mio. auf Segler und 3,5 Mio. auf Dampfer [NEU-85, S. 319]. Nur 20 Jahre später war die Tonnage der Dampfer ca. 4-mal größer als die der Segelschiffe. Trotz dieser Tendenz startete die französische Regierung noch ein Subventionsprogramm für Segelschiffe⁶ [BRE-81, S. 301]. Die Dampfer dieser Zeit durchliefen hingegen auch keine kontinuierliche technische Entwicklung. So wurde lange Zeit ein technischer Kampf zwischen Schaufelrad und Schraube ausgetragen [LAU-87, S. 10]. Organisatorisch zeichneten sich ähnliche konkurrierende Systeme ab. Erst Mitte des neunzehnten Jahrhunderts begann die Trennung von Handel und Transport [PRA-79, S. 14], was eine der Voraussetzungen für konstante Fahrpläne war [REH-84, S. 218]. Im Nachhinein gibt es sicherlich keine Diskussion darüber, dass motor- und schraubengetriebene Stahlschiffe in regelmäßigen Fahrplänen im internationalen Seetransport als Transportdienstleister die bessere Alternative als Kaufleute mit Segelschiffen sind. Aber in der Zeit der Entwicklung der Dampfschiffssysteme gab es nicht endende

⁵ Gegenwärtig gibt es einige Feldversuche für 60 t LKWs, die jedoch z.B. durch den ADAC massiv bekämpft werden

⁶ Navigation aux longs cours et au cabotage internationale

Gegenargumente und Handlungen auf allen politischen und wirtschaftlichen Ebenen, um die Etablierung dieser Systeme zu verhindern.

Dass technische Entwicklungen aber auch ihr Ziel verfehlen können, belegen die Supertanker, die Anfang der 1970er Jahre gigantische Ausmaße annahmen. Mit Beginn der Ölkrise und dem Anstieg der Ölpreise wurde jedoch eine andere Art der Rohölverteilung notwendig [STP-02, S. 4]. Die Bestellung der Rohölmengen wurde diversifizierter. Kleinere Mengen an vielen Orten waren gefragt und nicht mehr 500.000 t in einem Hafen. Für diese Art Verteilung des Rohöls waren die Supertanker aber nicht geeignet und nicht alle Häfen konnten diese Schiffe überhaupt abfertigen. Das teure Rohöl war zu lange in den Schiffen gebunden. Obwohl der eigentliche Streckentransport hocheffizient war, wurde dieser Wirtschaftlichkeitsvorteil beim Entladen wieder aufgebraucht. Die Folge war, dass die Schiffe schlichtweg abgewrackt oder als Öllager umfunktioniert wurden. Selbst nagelneue Supertanker aus den Werften wurden ohne Inbetriebnahme verschrottet [PEI-96, S. 54ff].

Diese kurzen Beispiele unterstreichen, dass eine stetige Transportaufkommensentwicklung bei weitem keine stetige transporttechnologische Entwicklung zur Folge hatte. Weder die Transporttechnik noch die Transportdurchführung und -organisation haben sich stringent und vorhersehbar entwickelt. Auch heute in den modernen Seeverkehrstransportketten, als wichtige Träger der weltweiten Globalisierung, zeichnen sich Indikatoren ab, die Unsicherheiten und Probleme bezüglich der zukünftigen Entwicklung erwarten lassen. In diesem Zusammenhang seien nur einige öffentlich publizierte Argumente genannt, wie

- zunehmender Flächenbedarf und Flächenkonkurrenz in den Seehäfen,
- Erhöhung der Durchlaufzeiten der Container von Tür zu Tür,
- Unsicherheiten bezüglich des weiteren Größenwachstums von Containerschiffen,
- Unsicherheiten bezüglich des zukünftigen Operationsmodus der Reedereien,
- starke Zunahme der Containerbestände,
- stärkere Umwelt-, Verkehrs- und Regionalauswirkungen der Häfen,
- stärkere Umwelt-, Verkehrs- und Regionalauswirkungen der Vor- und Nachläufe,
- geringere gesellschaftliche Akzeptanz von großlogistischen Anlagen und
- steigender administrativer Aufwand in der Planung, Durchführung und Koordination von Transportketten.

Das System ganzheitlich zu untersuchen und Schwachstellen, Risiken und Optimierungsmöglichkeiten stärker zu fokussieren, ist daher Untersuchungsgegenstand im engeren Sinne.

1.3 Ziel und erwartete Ergebnisse

Das Ziel der Arbeit reiht sich ein in die permanenten Bemühungen, weltweite Transporte noch effizienter und leistungsfähiger durchzuführen als bisher. Dabei soll ein besonderes Augenmerk darauf gelegt werden, mögliche Kostensenkungs- und Leistungssteigerungspotenziale durch Maßnahmen der Logistik und nicht nur durch Infra- bzw. Suprastrukturausbau zu erreichen. Als eine wesentliche Kernaussage bzw. Ergebnis wird erwartet, ob sich die ökonomischen Effekte der Containerschiffsgrößenentwicklung in der gesamten Transportkette auswirken oder ob sie sich durch gegenteilig wirkende Effekte aufbrauchen oder sich gar negativ auswirken. Dazu wird ein neues Modellsystem in zwei Varianten entwickelt, das die Wirtschaftlichkeit von Containerschiffen in Abhängigkeit ihrer technisch-ökonomischen Parameter, den Randbedingungen des Transportnetzwerkes sowie der Einsatzart der Schiffe in einem Schiffsgrößenraster bewertet. Im Prinzip ist es das Ziel nachzuweisen, ob sich die quantitative Entwicklung – nämlich das Schiffsgrößenwachstum – in einem Glied der Transportkette in eine qualitative Veränderung der gesamten Transportkette oder anderer Glieder der Transportkette niederschlägt oder diese erfordert, um seine quantitative Entwicklung zu begründen.

1.4 Methode

Das Seeverkehrssystem besteht im Rahmen dieser Arbeit aus den drei Subsystemen Seetransport, Hafen und Hinterland. Diese Subsysteme stehen durch die intermodale Verkettung in Abhängigkeit zueinander. Das Gesamtsystem besitzt die Funktion, an individuellen Start- und Zielpunkten Container aufzunehmen bzw. abzugeben und zwischen diesen Punkten massenhaft zu befördern, wobei die Funktion des Transports und der notwendigen Hilfsprozesse in jedem Teilsystem auf höchst unterschiedliche Art und Weise ausgeführt wird.

Den Einzeluntersuchungen wird eine Transportkettensystematik zugrunde gelegt, in die sich der Seetransport einordnet. Damit sollen die prinzipiellen Interdependenzen zwischen den Verkehrsträgern aufgezeigt werden. Gleichzeitig soll damit ein Ordnungsschema entstehen, in das sich jede beliebige Transportkette, u.a. auch separat betrachtete Transportketten des Vor- und Nachlaufs, einordnen und beschreiben lassen. Da das Größenwachstum der Containerschiffe den Hauptgegenstand und Anlass für die vorliegende Untersuchung bildet, liegt hier auch der methodische Schwerpunkt.

Die Schiffsgößenentwicklung wird als treibendes Teilsystem der seewärtigen Transportkette betrachtet. Deshalb sollen Motivation und Begründung für die Triebkräfte in der Schiffsgößenentwicklung nachvollzogen werden. Darauf aufbauend wird über eine technisch-ökonomische Untersuchung ein vergleichendes Wirtschaftlichkeitsmodell für Containerschiffe entwickelt, das verschiedene Schiffsgößen bewertet und Chancen, Risiken und eventuell neue Anforderungen an das Seetransportsystem selbst oder die anderen Subsysteme aufzeigt. Für diese Anforderungen werden dann beispielhaft Lösungsansätze diskutiert, deren Wirkung auf das Gesamtsystem Transportkette dargestellt und auch Vergleiche bereits vorliegender Arbeiten und Aussagen vorgenommen.

Zusätzlich zu den allgemein in der Fachliteratur genutzten Indikatoren Kosten, Einnahmen und Rendite werden Produktivität, Auslastung, Imbalancen, Slotwiederbelegung, TEU-Faktor und Organisation des Liniensystems als Indikatoren herangezogen. Es schließen sich dann die Untersuchungen hinsichtlich der Anforderungen an Häfen und Hinterlandverbindungen als Reaktion auf die Schiffsgößenentwicklung an.

2. Stand zur Modellierung von Transportketten und Einordnung des Containerschiffes

2.1 Vorbemerkung

Die Modellierung von Transportketten, die nach [ARN-05] zur Klasse der Materialflusssysteme gehören, unterliegt wie jede Modellierung der Art der Fragestellung bzw. des zu lösenden Problems. Die Modellierung muss nach [ARN-05, S. 47] auch nicht stringent mit derselben Technik erfolgen, sondern kann schrittweise in höhere Abstraktionsstufen mit unterschiedlichen Modellierungstechniken überführt werden. Bei bekannter Struktur eines Materialflusses besteht das Ziel der Modellierung zumeist darin, eine quantitative Aussage herbeizuführen. Bei Materialflusssystemen mit unbekannter Struktur, beispielsweise bei neuartigen Materialflusssystemen oder Planungen für Materialflusssysteme, werden zunächst Modellierungstechniken mit dem Ziel qualitativer Aussagen eingesetzt [ARN-05, S. 48]. Im Folgenden wird der außerbetriebliche Transport systematisch, beginnend mit seiner Notwendigkeit bis hin zur Bildung von Transportketten, dargestellt und die verschiedenen Begriffe, Definitionen und Modellierungsansätze der Transportkette zugeordnet.

2.2 Transportbeziehungen

Transporte sind notwendig, um Güter von Angebotsorten zu räumlich getrennten Bedarfsorten zu bewegen (Abbildung 3).

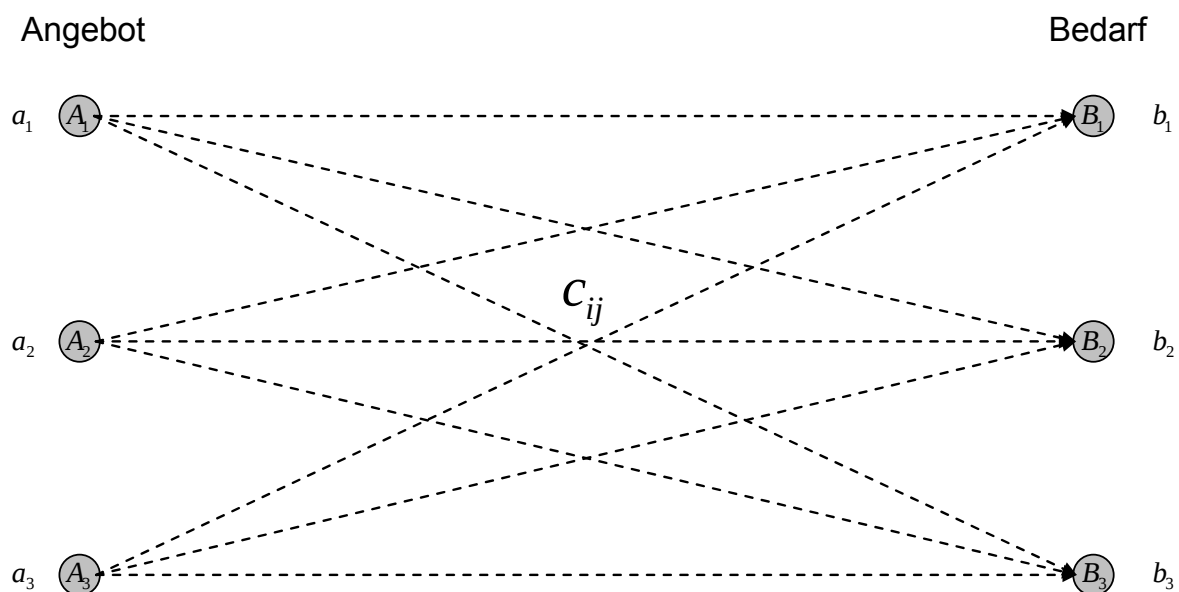


Abbildung 3: Grundvoraussetzungen für Transporte

Diese Grundstruktur bzw. Vernetzung zwischen Angebot und Nachfrage kann zum Beispiel mit Hilfe der Graphentheorie beschrieben werden. Angebotsorte und Bedarfsorte werden in der Regel als Knotenmenge $\{A_i; B_i\}$ definiert, denen entweder eine Angebotsmenge a_i oder Bedarfsmenge b_i zugeordnet ist. Kanten verbinden die Knoten und sind mit Kosten c_{ij} gewichtet. Kosten sind hierbei nicht nur monetär, sondern auch in Form von Zeit, Kapazität, CO₂-Emission usw. zu verstehen⁷. Das Ziel einer jeden Güterbewegung ist es, entweder vollständig oder anteilig eine Angebotsmenge zu einem Ort mit dem entsprechenden Bedarf zu überführen. Die Kosten c_{ij} sollen dabei unter Einhaltung der Randbedingungen in der Regel minimal ausfallen. Die Graphentheorie nennt diese Anforderung Klassisches Transport- (TPP) oder in linearisierter Form Zuordnungsproblem [z.B. DOM-95] und wird wie folgt formuliert:

$$\begin{aligned} \text{Min} \quad & \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \\ & \sum_{j=1}^n x_{ij} = a_j \quad j = \{1, 2, \dots, n\} \\ & \sum_{i=1}^m x_{ij} = b_i \quad i = \{1, 2, \dots, m\} \\ & x_{ij} \geq 0 \end{aligned}$$

Es gibt umfangreiche und leistungsfähige Verfahren, um diese Minimierung oder der Minimierung ähnlich gelagerte Probleme vorzunehmen [siehe z.B. BIA-96; BUC-98; DET-94; DOM-95; PÖP-00]. Für den im Rahmen dieser Arbeit definierten Untersuchungsgegenstand kann das Transportproblem bzw. dessen Lösungsvarianten für die Modellierung der Vordisposition der Leercontainer in der Containerschifffahrt verwendet werden.

Für Reedereien und Containerleasinggesellschaften stellt sich immer die Frage, wohin sie Leercontainer, die an ihrem aktuellen Standort nicht mit Ladung versorgt werden können, bewegen sollen. Die Modellierung dieses Entscheidungsproblems als klassisches TPP gibt zumindest Hinweise, in welchen Größenordnungen Container, unterteilt nach ihren Bauformen und Ausführungen, an bestimmte Orte bewegt werden müssen. Eine genaue, der Realität entsprechende Lösung kann in der Regel darüber aber nicht ermittelt werden, da der Be-

⁷ Da die Modellelemente der Graphentheorie allgemein bekannt sind, wird auch hier auf eine weitere Erläuterung der Modellelemente verzichtet.

darf an Containern eine momentane Größe ist. Bis zum Zeitpunkt der Bedarfsbefriedigung (Leercontainerausgleich) kann sich der Bedarf bereits verändert haben. Unsichere Transportkapazitäten verschärfen das Problem weiter. Die Unsicherheiten entstehen dadurch, dass volle Container in der Regel immer Vorrang gegenüber leeren Containern haben und dadurch geplante Transportkapazitäten für leere Container entfallen können. Die Lösungen des TPP können aber als Controllinginstrument benutzt werden, um im Nachhinein abzuschätzen zu können, ob im Bereich des Leercontainerausgleichs noch Kostenminimierungspotenziale bestehen.

Für die Güterbewegungen sind Transporte notwendig und sie unterliegen zunächst den Randbedingungen der Transportstruktur.

2.3 Transportstrukturen

Die Transportstruktur wird als eine Teilmenge der Verkehrsinfrastruktur definiert. Verkehrsinfrastruktur umfasst alle baulichen und organisatorischen Maßnahmen zur Ermöglichung von Verkehren [HES-06, S. 20]. Gütertransporte sind nur ein Teil aller auf den Verkehrswegen stattfindenden Bewegungen und Fahrten. Der Personenverkehr, insbesondere der Individualverkehr, ist der Hauptnutzer der Verkehrsinfrastruktur. Im Folgenden werden aber nur Strukturen betrachtet, die dem Zweck der Güterbewegung dienen.

Angebots- und Bedarfsorte können über längere Distanzen, ausgenommen im Luftverkehr, kaum miteinander direkt verbunden werden. Im Fall der ISO-Container sind Luftverkehre auf Grund der Gewichte und Dimensionen praktisch in größeren Mengen auch nicht möglich. Den direkten Verbindungen sind durch geographische Gegebenheiten Grenzen gesetzt. Zum einen sind sie schlichtweg nicht möglich – wenn beispielsweise ein Angebotsort nicht am Wasser liegt, so kann dort kein Schiff anlegen – und zum anderen sind die Verbindungen nur dann ökonomisch sinnvoll herstellbar, wenn auch eine gewisse Anzahl an Transporten über die Verbindung läuft. Diese Randbedingungen haben dazu geführt, dass sich eine Transportstruktur, bestehend aus Straßen, Schienen, Kanälen und Umschlagpunkten, historisch gebildet hat, die es bei der Ausführung von Transporten zu nutzen gilt (Abbildung 4).

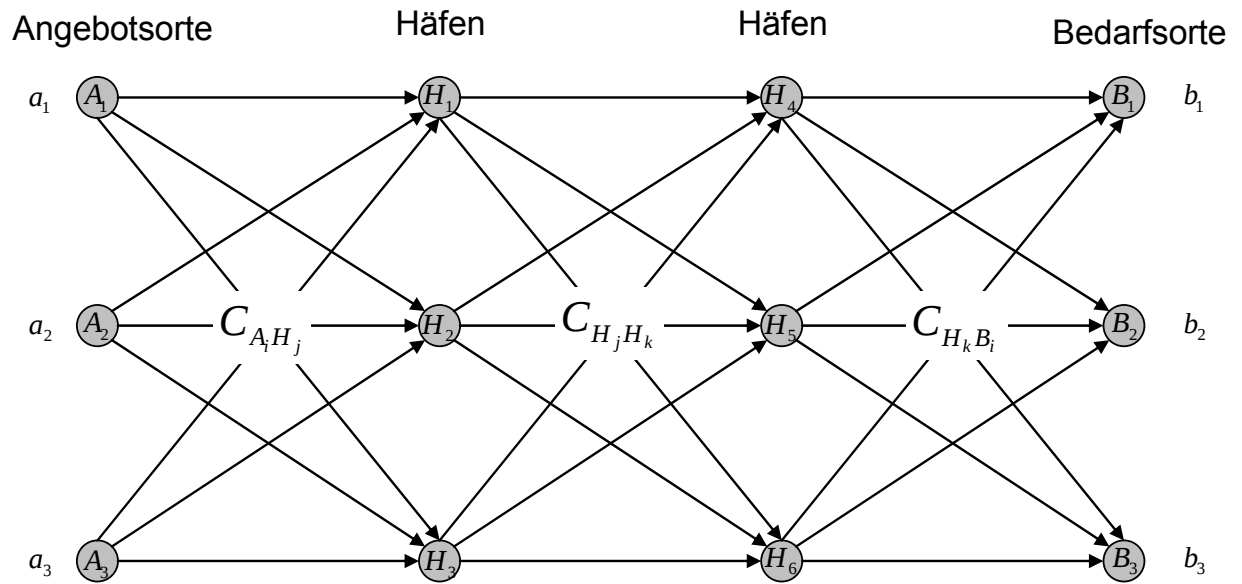


Abbildung 4: Transportstruktur als Grundlage für Verkehrsträger

Die Verkehrsinfrastruktur und damit auch die Transportstruktur unterliegen einem permanenten Wandel und werden fortlaufend angepasst. Für Deutschland sind die Maßnahmen des Verkehrsinfrastrukturausbaus im Bundesverkehrswegeplan zusammengefasst [BUND-03].

2.4 Transportmittel und Verkehrsträger

Verkehrsträger als oberste Klassifizierung der Transportmittel sind auf Verkehrsinfrastrukturen angewiesen. Schienenverkehrsträger benötigen beispielsweise immer einen Schienenweg oder ein Gleisnetz, um zum Einsatz zu kommen. Der langfristige Verkehrsträgereinsatz orientiert sich nicht an nur einem Transportauftrag, sondern versucht, innerhalb eines Einsatzzyklus oder Umlaufs mehrere Transportaufträge auf den vorhandenen Transportinfrastrukturen zu erfüllen (Abbildung 5).

Die Verkehrsträger see- und landseitig unterscheiden sich dabei jedoch insbesondere in ihrer Größe erheblich. So sind dem Schiffsgrößenwachstum praktisch keine Grenzen gesetzt. Infrastrukturen bzw. geographische Begrenzungen werden angepasst, um immer größeren Schiffen die Zufahrt zu den Häfen zu gewährleisten [z.B. DÜC-04]. Straßenverkehr, Eisenbahn und Binnenschifffahrt unterliegen dagegen stärkeren Restriktionen, so dass sie nur in ihrer Anzahl, jedoch nicht mehr in ihren Größen zunehmen können.

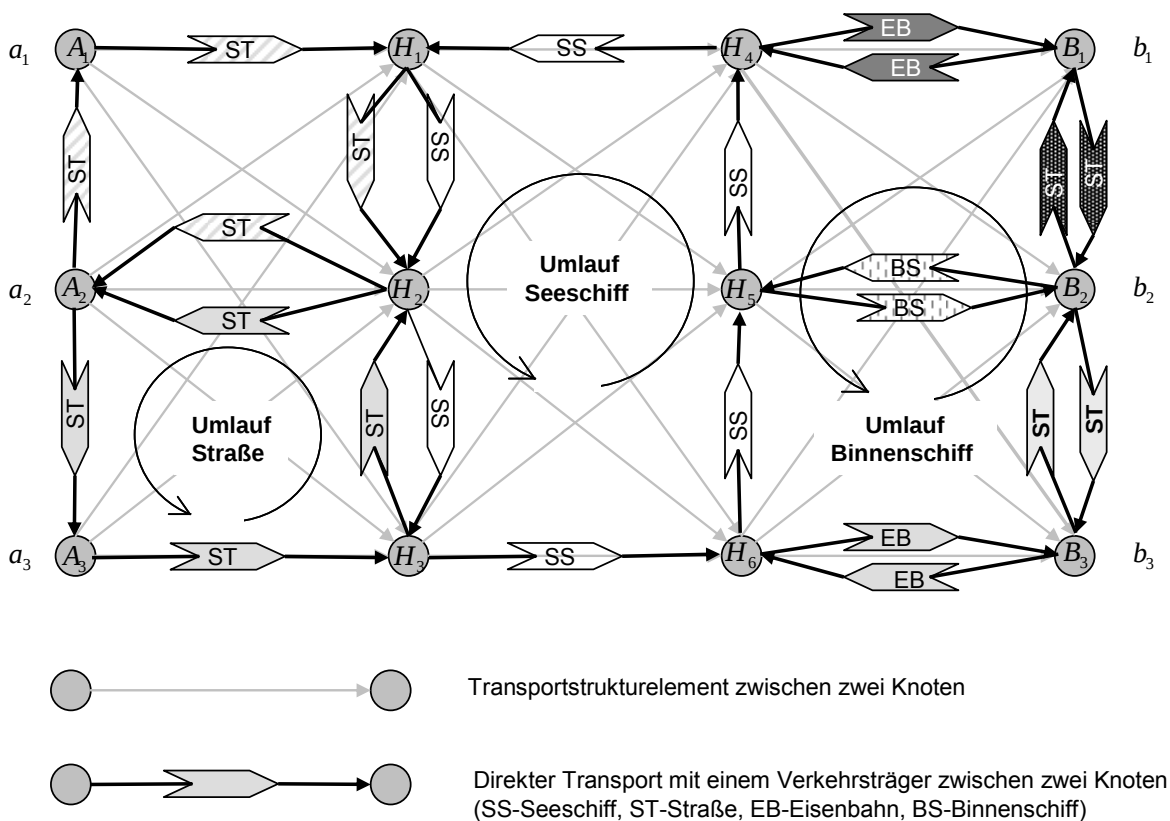


Abbildung 5: Nutzung der Verkehrsinfrastruktur durch Verkehrsträger

Die Auswahl und Kombination bestimmter Verkehrsträger im Rahmen ihrer Umläufe bildet dann die eigentliche Transportkette mit ihren Teilabschnitten (siehe Abbildung 6).

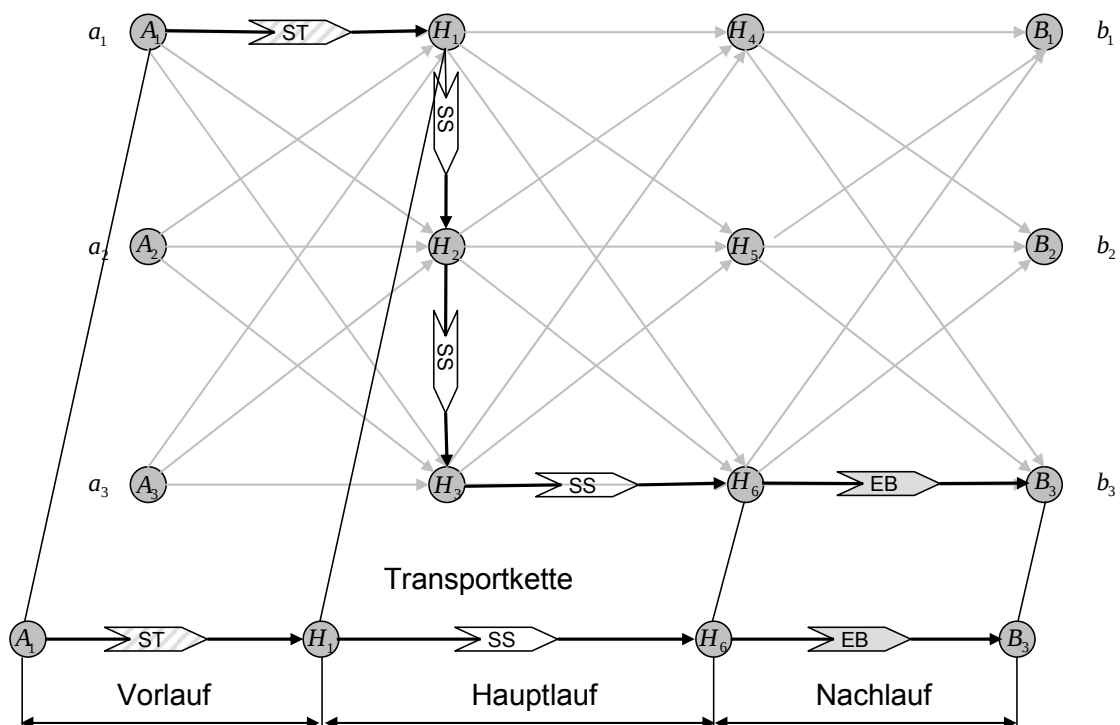


Abbildung 6: Transportkette als Nutzung des Verkehrsträgerangebots

Die Transportkette soll im Folgenden näher dargestellt werden.

2.5 Transportketten

Der Begriff „Transportkette“ ist bei weitem kein neuer Begriff. So definiert die DIN 30781 in der Fassung von 1989 die Transportkette als „Folge von technischen und organisatorischen miteinander verknüpften Vorgängen, bei denen Personen oder Güter von einer Quelle zu einem Ziel bewegt werden“. Multi- und intermodale Transportketten, die sich eigentlich nur durch den Einsatz eines standardisierten Frachtbehälters unterscheiden, sind, wie bereits erwähnt, in der [EU-94] definiert. Als „prototypische Auslegung zwischenbetrieblicher Logistiksysteme als abgrenzbare Ausschnitte aus unternehmensübergreifenden Logistikketten“ sieht [BLO-97, S. 1089] eine Transportkette. [MAR-02, S. 84] stellt die Transportkette als aufeinander abgestimmte und verknüpfte Folgen von Transportvorgängen dar. Es lassen sich noch viele weitere Definitionen finden, den mehr oder weniger allen gemein ist, dass sie die Transportkette ablaforientiert betrachten. Im Vordergrund steht dabei die Verknüpfung von Prozessen, um ein Ladungsgut, d.h. ein genau definiertes Transportobjekt, vom Start zum Ziel zu transportieren. Um Transportprozesse miteinander zu verknüpfen, sind neben dem eigentlichen Transportprozess weitere Prozesse wie Umschlagen und Lagern notwendig (siehe Abbildung 7). Das Aufeinanderfolgen der Prozesse Transportieren, Umschlagen und Lagern werden häufig auch als TUL-Prozesse bezeichnet [KRAM-06, S. 200].

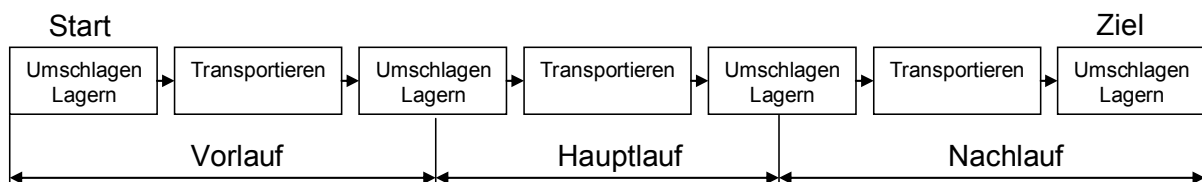


Abbildung 7: Transportkette als Folge von TUL-Prozessen für Vor-, Haupt- und Nachlauf

Bewertungen von Transportketten können nach verschiedenen Kriterien erfolgen. Nach [SWI-06, S. 58] sind wesentliche wirtschaftliche Kriterien

- Zeit,
- Kosten und
- Qualität.

Zeitkriterien lassen sich danach wiederum unterteilen in

- Transportdauer,
- Zeitqualitätskriterien, d.h. Verlässlichkeit, Berechenbarkeit, Zuverlässigkeit und Pünktlichkeit, sowie
- Häufigkeit.

Bei den Kosten werden die Gesamttransportkosten zur Bewertung herangezogen. Qualitätskriterien im eigentlichen Sinne sind nach [SWI-06, S. 58]:

- Sicherheit,
- Service und
- Kapazitätsflexibilität.

Für jeden Prozess einer Transportkette sind bekanntlich Ressourcen notwendig. Für das Umschlagen sowie Lagern sind Schnittstellen mit Umschlag- und Lagereinrichtungen und für das Transportieren Verkehrsträger (siehe Abbildung 8) erforderlich. Somit ist eine Transportkette nicht nur eine Folge von Prozessen, sondern eine Folge von Beziehungen, die das Ladungsobjekt mit den Ressourcen temporär eingeht.

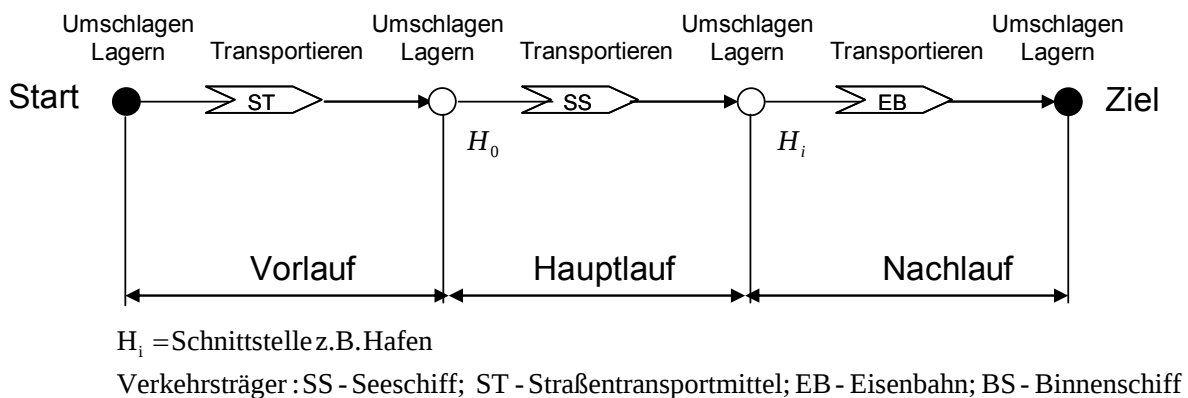


Abbildung 8: Transportkette als Verknüpfung von Ressourcen für Vor-, Haupt- und Nachlauf

Diese Beziehungen werden nachfolgend systematisch dargestellt.

2.6 Systematisierung der Interdependenzen in intermodalen Transportketten

2.6.1 Objekte der Transportkette

Objekte der hier zu betrachtenden Transportkette sind:

1. Ladungseinheiten, dazu zählen:
 - o Ladungsgut, z.B. Güter nach SITC-Schlüssel⁸
 - o Verpackung, z.B. Seefrachtverpackung oder Palette
 - o Transportbehälter, z.B. ISO-Container oder Wechselbrücken

2. Verkehrsträger
 - o Straßentransportmittel
 - o Eisenbahn
 - o Binnenschiff
 - o Seeschiff

3. Schnittstellen
 - o Umschlageinrichtungen
 - o Lagereinrichtungen

Ein Verkehrsträger wird im Rahmen dieser Arbeit als unspezifiziertes Transportmittel betrachtet. So kann hinter dem Verkehrsträger "Straßentransportmittel" entweder ein LKW mit Ladepritsche oder ein LKW mit Trailer oder sogar nur der Trailer stehen. Auch alle anderen Verkehrsträger lassen verschiedene Variationen der genutzten Transportmittel zu. Über den Verkehrsträger wird lediglich die Fortbewegungsart auf der Straße, der Schiene, auf Flüssen und Kanälen sowie dem Seeweg definiert.

Die Ladungseinheiten der Transportkette können in Anlehnung an [PAWE-81, S. 52] untereinander sowie mit den Verkehrsträgern in 1-zu-n-Beziehung gebracht werden, wobei eine Beziehung als eine Art Ummantelung zu verstehen ist; d.h. n Objekte (z.B. die Ladungsgüter) können in ein Objekt (z.B. einen Transportbehälter) verpackt werden. Auch Verkehrsträger untereinander können in n-zu-1-Beziehungen treten, beispielsweise im kombinierten

⁸ SITC – Standard International Trade Classification, internationales Warenverzeichnis der UN für den Außenhandel

Verkehr. Systematisch auf Ladungsgüter, Verpackungseinheiten, Transportbehälter und Verkehrsträger angewendet, ergibt sich das Beziehungsschema der Abbildung 9.

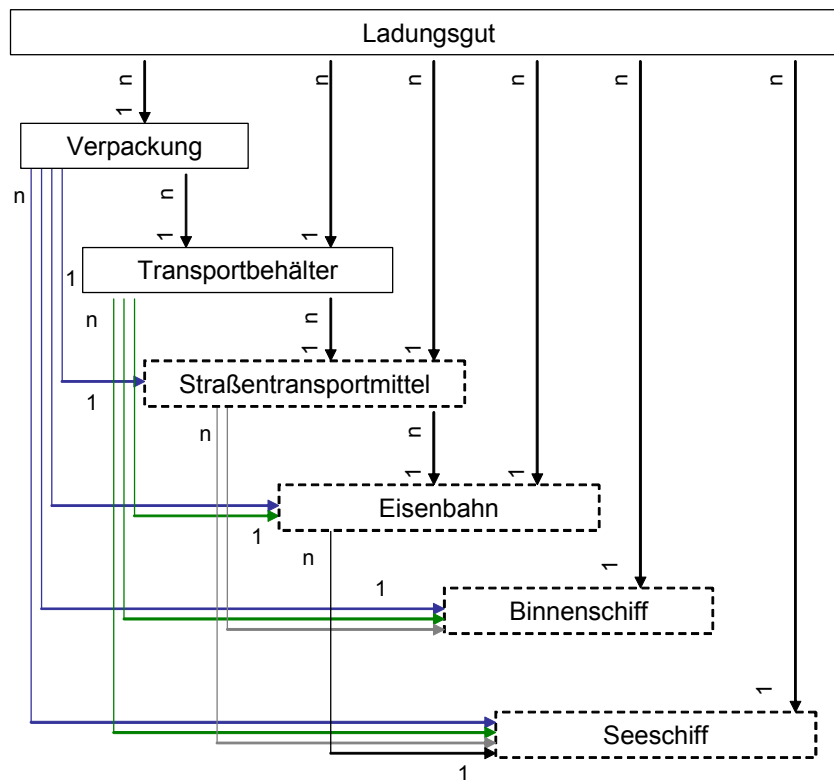


Abbildung 9: Beziehungen der Objekte einer multimodalen Transportkette mit Kombinationen von Verkehrsträgern

Die Beziehungen können bei der Betrachtung der intermodalen Transportkette auf die in Abbildung 10 dargestellten Kombinationen reduziert werden.

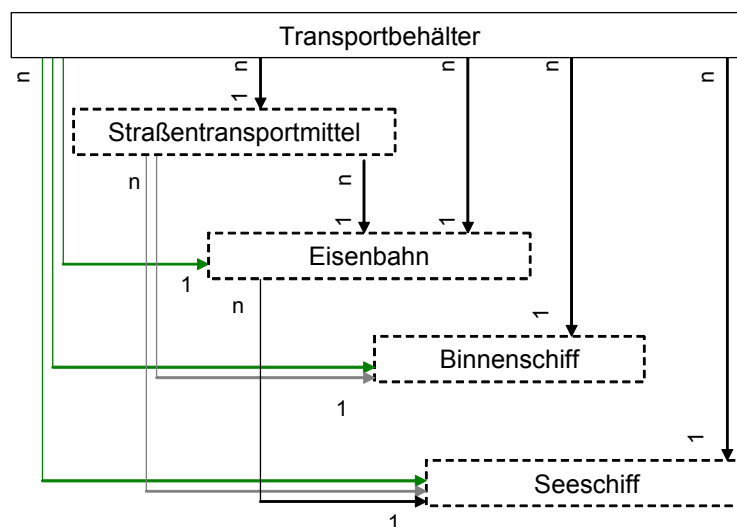


Abbildung 10: Beziehungen der Objekte einer intermodalen Transportkette mit Kombinationen von Verkehrsträgern

In einer intermodalen Transportkette wird, wie in der Definition erwähnt, nur der Durchlauf des Transportbehälters betrachtet [EU-94]. Die Ladung wird per Definition während der gesamten Transportkette nicht aus dem Transportbehälter entfernt. Der am meisten genutzte intermodale Transportbehälter ist vermutlich der ISO-Container⁹. Mit Stand Anfang 2005 existierten weltweit ca. 19 Mio. ISO-Standardcontainer [ISL-05-2, S. 3].

Um Beziehungen n zu 1 innerhalb einer Transportkette herzustellen bzw. zu verändern, sind Schnittstellen erforderlich, d.h. in jedem n-zu-1-Pfeil aus Abbildung 9 und Abbildung 10 ist mindestens eine Schnittstelle enthalten.

2.6.2 Erreichbare Zustände einer Transportkette

Unter Zustand einer Transportkette wird die momentane Beziehung zwischen Ladungseinheiten und Verkehrsträgern verstanden. Ein Zustand ist beispielsweise Ladungsgut in einem Transportbehälter auf der Eisenbahn. Für die Veränderung von Zuständen sind, wie erwähnt, Schnittstellen notwendig, die entweder die Umschlag- oder Kombinationsprozesse vornehmen.

Um die möglichen Zustände einer Transportkette besser darstellen zu können, wird eine Kurznotation der Objekte eingeführt:

G = Ladungsgut

V = Verpackung

TB = Transportbehälter

ST = Straßentransportmittel

EB = Eisenbahn

BS = Binnenschiff

SS = Seeschiff

Es wird vorausgesetzt, dass ein Ladungsgut für jeden Zustand vorhanden sein muss. Somit müssen nur die Objekte V, TB, ST, EB, BS und SS kombiniert werden. Würde es keine Einschränkungen nach Abbildung 9 und Abbildung 10 rund um das Binnenschiff geben, so wäre die mögliche Anzahl an Kombinationen $2^6 = 64$. Der Beweis kann relativ einfach über die

⁹ Dieser Container ist auch der standardisierte Container im Seeverkehr. Es existieren noch weitere Containernormen. Diese sind aber in der Regel nicht kompatibel zu Containerschiffen.

Boolesche Algebra geführt werden. Jedes Objekt kann an der Kombination teilnehmen (1) oder nicht (0) wie beispielhaft in Tabelle 1 dargestellt.

V	TB	ST	EB	BS	SS	
0	0	0	0	0	0	G Gut steht nur da
0	1	0	1	0	1	G/TB/EB Gut ist in einem Transportbehälter auf der Eisenbahn
0	1	0	0	0	1	G/TB/SS Gut ist in einem Transportbehälter im Seeschiff

Tabelle 1: Beispielhafte Kombinationsmöglichkeit von Gütern, Transportbehältern und Transportmitteln

Wird diese Tabelle vollständig ausgefüllt und werden die Restriktionen des Binnenschiffes beachtet, so ergeben sich 40 gültige Zustände (siehe Tabelle 2). Dadurch, dass das Binnenschiff nicht für den Transport von Eisenbahnwaggons vorgesehen ist und das Binnenschiff auch nicht auf ein Seeschiff im Rahmen einer normalen Transportkette verladen werden kann, treten 24 von 64 theoretischen Zuständen nicht auf.

	V	TB	ST	EB	BS	SS	Zustand möglich
1	0	0	0	0	0	0	1
2	0	0	0	0	0	1	1
3	0	0	0	0	1	0	1
4	0	0	0	0	1	1	0
5	0	0	0	1	0	0	1
6	0	0	0	1	0	1	1
7	0	0	0	1	1	0	0
8	0	0	0	1	1	1	0
9	0	0	1	0	0	0	1
10	0	0	1	0	0	1	1
11	0	0	1	0	1	0	1
12	0	0	1	0	1	1	0
13	0	0	1	1	0	0	1
14	0	0	1	1	0	1	1
15	0	0	1	1	1	0	0
16	0	0	1	1	1	1	0
17	0	1	0	0	0	0	1
18	0	1	0	0	0	1	1
19	0	1	0	0	1	0	1
20	0	1	0	0	1	1	0
21	0	1	0	1	0	0	1
22	0	1	0	1	0	1	1
23	0	1	0	1	1	0	0
24	0	1	0	1	1	1	0
25	0	1	1	0	0	0	1
26	0	1	1	0	0	1	1
27	0	1	1	0	1	0	1
28	0	1	1	0	1	1	0
29	0	1	1	1	0	0	1
30	0	1	1	1	0	1	1
31	0	1	1	1	1	0	0
32	0	1	1	1	1	1	0
33	1	0	0	0	0	0	1
34	1	0	0	0	0	1	1
35	1	0	0	0	1	0	1
36	1	0	0	0	1	1	0
37	1	0	0	1	0	0	1
38	1	0	0	1	0	1	1
39	1	0	0	1	1	0	0
40	1	0	0	1	1	1	0
41	1	0	1	0	0	0	1
42	1	0	1	0	0	1	1
43	1	0	1	0	1	0	1
44	1	0	1	0	1	1	0
45	1	0	1	1	0	0	1
46	1	0	1	1	0	1	1
47	1	0	1	1	1	0	0
48	1	0	1	1	1	1	0
49	1	1	0	0	0	0	1
50	1	1	0	0	0	1	1
51	1	1	0	0	1	0	1
52	1	1	0	0	1	1	0
53	1	1	0	1	0	0	1
54	1	1	0	1	0	1	1
55	1	1	0	1	1	0	0
56	1	1	0	1	1	1	0
57	1	1	1	0	0	0	1
58	1	1	1	0	0	1	1
59	1	1	1	0	1	0	1
60	1	1	1	0	1	1	0
61	1	1	1	1	0	0	1
62	1	1	1	1	0	1	1
63	1	1	1	1	1	0	0
64	1	1	1	1	1	1	0
Summe							40

Tabelle 2: Mögliche Zustände in einer multimodalen Transportkette

Wird auch hier wieder die Betrachtung auf die intermodale Transportkette eingeschränkt, also nur auf Zustände, wo der Transportbehälter existiert, so reduzieren sich die zu betrachtenden Zustände auf 10 (dunkelgrauer Bereich in Tabelle 3)

Lfd. Nr	V	TB	ST	EB	BS	SS	Zustand möglich
1	0	0	0	0	0	0	1
2	0	0	0	0	0	1	1
3	0	0	0	0	1	0	1
4	0	0	0	0	1	1	0
5	0	0	0	1	0	0	1
6	0	0	0	1	0	1	1
7	0	0	0	1	1	0	0
8	0	0	0	1	1	1	0
9	0	0	1	0	0	0	1
10	0	0	1	0	0	1	1
11	0	0	1	0	1	0	1
12	0	0	1	0	1	1	0
13	0	0	1	1	0	0	1
14	0	0	1	1	0	1	1
15	0	0	1	1	1	0	0
16	0	0	1	1	1	1	0
17	0	1	0	0	0	0	1
18	0	1	0	0	0	1	1
19	0	1	0	0	1	0	1
20	0	1	0	0	1	1	0
21	0	1	0	1	0	0	1
22	0	1	0	1	0	1	1
23	0	1	0	1	1	0	0
24	0	1	0	1	1	1	0
25	0	1	1	0	0	0	1
26	0	1	1	0	0	1	1
27	0	1	1	0	1	0	1
28	0	1	1	0	1	1	0
29	0	1	1	1	0	0	1
30	0	1	1	1	0	1	1
31	0	1	1	1	1	0	0
32	0	1	1	1	1	1	0

Summe: 10

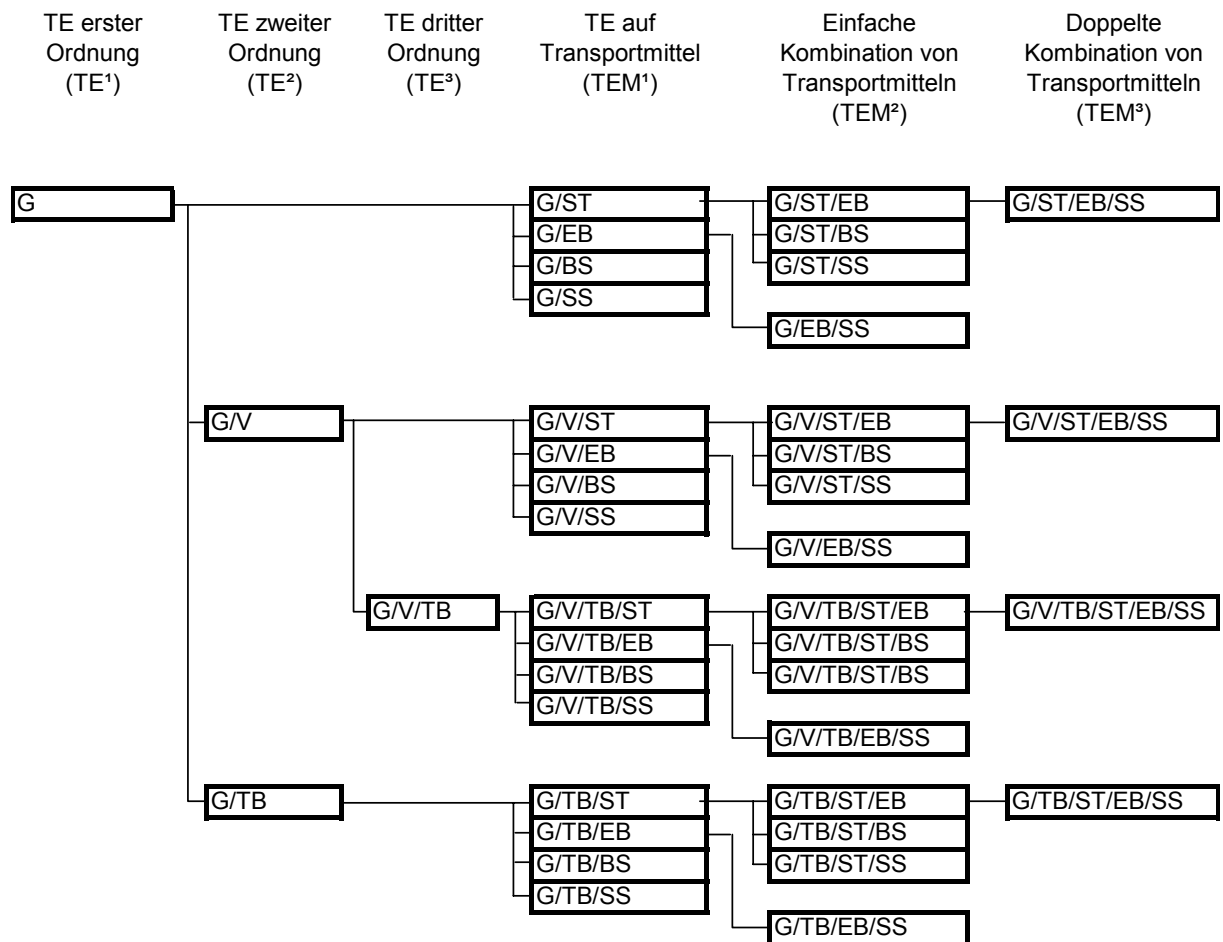
Tabelle 3: Mögliche Zustände einer intermodalen Transportkette (dunkelgrauer Bereich)

Es ist anzumerken, dass die Zustände aus Zeile 49 bis 64 der Tabelle 2 redundant mit den Zuständen aus Tabelle 3 sind, da die Zustände der beiden Tabellen sich lediglich durch die benutzte oder nicht benutzte Verpackung unterscheiden. Verpackungen werden aber per Definition in einer intermodalen Transportkette nicht berücksichtigt, da der Transportbehälter das "kleinste" zu betrachtende Objekt darstellt.

2.6.3 Hierarchisierung der Zustände und Modellierungsmöglichkeiten

Die Zustände aus Tabelle 2 können nach Aufwandsgrad hierarchisiert werden. Der Aufwandsgrad gibt dabei an, wie oft ein Gut oder Transportmittel behandelt wurde und anschließend eine neue Transporteinheit darstellt. Aufwandsgrad fällt nach dieser Definition demnach nur in Schnittstellen an.

Im Baumdiagramm der Abbildung 11 sind die so hierarchisierten Zustände einer intermodalen Transportkette dargestellt.



G = Ladungsgut
V = Verpackung
TB = Transportbehälter
ST = Straßentransportmittel
EB = Eisenbahn
BS = Binnenschiff
SS = Seeschiff
TE = Transporteinheit
TEM = Transporteinheit auf Transportmittel

Abbildung 11: Zustände der multimodalen Transportkette und Aufwandsdefinition

Das unverpackte Ladungsgut in seiner natürlichen äußeren Hülle wird als Transporteinheit erster Ordnung (TE^1) definiert. Ladungsgüter, die verpackt oder in einem Transportbehälter befördert werden, werden als Transporteinheiten zweiter Ordnung definiert (TE^2). Ein Ladungsgut, das verpackt und danach in einen Transportbehälter gelegt wird, ist eine Transporteinheit dritter Ordnung (TE^3). Dadurch treten Identifikationsübergänge auf. Durch Umschlagvorgänge und Kombination von Transportmitteln (TEM^i) ergeben sich weitere Identifikationsübergänge. Der Versand eines Ladungsgutes, das verpackt und in einen Container verladen wird, kann mit dieser Systematik für eine intermodale Transportkette wie folgt in einem Zeit-Zustandsdiagramm dargestellt werden (Abbildung 12).

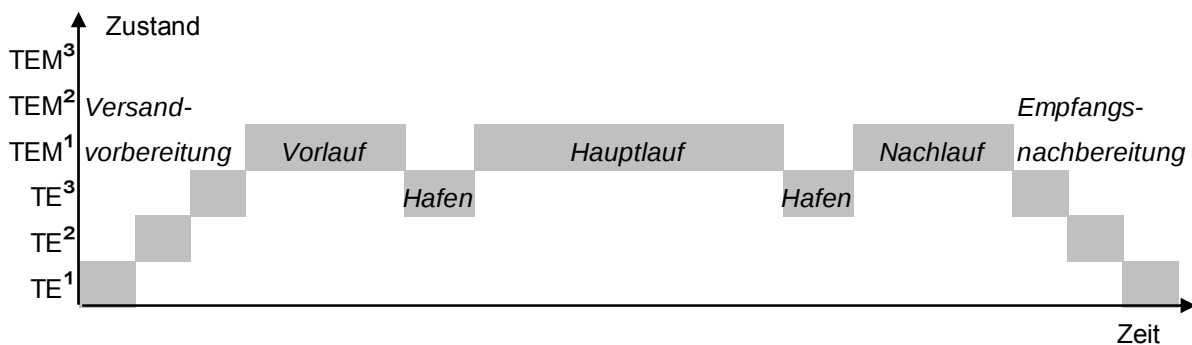


Abbildung 12: Zeit-Zustandsdiagramm für eine intermodale Transportkette mit Umschlag zwischen den Transportmitteln

Die Folge von Zuständen ist nichts anderes als der Ablauf einer Transportkette, wobei sich die Abläufe jedoch nun in fest definierten Zuständen abspielen.

Würde der Container aus dem Beispiel der Abbildung 12 nicht im Hafen auf ein Containerschiff umgeschlagen werden, sondern direkt mit dem Fahrzeug des Vorlaufes verladen (kombiniert) werden, so würde der Ablauf über die Zustände wie folgt aussehen (Abbildung 13).

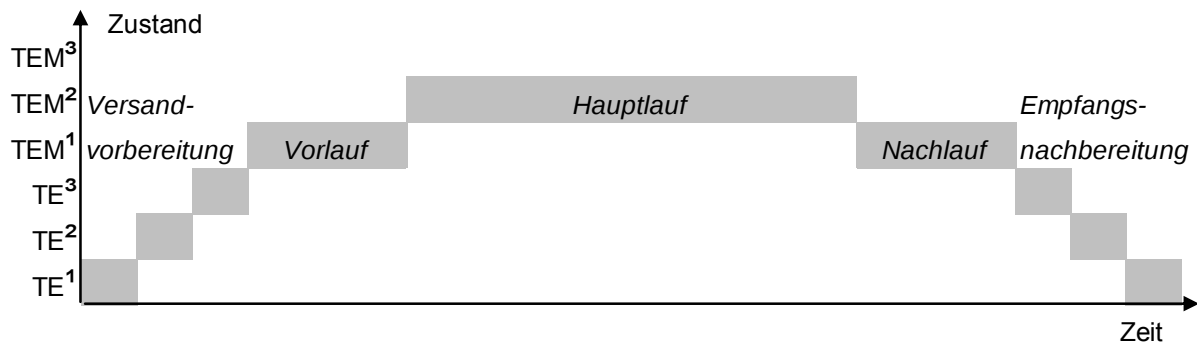


Abbildung 13: Zeit-Zustandsdiagramm für eine intermodale Transportkette ohne Umschlag zwischen den Transportmitteln

Diese Art der intermodalen Transportkette kommt zum Beispiel im RoRo-Verkehr¹⁰ vor.

Mit jedem Zustandswechsel sind auch Identifikationsübergänge verbunden. Diese Identifikationsübergänge führen zu erhöhtem Aufwand in der Informationslogistik, wie einem Zahlenbeispiel der Firma Maersk zu entnehmen ist [SAL-89]:

- An einem internationalen Handelsgeschäft sind durchschnittlich 27 verschiedene Parteien, 40 Originaldokumente sowie 360 Kopien dieser Originale beteiligt
- 200 verschiedene Daten werden festgehalten, von denen 30 ca. 620-mal in den verschiedenen Dokumenten wiederholt werden
- Irrtümer und Fehler entstehen während des Dokumentationsprozesses in 50 % aller internationalen Handelsgeschäfte
- 70 % des von Computersystemen ausgedruckten Materials dient wiederum als Vorlage zur manuellen Erfassung in anderen Computersystemen
- Die Dokumentation und der mit ihr zusammenhängende Aufwand machen inzwischen sieben bis zehn Prozent des endgültigen Warenwertes aus
- 30 % der gesamten Dokumentation betrifft ausschließlich den Warentransport

Diese schon etwas ältere Untersuchung wurde durch ein aktuelles Beispiel aus dem EU-Projekt INTRASEA (Inland Transports on Sea Routes) [MEH-05] in Teilen bestätigt. Im Rahmen dieses Projektes wurde eine Papiertransportkette von Finnland nach Deutschland bezüglich des Informations- und Datenaustausches untersucht. Die Kernaussage dieser Untersuchung war, dass eine Transportkette, bestehend aus Lkw, Seeschiff und Lkw, ca. 100 Informationen und Datentransfers vor, während und nach dem Transport benötigt. Eine ge-

¹⁰ RoRo - Roll on/Roll off

plante Ergänzung dieser Transportkette um ein Binnenschiff im Anschluss an den Seetransport hätte weitere ca. 30 Informationsaktivitäten nach sich gezogen. Zu bedenken ist dabei, dass die Auswahl und die Kombination der Verkehrsträger nicht zur Disposition standen, sondern lediglich deren zeitliche und kapazitive Anforderung bzw. Auslegung.

Das bisherige einfache Zeit-Zustandsdiagramm bzw. die Zustandsdefinitionen können auch mit höherwertigen Modellierungstechniken, wie zum Beispiel Petri-Netzen [PET-62], modelliert werden. So lässt sich folgendes Petri-Netz¹¹ zur universellen Darstellung der zuvor definierten Zustände einer Transportkette angeben (Abbildung 14).

Mit verschiedenen Sequenzen von Schaltfolgen der Transitionen können alle Zustände und auch Formen der Transportkette abgebildet werden. Wird die Anfangsmarkierung auf TE1 gesetzt und zum Beispiel die Schaltfolge $\{t2, t5, t8, t9, t16, t8, t9, t16, t17, t19\}$ gewählt, so werden genau die Stellen durchlaufen, die dem Zustandsverlauf aus Abbildung 12 entsprechen. Das ist ein typischer intermodaler Transport mit Vor-, Haupt- und Nachlauf und den Packprozessen zum Herstellen der Containerladungseinheit. Das in Abbildung 14 dargestellte Petri-Netz bildet jedoch keine Zeiten ab. Diese Erweiterung ist aber im Rahmen der sehr umfassenden Petri-Netztheorie problemlos möglich.

¹¹ Auf Definitionen und Erklärungen von Petri-Netzen wird hier wegen der Vielzahl existierender Publikationen verzichtet

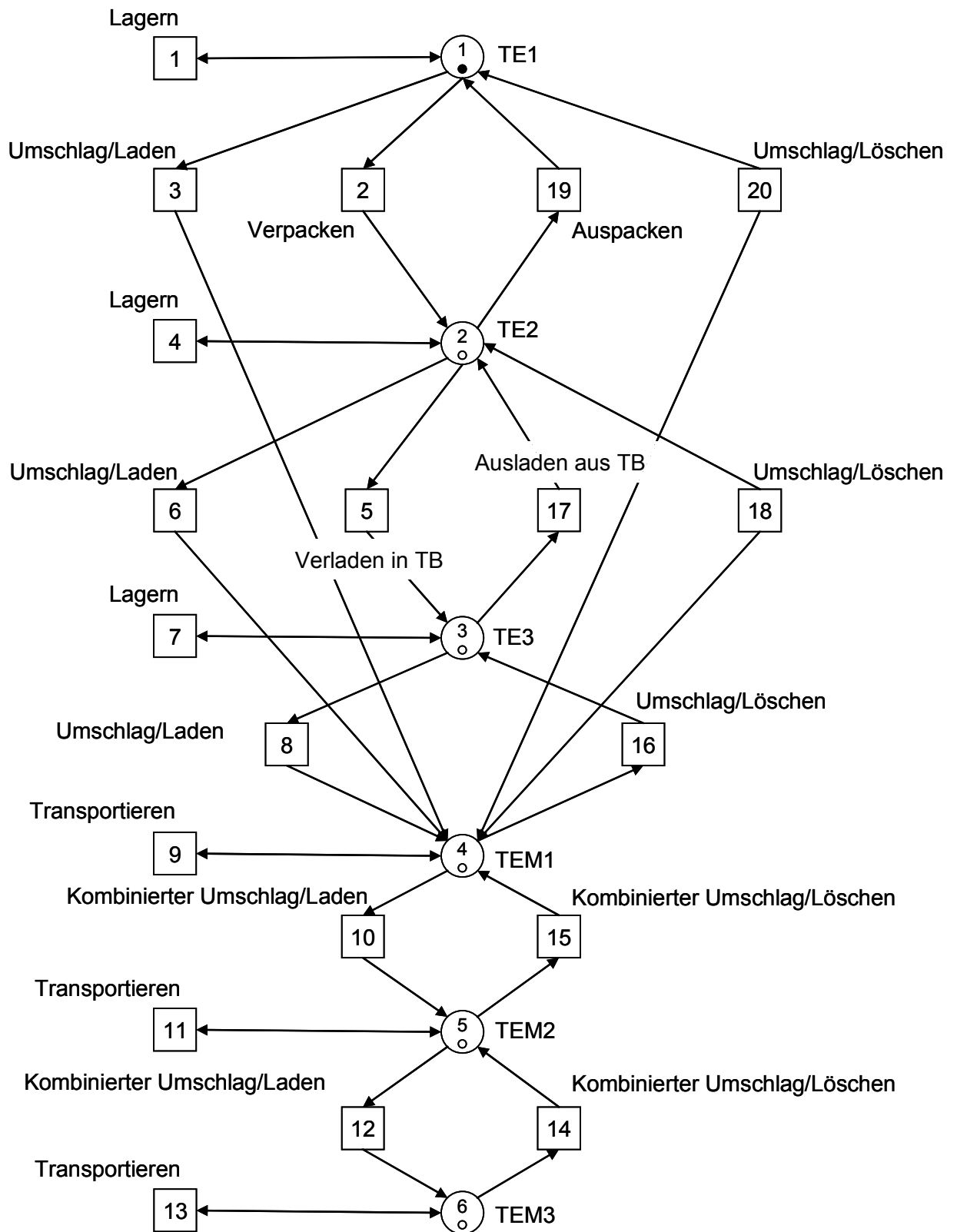


Abbildung 14: Petri-Netz zur Darstellung der Zustände einer Transportkette

Der zugehörige Erreichbarkeitsgraph ist der Abbildung 15 zu entnehmen.

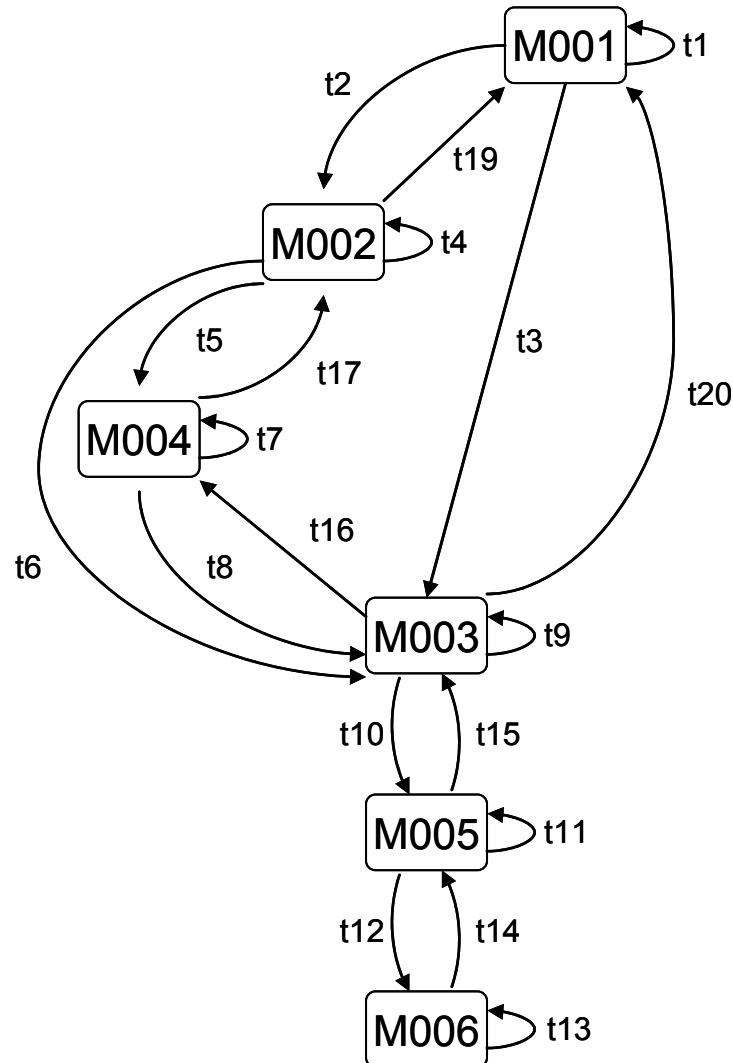


Abbildung 15: Erreichbarkeitsgraph des Petri-Netzes für die Transportkette

Die Zustände $M001$ bis $M006$ repräsentieren die Zustände TE^1 bis TEM^3 aus Abbildung 11. Das Petri-Netz aus Abbildung 14 kann auch stark vereinfacht werden, wenn die Zustände TE^1 bis TE^3 sowie TEM^1 bis TEM^3 jeweils zur Zustandsklasse Transportobjekt und Transportmittel zusammengefasst werden. Dadurch ergibt sich das in Abbildung 16 vereinfachte Petri-Netz mit dem dazugehörigen Erreichbarkeitsgraph.

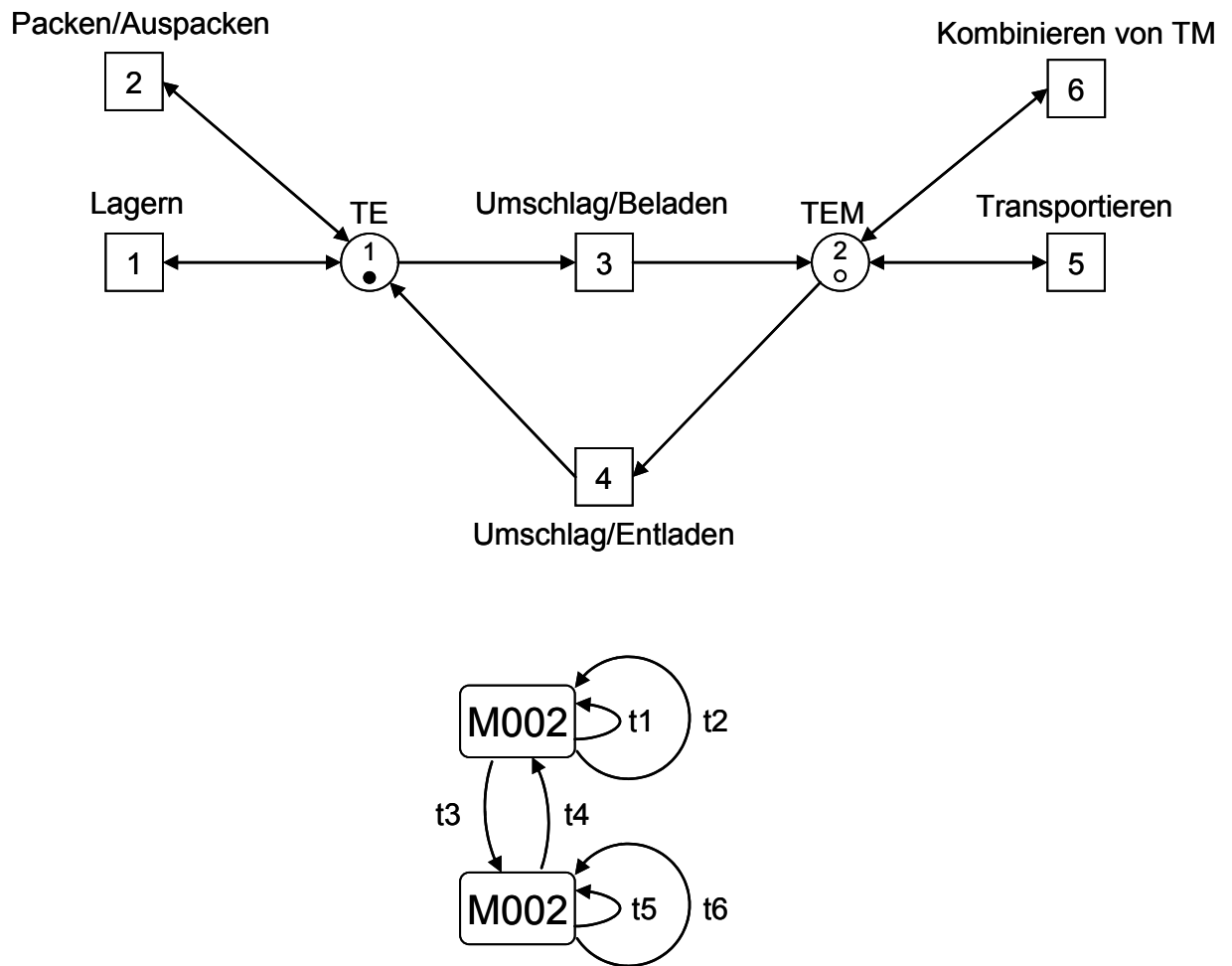


Abbildung 16: Vereinfachtes Petri-Netz und Erreichbarkeitsgraph für eine Transportkette

$M001$ ist damit die Klasse der TE^1 - bis TE^3 -Zustände und $M002$ die Klasse der Zustände TEM^1 bis TEM^3 aus Abbildung 15.

Jede Transportkette benötigt zur Ortsveränderung einen TEM-Zustand, beispielsweise die Fahrt mit einem Containerschiff. Massenverkehrsträger wie das Containerschiff benötigen aber mehrere Transportketten, um überhaupt ökonomisch fahren zu können. Die Konzentration und Aufteilung mehrerer Transportketten übernimmt dabei eine Schnittstelle. Die Struktur und die Funktion der Schnittstelle wird im folgenden Abschnitt näher dargestellt.

2.7 Schnittstellen für Sammel- und Verteilprozesse

Schnittstellen übernehmen den Umschlag und wenn notwendig die Lagerung von Transportgütern zwischen verschiedenen Verkehrsträgern. Eine universelle intermodale Schnittstelle ist dabei so ausgerichtet, dass Transportgüter von einem beliebigen Verkehrsträger auf jeden anderen beliebigen Verkehrsträger direkt oder indirekt übergeben werden können (Abbildung 17).

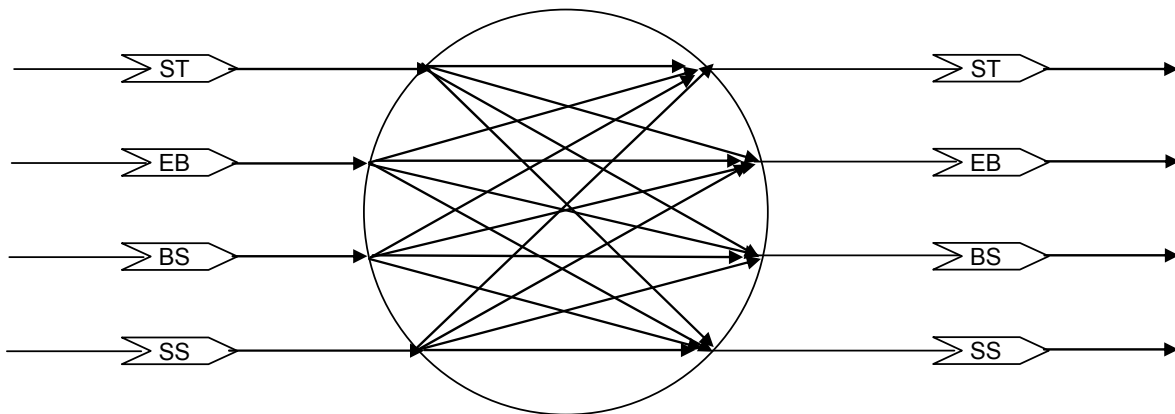


Abbildung 17: Universelle intermodale Schnittstelle

Häfen besitzen in der Regel diese Universalität. Zusätzlich müssen sie auf Grund der unterschiedlichen Größen der Verkehrsträger auch eine unterschiedliche Anzahl von Verkehrsträgern land- wie seeseitig miteinander verbinden. (Abbildung 18).

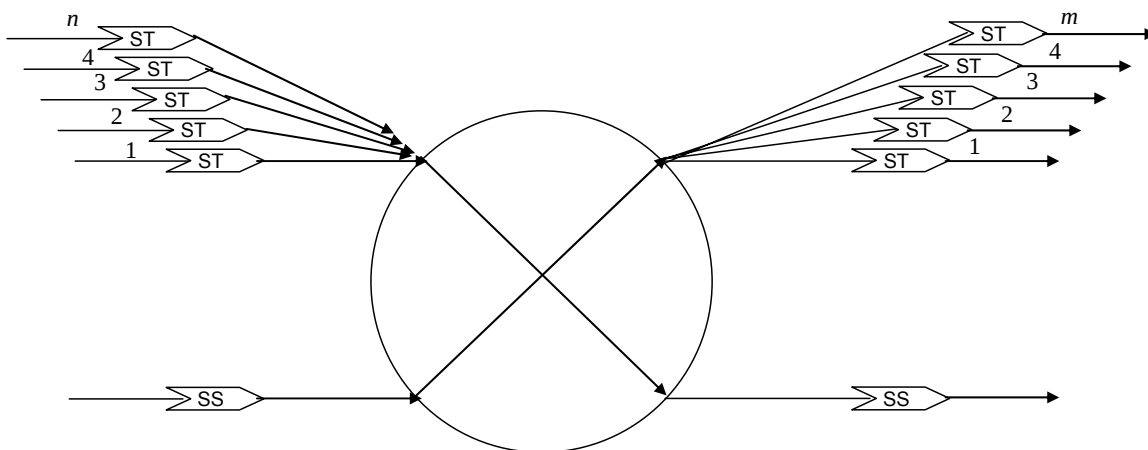


Abbildung 18: Prinzipielle Verbindungsfunktion eines Hafens

Da der Umschlag zwischen vielen kleinen Verkehrsträgern und einem großen Verkehrsträger zwar am selben Ort, aber nicht für alle kleinen Verkehrsträger zur selben Zeit erfolgen kann, sind Lager erforderlich, die die Sammel- und Verteilprozesse zeitlich puffern (Abbildung 19).

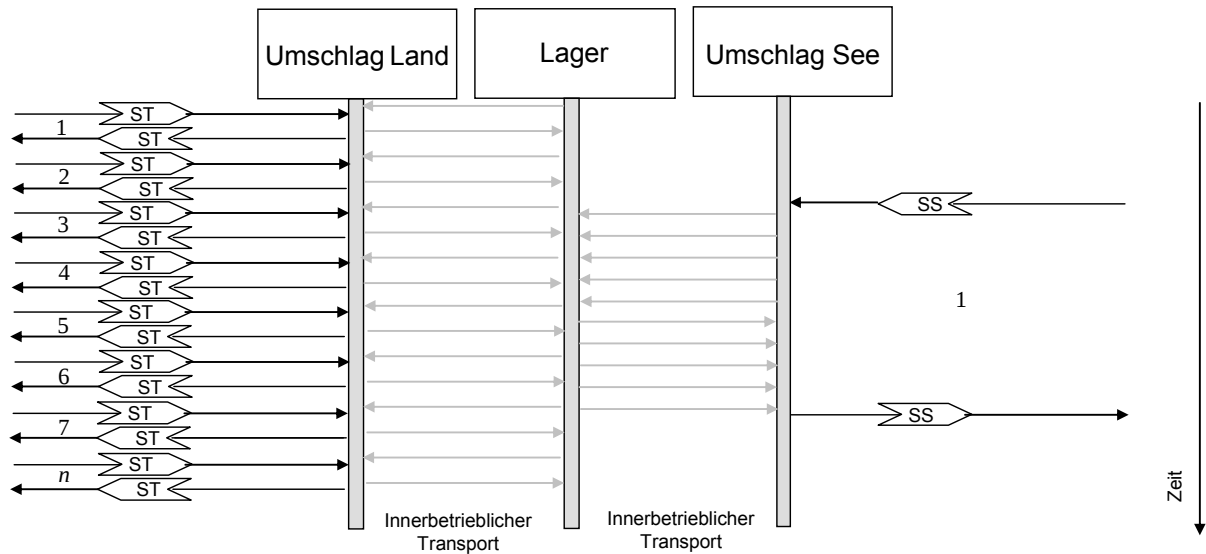


Abbildung 19: Lager zur zeitlichen Pufferung der Sammel- und Verteilprozesse zwischen verschiedenen Verkehrsträgern

Die Bewegung der Transportgüter zwischen den Verkehrsträgern sowie den Umschlag- und Lagereinrichtungen wird durch den innerbetrieblichen Transport realisiert¹². Bei mehreren unterschiedlichen landseitigen Verkehrsträgern (z.B. Eisenbahn und Straßenverkehr) kann die Umschlagfunktion auch separat für jeden landseitigen Verkehrsträger erfolgen (Abbildung 20).

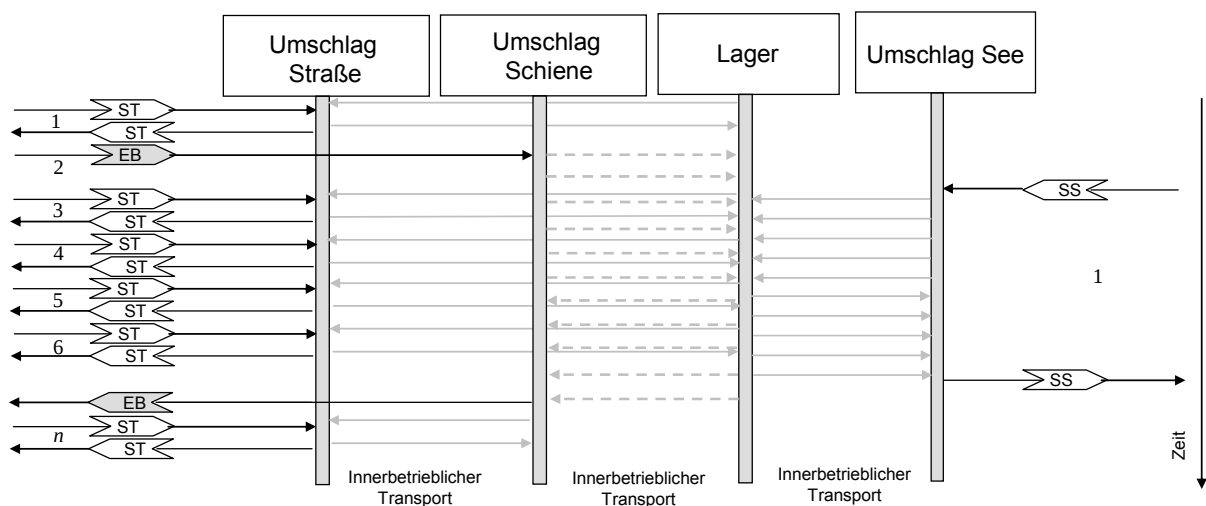


Abbildung 20: Trennung der Umschlagfunktionen für verschiedene Verkehrsträger

¹² Dieser arbeitet in Abhängigkeit des Verkehrsträgers höchst unterschiedlich. Diese Bewegungen sind aber nicht mehr Gegenstand der Untersuchungen

In Abhängigkeit der Ladungsmenge, die zwischen dem Verkehrsträger Schiff und den landseitigen Verkehrsträgern umzuschlagen sind, können folgende Effekte mit zunehmender Schiffsgröße auftreten:

- Anstieg der landseitigen Verkehrsoperationen
- Anstieg des Lagerverbrauches und der Lagerdichte
- Liegezeitverlängerung der Schiffe

Die gegenwärtigen Neubaumengen an Großcontainerschiffen lassen offensichtlich keinen Zweifel daran, dass das widerspruchlos im logistischen Gesamtsystem akzeptiert wird (siehe Abbildung 21).

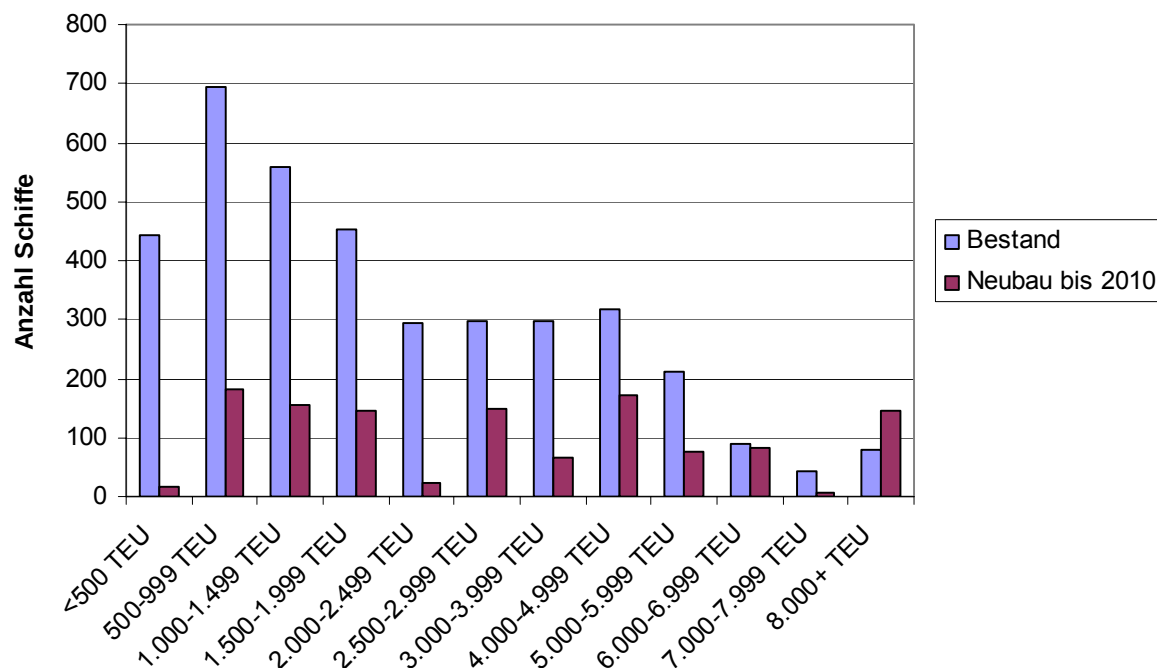


Abbildung 21: Flottenstruktur in der Containerschifffahrt und gegenwärtige Neubauvorhaben [Quelle: HHM auf Basis DRE-06-2, S. 51]

Deshalb soll zunächst die Motivation und Triebkraft des Größenwachstums bei Containerschiffen untersucht werden.

3. Triebkräfte und Grenzen des Größenwachstums von Containerschiffen

3.1 Motivation des Wachstums

Vorraussetzungen für das Wachstum der Containerschiffsgröße sind nach [POE-00] ein Wachsen des weltweiten Seehandels und das Überwinden von Problemen beim Bau und Einsatz von Großcontainerschiffen. Der Welthandel und die seewärtigen Containerströme sind in den letzten 15 Jahren nahezu permanent gestiegen (siehe Abbildung 22).

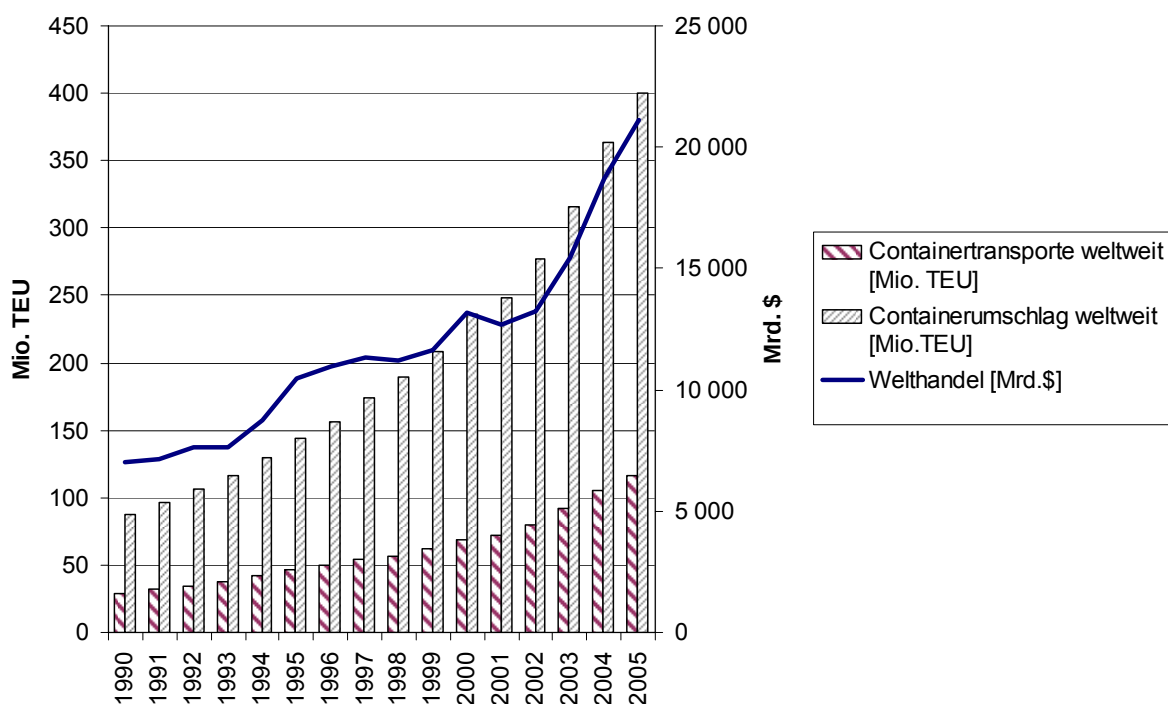


Abbildung 22: Jahresreihen des Welthandels, der weltweiten Containertransporte sowie des weltweiten Containerumschlags [WTO 2005; ISL-05-1; HHM auf Basis DRE-06-02]

Begrenzende technische Faktoren sind nach [POE-02; HAU-00]:

- Rollperiode des Schiffes und Zurrkräfte der Deckscontainer,
- Tiefgang,
- Festigkeit und Steifigkeit der Stahlkonstruktion,
- verfügbare Großmotoren und ihr Teillastverhalten bei Revierfahrt und
- Anpassung der terminalseitigen Förder- und Transporttechnik an die Schiffsgröße.

Die Diskussion dieser Faktoren wurde im Zusammenhang mit Schiffsgrößen von 7.000 – 8.000 TEU geführt.

Inzwischen wurde während der hier geführten Untersuchung ein Schiff von ca. 12.500 TEU¹³ in Betrieb genommen. Es wird impliziert, dass die aufgeführten technischen Probleme bis zu dieser Schiffsgröße lösbar waren. Vermutlich ermöglichen technische und technologische Innovationen auch den Bau noch größerer Schiffe.

Häufig ist der Bau größerer Schiffe durch folgende oder ähnliche Argumente gestützt:

- Ein Schiff mit 10.000 TEU ist 27 % günstiger als ein Schiff mit 6.000 TEU und 40 % günstiger als ein Schiff mit 4.000 TEU Kapazität [WIL-02].
- Samsung Heavy Industries meint, dass Containerschiffe mit 12.000 TEU 11 % günstiger sind als Schiffe mit einer Kapazität von 8.000 TEU und 23 % Einsparungen gegenüber Schiffen mit 4.000 TEU Kapazität bieten [NOT-02].
- Drewry Shipping Consultants errechneten, dass Schiffe der Größenordnung von 10.000 TEU 50 % günstiger sind im Vergleich zu Schiffen der Größe von 4.000 TEU [NOT-02].
- Ein Schiff der Größe von 8000 TEU ist 25 bis 30 % günstiger als ein Schiff mit 4.000 TEU [IHL-03].

Die Angaben zu den Einsparungen variieren zwar teilweise bei gleicher Schiffsgröße, zeigen aber die gleiche Richtung auf. Da die Angaben zu den Einsparungen unspezifiziert sind, sollen die Gründe dafür systematisiert und transparent dargestellt werden.

3.2 Economies of Scale

3.2.1 Vorbemerkung

Mit dem Größenwachstum verbindet sich ein Vorteil, der unter dem Namen Economies of Scale (EoS) bekannt ist. Die EoS besagen, dass die Nutzung eines größeren Schiffes pro Container gesehen günstiger ist als die Nutzung eines kleineren Schiffes, wobei die gleiche Auslastung vorausgesetzt wird. EoS werden an der Stellplatzkapazität gemessen [NOT-02, S. 4]. EoS begründen sich vornehmlich darin, dass sich die Fixkosten auf eine höhere Anzahl der Containerstellplätze verteilen und demzufolge die Kosten pro Container niedriger ausfallen. Die wesentlichen Kostenanteile sind nach Stopford [STP-02]:

- Kapitalkosten,

¹³ Emma Maersk, vormals Projekt L203

- operative Kosten,
- Bunkerkosten,
- Frachtakquirierung.

Die erhofften EoS-Effekte werden kurz erläutert.

3.2.2 Kapitalkosten

Pro Containerstellplatz ist eine Senkung der Kapitalkosten zu erwarten. Das ist durch zwei Faktoren begründet: Zum einen steigt die notwendige Antriebsleistung nur mit der Potenz 0,7 gegenüber der Schiffsgröße [POE-02] und zum anderen nehmen die Kosten für den umbauten Raum ab. Das in Abbildung 23 dargestellte Würfelbeispiel soll das verdeutlichen.

Der Würfel B soll das doppelte Volumen von Würfel A haben. Übertragen auf ein Schiff würde das eine doppelte Ladekapazität bedeuten. Das Volumen V_A lässt sich aus der dritten Potenz der Kantenlänge a berechnen.

$$V_A = a^3.$$

Die Oberfläche A_A des Würfels ergibt sich zu:

$$A_A = 6 \times a^2$$

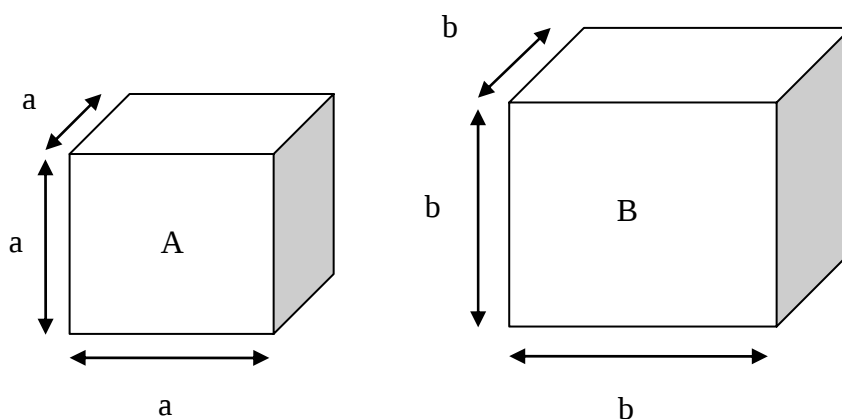


Abbildung 23: Zusammenhang zwischen Volumen und Oberfläche bei der Vergrößerung des umbauten Raumes

Die Oberfläche ist ein Maß für die Baukosten eines Schiffes, weil sich dahinter der eigentliche Materialverbrauch verbirgt. Das Volumen V_B des zweiten Würfels ist 2-mal größer.

$$V_B = 2 \times V_A$$

Damit hat der Würfel B die Kantenlänge

$$V_B = 2 \times a^3 = b^3$$

$$b = \sqrt[3]{2}a$$

$$b \approx 1,26 a$$

und die Oberfläche

$$A_B = 6 \times (1,26 a)^2$$

$$A_B \approx 1,59 \times A_A$$

Bei doppeltem Volumen hat sich die Oberfläche nur um ca. 59 % vergrößert. Bei größeren Schiffen wird also relativ gesehen weniger Oberflächenmaterial benötigt. Jedoch wird dieser Large-Scale-Effect durch dickere Materialstärken und stärkere Tragwerkskonstruktionen bei größeren Schiffen teilweise wieder aufgehoben [MÜL-05].

3.2.3 Operative Kosten

Operative Kosten fallen während des täglichen Betriebes eines Schiffes, unabhängig von Hafen- oder Seetagen, an. Nach [STP-95, S. 99] sind das:

- Besatzungskosten,
- Proviantkosten,
- Verwaltungskosten,
- Reparatur- und Wartungskosten sowie
- Versicherungsprämien.

Die Besatzungsstärke bleibt bei Schiffen ab einer Größe von ca. 2.000 TEU gleich groß (ca. 24 Besatzungsmitglieder, siehe Tabelle 7, S. 52). Mit steigender Schiffsgröße werden somit die gleichen Besatzungskosten auf immer mehr Stellplätze umgelegt. Für die Proviant- und Verwaltungskosten gilt das Gleiche.

Die Reparatur- und Wartungskosten orientieren sich an der Investitionssumme. Da bei der Investitionssumme ein Economy of Scale eintritt, kann er auch bei den Reparatur- und Wartungskosten eintreten.

Bei den Versicherungskosten sind der Wert des Schiffes und der Ladung zu unterscheiden. Oftmals übersteigt der Wert der Ladung den Wert eines Schiffes um ein Vielfaches. Im Schnitt hat ein großes Containerschiff Ladung im Wert von 0,5 bis 1 Milliarde Euro an Bord [MAH-04]. Das ist bei weitem mehr als die gegenwärtig teuersten Containerschiffe der Welt kosten (siehe Tabelle 6, S. 48). Wird nur die Versicherung des Schiffes herangezogen, so würde sich ein EoS einstellen, da die Investitionssumme des Schiffes ebenfalls einem EoS unterliegt. Mit zunehmender Schiffsgröße wird aber auch mehr Ladung an einem Ort konzentriert. Wenn für jedes Schiff das gleiche Ereignis- oder Eintrittsrisiko eines Schadens- oder Havariefalles angesetzt wird, so ist bei größeren Schiffen mehr Ladung davon betroffen, bei kleineren dementsprechend weniger. Beim Start einer Transportkette ist aber häufig überhaupt nicht bekannt, welches konkrete Schiff für den Überseetransport genutzt wird. Somit kann das erhöhte Risiko, das sich durch die größere Ladungskonzentration auf größeren Schiffen ergibt, relativ schlecht durch Versicherungsprämien auf die Ladung umgelegt werden. Das Versicherungsrisiko wird deshalb am Schiff festgemacht. Weiterhin kommt hinzu, dass sich seit 2001 besonders die Seekasko- und Haftpflichtversicherung mit prozentual zweistelliger Prämienerrhöhung insgesamt verteuert hat [OV3-03].

3.2.4 Bunkerkosten

Bunkerkosten setzen sich aus dem Verbrauch von Schweröl, Brennstoff für die Hilfsaggregate und Schmieröl zusammen. Schweröl für die Hauptmaschine ist dabei der Hauptbestandteil. Nach [POE-02] soll die Antriebsleistung der Hauptmaschine nur mit der Potenz 0,7 mit zunehmender Schiffsgröße steigen, was einem EoS entspricht. Es ist jedoch zu beachten, dass größere Schiffe häufig auch schneller fahren als kleinere. Dadurch steigt wiederum die Antriebsleistung, so dass der EoS zu Gunsten einer höheren Geschwindigkeit bei gleichen Hauptmaschinenkosten wieder aufgehoben wird. Weiterhin ist zu beachten, dass diese Vergleiche auch nur zulässig sind, so lange nur eine Hauptmaschine eingesetzt wird. Macht die Schiffsgröße es erforderlich, zwei Hauptmaschinen – gegebenenfalls mit einer Z-Propelleranlage – einzusetzen, so ist ein deutlicher Anstieg in der Investitionssumme zu verzeichnen. Unter Einhaltung dieser Randbedingung, dass nur eine Hauptmaschine erforderlich ist, kann mit zunehmender Schiffsgröße ein EoS bei den Bunkerkosten erreicht werden [LEM-01].

3.2.5 Frachtakquirierung

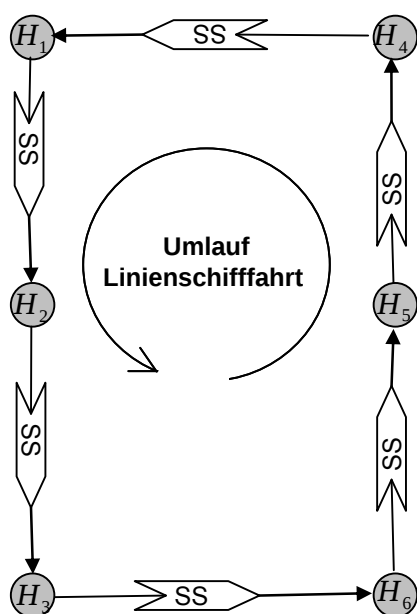
Es ist zu erwarten, dass Kostenvorteile durch EoS vom Markt nicht unbeachtet bleiben und dadurch Zugeständnisse bei den Frachtraten (Einnahmen der Reeder) notwendig sind. Durch diesen Preisnachlass kann der Container aber für Güter, die bisher als Massengut verschifft wurden, interessant werden. Dadurch würde dann wieder eine erhöhte Nachfrage nach Containern entstehen [STP-00]. Ob diese erhöhte Nachfrage wiederum zu angehobenen Frachtraten führt, kann nicht gesagt werden. Dieser Effekt führt aber dazu, dass für die zusätzlichen neuen Stellplätze neue Ladungsarten gefunden werden können. Insofern könnte hier ein EoS für neue Marktanteile definiert werden.

3.3 Diseconomies of Scale

3.3.1 Wechsel des Operationsmodus

Die Vergrößerung der Schiffe kann aber auch zu nachteiligen Effekten, die als Diseconomies of Scale (DoS) bezeichnet werden, führen. Die Nachteile sind jedoch weniger in den konstruktiven Bereichen der Schiffe zu suchen, sondern vielmehr in den eingeschränkten bzw. teuren Operationen. Um dies zu umgehen, werden häufig Hub-Feeder-Systeme (HFS) anstatt der Multi-Port-Systeme (MPS) vorgeschlagen. Der prinzipielle Unterschied zwischen MPS und HFS ist beispielhaft in Abbildung 24 dargestellt.

Multi-Port-System (MPS)



Hub-and-Feeder-System (HFS)

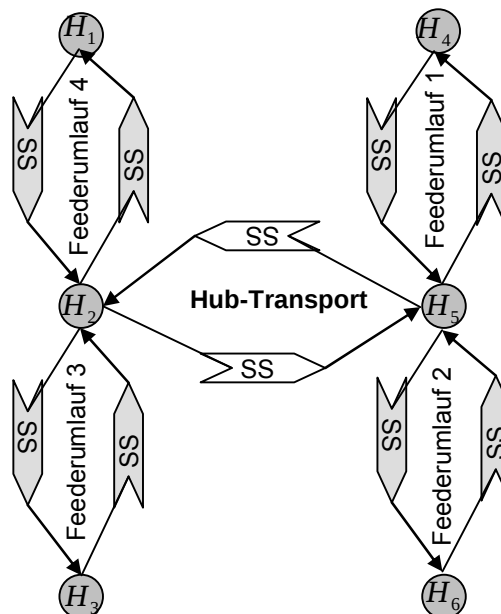


Abbildung 24: Prinzipieller Unterschied zwischen Multi-Port-System und Hub-and-Feeder-System

Beim MPS werden die Häfen in eine Rundreise gelegt, wobei Häfen auch während einer Rundreise mehrfach vorkommen dürfen. Dieses System ist vorherrschend. Beim Einblick in die im Internet frei verfügbaren Segelpläne der namhaften Reedereien konnte nur dieser Liniendienst gefunden werden.

Beim HFS soll ein großes Schiff zwischen zwei Haupthäfen (Hubs) pendeln und die übrigen Häfen sollen durch kleinere Containerschiffe versorgt werden. Dieses System muss die Container mehrfach zwischen den Schiffen umschlagen, was zu einem Kostenanstieg im Sinne der DoS führen kann. Gegenwärtig sind keine HFS für größere Containermengen bekannt. Die Durchlaufzeiten der Container im HFS gegenüber dem MPS würden auch auf Grund des mehrfachen Umschlags und der Zwischenlagerung zwischen einigen Häfen steigen. Bei gleicher Frachtrate für beide Systeme würde eine verlängerte Durchlaufzeit wohl kaum vom Markt akzeptiert werden. Das kann zu niedrigeren Frachtraten bei größeren Schiffen, die im HFS operieren, führen.

Es ist auch zu beachten, dass gegenwärtig nur wenige Häfen für sehr große Containerschiffe in Frage kommen. Insbesondere die Tiefgangsvoraussetzungen können nur wenige Häfen erfüllen. Damit entsteht eine Abhängigkeit der großen Schiffe von wenigen Häfen, was wiederum zu höheren Umschlagkosten (Ausnutzung der Monopolsituation) führen kann [VLK-03].

3.3.2 Hafenkosten

In einer ganzheitlichen Betrachtung ist zu berücksichtigen, dass für größere Containerschiffe auch investitionsstärkere Hafenanlagen inklusive der Hafenzufahrten erstellt werden müssen. Die Kosten in den Häfen richten sich deshalb auch an der Schiffsgröße aus. Bisher werden aber noch keine verursacherabhängigen Kosten im eigentlichen Sinne berechnet. Berücksichtigt man die Flottenstruktur aus Abbildung 21, so wird klar, dass die teureren Hafeninvestitionen für eine relativ kleine Anzahl von Schiffen, die auch nur wenigen Reedern gehören, vorgenommen wird. Im pazifischen Verkehr spielen beispielsweise lediglich 10 Reedereien eine Rolle (siehe auch Tabelle 19, S. 110). Sollte diesem Umstand bei knappen Haushaltskassen für die öffentlichen Infrastrukturmaßnahmen einmal Rechnung getragen werden, so sind hier überproportionale Hafenkosten zu erwarten.

3.3.3 Investitionsvolumen für einen Containerdienst

Neben dem Risiko der zusätzlichen Kosten und der Durchlaufzeiterhöhung für einige Container im HFS ist auch die sehr hohe absolute Investitionssumme, die mit der steigenden Schiffsgröße einhergeht, als Diseconomies of Scale zu betrachten. Es ist zu beachten, dass für einen Europa-Fernostdienst ca. 7 bis 10 Schiffe für einen Dienst mit einer Abfahrtsfrequenz von 7 Tagen gebraucht werden (im MPS). Bei möglichen Stückpreisen von mehr als 100 Mio. \$ pro Schiff treten hier erhebliche finanzielle Risiken für Investoren oder Finanzgesellschaften auf, die sich gegebenenfalls in höheren Zinsen für das notwendige Investitionskapital niederschlagen.

Reeder sichern sich häufig gegen das erhöhte Risiko einer nicht profitablen Investition durch den Einbezug von Schiffsbeteiligungsgesellschaften ab [VLK-03]. Hierbei bringt ein Fonds die nötigen Finanzmittel zum Bau der Containerschiffe auf. Die Containerschiffe werden dann üblicherweise für 10 Jahre an einen Reeder für eine fixe Tagesrate verchartert. Nach dieser Nutzungsdauer werden neue Tagesraten verhandelt oder neue Charterer gesucht. Für die Reeder ergeben sich damit die Vorteile, dass das Betriebsrisiko nur für eine relativ kurze Zeit bei ihnen liegt und sie flexibler auf Veränderungen am Markt reagieren können. Es findet damit eine Risikoverlagerung vom Reeder auf die Schiffsbeteiligungsgesellschaft statt, was die Risikobereitschaft der Reederschaft tendenziell erhöht.

3.4 Verifikation des Größenwachstums aus ganzheitlicher Sicht

Die Economies und Diseconomies of Scale sind von einer Vielzahl von Faktoren abhängig. Das kostenoptimale Schiff ergibt sich aus dem Minimum der Überlagerung beider Tendenzen (siehe Abbildung 25).

Bei dieser Betrachtungsweise wird bemängelt, dass die Auslastung für alle Schiffe gleich gesetzt wird [HAU-02, S. 49]. Mit dieser Vereinfachung wird es jedoch ermöglicht, das optimale Schiff für ein gegebenes Fahrtgebiet (DoS sind abhängig vom Einsatz) auszuwählen. [VLK-03] zeigt jedoch Risiken im Schiffsgrößenwachstum auf, die sich durch Wettbewerbssituationen in der Containerschifffahrt ergeben können. Diese Risiken sollen an einem fiktiven Fallbeispiel mit 4 Wettbewerbern erläutert werden.

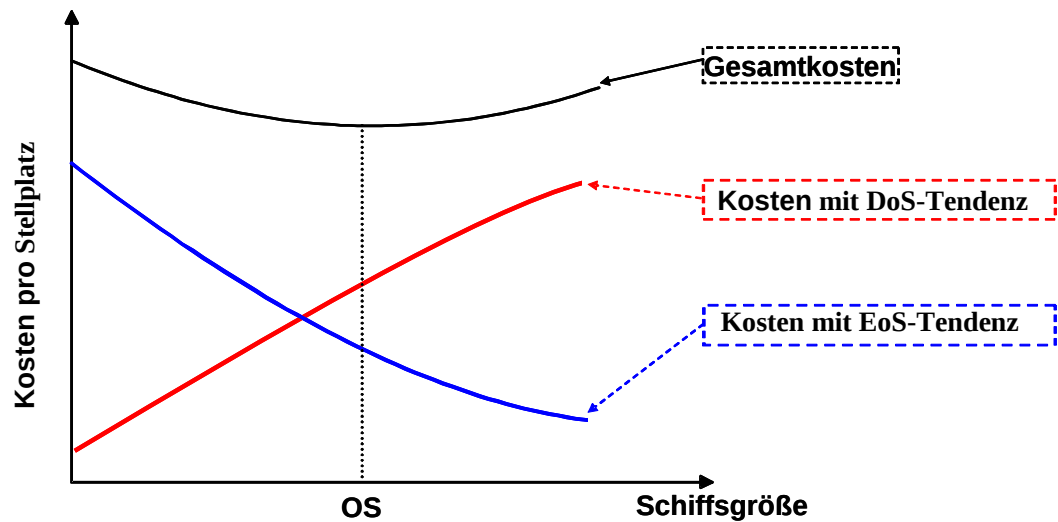


Abbildung 25: Theoretische Bestimmung der optimalen Schiffgröße [nach JAN-87, S. 139]

Auf einer fiktiven Route mit einem wöchentlichen Volumen von 16.000 TEU verkehren vier Linienreedereien mit je einem Schiff. Jede Reederei setzt Schiffe mit einer Ladekapazität von 4.000 TEU ein (Abbildung 26).

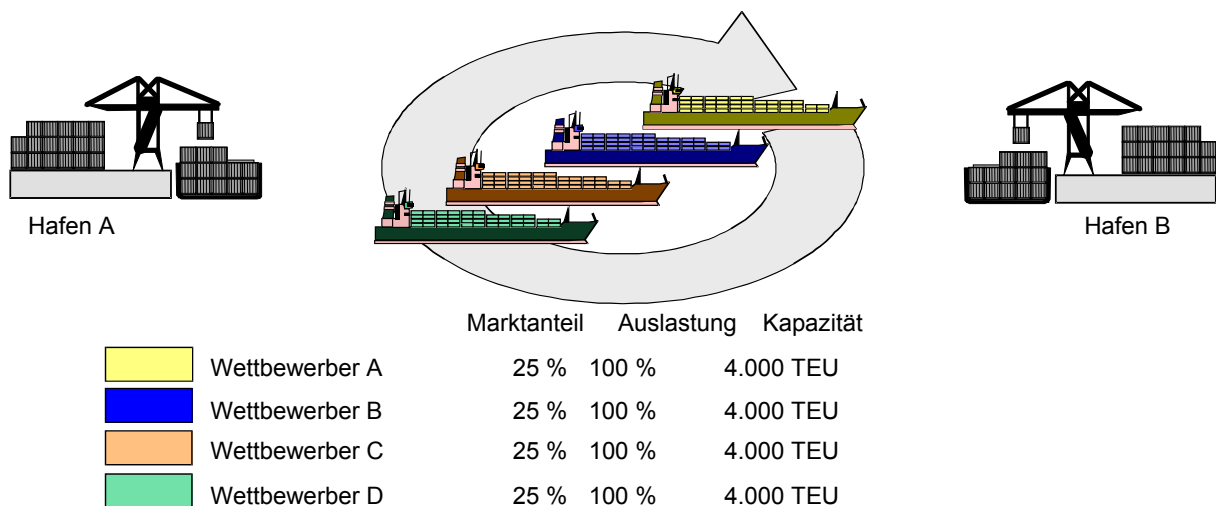


Abbildung 26: Ausgangssituation des fiktiven Fallbeispiels

Damit lässt sich in der angenommenen Ausgangssituation die Marktnachfrage insgesamt befriedigen. Der Wettbewerber A, motiviert durch ein prognostiziertes Marktwachstum von 12,5 % pro Jahr, setzt auf die Vorteile der EoS und ersetzt sein Schiff durch ein Schiff mit einer Kapazität von 6.000 TEU. Dieser Reeder bietet ab sofort 50 % mehr Laderaum mit je-

der Abfahrt an. Die am Markt spürbare Angebotsseite nimmt damit um 12,5 % zu. Bleiben die Marktanteile der Reeder unverändert, so hat Reeder A zunächst nur eine Auslastung von 66 %. Da er jedoch ein größeres Schiff mit niedrigeren Slotkosten besitzt, kann er die Frachtraten senken und akquiriert auf Kosten der anderen Reeder jeweils 667 TEU. Damit erreicht sein Schiff eine Auslastung von 100 % (Abbildung 27).

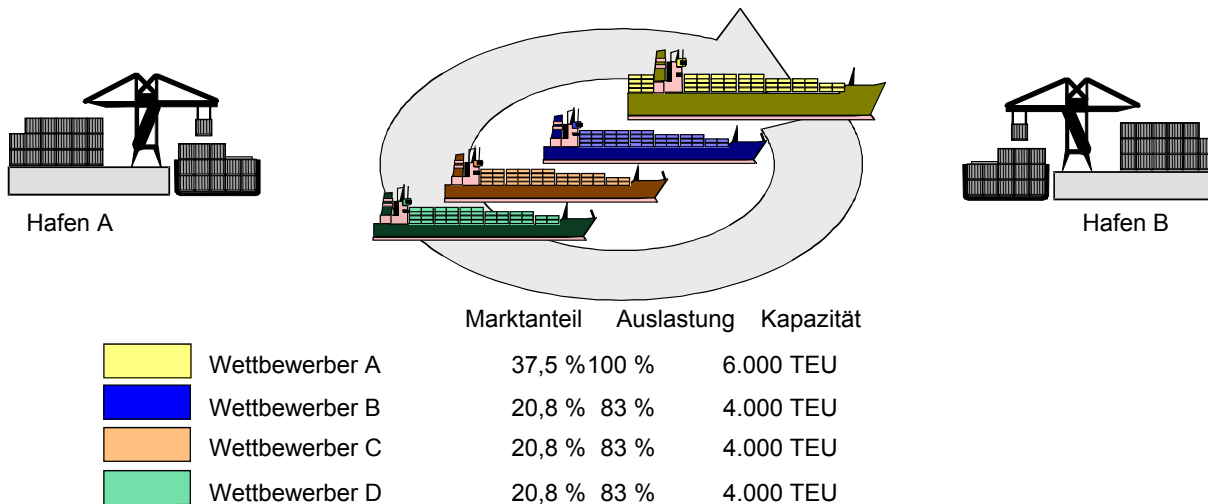


Abbildung 27: Erhöhung des Marktanteils im fiktiven Fallbeispiel

Die übrigen Reeder erleiden nun Auslastungsverluste. Gleichzeitig haben sie auch die höheren Kosten pro Slot, von denen im Durchschnitt 17 % nun auch nicht mehr belegt sind. Gegenüber dem Mitbewerber A fahren sie stark defizitär. Da sie den Erfolg des Mitbewerbers und auch die Marktprognose von 12,5 % Containeraufkommen sehen, beschließen sie ihrerseits, Schiffe mit 7.000 TEU in Fahrt zu nehmen. Das Angebot steigt damit auf 27.000 Container oder um 69 % pro Woche. Auch wenn der Bau der Schiffe der Mitbewerber B, C und D mindestens 1 oder 2 Jahre dauert, wird damit die Wachstumsrate von 12,5 % bei weitem übertroffen. Es tritt eine Marktsättigung wie in Abbildung 28 dargestellt ein. Eine Kapazität von ca. 7.000 TEU wöchentlich ist zu viel auf dem Markt.

Eine Folge ist wahrscheinlich, dass die Preise für Containertransporte stark fallen. Für den Wettbewerber A kommt erschwerend hinzu, dass er nun die höchsten Slotkosten hat, aber auch noch ein recht neues Schiff. Aus seiner ehemaligen Innovation ist in kürzester Zeit ein Relikt geworden. Er braucht aber konkurrenzfähige Kosten, um gegen die Mitbewerber bestehen zu können. Entweder er steigt aus dem Geschäft aus oder er investiert wiederum in ein neues, größeres Schiff. Es entsteht ein Teufelskreis, der sich, sobald die Überkapazität durch das Marktwachstum ausgeglichen ist, wieder in Gang setzt [NOT-02, S. 4].

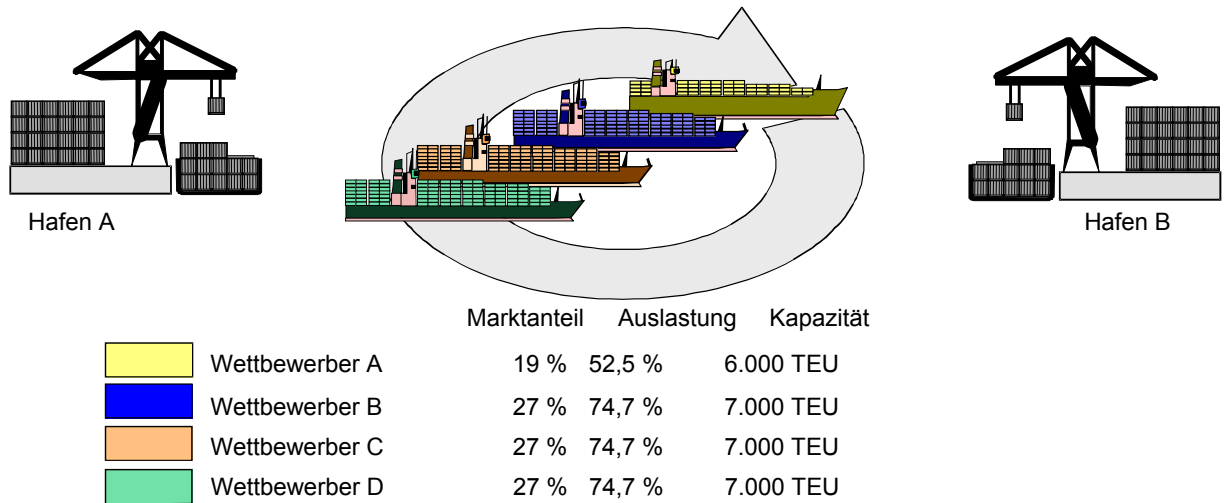


Abbildung 28: *Übersättigung des Marktes mit Transportangeboten*

Abbildung 29 bestätigt diese Aussage durch die Berg- und Talfahrt der Schiffsneubaupreise. Die Marktentwicklung als Anlass für den Bau größerer Schiffe zu nehmen, erscheint daher als höchst unplausibel. Vielmehr stellt sich die Frage, ob das System Containerschifftransport nicht in sich einen optimalen Punkt besitzt, der es zwar nicht unabhängig vom Markt macht, es aber in geringerer Weise auf Marktschwankungen reagieren lässt. Deshalb soll eine ausführliche Wirtschaftlichkeitsanalyse zum Größenwachstum der Containerschiffe durchgeführt werden, um die Einflussfaktoren und die Möglichkeit zur Reaktion transparent darzustellen.

An dieser Stelle sei nochmals darauf verwiesen, dass diese Untersuchung dem Ziel dient herauszufinden, wie und ob sich die anderen an der Containertransportkette beteiligten Glieder auf ein recht ungehemmtes Wachstum der Containerschiffsgrößen einstellen müssen, was ja beispielsweise für die Häfen mit erheblichen Investitionen, meistens mit öffentlichen Mitteln, verbunden ist. Da durchaus die Möglichkeit der Herausbildung optimaler Schiffsgrößen, die markant unter den Superschiffsgrößen liegen, besteht, hat die Kenntnis über Möglichkeiten und Grenzen der Containerschiffsgrößenentwicklung sowohl theoretische als auch praktische Bedeutung.

4. Kosten- und Leistungsmodell zur Bewertung von Containerschiffsgrößen

4.1 Vorbemerkung

Das Kosten- und Leistungsmodell zur Bewertung von Containerschiffsgrößen wird über eine technisch-ökonomische Untersuchung, die auf Kosten, Einnahmen sowie Häufigkeit der Nutzung innerhalb einer Zeitperiode gerichtet ist, entwickelt. Dafür sind zunächst Kosten- und Einnahmenkoeffizienten pro Zeit- und Leistungseinheit zu definieren bzw. zu recherchieren. Das Verhältnis aus Gewinn und Kosten pro Rundreise wird als Rundreiserendite, der Anstieg der Rundreiserendite über die Zeit als Produktivität definiert. Beide Größen sollen als ein Maß für die Wirtschaftlichkeit eines Containerschiffes dienen. Dieser Ansatz wird als umfassender als die traditionell nur auf die Kosten ausgerichteten Betrachtungen wie beispielsweise in [CUL-98; JAN-87; KRA-97 S. 63; REI-04 S. 139; STP-95] angesehen. Die wesentlichen Bestandteile des Kostenmodells sind Fixkosten, die permanent für ein Schiff unabhängig von dessen Einsatz gelten sowie variable Kosten, die sich aus der Anzahl der beförderten Container sowie der Routen- und Umlaufgestaltung ergeben. Diesen Kosten werden Einnahmen aus den gleichen Routen- und Umlaufbedingungen gegenübergestellt. Die Entwicklung der Kosten und Einnahmen in Abhängigkeit der Schiffsgrößen soll zunächst an ausgewählten Fallbeispielen und dann in einem generalisierten Umlaufmodell der Linienschiffahrt untersucht werden.

Um die Vielzahl existierender und noch im Bau befindlicher Containerschiffe auf Basis eines einheitlichen Schemas zu vergleichen, ist die Definition von Schiffsgrößenclustern notwendig. Es sei angemerkt, dass auch die gewählte Entwurfsgeschwindigkeit der Schiffe in bedeutendem Maße die Kosten beeinflusst [MAN-05]. Hier wird jedoch zunächst davon ausgegangen, dass in der Linienschiffahrt aus Gründen der Fahrplangestaltung unter Wettbewerbsbedingungen die Entwurfsgeschwindigkeiten nahezu unabhängig von der Schiffsgröße in einem relativ engen Intervall zu wählen sind. Insofern wird für die einzelnen Schiffsgrößencluster eine jeweils typische Schiffsgeschwindigkeit unterstellt.

4.2 Schiffsgrößencluster

Die Kosten gestalten sich in Abhängigkeit der Containerschiffsgröße. Die Schiffsgröße ist aber keine in normierten Abständen¹⁴ anwachsende Kennzahl eines Schiffes, sondern sie unterliegt zum Beispiel den aktuellen technischen Möglichkeiten der Werften und den jewei-

¹⁴ Abgesehen von der Breitenbegrenzung durch den Panamakanal

ligen Anforderungen der Reeder bzw. Schiffseigner. Daher ist nahezu jedes Schiff auf der Welt ein Unikat [PAWE-97, S. 9]. Um hier eine allgemein gültige Betrachtung zu ermöglichen, werden Schiffsgrößencluster entwickelt, in dem die Schiffe in 1.000-TEU-Klassen geordnet sind. Ein 1.500-TEU-Schiff beispielsweise gehört der Klasse 1.000 bis 2.000 TEU an. Jeweils drei Beispielsschiffe werden einer Klasse zugeordnet und ihre Daten gemittelt. Das Cluster ist durch folgende Parameter beschrieben:

- Tragfähigkeit (dwt) in Tonnen
- Nominelle Anzahl TEU-Stellplätze
- Dienstgeschwindigkeit in kn
- Antriebsleistung in kW
- Länge über alles in m
- Bruttoreaumzahl (BRZ)

Der Neubaupreis der Schiffe ist zumeist nicht mit angegeben. Die Ermittlung des Neubaupreises wird später im Abschnitt Kapitalkosten diskutiert.

Es werden Schiffe bis zu einer Größenordnung von 12.000 bis 13.000 TEU betrachtet. Für Schiffe in einer Größenordnung ab 10.000 TEU liegen bis heute relativ wenige Daten vor oder es existieren noch keine drei Schiffe, so dass in diesem Bereich einige Daten geschätzt bzw. aus Studien entnommen werden müssen (siehe Tabelle 4). Die Malaccamax-Studie [WIJ-00] wird ebenfalls mit in die Betrachtung aufgenommen und stellt ein Extrembeispiel für eine Schiffsgröße dar.

4.2 Schiffsgrößencluster

Schiffsgrößen-Korridor	Schiffsnamen	Tragfähigkeit [t] dwt	TEU-Angabe Stellplätze TEU	Geschwindigkeit [kn]	Antriebsleistung [kW]	Länge [m]	BRZ
TEU 0-1.000	Durchschnitt 0-1.000	7673	645	17	5833	116	6452
	Amsteldijk	4722	366	16,0	3800	100	2978
	Borussia Dortmund (Teamlines)	7147	700	16,5	5300	115	6378
	Birkaland (Teamlines)	11150	868	18,0	8400	134	10000
TEU 1.000-2.000	Durchschnitt 1.000-2.000	22575	1400	19	10763	169	17315
	AGNETE MÆRSK	17375	1100	18,1	10081	155	14120
	TROENSE MÆRSK	21825	1350	18,6	10627	162	16982
	CECILIE MÆRSK	28525	1750	19,0	11582	191	20842
TEU 2.000-3.000	Durchschnitt 2.000-3.000	40336	2761	21	22760	225	34649
	Humboldt Express Klasse	34030	2181	18	14600	206	32444
	Bonn Express Klasse	45977	2803	22	24800	236	35915
	CMA CGM CHARDIN	41000	3300	22,5	28880	232	35589
TEU 3.000-4.000	Durchschnitt 3.000-4.000	46510	3595	24	31670	251	39698
	OOCL Friendship	45863	3218	24	33016	249	42023
	CMS Norfolk Express	45117	3607	23,5	32412	245	36606
	VILLE D'AQUARIUS	48550	3961	23,7	29582	259	40465
TEU 4.000-5.000	Durchschnitt 4.000-5.000	66327	4848	23	36877	288	57898
	Hannover Express Klasse	67680	4639	23	36510	294	53783
	Antwerpen Express Klasse	67145	4890	24	40040	294	54437
	APL CYPRINE	64157	5016	22,5	34080	275	65475
TEU 5.000-6.000	Durchschnitt 5.000-6.000	76622	6289	25	64713	292	70552
	CMA CGM BELLINI	72500	5700	24,5	57100	277	65800
	CMA CGM VERLAINE	77900	6456	25,8	68520	300	72760
	CMA CGM RAVEL	79465	6712	25,8	68520	300	73095
TEU 6.000-7.000	Durchschnitt 6.000-7.000	87943	6744	25	60173	306	80420
	Maersk K-Klasse	84900	6000	25	54900	318	81488
	Los Angeles Express Klasse	85930	6732	25,6	57100	300	75590
	Conti-Emmision	93000	7500	25,2	68520	300	84182
TEU 7.000-8.000	Durchschnitt 7.000-8.000	101429	7523	25	63990	330	89717
	Maersk S-Klasse	104750	7000	24,8	54840	347	91560
	Hamburg Express Klasse	100019	7506	25	68640	320	88493
	OOCL Shenzhen	99518	8063	25,2	68490	322	89097
TEU 8.000-9.000	Durchschnitt 8.000-9.000	104203	8546	25	68387	334	92583
	Houston Express	107000	8400	25,4	68520	332	92000
	CMA CGM NABUCCO	101810	8488	25,4	68000	334	92000
	Chicago Express	103800	8749	25	68640	337	93750
TEU 9.000-10.000	Durchschnitt 9.000-10.000	108956	9216	25	70346	346	103498
	Axel Maersk	109000	9000	25	68000	352	93496
	MSC Pamela	110592	9200	25	68037	337	107849
	COSCO Guangzhou	107277	9449	25,4	75000	350	109149
TEU 10.000 - 11.000	Korea 12.500	152000	12670	23	70000	390	150000
TEU 11.000 - 12.000	Suezmax	157000	11989	25	91537	400	142418
TEU 13.000	L203	175000	13640	23	77941	400	150000
TEU 18.000	Malacamax	242800	18154	25	116588	400	239380

Tabelle 4: *Schiffe und deren Zuordnung zu einem Schiffsgrößencluster (grau gekennzeichnete Parameter sind geschätzt) [CMA-06; CON-04; DÜC-04; HLC-06; OV1-98; OV4-03; TEAM-06; WIJ-99]*

Für das sich zu Beginn dieser Arbeit gerade im Bau befindliche Schiff L203 der Maersk-Reederei wird eine relativ geringe Geschwindigkeit angenommen, da es sich trotz dieser Größe noch um ein Einschraubenschiff mit einer Maschine handelt [DYN-06-10]. Die nur als Studien bekannt gewordenen Schiffe Korea 12500 und Suezmax gehen von zwei Schrauben und zwei Antriebseinheiten aus, was den Kaufpreis dieser Schiffe deutlich gegenüber dem größeren Schiff L203 anheben würde.

Bei der TEU-Angabe der Stellplätze handelt es sich oftmals nur um eine rein geometrische oder räumliche Zahl. Würde man alle Stellplätze tatsächlich mit vollen Containern belegen, so würde die Tragfähigkeit der Schiffe oftmals überschritten werden. Um die nutzbare Anzahl der Stellplätze ermitteln zu können, wird von einem Durchschnittsgewicht pro Container von

14 t ausgegangen [CUL-98, S. 189]. Dieser Durchschnittswert bezieht sich nicht nur auf die reine Ladung und das Leergewicht der Container, sondern berücksichtigt beispielsweise auch anteilig das Gewicht des Treibstoffes eines Schiffes. Es ist mehr oder weniger eine operative Gewichtsumlage der Ladung und der Verbrauchsstoffe auf einen Stellplatz. Die Tragfähigkeit des Schiffes wird nun durch diesen Wert dividiert und ergibt die netto nutzbare Anzahl an Containerstellplätzen NTEU¹⁵. Liegt die NTEU-Kapazität über der angegebenen TEU-Kapazität, so kann nur diese TEU-Kapazität genutzt werden. Das Minimum von NTEU- und TEU-Kapazität wird als Referenz-TEU für die jeweilige Schiffsklasse gewählt. Für die Schiffsgößencluster aus Tabelle 4 ergeben sich damit folgende Referenz-TEU-Kapazitäten.

Größencluster	Tragfähigkeit in dwt	Stellplätze in TEU	Nominal TEU	Referenz TEU	Geschwindig- keit in kn	Antriebs- leistung in kW	Länge ü.a. in m	BRZ
TEU 0-1.000	7.673	645	548	548	17	5.833	116	6.452
TEU 1.000-2.000	22.575	1.400	1.613	1.400	19	10.763	169	17.315
TEU 2.000-3.000	40.336	2.761	2.881	2.761	21	22.760	225	34.649
TEU 3.000-4.000	46.510	3.595	3.322	3.322	24	31.670	251	39.698
TEU 4.000-5.000	66.327	4.848	4.738	4.738	23	36.877	288	57.898
TEU 5.000-6.000	76.622	6.289	5.473	5.473	25	64.713	292	70.552
TEU 6.000-7.000	87.943	6.744	6.282	6.282	25	60.173	306	80.420
TEU 7.000-8.000	101.429	7.523	7.245	7.245	25	63.990	330	89.717
TEU 8.000-9.000	104.203	8.546	7.443	7.443	25	68.387	334	92.583
TEU 9.000-10.000	108.956	9.216	7.783	7.783	25	70.346	346	103.498
TEU 10.000-11.000	152.000	12.670	10.857	10.857	23	70.000	390	150.000
TEU 11.000-12.000	157.000	11.989	11.214	11.214	25	91.537	400	142.418
TEU 13.000	175.000	13.640	12.500	12.500	23	77.941	400	150.000
TEU 18.000	242.800	18.154	17.343	17.343	25	116.588	400	239.380

Tabelle 5: Schiffsgößencluster mit Referenz-TEU

Für die weiteren Untersuchungen werden nur noch die Schiffe aus Tabelle 5 betrachtet. Zunächst werden für diese modellhaft zusammengefassten Schiffe die Fixkosten ermittelt. An dieser Stelle sei auf den Einflussfaktor der Schiffsgeschwindigkeit im Rahmen dieser Clusterbetrachtung hingewiesen. Ab dem Cluster TEU 3.000 - 4.000 ist die überwiegende gewählte Schiffsgeschwindigkeit mit 25 kn ausgewiesen und es gibt nur wenige Abweichungen. Insofern kann annähernd davon ausgegangen werden, dass die Schiffsgeschwindigkeit nicht gesondert als Vergleichskriterium betrachtet werden muss.

¹⁵ Viele Reedereien, wie z.B. Maersk, geben die Ladekapazität ihrer Schiffe immer auf Basis eines 14 t TEU-Gewichtes an.

4.3 Fixkosten

In den Fixkosten eines Schiffes sind die Kapital- sowie weitere permanente Kosten enthalten. Innerhalb der Fixkosten werden daher nach Abschnitt 3 die Eos vermutet. Die Größe der Eos kann je nach Einkaufskonditionen und Verhandlungsgeschick einer Reederei oder anderen Schiffskäufern unterschiedlich ausfallen. Weiterhin ist es aus Wettbewerbssicht unvorteilhaft, die permanente Kostenbelastung eines Schiffes zu veröffentlichen. Daher muss hier ein eigener Ansatz getroffen werden, wie die Fixkosten eines Schiffes zu berechnen sind.

Unter Fixkosten werden einerseits die Kapitalkosten für Schiff und Containersatz sowie andererseits die typischen Unterhaltskosten wie Personal, Reparatur, Versicherung und Verwaltung zusammengefasst und auf einen Tag umgelegt.

$$K_{FS} = K_{KS} + K_C + K_{PS} + K_{VWRS} + K_{RES}$$

mit :

K_{FS} = Fixkosten pro Schiffsgößencluster

K_{KS} = Kapitalkosten pro Schiffsgößencluster

K_C = Kapitalkosten pro Containersatz und Schiffsgößencluster

K_{PS} = Kosten für Personal pro Schiffsgößencluster

K_{VWRS} = Kosten für Versicherung, Verwaltung, Reparatur pro Schiffsgößencluster

K_{RES} = Kosten für Reservekapazitäten pro Schiffsgößencluster

alle Größen in $\left[\frac{\text{€}}{d} \right]$

Zur Bestimmung der Kapitalkosten ist der Neubaupreis eines Schiffes erforderlich. Dieser Wert wird jedoch selten angegeben und unterliegt auch heftigsten Marktschwankungen. Das ISL [ILS-05-1, S. 101] gibt beispielsweise für ein 3.500-TEU-Schiff die in Abbildung 29 aufgezeigten Jahresreihen für die Entwicklung des Neubaupreises an.

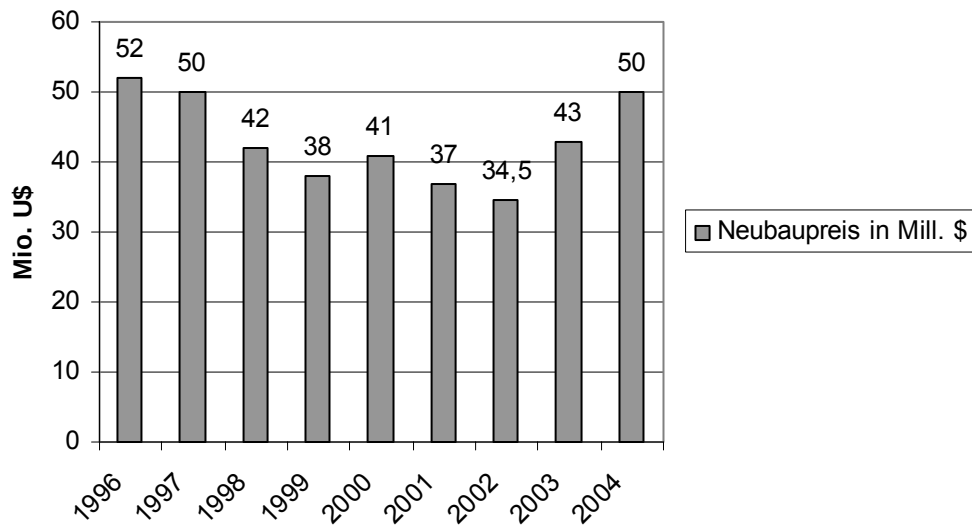


Abbildung 29: Neubaupreisentwicklung für ein 3.500-TEU-Schiff [ISL-05-1; S. 101]

Um den Neubaupreis der in den Clustern zusammengefassten Schiffe aus Tabelle 5 zu bestimmen, wird daher ein Ansatz von Cullinane und Khanna [CUL-98, S. 190] von 1998 aufgegriffen und über die Inflationsrate von 3 % an das Preisniveau von 2005 angepasst. Nach Cullinane und Khanna lässt sich der Neubaupreis eines Schiffes mit

$$\ln(\text{Schiffpreis}) = 4,8097 + 0,72 \cdot \ln(\text{NTEU})$$

bestimmen. Diese Formel auf die Referenz-TEU-Zahl aus Tabelle 5 angewendet und auf das Jahr 2005 hochgerechnet, ergibt die in Tabelle 6 angegebenen Schiffsneubaupreise in Euro (1 Euro = 1,20 US-Dollar).

Schiffsgrößencluster	Referenz TEU	Schiffsneubaupreis 1998 in US \$	Extrapolierter Schiffsneubaupreis 2005 in €
TEU 0-1.000	548	11.502.412	11.788.763
TEU 1.000-2.000	1.400	22.596.353	23.158.887
TEU 2.000-3.000	2.761	36.849.511	37.766.876
TEU 3.000-4.000	3.322	42.096.632	43.144.623
TEU 4.000-5.000	4.738	54.354.138	55.707.278
TEU 5.000-6.000	5.473	60.304.140	61.805.405
TEU 6.000-7.000	6.282	66.594.765	68.252.634
TEU 7.000-8.000	7.245	73.799.043	75.636.261
TEU 8.000-9.000	7.443	75.246.923	77.120.187
TEU 9.000-10.000	7.783	77.702.639	79.637.038
TEU 10.000-11.000	10.857	98.750.969	101.209.364
TEU 11.000-12.000	11.214	101.079.185	103.595.540
TEU 13.000	11.429	102.466.139	105.017.022
TEU 18.000	17.343	138.354.419	141.798.737

Tabelle 6: Berechnung der Schiffsneubaupreise

Graphisch stellt sich der Kostenanstieg wie folgt dar (siehe Abbildung 30):

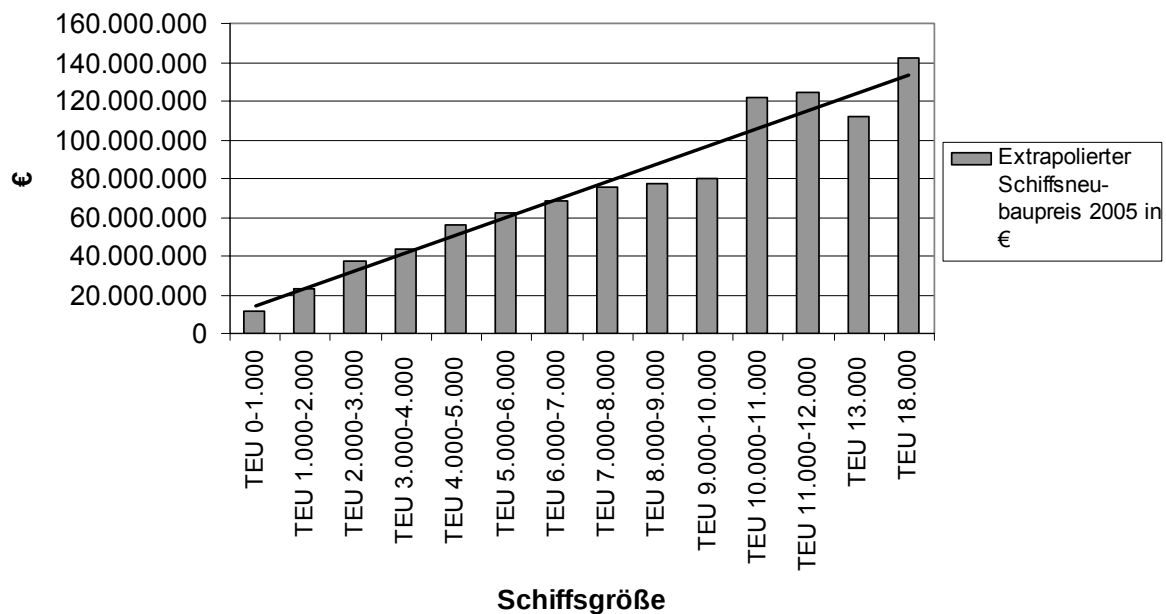


Abbildung 30: Abhängigkeit des Schiffsneubaupreises von der Containertransportkapazität pro Schiffsgrößencluster

Obwohl in den Studien für die Schiffe des 10.000 - 11.000 und 11.000 - 12.000 TEU-Korridors eine Doppelmaschinenanlage vorgesehen ist, wird in dieser Betrachtung die preis-

günstigere Einmaschinenanlage angenommen, da es offensichtlich gelungen ist, für die nächst größere Schiffsklasse (L203), die zur Zeit praxiserprobt wird, mit dieser Anlage auszukommen.

Generell scheint das Ergebnis der Kapitalkostenentwicklung zunächst dem erwarteten, starken Large-Scale-Effect entgegenzustehen. Eine Kostendegression würde erwarten lassen, dass der Kostenanstieg nicht als Gerade mit zunehmender Schiffgröße verläuft. Normiert man jedoch den Schiffsneubaupreis auf das TEU-Raster der Schiffsgrößencluster (siehe Abbildung 31), so lässt sich der Large-Scale-Effect deutlich erkennen.

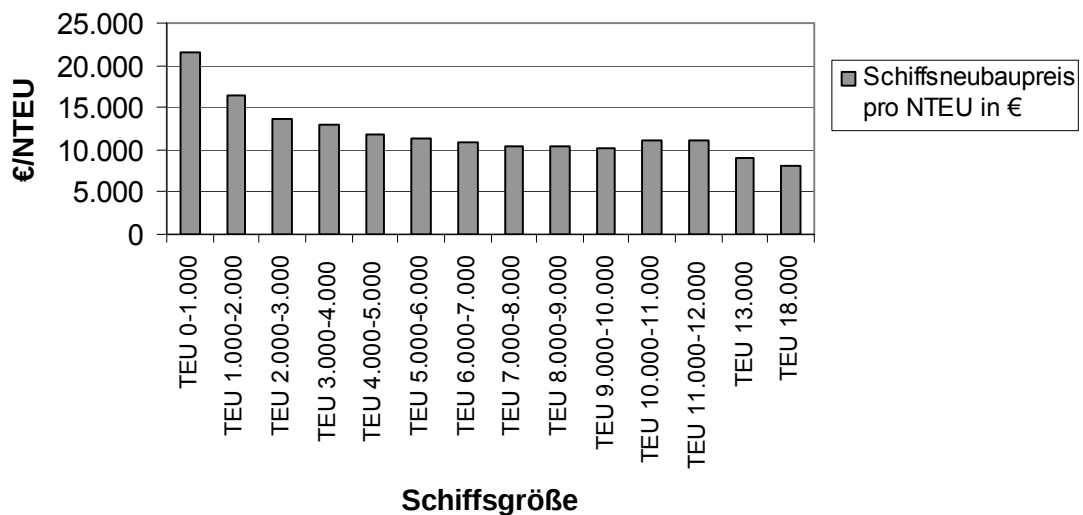


Abbildung 31: Large-Scale-Effect beim Schiffsneubaupreis pro TEU, dargestellt am gewählten Schiffsgrößencluster

Mit doppelter Schiffgröße nimmt der Neubaupreis nur um ca. 63 % pro Stellplatz zu. Wie bereits erwähnt, unterliegt der Neubaupreis sehr starken Marktschwankungen. Es lassen sich gegenwärtig einzelne Preisbeispiele finden, die sowohl über als auch unter der Geraden aus Abbildung 30 bei gleicher Schiffgröße liegen [z.B. in OV1-06]. Da gegenwärtig noch nicht abgeschätzt werden kann, wie relevant der Kaufpreis eines Schiffes bei zum Beispiel einer 30-jährigen Nutzungszeit überhaupt ist, soll bei der Interpretation der Wirtschaftlichkeitsergebnisse der Preis der Neubauschiffe einer Sensitivitätsbetrachtung unterzogen werden.

In jedem Fall ist davon auszugehen, dass der Neubaupreis auch bezahlt werden muss. Für die Finanzierung von Schiffen gibt es inzwischen einen großen und international aufgestell-

ten Banken- und Investmentsektor. Die Anzahl und Arten die Finanzierungsmodelle ist kaum überschaubar und vor allem nur schwer durchschaubar. Im Rahmen dieser Untersuchung wird daher ein relativ einfaches Finanzierungsmodell gewählt. Danach besitzt der Reeder 20 % des Neubaupreises als Eigenkapital und nimmt 80 % als Kredit bei einer Bank mit 8 % Zinsen und einer Laufzeit von 10 Jahren auf. Der Durchschnittszins über die letzten acht Jahre lag im Jahr 2004 bei 7,93 % [BDB-04]. Der entgangene Anlagengewinn aus dem Eigenkapital wird mit 4 % pro Jahr angenommen. Die Kreditlaufzeit liegt unterhalb der Nutzungszeit [OV1-04]. Der Restwert des Schiffes bleibt im Rahmen dieser Betrachtung unberücksichtigt.

Eine Finanzierung mit diesen Prämissen führt zu den in Abbildung 32 dargestellten Kapitalkosten pro Tag und TEU, die aus dem Schiffspreis resultieren.

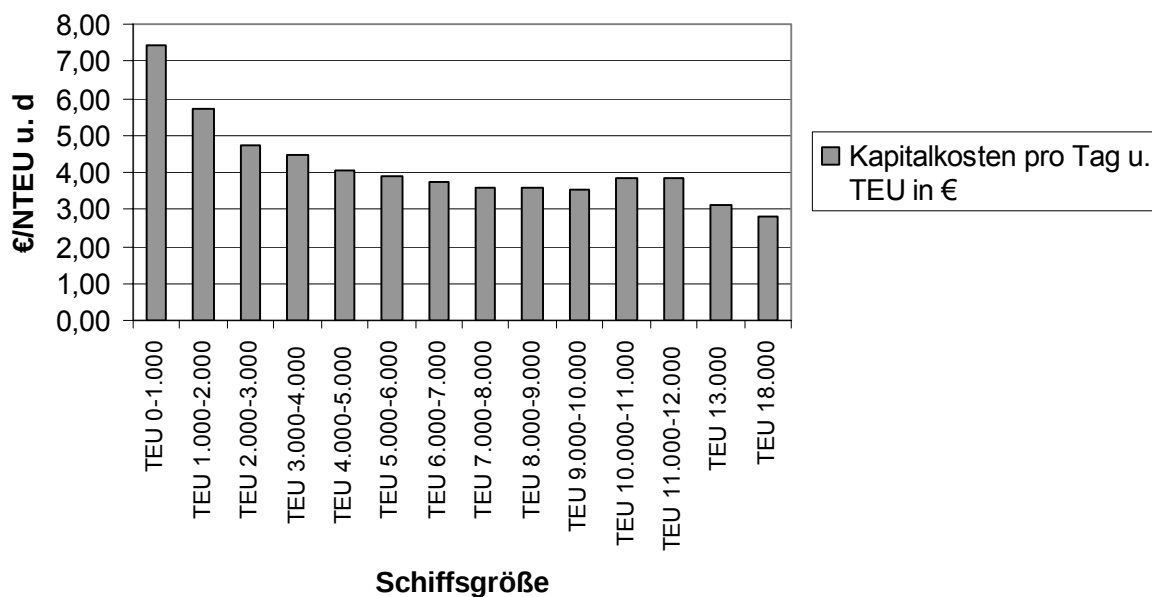


Abbildung 32: Kapitalkosten pro Tag und TEU in Abhängigkeit der Containertransportkapazität, die aus dem Schiffspreis resultieren

Zu den Kapitalkosten muss auch die Beschaffung der Container hinzugezählt werden. Für jeden Stellplatz auf einem Schiff müssen 2,4 Container vorgehalten werden [ISL-05-2, S. 4], um das Umlaufsystem zu gewährleisten. Während das Schiff fährt, müssen auch Container landseitig im Umlauf sein, um die neue Ladung für das Schiff einzusammeln. Vereinfacht wird die Zusammensetzung eines Containersatzes mit 8 % Kühl- und Tankcontainern, 46 % Standardeinheiten mit 20' und 46 % Standardeinheiten mit 40' angenommen. Der Preis eines Kühl- und Tankcontainers liegt gegenwärtig bei ca. 14.750 €, der eines 20'-

Standardcontainers bei ca. 1.708 € und der eines 40'-Standardcontainers bei ca. 2.750 € [ISL-05-2, S. 19]. Bei einem 10.000-TEU-Schiff mit 7.800 nutzbaren Stellplätzen ist damit eine Investition von ca. 60 Mill. € notwendig. Das sind ungefähr 75 % der Schiffsinvestition.

Ähnlich wie bei der Schiffsfinanzierung gibt es auch für Container verschiedenste Leasing- und Finanzierungsmodelle. Um die tägliche Kapitalbelastung, die aus dem Kauf bzw. Anmieten der Container entsteht, abschätzen zu können, wird auch hier wieder das gleiche Finanzierungsmodell wie für den Neubau der Schiffe herangezogen. Allerdings wird die Kreditlaufzeit auf 10 Jahre begrenzt, da die Nutzungsdauer eines Containers vermutlich deutlich unter der Nutzungsdauer eines Schiffes liegt. Unter sonst gleichen Prämissen wie bei der Schiffsfinanzierung ergeben sich damit ca. 2,70 € Kapitalkosten pro Tag und NTEU Containerstellplatz, die für den Containersatz eines Schiffes notwendig sind. Dieser Tagessatz ist unabhängig von der Schiffsgröße.

Zu den weiteren Fixkosten zählen auch die Aufwendungen für

- Personal,
- Reparatur,
- Versicherung und
- Verwaltung.

Die Personalkosten werden über den Heuertarifvertrag der Deutschen Seeschiffahrt 2005 [HTV-05] bestimmt. Die Besatzungsstärke bleibt ab 2.000 TEU mit 24 Mann konstant [STP-95, S. 99]. Für jedes Schiff werden im Jahr 1,75 Besatzungen vorgehalten, um die Freizeit- und Urlaubszeiten für die Besatzungen zu gewährleisten.

Für Schiffe des Clusters 0 - 1.000 TEU werden 80 % der Jahrespersonalkosten, für Schiffe des Clusters 1.000 - 2.000 TEU 90 % der Jahrespersonalkosten angesetzt (Tabelle 7).

4.3 Fixkosten

Crew-Member	Anzahl/Schiff	Gehalt in €	Arbeitgeber- anteil an Sozial- abgaben in €	Monats- personal- kosten in € pro Crew	Jahres- personal- kosten pro Crew mit 13. Gehalt in €	Jahrespersonal- kosten pro Schiff (1.75 Crews) in €
Kapitän	1	5 577	1 227	6 804	88 451	154 790
I. Nautischer Offizier	1	4 517	994	5 511	71 640	125 369
Leiter der Maschinenanlage	1	5 101	1 122	6 223	80 902	141 578
II. Technischer Offizier	1	4 425	974	5 399	70 181	122 816
Naut./Techn. Wachoffiziere	4	3 974	874	19 393	252 111	441 193
Schiffselektrotechniker	1	3 974	874	4 848	63 028	110 298
Schiffselektriker	1	3 736	822	4 558	59 253	103 693
Vorleute	3	3 590	790	13 139	170 812	298 921
Facharbeiter	6	3 290	724	24 083	313 076	547 884
Hilfskräfte	5	1 257	277	7 668	99 680	174 440
Summe 1:	24	39 441	8 677	97 626	1 269 133	2 220 983
Proviantkosten 12,50 € pro Tag und Crew-Member						109 500
Summe 2:						109 500
Gesamtsumme:						2 330 483

Tabelle 7: Jahrespersonalkosten nach dem Heuertarifvertrag der Deutschen Seeschiffahrt 2005 für eine 24 Mann starke Beispielbesatzung

Instandhaltung, Versicherung und Verwaltung eines Schiffes werden nach [GIL-83] mit 4 % des Schiffsneubaupreises pro Jahr veranschlagt.

Jedes Schiff muss von Zeit zu Zeit außer Fahrt genommen werden, um notwendige Werftarbeiten durchzuführen.

Für diese Ausfallzeiten sind Reservekapazitäten vorzuhalten, die hier mit $\frac{1}{7}$ der Summe der übrigen Fixkosten eines Schiffes angenommen werden.

Damit stellen sich die Fixkosten in Abhängigkeit der Containerschiffsgröße – normiert auf Stellplatz und Tag (spezifischer Fixkostensatz $K_{FS_{TEU}}$) – wie folgt dar:

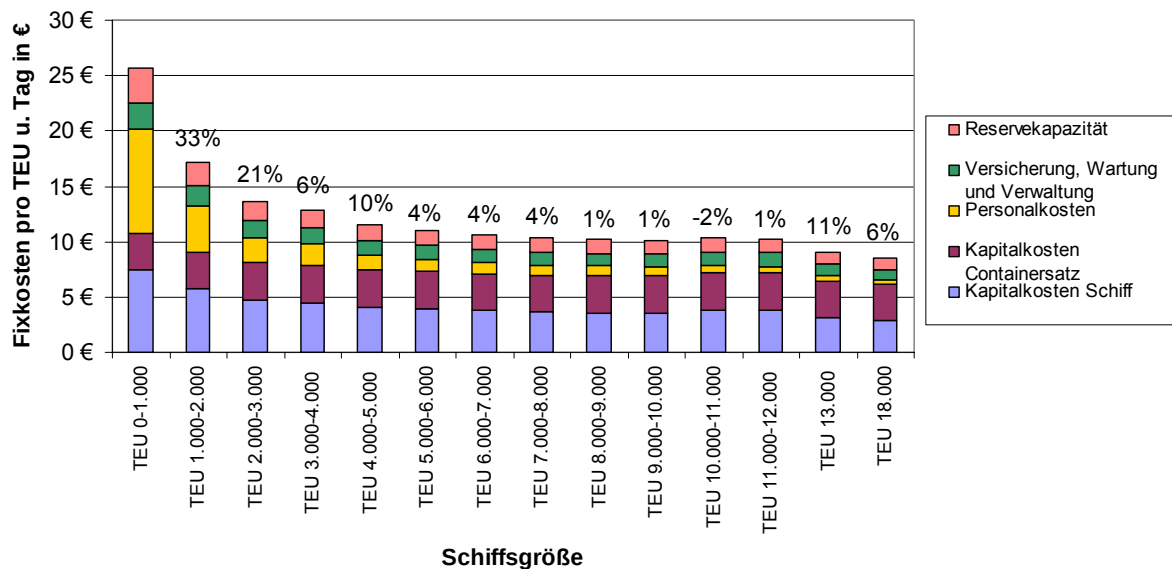


Abbildung 33: Verlauf der Fixkosten $K_{FS_{TEU}}$ in $\left[\frac{\text{€}}{\text{TEU} \cdot d}\right]$ in Abhängigkeit der Schiffsgröße mit relativer Änderung zum Vorgänger

Der Large-Scale-Effect ist deutlich bei der Gesamtfixkostenbetrachtung in Abbildung 33 zu erkennen. Allerdings fällt die Änderung des Large-Scale-Effects ab ca. 6.000 TEU nicht mehr allzu stark aus.

4.4 Variable Kosten

Bei den variablen Kosten wird generell davon ausgegangen, dass ein Schiff 365 Tage im Jahr einsatzfähig ist und sich entweder im Hafen zum Be- und Entladen oder auf Seereise zwischen zwei Häfen befindet.

Die variablen Kosten setzen sich unter dieser Voraussetzung zu einem Teil aus den Seekosten und zum anderen Teil aus den Hafenkosten zusammen. Beide Kosten werden von der Routengestaltung und der Anzahl der zu befördernden Container bestimmt. Die Hafenkosten unterteilen sich in Kosten für das Containerhandling und Kosten, die nur durch das Schiff bestimmt werden, wie beispielsweise Liegegebühren.

4.4.1 Variable Kosten See

Die variablen Kosten auf See werden vornehmlich durch den Treibstoffverbrauch bestimmt. Für jeden Dieselmotor wird vom Hersteller ein spezifischer Verbrauch angegeben. Die MAN

B&W Diesel AG gibt für ihre häufig eingesetzten Schiffsmaschinen einen spezifischen Verbrauch von 171 g/kWh an [MAN-06]. Es wird davon ausgegangen, dass während der Fahrt 80 % der Maschinenleistung abgerufen werden. Der Preis für eine Tonne Schweröl vom Typ IFO380 RMG35 RMH35 liegt zum Zeitpunkt der Berechnung bei ca. 320 \$/t [OV2-06]. Weitere Kosten wie Schmieröl, Kühlwasserzusätze und Betriebsstoffe für die Hilfsaggregate werden mit 3 % der Schwerölkosten in Anlehnung an [CUL-98] angesetzt. Die variablen Kosten See K_{VS} lassen sich somit pro Schiff wie folgt berechnen:

$$K_{VS} = (P_s \cdot C_s \cdot \eta \cdot 24h \cdot K_{HDF}) \cdot (1 + KF_{MDF})$$

mit :

K_{VS} = variable Kosten See pro Schiffsgroßemcluster $\left[\frac{\text{€}}{d} \right]$

P_s = Hauptmaschinenleistung pro Schiffsgroßencluster [kW]

C_s = spezifischer Verbrauch der Hauptmaschine $\left[\frac{g}{kWh} \right]$

η = Leistungsnutzung der Hauptmaschine [%]

K_{HDF} = Kosten pro t Schweröl [€]

KF_{MDF} = Zuschlagfaktor für Hilfsenergie [%]

Unter dem Euro-Dollar-Verhältnis von 1:1,2 ergeben sich damit die in Abbildung 34 ermittelten variablen Kosten See pro Seetag und Stellplatz $K_{VS_{TEU}}$ in Abhängigkeit der Schiffsgröße.

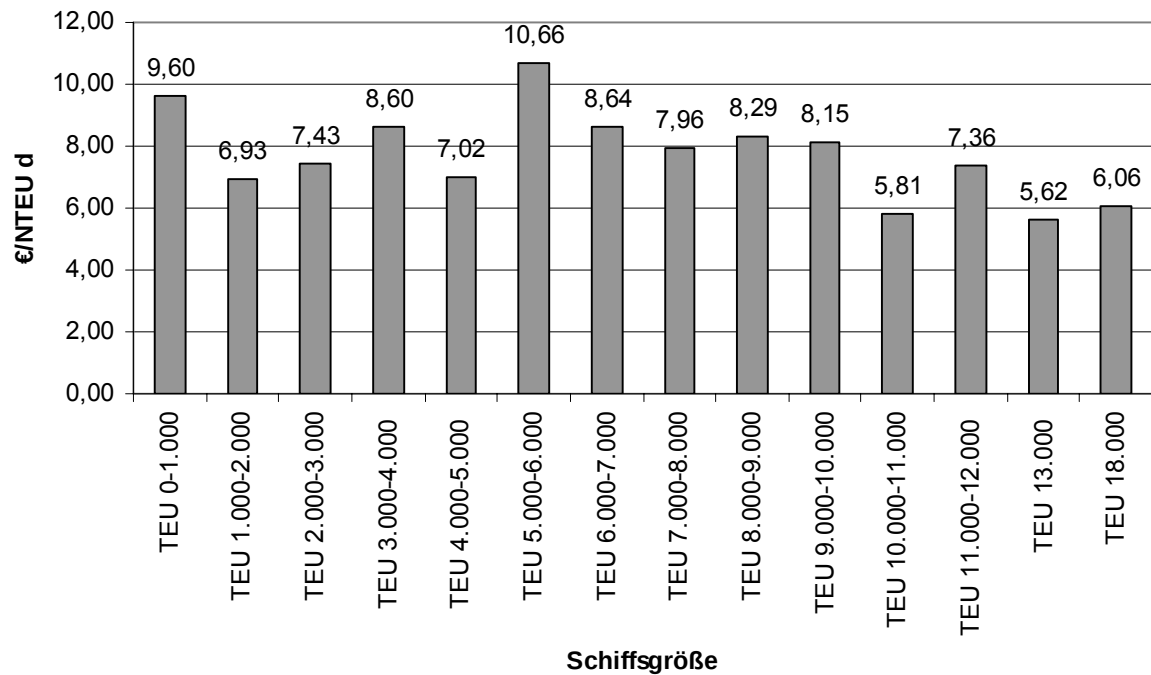


Abbildung 34: Variable Kosten See $K_{VS_{TEU}}$ pro Stellplatz und Tag in Abhängigkeit der Schiffsgröße

Bei den variablen Kosten See scheint es offensichtlich keine stringente Kostendegression mit zunehmender Schiffsgröße zu geben. Vielmehr steigen sie zunächst mit zunehmender Schiffsgröße etwas an, um dann wieder abzufallen. Das ist auch im Verhältnis der eingesetzten Maschinenleistung pro Nettostellplatz zu erkennen (Abbildung 35).

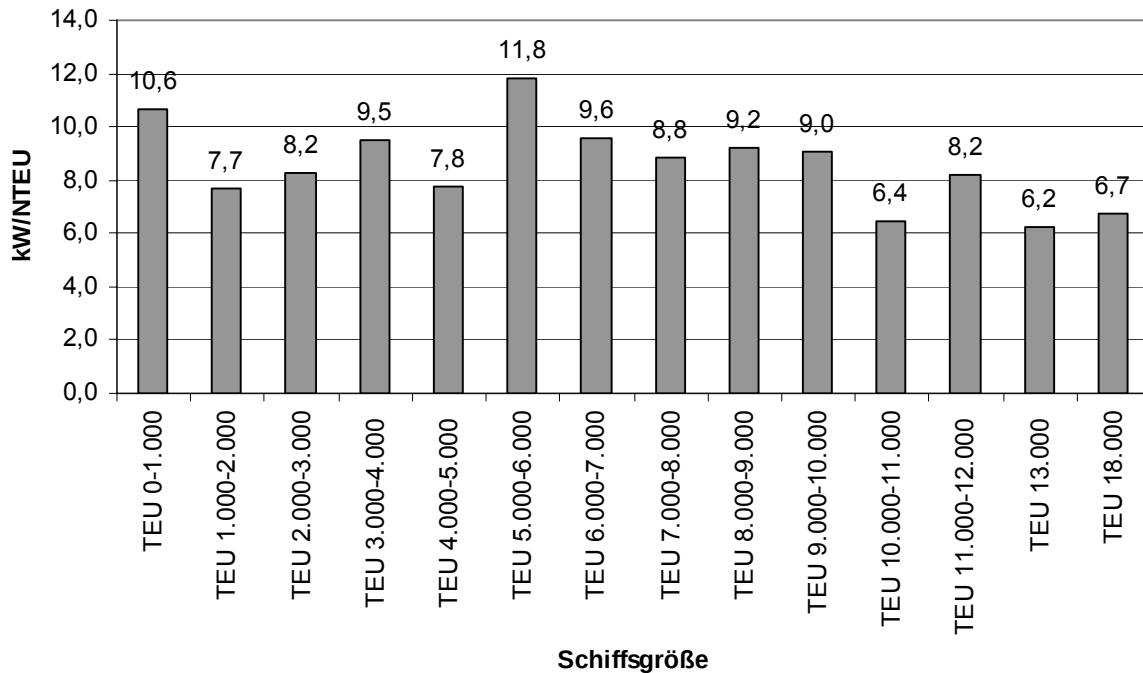


Abbildung 35: Verhältnis der eingesetzten Maschinenleistung pro Nettostellplatz

Bei der Betrachtung der variablen Kosten See spielt die Schiffsgeschwindigkeit eine Rolle. Selbst geringe Geschwindigkeitsunterschiede von Cluster zu Cluster wirken sich in den Treibstoffkosten aus. Die Schiffsgrößencluster weisen für die kleineren Schiffe auch geringere Geschwindigkeiten als für die folgenden größeren Schiffe auf. Dadurch erklärt sich der Anstieg der variablen Kosten bis zum Cluster von TEU 5.000 - 6.000. Bei den dann folgenden Schiffen der Cluster bleibt die Geschwindigkeit im Bereich zwischen 24 und 25 kn, so dass sich mit der Größenzunahme wieder der Large Scale Effect einstellt.

Ferner gibt es auch Einflüsse aus strömungstechnischen Effekten, die sich aus den geometrischen Formen der Schiffe ergeben. Diese Effekte sind aber nicht Gegenstand der weiteren Untersuchungen, da sie letztlich auch nicht mehr beeinflusst werden können.

4.4.2 Variable Kosten Hafen

Bei den variablen Kosten im Hafen muss zwischen den zeitabhängigen Liege- und Anlaufkosten K_{VH} sowie den mengenabhängigen Umschlagkosten K_U unterschieden werden. Die Liegezeit eines Schiffes wird dabei im Wesentlichen durch die Dauer der Lade- und Löschoptionen bestimmt und ist somit direkt von der Umschlagmenge abhängig. Deshalb sollen zunächst Betrachtungen zur Ermittlung der Liegezeiten vorgenommen werden.

4.4.2.1 Hafenliegezeiten

Die Liegezeit eines Containerschiffes hängt primär von der Anzahl der umzuschlagenden Container für eine Schiffsabfahrt sowie der Umschlagleistung des Containerterminals ab. Die Liegezeit wird noch durch weitere Faktoren beeinflusst, wie Sicherheitskontrollen, Zollfreigaben oder Warten auf entsprechende Wasserstandstiefen. Diese Prozesse nehmen jedoch relativ gesehen mit zunehmender Umschlagmenge eine immer geringere Zeitspanne ein; als entscheidend wird vielmehr die mengenabhängige Dauer des Lade- und Löschbetriebes angesehen. Zusätzliche Zeiten können dann als konstanter Summand hinzugefügt werden. Die Gesamtliegezeit eines Schiffes im Hafen wird damit definiert zu:

$$T_L = T_H' + T_U$$

mit:

T_L = Gesamtliegezeit eines Schiffes im Hafen [h]

T_H = Zeiten für Festmachen, Zollkontrolle usw. [h]

T_U = Containermengenabhängige Umschlagzeit [h]

Die minimale Lade- und Löschzeit eines Schiffes kann durch die maximale Anzahl der einsetzbaren Containerbrücken am Schiff, die spezifische Umschlagzeit pro Brücke sowie die Anzahl der zu bewegenden Container bestimmt werden.

$$T_U = \frac{T_{U_M}}{B \times 60} * N_C$$

mit:

T_U = Minimale Lade – und Löschzeit des Schiffes [h]

B = Maximale Anzahleinsetzbarer Brücken, die gleichzeitig arbeiten können

T_{U_M} = spezifische Umschlagzeit eines Containers pro Brücke [$\frac{\text{min}}{\text{Box}}$]

N_C = Anzahl umzuschlagender Container [TEU o. Boxen]

Bei der Anzahl umzuschlagender Container N_C in einer normierten Angabe auf TEU-Basis ist das Verhältnis von 20'- zu 40'-Containern zu berücksichtigen, um die Anzahl der Arbeitspiele pro Brücke zu bestimmen. Dieses Verhältnis aus 20'- und 40'-Containern kann durch den TEU-Faktor F_{TEU} ausgedrückt werden.

$$\begin{aligned}F_{TEU} &= \frac{N_{TEU}}{N_C}; 1 \leq F_{TEU} \leq 2 \\N_{TEU} &= N_{C20} + 2 \cdot N_{C40} \\F_{TEU} &= \frac{N_{C20} + 2 \cdot N_{C40}}{N_C} = 1 + \frac{N_{C40}}{N_C} \\N_{C40} &= N_C \times (F_{TEU} - 1) \\N_{C20} &= N_C - N_{C40}\end{aligned}$$

mit :

N_{C20} = Anzahl 20'-Container

N_{C40} = Anzahl 40' - Container

N_C = Anzahl Boxen

N_{TEU} = Normierte Anzahl Container[TEU]

Nach [JAN-87, S. 124] ist die maximale Anzahl an einsetzbaren Brücken in Abhängigkeit der Schiffslänge¹⁶ wie folgt zu bestimmen:

$$B = k \cdot L_S^{\frac{1}{3}}$$

mit :

k = Konstante hier gleich 1

B = Anzahl der möglichen Containerbrücken

L_S = Länge des Schiffes

Für die spezifische Umschlagzeit pro Brücke T_{U_M} wird ein Wert von 30 Umschlagoperationen pro Stunde angenommen (30 Moves/h entspricht 120 sec/Container). Mit diesen Annahmen ergibt sich folgende Umschlagzeit pro TEU:

¹⁶ JAN-87 betrachtet eigentlich nur die Länge zwischen dem ersten und dem letzten Containerstapel. Sie ist bei modernen Schiffen aber nahezu praktisch mit der Schiffslänge gleichzusetzen.

Schiffsgröße	Länge in m	Anzahl Brücken nach JAN-87	Zeit pro TEU bei TEU-Faktor 1,6 [sec]
TEU 0-1.000	116	4	19
TEU 1.000-2.000	169	4	19
TEU 2.000-3.000	225	4	19
TEU 3.000-4.000	251	4	19
TEU 4.000-5.000	288	5	15
TEU 5.000-6.000	292	5	15
TEU 6.000-7.000	306	5	15
TEU 7.000-8.000	330	5	15
TEU 8.000-9.000	334	5	15
TEU 9.000-10.000	346	5	15
TEU 10.000-11.000	390	5	15
TEU 11.000-12.000	400	5	15
TEU 13.000	400	5	15
TEU 18.000	400	5	15

Tabelle 8: Minimale Lade- und Löschzeit pro TEU nach JAN-87

Die Umschlaggeschwindigkeit der Brücken ist ein oft diskutierter Wert [z.B. JOR-06]. Reine Spielzeitberechnungen ergeben zumeist deutlich schnellere Umschlagoperationen, die in der Praxis jedoch häufig nicht erreicht werden. Gründe dafür sind beispielsweise:

- gemischte 20'- und 40'-Bays auf einem Schiff und dadurch häufige schiffsparallele Bewegungen der Containerbrücken
- beschädigte Aufnahmepunkte der Container
- technische Ausfälle der Containerbrücken
- Verzögerungen beim Entfernen der Containersicherungen
- Verzögerungen durch Ballastbewegungen im Schiff, um Kränkungen auszugleichen
- Windeinflüsse und Schwingungen der Container am Spreader
- Probleme im landseitigen Containerzu- und -ablauf zu den Containerbrücken

Ein ähnliches Verfahren zur Berechnung der minimalen Lade- und Löschzeit kann der Studie [CUX-00, S. 7-2] entnommen werden. Hiernach wird pro 80 m Schiffslänge eine Containerbrücke eingesetzt. Verallgemeinert ergibt sich damit folgende Formel für die Anzahl der möglichen Containerbrücken:

$$B = 1 + \text{Ganzzahldivision} \frac{L_S}{S_B}$$

mit :

B = Anzahl der möglichen Containerbrücken

L_S = Länge des Schiffes

S_B = Abstand zwischen zwei Containerbrücken, hier gleich 80 m

Mit dieser Berechnungsmethode ergeben sich die minimalen Lade- und Löschzeiten pro TEU aus Tabelle 9.

Schiffsgröße	Länge in m	Anzahl einsetzbarer Brücken	Zeit pro TEU bei TEU-Faktor 1,6 [sec]
TEU 0-1.000	116	2	38
TEU 1.000-2.000	169	3	25
TEU 2.000-3.000	225	3	25
TEU 3.000-4.000	251	4	19
TEU 4.000-5.000	288	4	19
TEU 5.000-6.000	292	4	19
TEU 6.000-7.000	306	4	19
TEU 7.000-8.000	330	5	15
TEU 8.000-9.000	334	5	15
TEU 9.000-10.000	346	5	15
TEU 10.000-11.000	390	5	15
TEU 11.000-12.000	400	5	15
TEU 13.000	400	5	15
TEU 18.000	400	5	15

Tabelle 9: Minimale Lade- und Löschzeit pro TEU nach [Cux-00, S. 7-2]

Bei den vorgestellten Methoden zur Berechnung der einsetzbaren Containerbrücken wird die volle technische Operabilität der Containerbrücken vorausgesetzt. Unter Operabilität versteht man, dass auch alle Container, die auf einem Schiff gestaut sind entsprechend der geplanten Lade- oder Löschreihenfolge mit den Containerbrücken erreichbar sind. Der Stauplan wird als ideal angenommen, so dass alle Containerbrücken auch gleichzeitig zum Einsatz kommen können.

Reale Daten zu bisher erreichten Lade- und Löschzeiten sind nicht frei verfügbar, da sie in der Regel ein Betriebsgeheimnis der Containerterminals sind. Die Hamburg Port Authority (kurz: HPA) gibt aber für 2005 die durchschnittliche Schiffs Liegezeit in Abhängigkeit der umgeschlagenen Containermenge wie folgt an (Abbildung 36):

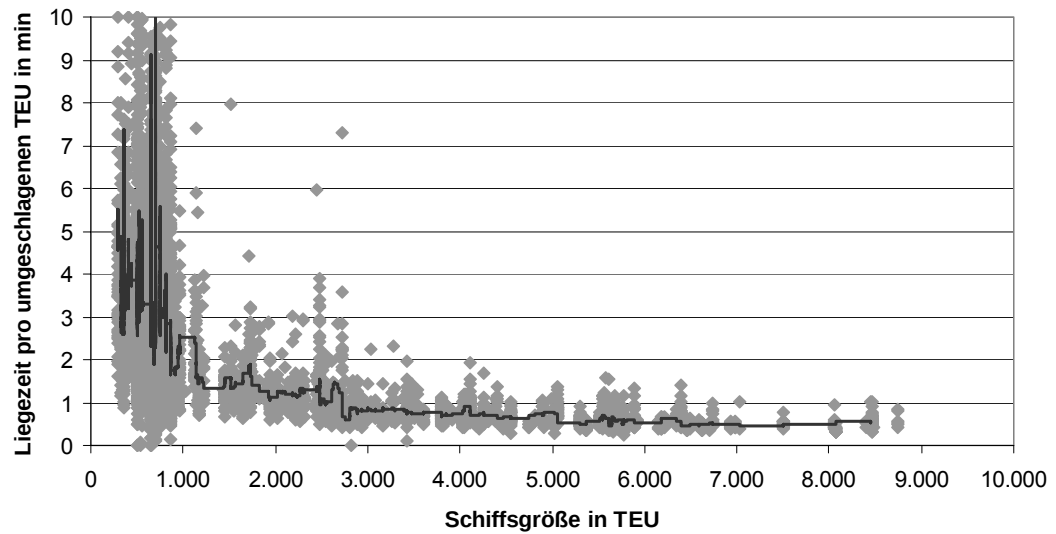


Abbildung 36: *Schiffsliegezeit pro umgeschlagener TEU in Abhängigkeit der Schiffsgröße im Hamburger Hafen im Jahr 2005 [Datenquelle: HPA 2005]*

In der Schiffsliegezeit aus Abbildung 36 sind auch Zeiten für Warten auf das Gezeitenfenster oder einen anderen Liegeplatz enthalten. Insbesondere kleinere Containerschiffe, die Feeder-schiffe, müssen oftmals zwischen den Terminals verholt werden und haben dadurch erhebliche Liegezeitverlängerungen. Dieser Effekt ist bei den Containerschiffen bis zu einer Größe von 2.000 TEU so dominant, dass kein Rückschluss auf die Umschlagzeit gezogen werden kann.

Normiert auf die bisher verwendeten Schiffsgrößencluster ergeben sich folgende Liegezeit pro umgeschlagenen Standardcontainer in Abhängigkeit der Schiffsgröße wie in Abbildung 37 dargestellt.

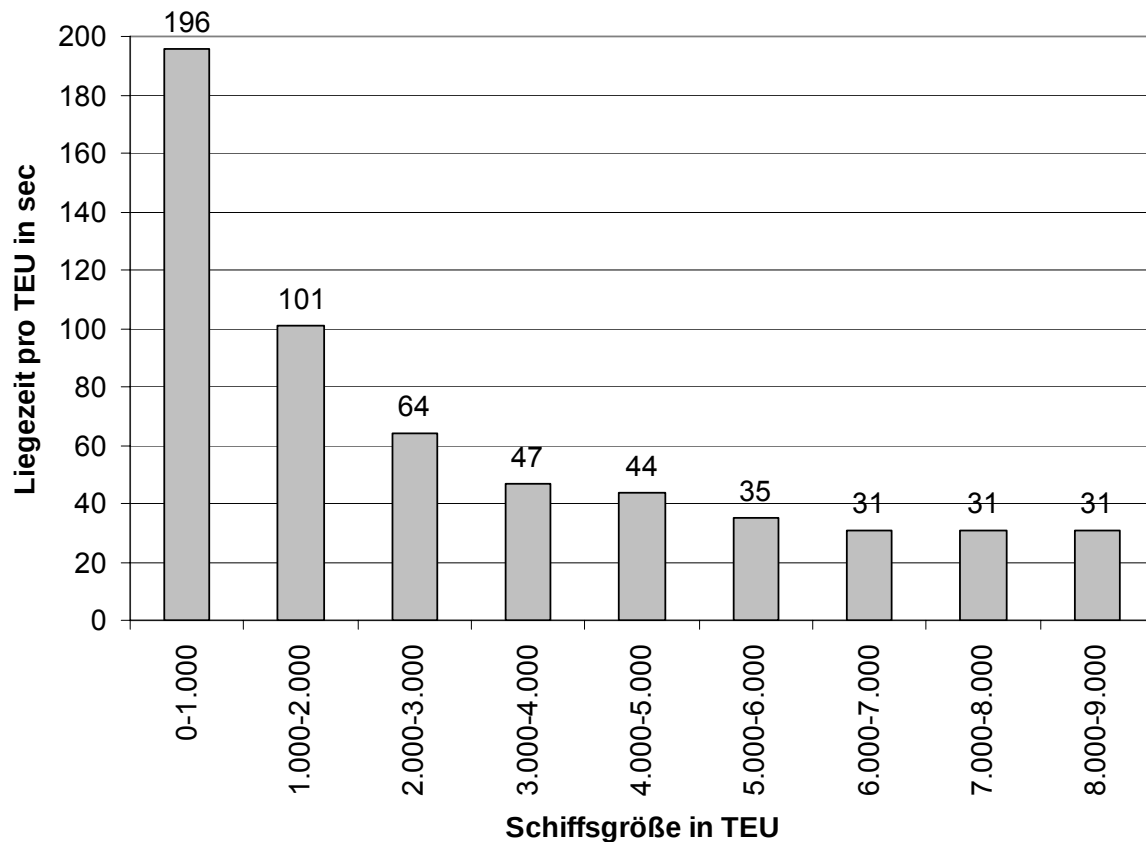


Abbildung 37: *Schiffsliegezeit pro umgeschlagener TEU in Abhängigkeit der Schiffsgröße im Hamburger Hafen im Jahr 2005 normiert auf die Schiffsgrößencluster [Datenquelle: HPA 2005]*

Bei Schiffen größer als 2.000 TEU werden auch schon erhebliche Mengen an Container umgeschlagen, so dass sich die Liegezeit mit zunehmender Schiffsgröße der Umschlagzeit nähert, da die Zeiten beispielsweise für das An- und Ablegen vergleichsweise gering zur Umschlagzeit sind.

Die Schiffsliegezeiten pro umgeschlagenen TEU aus Abbildung 36 sind über alle Terminals des Hamburger Hafens gemittelt. Ein Terminal arbeitet dabei teilautomatisch und die anderen konventionell. Da der Hamburger Hafen mit zu den zehntgrößten Containerhäfen der Welt gehört [Quelle: HHM], kann diese Abhängigkeit der Liegezeit pro umgeschlagenen Standardcontainer von der Schiffsgröße auch auf andere moderne Containerhäfen in der Welt übertragen werden. Vergleicht man die berechneten minimalen Lade- und Löschzeiten mit den realen Liegezeiten, so ergibt sich das Diagramm aus Abbildung 38.

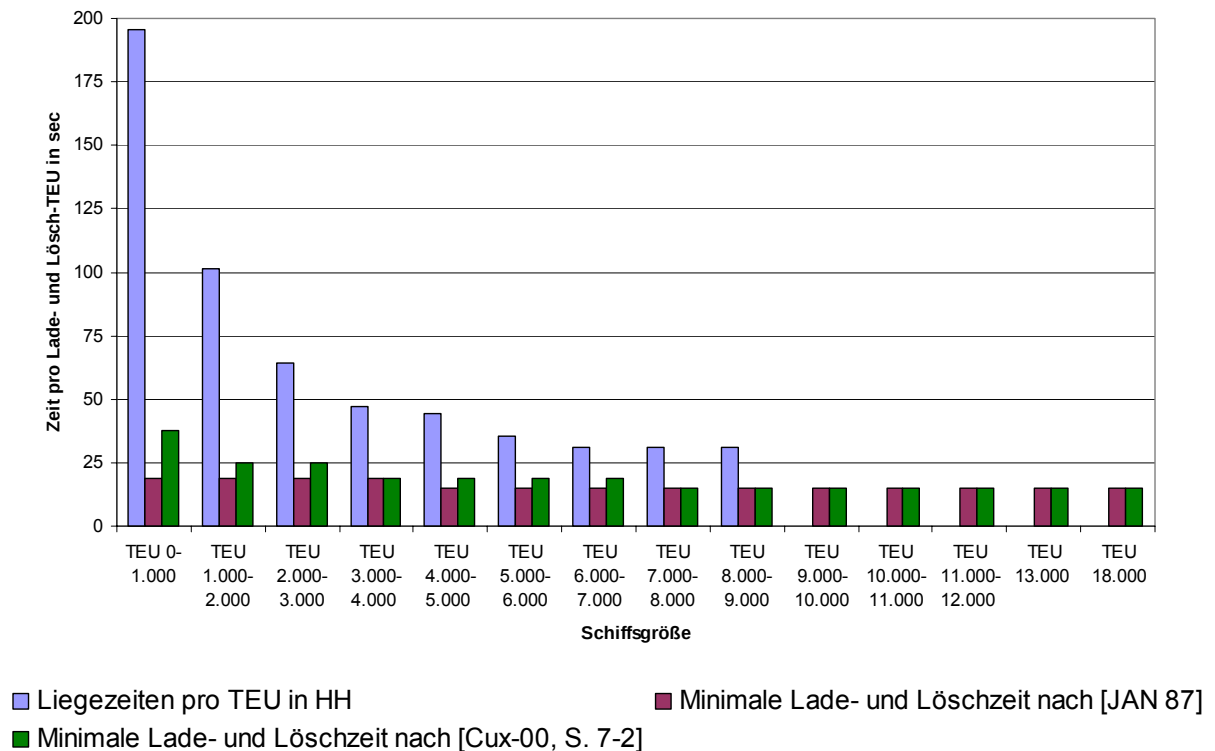


Abbildung 38: Vergleich der Hamburger Liegezeiten pro Lade- und Lösch-TEU mit den berechneten minimalen Lade- und Löschzeiten

Der Vergleich zeigt, dass die berechneten minimalen Lade- und Löschzeiten um mindestens 50 % von den realen Liegezeiten abweichen. Die Ursachen für die Abweichungen können im Rahmen dieser Arbeit nicht untersucht werden. Sie deuten jedoch auf ein enormes Optimierungspotenzial in den Häfen hin. Trotz dieser Abweichungen ergeben sich aber sowohl bei den berechneten als auch den Realdaten mit zunehmender Schiffsgröße stagnierende Tendenzen in der Umschlaggeschwindigkeit.

Die Lade- und Löschzeit bzw. Liegezeit pro TEU für Schiffe in einer Spanne zwischen 6.000 und 9.000 TEU verändern sich nur noch marginal. Diese Tendenz kann daher auch für noch größere, jedoch bisher noch nicht in Fahrt befindliche Containerschiffe angenommen werden. Eine Ursache liegt in der Längenentwicklung der Containerschiffe. Parallel zur steigenden Schiffslänge können auch mehr Containerbrücken an die Schiffe gestellt werden. Die Schiffslänge ist aber nicht der Dimensionsfaktor, der mit zunehmender Schiffsgröße am stärksten gewachsen ist bzw. steigen wird (siehe Abbildung 39).

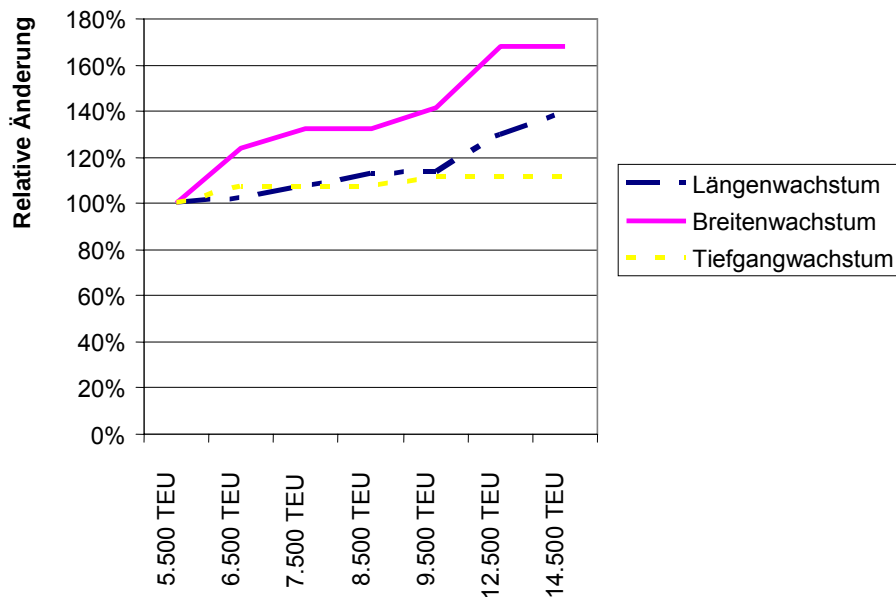


Abbildung 39: Vergleich der Wachstumsraten für Länge, Breite und Tiefgang für Containerschiffe [verschiedene Datenquellen]

Die Schiffsbreite ist der Formfaktor, der offensichtlich am stärksten mit zunehmender Schiffsgröße steigt. Die Schiffslänge ist aber entscheidend dafür, wie viel Containerbrücken überhaupt für den Lade- und Löschprozess benutzt werden können. Sie ist allerdings nicht so stark gewachsen wie die Schiffsbreite. Die Schiffsbreite beeinflusst die Kranspielzeit, die mit wachsender Schiffsbreite zunimmt. Die Schiffsbreite führt außerdem noch zu weiteren Problemen im Umschlag bzw. erfordert Containerbrücken mit extremer Spannweite. Auch kann die Stapelhöhe der Container an Deck zu einem Problem für die Containerbrücken werden.

Auf Basis der ermittelbaren Schiffs-liegezeiten können nun in Abhängigkeit der umzuschlagenden Containermenge die Hafenkosten berechnet werden.

4.4.2.2 Liege- und Anlaufkosten

Die Liege- und Anlaufkosten gestalten sich in den verschiedenen Häfen der Welt höchst unterschiedlich. Zu den wesentlichen Liege- und Anlaufkosten zählen in der Regel nach [PRT-06] folgende Kostenbestandteile:

- Lotsengebühren,
- Raumentgelte,
- Kaigebühren,

- Entsorgung,
- Schleppen und
- Festmachen.

Auch die Anwendung und Wirksamkeit dieser Kosten- und Gebühren gestaltet sich höchst unterschiedlich. In einigen Häfen der Welt sind beispielsweise Schlepper immer vorgeschrieben, in anderen Häfen sind sie nur bei Bedarf notwendig. Auch die Raumentgelte, die sich nach den Bruttozahlen richten, bezieht man auf unterschiedliche Zeitabstände. Häufig werden pauschal die ersten 24 Stunden berechnet und danach wird für jede weiteren angefangenen 12 Stunden das Raumentgelt erhoben.

Im Rahmen dieser Untersuchung wird eine Kombination aus den Liege- und Anlaufgebühren der Häfen Rotterdam [PRT-06] und Hamburg [HHLA-06] gewählt. Aus deren Gebührenordnung ergeben sich die Beträge aus Tabelle 10 für eine bis zu 24-stündige Liegezeit.

Schiffstyp	NTEU	Länge in m	Tiefgang in m	BRZ	Raumentgelte	Lotse, Festmachen etc.	Hafengebühren gesamt
TEU 0-1.000	548	116	6	6.452	2.581 €	3.847 €	6.428 €
TEU 1.000-2.000	1.400	169	7	17.315	6.926 €	8.279 €	15.204 €
TEU 2.000-3.000	2.761	225	8	34.649	13.860 €	10.887 €	24.747 €
TEU 3.000-4.000	3.322	251	9	39.698	15.879 €	12.924 €	28.804 €
TEU 4.000-5.000	4.738	288	10	57.898	23.159 €	15.194 €	38.354 €
TEU 5.000-6.000	5.473	292	11	70.552	28.221 €	16.446 €	44.667 €
TEU 6.000-7.000	6.282	306	12	80.420	32.168 €	17.414 €	49.582 €
TEU 7.000-8.000	7.245	330	13	89.717	35.887 €	19.292 €	55.178 €
TEU 8.000-9.000	7.443	334	14	92.583	37.033 €	20.798 €	57.831 €
TEU 9.000-10.000	7.783	346	15	103.498	41.399 €	22.494 €	63.893 €
TEU 10.000-11.000	10.857	390	15	150.000	60.000 €	23.375 €	83.375 €
TEU 11.000-12.000	11.214	400	15	142.418	56.967 €	23.577 €	80.544 €
TEU 13.000	12.500	400	15	150.000	60.000 €	23.577 €	83.577 €
TEU 18.000	17.343	400	15	239.380	95.752 €	23.577 €	119.329 €

Tabelle 10: Annahme für die Hafengebühren K_{VH} bei einer bis zu 24-stündigen Liegezeit

Geht die Liegezeit über 24 Stunden hinaus, so werden für jede weiteren angefangenen 12 Stunden die Hälfte des jeweiligen Raumentgeltes zusätzlich erhoben. Die variablen Kosten Hafen K_{VH} ergeben sich damit zu:

$$K_{VH} = K_{HS} \cdot T_L$$

mit:

K_{HS} = Hafenhebesatz pro Zeiteinheit

T_L = Gesamtliegezeit des Schiffes im Hafen

Werden die variablen Kosten Hafen auf einen Nettostellplatz bezogen, ergibt sich keine sehr große Kostendegression mit zunehmender Schiffsgröße (siehe Abbildung 40).

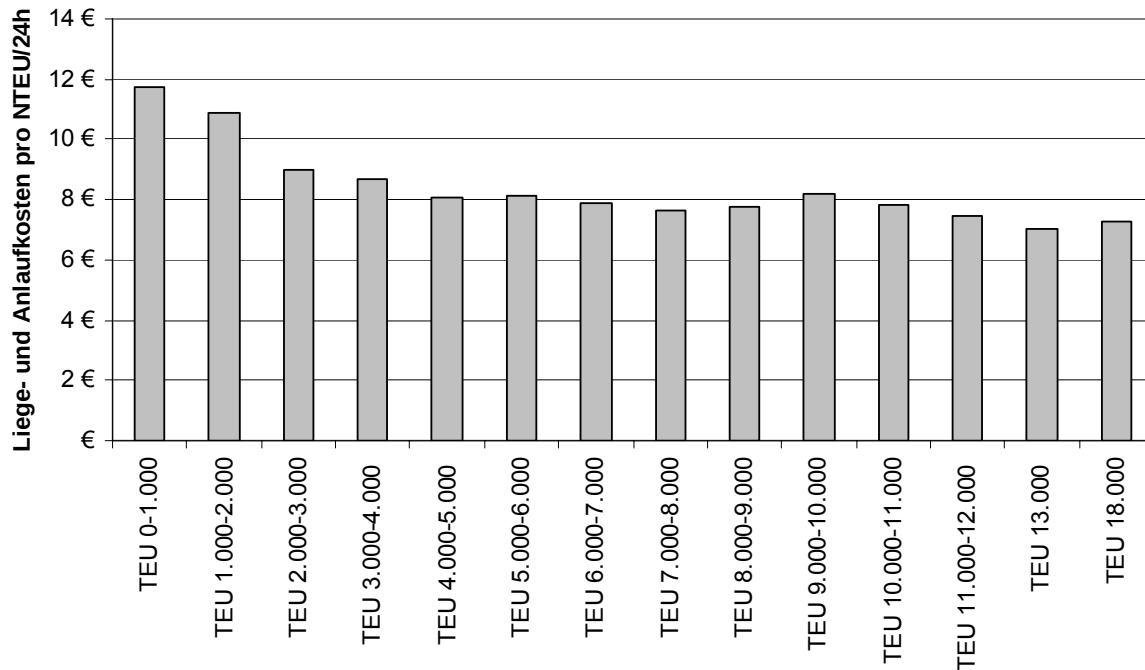


Abbildung 40: Verlauf der Liege- und Anlaufkosten pro NTEU für die ersten 24 h während eines Hafenaufenthalts

4.4.2.3 Umschlagkosten

Die Umschlagkosten K_U hängen nahezu nur von der Menge umzuschlagender Container ab. Die verschiedenen Internetseiten der jeweiligen Terminalbetreiber geben umfangreiche Berechnungstabellen für den so genannten Kaitarif an. Es wird jedoch angezweifelt, dass dieser Wert, der sich für einen konkreten Container in Abhängigkeit des Gewichtes und der Länge ergibt, auch am Markt durchsetzbar ist. Nimmt man beispielsweise den Geschäftsbericht der Hamburger Hafen und Logistik AG 2005 als Quelle [HHLA-05], so wurden im Durchschnitt für einen TEU 85,00 Euro Einnahmen im Umschlaggeschäft erzielt. Der Kaitarif ergibt jedoch Kosten von ca. 190,00 Euro pro TEU. Wahrscheinlich zahlen nicht alle Reeder den gleichen Kaitarif und offensichtlich gibt es verschiedene Vertragsmodelle zur Anwendung des Kaitarifs (siehe Tabelle 11).

	Flat-Rate-Lease		Mini-max-Lease		Shared-Revenue-Lease	
Umschlag in TEU	Kosten in Mio. €	Kosten je TEU in €	Kosten in Mio. €	Kosten je TEU in €	Kosten in Mio. €	Kosten je TEU in €
100.000	80	800,00	80	800,00	25,0	250,00
200.000	80	400,00	80	400,00	47,5	237,50
300.000	80	266,67	80	266,67	67,5	225,00
400.000	80	200,00	80	200,00	85,0	212,50
500.000	80	160,00	100	200,00	100,0	200,00
600.000	80	133,33	120	200,00	112,5	187,50
700.000	80	114,29	120	171,43	125,0	178,57
800.000	80	100,00	120	150,00	137,5	171,88
900.000	80	88,89	120	133,33	150,0	166,67
1.000.000	80	80,00	120	120,00	162,5	162,50

Tabelle 11: Vertrags- und Kostenmodelle für den Kaitarif [HAU-03]

Allerdings gibt es in der Welt starke Preisunterschiede im Kaitarif. So soll nach [BMW1-01, S. 47] der durchschnittliche Kaitarif in Europa bei nur 40 % des asiatischen und 55 % des amerikanischen Kaitarifs liegen.

Um hier eine realistische Nährung zu finden, kann auch die Terminal Handling Charge (kurz: THC) herangezogen werden. Die THC ist die Gebühr, die ein Reeder seinem Kunden für den Umschlag in Rechnung stellt. Diese variiert von Region zu Region (Tabelle 12).

Hafen	20' Container	40' Container
Antwerpen	\$135,33	\$135,33
Bremerhaven	\$184,71	\$184,71
Felixstowe	\$125,08	\$125,08
Hamburg	\$184,71	\$184,71
Le Havre	\$149,51	\$149,51
Rotterdam	\$166,69	\$166,69
Southampton	\$125,08	\$125,08
Eastern PRC	\$44,00	\$66,00
Hong Kong	\$265,46	\$353,51
Japan main ports	\$262,15	\$377,08
Kaoshiung	\$165,98	\$210,67
Northern PRC	\$44,00	\$66,00
Port Kelang	\$88,11	\$131,51
Singapore	\$108,93	\$161,60
Mittelwert	\$146,41	\$174,11
Kaitarif (90%)	\$131,77 109,81 €	\$156,70 130,58 €

Tabelle 12: Übersicht der Terminal Handling Charges (THC) ausgewählter Häfen in 2005 nach der Far-Eastern-Conference [Anfrage bei HHM]

Um eine Annäherung für die weltweiten Kaitarife abschätzen zu können, werden die THCs gemittelt und 90 % davon als Kaitarif $K_{KAI_{20}}$ für 20'-Container und $K_{KAI_{40}}$ für 40'-Container angesetzt. Die Umschlagkosten fallen variabel in Abhängigkeit der Umschlagmenge an. Dabei ist zu berücksichtigen, dass sowohl für die zu löschenden Import-Container als auch für die zu verladenen Export-Container Umschlagkosten anfallen. Pro Hafen fallen damit die folgenden Umschlagkosten K_U an:

$$\begin{aligned}K_U &= K_{U_{20}} + K_{U_{40}} \\K_{U_{20}} &= (N_{CI_{20}} + N_{CE_{20}}) \cdot K_{KAI_{20}} \\K_{U_{40}} &= (N_{CI_{40}} + N_{CE_{40}}) \cdot K_{KAI_{40}}\end{aligned}$$

mit:

$N_{CI_{20}}$ = 20' Import - Container

$N_{CE_{20}}$ = 20' Export - Container

$N_{CI_{40}}$ = 40' Import - Container

$N_{CE_{40}}$ = 40' Export - Container

Wird die Umschlagmenge nur in TEU angegeben, so ist das Verhältnis von 20'- zu 40'-Container über den TEU-Faktor zu berücksichtigen.

Die Umschlagmenge pro Hafen kann auch in Relation zur NTEU-Stellplatzkapazität eines Schiffes angegeben werden. Die maximale Umschlagmenge pro Hafen kann nur 2-mal der NTEU-Stellplatzkapazität entsprechen. Im vorherrschenden Liniensystem der Containerschifffahrt ist es aber gegenwärtig relativ unwahrscheinlich, dass dieser Fall eintritt.

Zur Berücksichtigung von verminderten Auslastungen wird noch der Auslastungsfaktor

$$\alpha; 0 \leq \alpha \leq 1$$

eingeführt. Verminderte Auslastungen können verschiedene Ursachen haben, die später noch erläutert werden.

4.4.2.4 Kanalkosten

Weltweit existieren drei wichtige Schifffahrtskanäle:

1. Suezkanal
2. Panamakanal
3. Nord-Ostsee-Kanal

Die Passagen nach Schiffen und Gütermenge sind in Tabelle 13 abgebildet. Nach der Anzahl an Schiffspassagen hat der Nord-Ostsee-Kanal die größte Bedeutung. Die größten Gütermengen weist der Suezkanal auf.

	Nord-Ostsee-Kanal	Suez-Kanal	Panama-Kanal
Anzahl Schiffe	31.444	18.193	12.647
Gütermengen in Mio. t	88,2	571,1	193,82

Tabelle 13: Vergleich der Verkehrszahlen der wichtigsten Seekanäle in der Welt in 2005 [FZA-06, 2-22]

Für die Linienschifffahrt haben der Suez- und der Panamakanal Bedeutung, für die Feeder-schifffahrt der Nord-Ostsee-Kanal.

Den Panamakanal können nicht mehr alle im Schiffsgrößencluster dieser Untersuchung enthaltenen Schiffe befahren. Auf Grund einer Breitenbeschränkung von ca. 32,2 im Panamakanal liegt die maximale Schiffsgröße bei ungefähr 5.500 TEU. Schiffe, die größer sind, bezeichnet man als Post-Panamax-Schiffe.

Der Suezkanal weist gegenwärtig keine Schiffsgrößenbeschränkung, die von den gegenwärtigen Containerschiffen erreicht werden, auf. Die Kosten, die für eine Schiffspassage anfallen, sind im Diagramm der Abbildung 41 dargestellt.

4.5 Vorgehen zur Kostenberechnung einer Rundreise

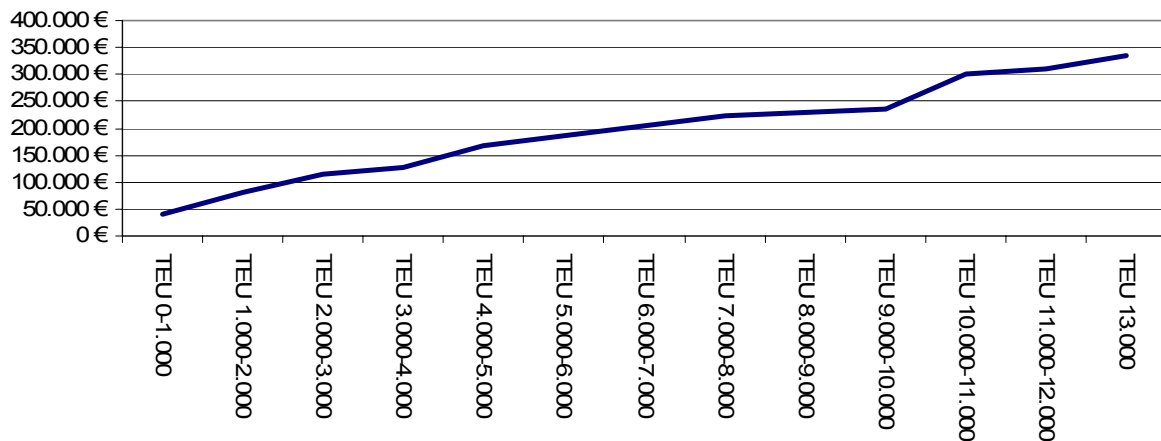


Abbildung 41: Umgerechnete Passagekosten des Suezkanals in Abhängigkeit der Schiffsgröße [basierend auf LET-04]

Die Kosten fallen nahezu linear mit zunehmender Schiffsgröße an. Kanalkosten werden als mögliche weitere sonstige Kosten

$$K_{\text{sonst}}$$

zusammengefasst.

4.5 Vorgehen zur Kostenberechnung einer Rundreise

Das Vorgehen zur Berechnung des Kostenverlaufes einer Rundreise ist in der nachfolgenden Übersicht zusammengefasst (Tabelle 14).

1. Definition der Rundreise	$H_0 = H_k$ k = Anzahl der Häfen einer Rundreise
2. Bestimmung des Containeraufkommens	$N_{C_{s,i}} = N_{C_{s,i-1}} - N_{C_{i,i}} + N_{C_{i,i}}$ $N_{C_{i,i}} = N_{C_{i,20^i}} + N_{C_{i,40^i}}$ $N_{C_{i,i}} = N_{C_{i,20^i}} + N_{C_{i,40^i}}$ $N_{C_{s,i}} \leq NTEU_s \cdot \alpha$ $0 \leq \alpha \leq 1$
3. Berechnung der See-, Hafen- und Rundreisezeiten	$T_{s_i} = \frac{s_i}{V_s}$ $T_{L_i} = T_{H_i} + (N_{C_{i,i}} + N_{C_{i,i}}) \cdot \frac{T_{U_{MH_i}}}{N_{CB_{H_i}}}$ $T_R = \sum_{i=1}^k T_{s_i} + \sum_{i=1}^k T_{L_i}$
4. Berechnung der Kostenanteile und Gesamtkosten	$K_{FR} = K_{FS} \cdot T_R$ $K_{V_{s_i}} = K_{VS} \cdot T_{s_i}; K_{VSR} = \sum_{i=1}^k K_{V_{s_i}}$ $K_{V_{H_i}} = K_{HS} \cdot T_{L_i}; K_{VHR} = \sum_{i=1}^k K_{V_{H_i}}$ $K_{U_i} = K_{U_{20^i}} + K_{U_{40^i}}$ $K_{U_{20^i}} = (N_{C_{i,20^i}} + N_{C_{i,40^i}}) \cdot K_{KAL_{20^iH_i}}$ $K_{U_{40^i}} = (N_{C_{i,40^i}} + N_{C_{i,40^i}}) \cdot K_{KAL_{40^iH_i}}$ $K_{UR} = \sum_{i=1}^k K_{U_i}$ $K_R = K_{FR} + K_{VSR} + K_{VHR} + K_{UR} + K_{sonst}$

Tabelle 14: Zusammengefasste Vorgehensweise zur Berechnung der Kosten einer Rundreise

4.6 Einnahmen

Für den Transport und Umschlag eines Containers können folgende Einnahmen am Markt erzielt werden:

1. Relationsabhängige Frachtraten R_F , containergrößenabhängig aufgeteilt in $R_{F_{20}}$ und

$$R_{F_{40}} \text{ in } \left[\frac{\text{€}}{N_{C_{20}}} \right] \text{ oder } \left[\frac{\text{€}}{N_{C_{40}}} \right]$$

2. Relations- und containergrößenabhängige Terminal Handling Charges R_{THC}

$$\text{in } \left[\frac{\text{€}}{N_{C_{20}}} \right] \text{ oder } \left[\frac{\text{€}}{N_{C_{40}}} \right]$$

3. Bunker Adjustment Factor pro TEU (kurz: BAF) R_{BAF} in $\left[\frac{\text{€}}{N_C} \right]$

4. Currency Adjustment Factor pro TEU (kurz: CAF) R_{CAF} in %

Die hier betrachtete Einnahme pro Container E_C , die für einen Transport zwischen zwei Häfen erzielt werden kann, beläuft sich damit auf

$$E_C = (R_F + 2 \times R_{THC} + R_{BAF}) \cdot (1 + R_{CAF})$$

und ist entsprechend für die 20'- und 40'-Container zu berechnen. Die Aufsummierungen aller Einnahmen während einer Rundreise werden als Rundreise- oder Gesamteinnahmen

$$E_R$$

definiert. Die Terminal Handling Charge (kurz: THC) fällt sowohl im Versand- als auch im Empfangshafen an¹⁷. Da hier lediglich eine vergleichende Untersuchung zwischen Schiffsgrößen angestrebt wird und keine exakte Reisekosten- bzw. Einnahmenberechnung pro

¹⁷ Häufig wird der THC-Anteil nicht extra ausgewiesen

Rundreise, wird die THC für Versand- und Empfangshafen auf Basis der Mittelwerte für die entsprechende Containergröße aus Tabelle 12 gleichgesetzt.

Alle Einnahmenanteile unterliegen starken Schwankungen. Insbesondere der BAF ist in den letzten 2 Jahren auf Grund des Ölpreisanstieges stark gestiegen und liegt mit Stand Sommer 2006 bei ca. 320 U\$ [BUNK-06].

Die eigentlichen Frachtraten sind auf Grund der Imbalancen

$$Q_R \left[\frac{\%}{\%} \right]$$

zwischen den Fahrtgebieten unterschiedlich. Imbalancen sind Unpaarigkeiten im Ladungsverkehr, die auf unterschiedlichem Ex- und Importverhalten der Länder beruhen. So exportiert zum Beispiel China deutlich mehr als es importiert. Das drückt sich in unterschiedlichen Vollcontainerströmen aus.

In 2005 existierten zwischen den Kontinenten Europa, Asien und Nordamerika die in Abbildung 42 gezeigten Containerströme mit beladenen Containern.

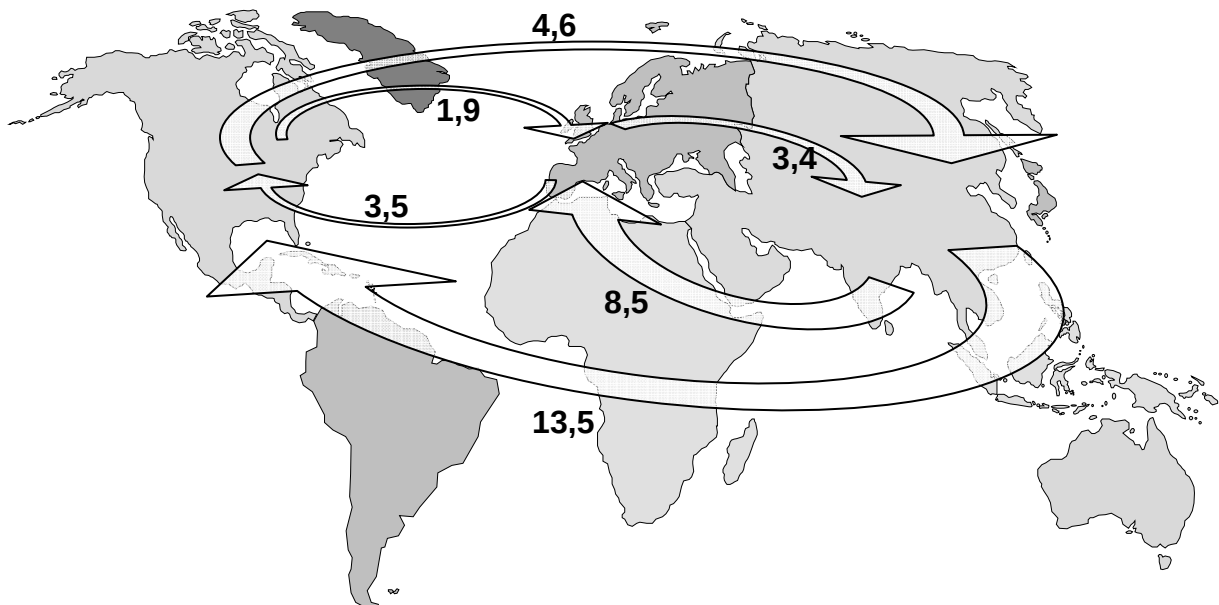


Abbildung 42: Verteilung der Containerströme in Mio. TEU in 2005 zwischen Europa, Asien und Nordamerika [HAP-06, S. 21]

Aus den weltweiten Containerströmen leiten sich die Imbalancen der Tabelle 15 ab.

Transpazifik	Transatlantik	Europa - Far East
66%	46%	60%

Tabelle 15: Containerimbalancen in 2005

Die Imbalancen finden sich auch in den Frachtraten wieder. So sind Frachtraten entlang der Richtung, in der mehr volle Container fließen, deutlich höher als in der umgekehrten Richtung.

Für die Gegenrichtung bedeutet dies aber, dass nicht nur verminderte Frachtraten für die vollen Container akzeptiert werden müssen, sondern auch die Anzahl der vollen Container viel geringer ist. Die Anzahl voller Container N_{CV} reduziert sich durch die Imbalancen um:

$$100\% - Q_R$$

Aber auch für die vermeintlich vollausgelastete Richtung kann nicht immer von einer 100%-Belegung der Slots mit Vollcontainern ausgegangen werden. So kann es beispielsweise durch saisonale Schwankungen auch dazu kommen, dass ein typisches Exportland wie China zeitweise nicht genug Ladung hat, um alle Containerschiffe mit Ladung zu versorgen. Das kann zum Beispiel bei Produkten, die auf landwirtschaftliche Rohmaterialien, wie Baumwolle oder ähnliches angewiesen sind, der Fall sein. Diese Minderauslastung wurde bereits durch den Auslastungsfaktor α bei der Containermengenbestimmung zur Kostenberechnung berücksichtigt und muss demzufolge auch bei der Einnahmenkalkulation zur Anwendung kommen.

Die Differenz zwischen möglichen Stellplätzen eines Schiffes, gegebenenfalls durch den Auslastungsfaktor α abgewertet, und mit Vollcontainern genutzten Stellplätzen wird im Rahmen dieser Betrachtung mit Leercontainern aufgefüllt.

Die Entscheidung, ob die leeren Container entlang der Relation wieder zurückgeschickt oder an anderer Stelle deponiert werden, ist ein sehr komplexes Optimierungsthema, das hier nur erwähnt, aber nicht behandelt werden soll. Für die weiteren Betrachtungen wird angenommen, dass die Container innerhalb einer Relation verbleiben und somit leer zur Ladungsquelle gefahren werden, wenn es keine Ladung im Zielgebiet gibt.

Mit Stand erstes Quartal 2006 wurden die Frachtraten der Tabelle 16 inklusive der Terminal Handling Charges am Markt gefordert.

		US East Cost				US East Cost	
<i>From</i>	<i>To</i>	20'	40'	<i>To</i>	<i>From</i>	20'	40'
United Kingdom		\$2.030	\$2.820	United Kingdom		\$1.030	\$1.340
North Continental Europe		\$2.320	\$3.170	North Continental Europe		\$920	\$1.180
		US West Cost				US West Cost	
<i>From</i>	<i>To</i>	20'	40'	<i>To</i>	<i>From</i>	20'	40'
South China		\$2.030	\$2.820	South China		\$870	\$1.060
Hong Kong		\$2.320	\$3.170	Hong Kong		\$700	\$970
		United Kingdom				United Kingdom	
<i>From</i>	<i>To</i>	20'	40'	<i>To</i>	<i>From</i>	20'	40'
South China		\$1.410	\$2.490	South China		\$550	\$900
Hong Kong		\$1.250	\$2.170	Hong Kong		\$740	\$1.110

Tabelle 16: Ausgewählte Frachtraten aus dem ersten Quartal 2006 inklusive der THCs [Basis DRE-06-1, S. 43]

Die Frachtraten unterscheiden sich in Abhängigkeit der Richtung um bis zu über 50 %. Das ist vornehmlich auf die Imbalancen zurückzuführen, da in Richtung der schlechteren Auslastung auch weniger Ladung existiert und diese Richtung mit günstigeren Transportpreisen härter umworben werden muss.

Für eine Rundreise müsste streng genommen eine Frachtmatrix angenommen werden. Vereinfachend werden hier die Frachtraten lediglich auf den Endpunkt einer Relation bezogen (z.B. von Europa nach Asien) und die Frachtraten für den Endpunkt der Relation gleichgesetzt. Somit wird die Frachtrate im Versandhafen als Einnahme generiert. Damit werden nur die vollen Export-Container für eine Einnahmenbildung herangezogen.

Der Currency Adjustment Factor, der Währungsrisiken abschwächen soll, wird in Prozent angegeben und liegt gegenwärtig bei ca. 8 % [FAR-06].

Für eine Rundreise werden in Analogie zur Tabelle 14 die Einnahmen wie in Tabelle 17 berechnet.

1. Bestimmung des Vollcontainersaufkommens		$N_{C_{SV}^i} = N_{C_{SV}^{i-1}} - N_{C_{IV}^i} + N_{C_{EV}^i}$ $N_{C_{IV}^i} = N_{C_{IV}^{20}^i} + N_{C_{IV}^{40}^i}$ $N_{C_{EV}^i} = N_{C_{EV}^{20}^i} + N_{C_{EV}^{40}^i}$ $N_{C_{SV}^i} \leq NTEU_S \cdot \alpha \cdot (100\% - Q_R)$ $0 \leq \alpha \leq 1; 0 \leq Q_R \leq 100\%$
2. Bestimmung der Einnahmen pro Rundreise		$E_{H_{20}^i} = N_{C_{EV}^{20}^i} \cdot E_{C_{20}}$ $E_{H_{40}^i} = N_{C_{EV}^{40}^i} \cdot E_{C_{40}}$ $E_{HI} = E_{H_{20}^i} + E_{H_{40}^i}$ $E_R = \sum_{i=1}^k E_{HI}$

Tabelle 17: Zusammengefasste Vorgehensweise zur Berechnung der Einnahmen einer Rundreise

4.7 Kosten- und Einnahmenverlauf einer ausgewählten Rundreise

Nachdem die Systematik zur Berechnung der Kosten und Einnahmen einer Rundreise erarbeitet wurde, wird für eine beispielhafte Rundreise der Verlauf der Kosten und Einnahmen berechnet.

4.7.1 Kostenverlauf

Für die Berechnungen wird das Rundreisebeispiel aus Abbildung 43 gewählt.

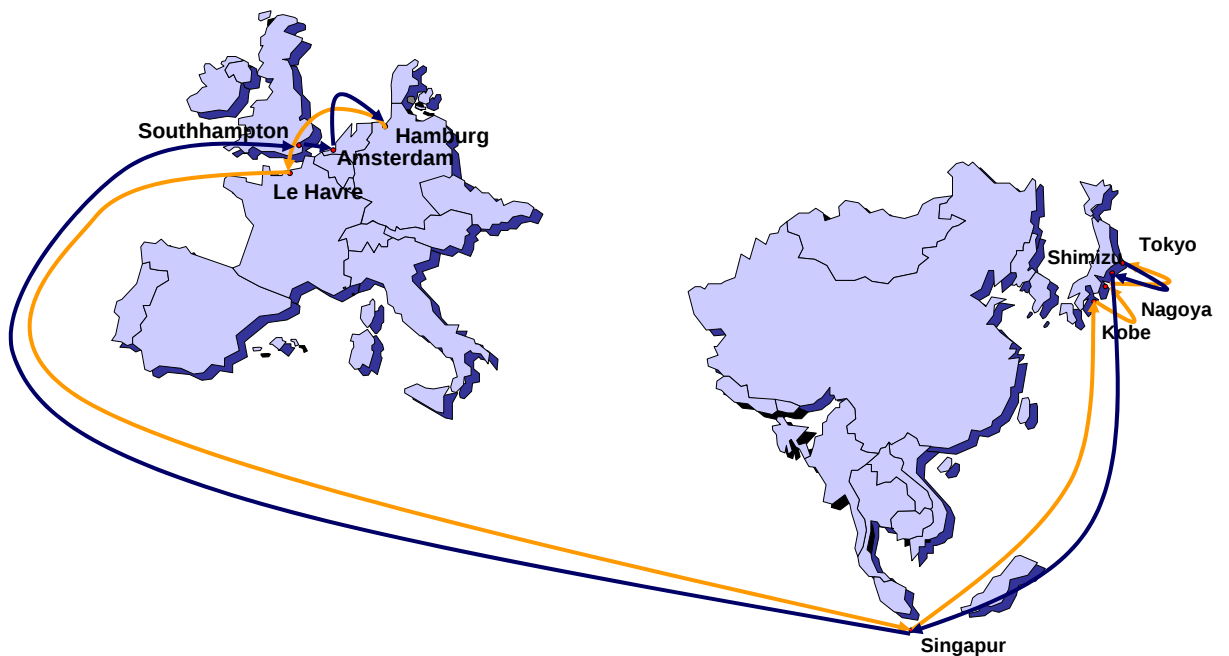


Abbildung 43: Typische Europa-Asien-Rundreise mit 10 Häfen

Sowohl für die Kosten- als auch für die spätere Einnahmenbestimmung müssen Annahmen zur Anzahl umgeschlagener Container je Hafen getroffen werden. Für das Rundreisebeispiel aus Abbildung 43 mit 10 Häfen wird für die Umschlagmenge in Relation zur Slot-Kapazität eines Schiffes folgender Verlauf angenommen:

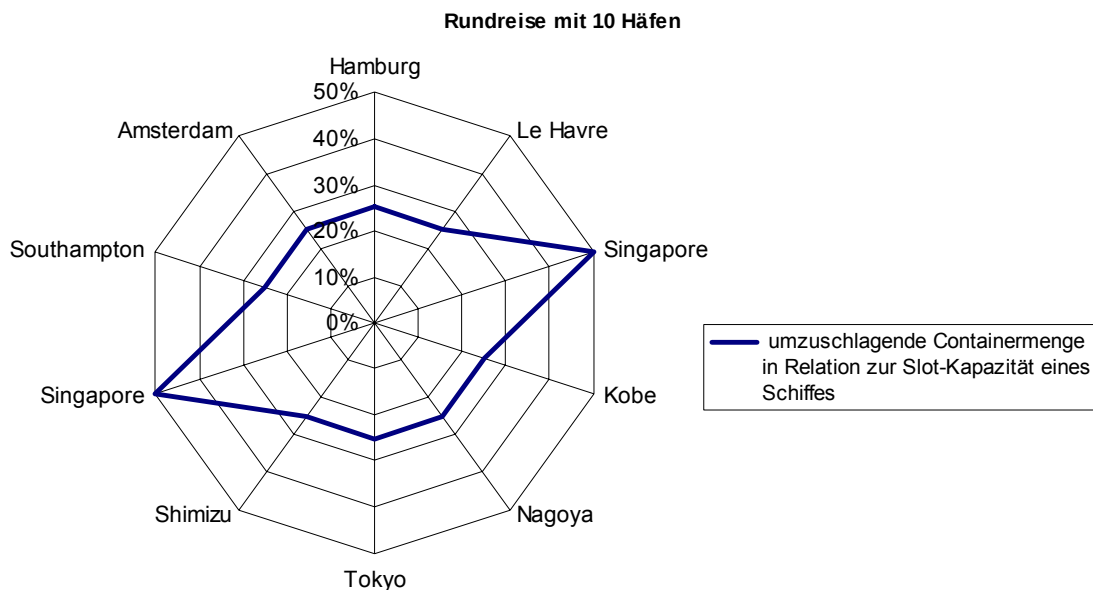


Abbildung 44: Annahme über die Menge umzuschlagender Container im Verhältnis zur Slot-Kapazität je Hafen bei 10 Häfen pro Rundreise

In Abbildung 44 wird unterstellt, dass auf der Rundreise Hamburg-Tokyo-Hamburg in Singapur zweimal 50 % der Slot-Kapazität und in allen anderen acht Häfen jeweils 25 % der Slot-Kapazität umgeschlagen wird (d.h. Laden + Löschen). Somit werden auf der Rundreise insgesamt 300 % der Slot-Kapazität umgeschlagen. Diese mehrfache Wiederbelegung eines Stellplatzes pro Rundreise wird als Wiederbelegungsfaktor

$$W_R$$

definiert. Die Wiederbelegung W_R eines Slots kann als Parameter, wie viele Container eine Reederei im Verlauf einer Rundreise akquirieren kann, gesehen werden.

In den Beispielen werden dem asiatischen Hafen Singapur deutlich mehr umzuschlagende Container zugeordnet als den anderen Häfen, da er gegenwärtig mit zu den größten Containerhäfen der Welt gehört (siehe Tabelle 18).

Häfen	2001	2002	2003	2004	2005
1. SINGAPUR	15 571 100	16 940 900	18 410 500	21 329 000	23 192 000
2. HONGKONG	17 826 000	19 144 000	20 449 000	21 984 000	22 427 000
3. SHANGHAI	6 334 400	8 620 000	11 281 000	14 557 200	18 084 000
4. SHENZHEN	5 076 000	7 613 754	10 649 900	13 655 484	16 197 173
5. PUSAN	8 072 814	9 453 356	10 407 809	11 491 968	11 840 445
6. KAOHSIUNG	7 540 525	8 493 052	8 843 365	9 714 115	9 470 000
7. ROTTERDAM	6 096 142	6 506 311	7 143 920	8 280 787	9 286 757
8. HAMBURG	4 688 669	5 373 999	6 137 926	7 003 479	8 087 545
9. DUBAI	3 501 820	4 194 264	5 151 955	6 428 883	7 619 222
10. LOS ANGELES	5 183 520	6 105 857	7 178 940	7 321 433	7 484 624

Tabelle 18: Vergleich der Umschlagzahlen der 10 wichtigsten Containerhäfen der Welt in TEU [Quelle: HHM]

Für die in Abbildung 43 dargestellte Rundreise mit der angenommenen Wiederbelegung aus Abbildung 44 und einem TEU-Faktor von 1,6 ergeben sich die in Abbildung 45 dargestellten zeitlichen Verläufe der Rundreise für die verschiedenen Schiffe aus den Schiffsgrößenclustern. Für die Hafenliegezeit wurde neben der Umschlagzeit eine zusätzliche Zeit von 2 Stunden angenommen.

Das Schiff der Größe 5.000 bis 6.000 TEU schafft diese Rundreise am schnellsten. Sieben weitere Schiffsgrößencuster verfügen zwar über die gleiche Geschwindigkeit, sind jedoch auf die Rundreise bezogen langsamer. Das Schiff der Kategorie 0 bis 1.000 TEU ist insgesamt am langsamsten.

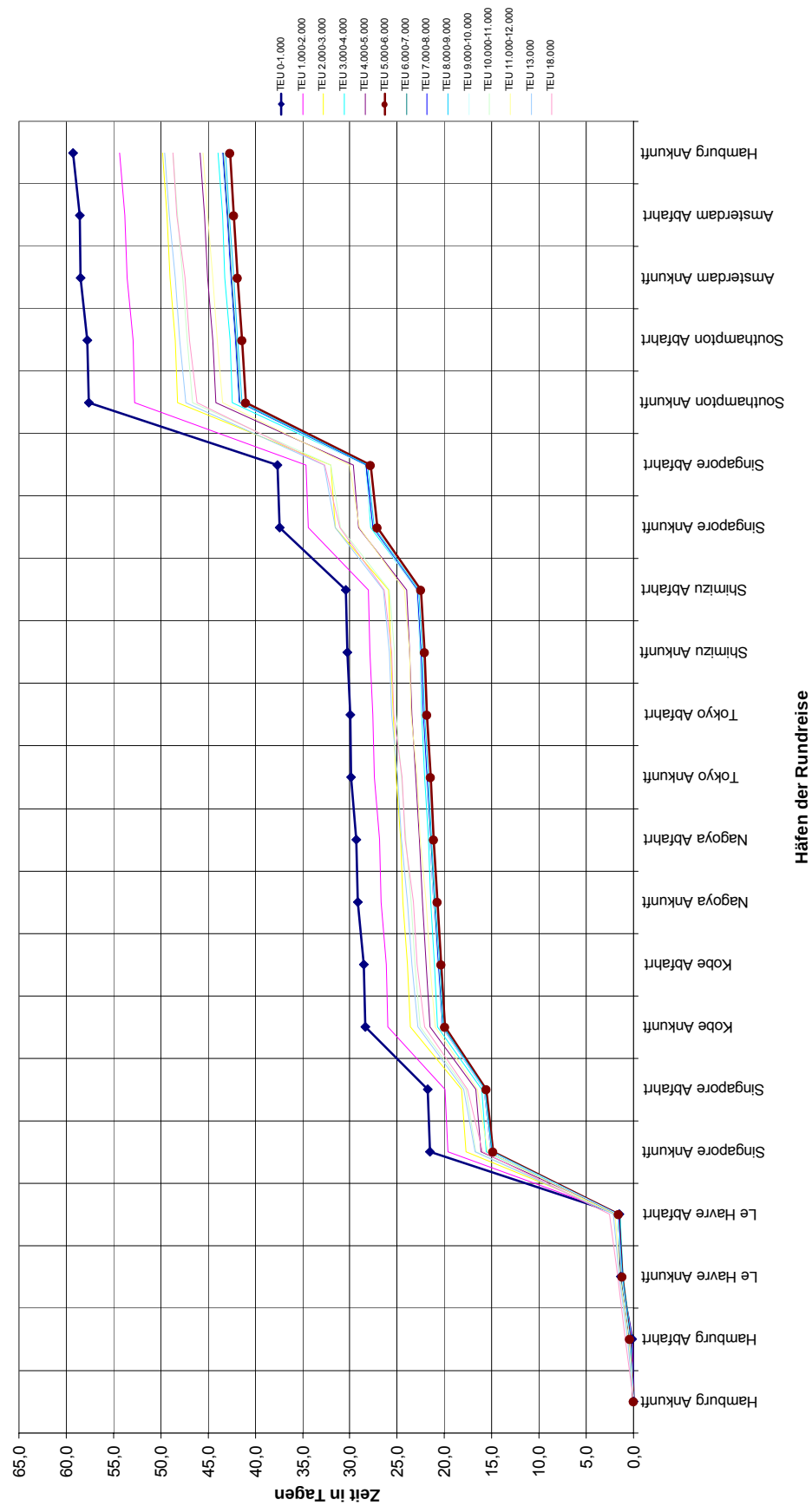


Abbildung 45: Zeitlicher Verlauf der Rundreise aus dem Beispiel der Abbildung 43

Werden die Hafen- und Seezeit aufsummiert, so ergibt sich Abbildung 46.

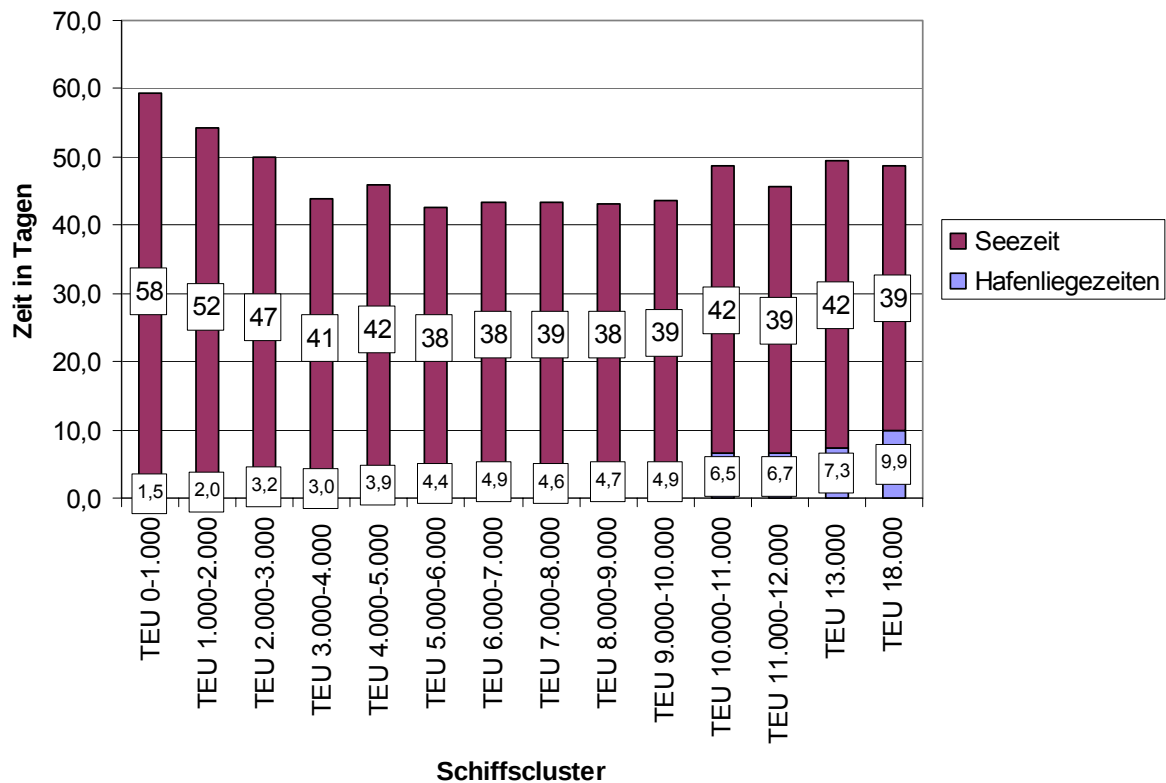


Abbildung 46: Absoluter Vergleich der Rundreisezeiten in den Schiffsgrößenclustern gemäß des Beispiels aus Abbildung 43

Es wird deutlich, dass mit zunehmender Schiffsgröße in den kleineren Clustern zunächst ein Beschleunigungseffekt auftritt, der dann jedoch auf Grund zunehmender Hafenliegezeiten bei den größeren Clustern wieder verschwindet.

Der relative Vergleich der See- und Hafenliegezeiten (Abbildung 47) unterstreicht, dass sich bei gleichbleibender Schiffsgeschwindigkeit, d.h. gleicher Seezeit, bei Schiffsgrößen über 9.000 TEU die Reisezeit wieder spürbar verlängert, was vorwiegend auf die längeren Hafenliegezeiten zurückzuführen ist.

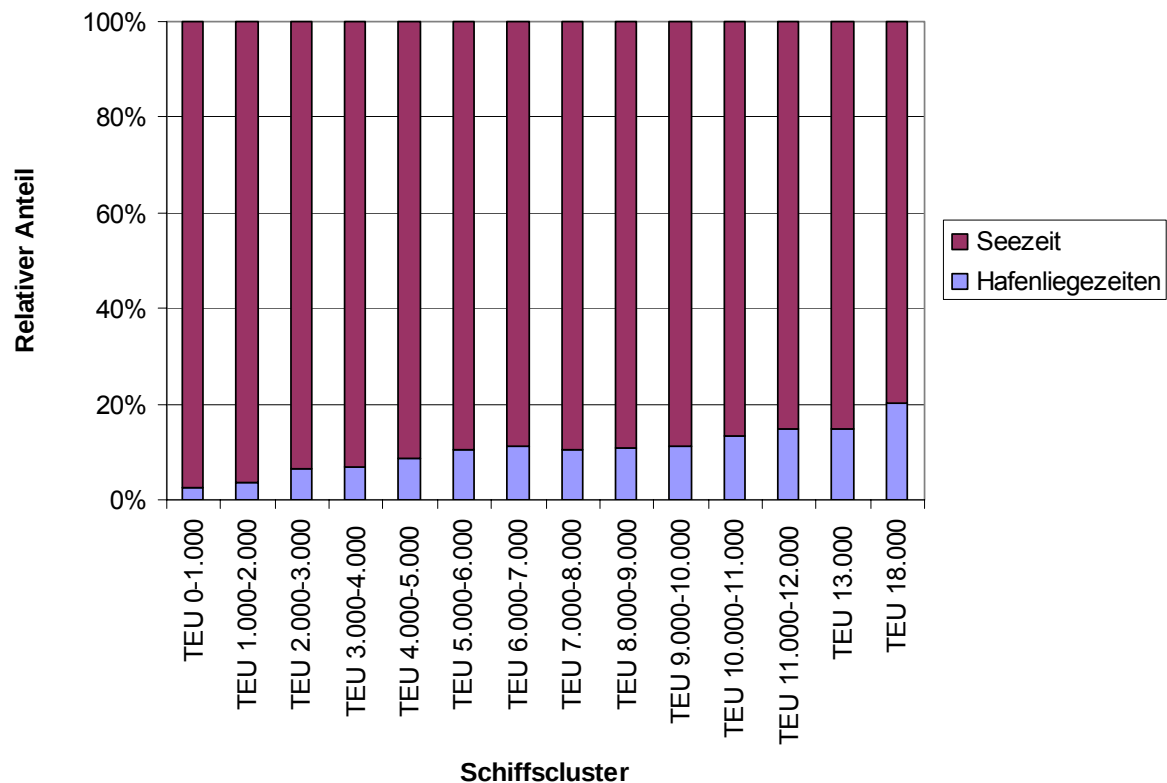


Abbildung 47: Relativer Vergleich der Rundreisezeiten einzelner Schiffsgrößen gemäß des Beispiels aus Abbildung 43

Mit der Verlängerung der Reisezeit je Rundreise sinkt die auf das Jahr bezogene Slot-Produktivität oder Wiederbelegung eines Slots. Dieser negative Effekt ließe sich vermeiden, wenn die Hafenliegezeit unabhängig von der Schiffsgröße sich verhalten würde.

Es sei erwähnt, dass hier hinsichtlich der Dauer der Hafenliegezeiten äußerst positiv gerechnet wird. Würden die gegenwärtig realen Hafenliegezeiten des Hamburger Hafens auf alle Häfen dieser Rundreise übertragen werden, so würden sich die Hafenliegezeiten nahezu verdoppeln. Das Verhältnis zwischen See- und Hafenliegezeiten bei dem 18.000-TEU-Schiff würde bei ca. 1:1 liegen.

Die spezifischen Gesamtkosten einer Rundreise je Stellplatz bei den einzelnen Schiffsgrößen gemäß dem Beispiel aus Abbildung 43 zeigt Abbildung 48.

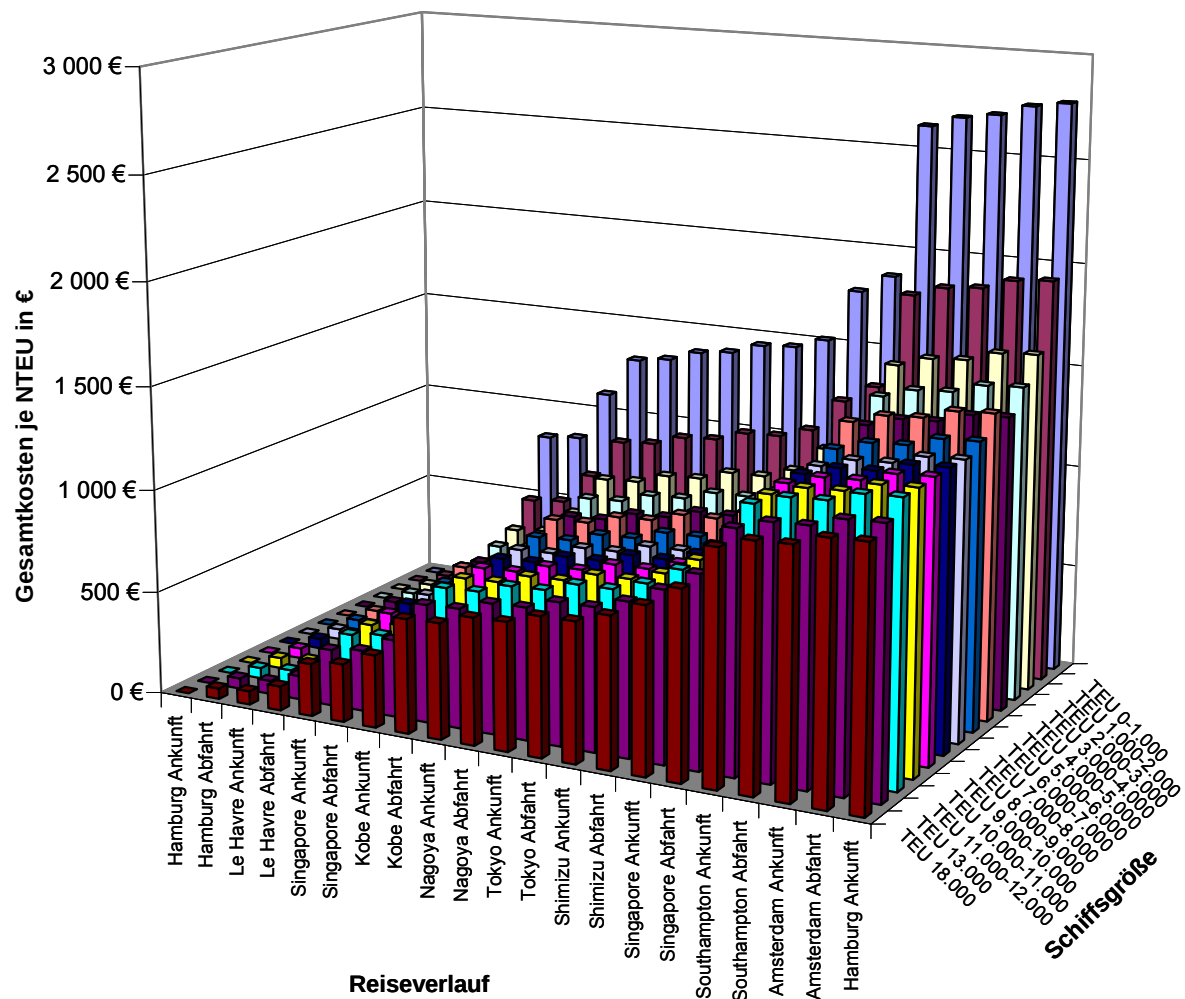


Abbildung 48: Verlauf der spezifischen Gesamtkosten je Stellplatz der einzelnen Schiffsgrößen über die Reisstrecke für das gewählte Beispiel mit 10 Häfen

Die spezifischen Gesamtkosten¹⁸ je Stellplatz fallen für die kleineren Schiffe erwartungsgemäß deutlich höher aus als für die größeren Schiffe. Jedoch flacht die Kostendegression relativ schnell mit zunehmender Schiffsgröße ab (siehe Abbildung 49).

¹⁸ Die Suezkanalkosten wurden linear auf jeden Hafen umgelegt

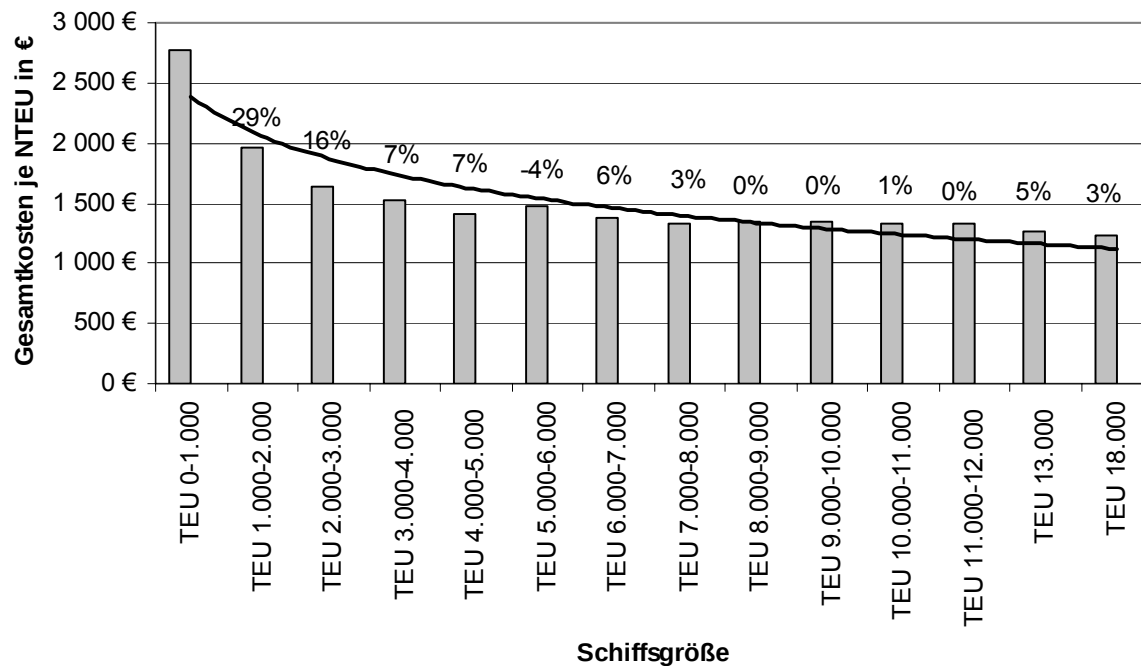


Abbildung 49: Vergleich der Gesamtkosten pro Stellplatz und Reisestrecke für das ausgewählte Beispiel aus Abbildung 43 mit relativer Änderung zum Vorgänger

Im Vergleich zu einem 1.000 TEU-Schiff nehmen die Kosten bis zur Größe 4.000 bis 5.000 TEU mit zunehmender Schiffsgröße relativ stark ab. Die Economies of Scales sind deutlich zu erkennen, darüber hinaus sind EoS nur noch schwach nachzuweisen.

Die Kostenzusammensetzung verändert sich hingegen mit zunehmender Schiffsgröße (siehe Abbildung 50).

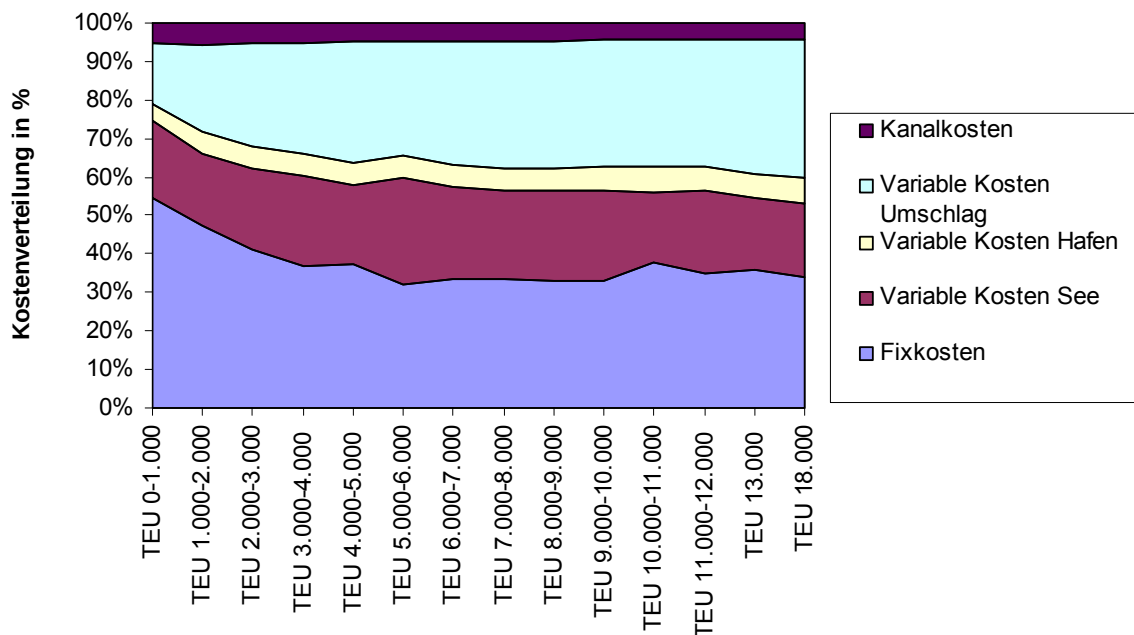


Abbildung 50: Verteilung der Kosten einer Rundreise pro Stellplatz

Mit zunehmender Schiffsgröße verändert sich die Gesamtkostenstruktur in dem angenommenen Rundreisebeispiel. Die rein schiffsbezogenen Kosten dominieren bei den kleineren Schiffen. Bei den großen Schiffen verteilen sich die Schiffs- und Hafenkosten nahezu gleich. Insofern sind die Aussagen, die von Reedereien und Beratungsunternehmen zur Kostenentwicklung von Großcontainerschiffen getroffen werden (siehe Abschnitt 3.1) zu relativieren. Die Basis, worauf sich die Kosteneinsparungen beziehen können, wurde nicht erwähnt. Die Kostenbasis ist sehr vielfältig und liegt zu einem großen Teil nicht im Unternehmensbereich der Reedereien bzw. Schiffsbetreiber. Allein eine unterschiedliche Wiederbelegung $\bar{W}_R$ der Containerstellplätze zwischen den Containerschiffsgrößen oder eine unterschiedliche Anzahl von Häfen für dasselbe Fahrtgebiet lässt den Kostenvergleich zwischen den Schiffen ganz anders ausfallen.

Auch kann nun eine Aussage zur Bedeutung der Kapitalkosten getroffen werden. Die Kapitalkosten sind zu etwa 30 % an den Fixkosten beteiligt (siehe Abbildung 33, S. 53). Bei Schiffen ab ca. 3.000 TEU machen Fixkosten ca. 30 % der Gesamtkosten eines Slots aus. Somit haben die Kapitalkosten insgesamt nur eine Bedeutung von ca. 10 bis 15 % an der Gesamtkostenstruktur.

Bezogen auf einen Tag und Stellplatz verteilen sich die Kosten wie in Abbildung 51.

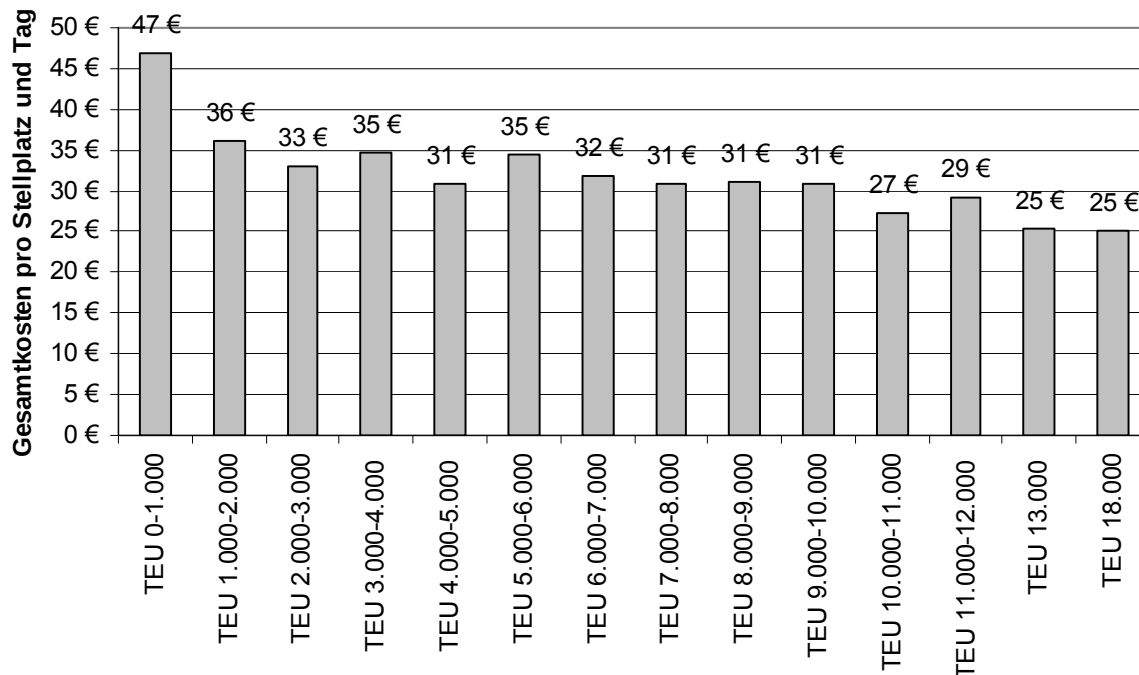


Abbildung 51: Kostenvergleich pro Stellplatz und Tag für das ausgewählte Beispiel

Pro Tag und Stellplatz sind kleinere Schiffe deutlich teurer als größere. Jedoch gibt es Abweichungen innerhalb der größeren Schiffe gegenüber Abbildung 49. So war beispielsweise ein 11.000- bis 12.000-TEU-Schiff nahezu gleich teuer wie das nächst kleinere. In der Zeitbetrachtung ist es nun teurer.

Bevor die einzelnen Einflussfaktoren der Kostenentwicklung, die durch die Auswahl und Gestaltung einer Rundreise beeinflussbar sind, ganzheitlich betrachtet werden, soll zunächst die Einnahmenseite untersucht werden.

4.7.2 Einnahmenverlauf

Werden die Einnahmen E_R pro Rundreise und Stellplatz streckenbezogen aufaddiert, so ergibt sich für jedes Schiff der gleiche Wert pro Stellplatz. Jeder Stellplatz wurde gleich oft pro Rundreise wiederbelegt ($W_R = 3$) und hat demzufolge – unter Berücksichtigung der Imbalancen – den gleichen Einnahmewert generiert. Da die Schiffe aber unterschiedliche Reisezeiten für die gleiche Strecke brauchen, fällt die Einnahmenbetrachtung pro Tag für die Schiffsgrößen unterschiedlich aus (Abbildung 52).

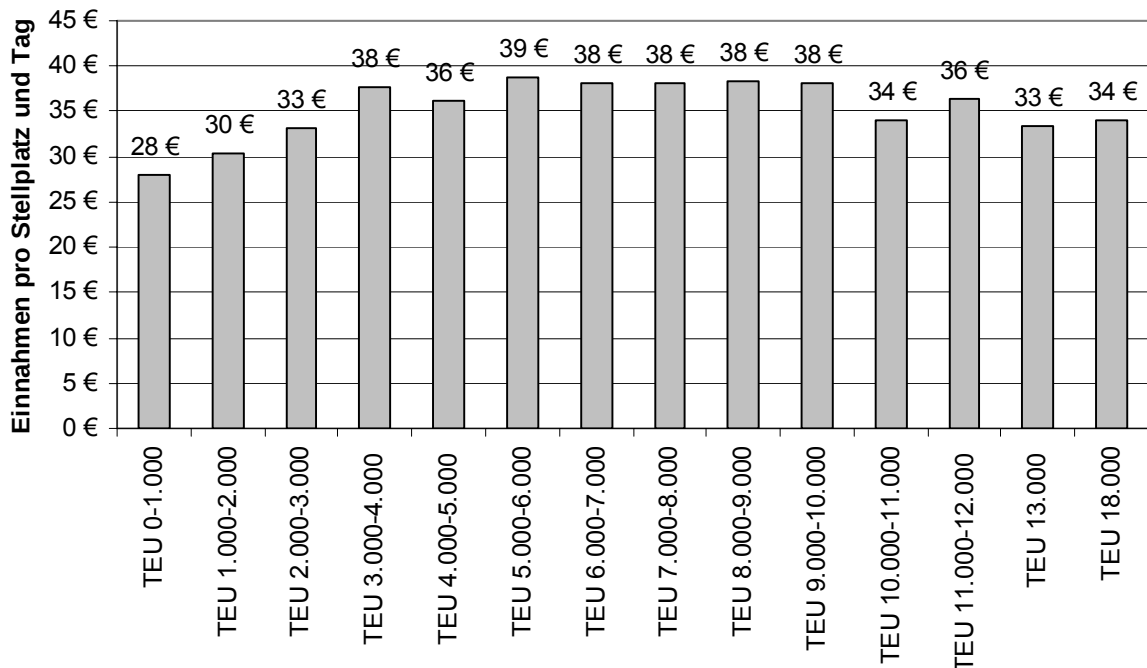


Abbildung 52: Einnahmenvergleich pro Stellplatz und Tag für das Beispiel aus Abbildung 43

Die Einnahmen pro Stellplatz und Tag steigen zunächst mit zunehmender Schiffsgröße, um dann wieder zu fallen. Die unterschiedlichen Einnahmen pro Tag können auch als Produktivität eines Stellplatzes definiert werden. Die Schiffe zwischen 5.000 bis 10.000 TEU produzieren am meisten Durchsatz. Bei den kleineren und noch größeren Schiffen werden dagegen pro Zeiteinheit weniger Container befördert.

4.7.3 Einnahmen-Kostenbewertung der ausgewählten Rundreisen

Die Einnahmen-Kostenbewertung erfolgt zunächst über eine Rentabilitätsbetrachtung. Die Rentabilität einer Rundreise wird als Quotient aus Gewinn und Kosten pro Schiff und Stellplatz definiert. Der Gewinn setzt sich als Differenz aus Einnahmen und Kosten zusammen.

$$R_R = \frac{E_R - K_R}{K_R}$$

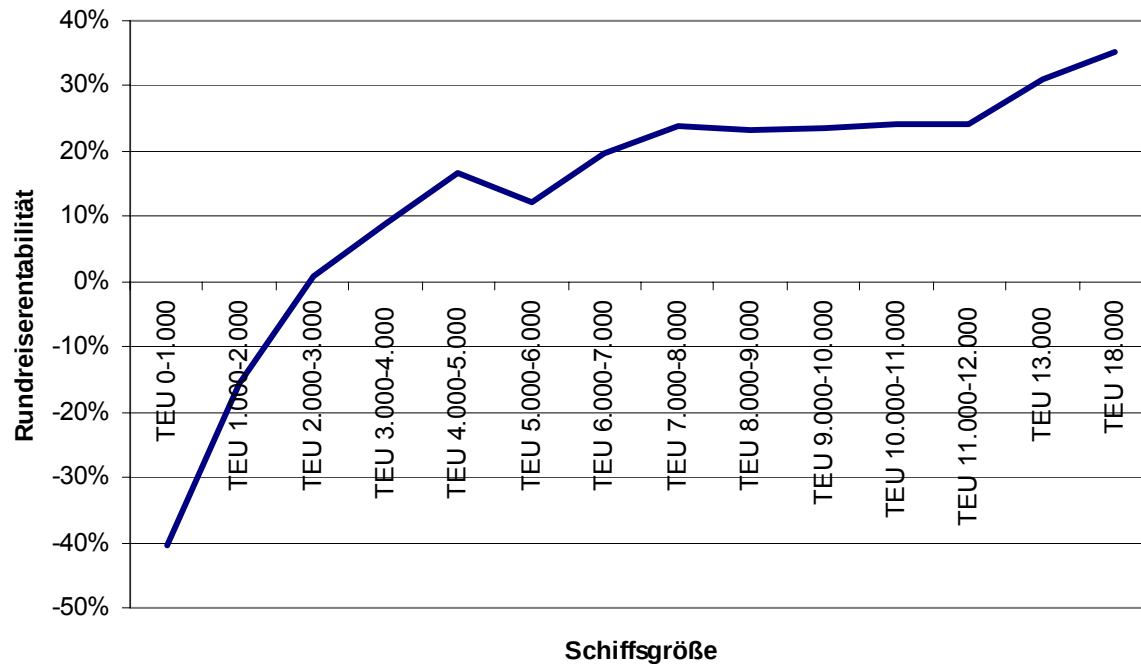


Abbildung 53: Vergleich der Rentabilität R_R zwischen den verschiedenen Containerschiffen an Hand der ausgewählten Rundreise in Abbildung 43

Die Rentabilität der Beispielfahrt steigt mit zunehmender Schiffsgröße zunächst rasant an, um dann ab ca. 7.000 TEU zu stagnieren, wie in Abbildung 53 ersichtlich. Bei ca. 13.000 TEU – das sind Schiffe, die gegenwärtig gerade in Fahrt gehen – steigert sie sich noch einmal um wenige Prozent. Ob die angenommene Dienstgeschwindigkeit zutrifft, muss abgewartet werden. Der Einbruch bei 5.000 bis 6.000 TEU in der Rentabilitätskurve ist unter anderem auf die geringere Geschwindigkeit und damit einen höheren Fixkostenanteil pro Rundreise dieser Schiffe gegenüber den anderen Schiffsgrößenclustern zurückzuführen.

Die Rentabilitätsaussage ist so auch nur bedingt brauchbar, da die Rentabilitäten in unterschiedlichen Zeiträumen erwirtschaftet wurden und formal eigentlich kein Vergleich zulässig ist (siehe Abbildung 54).

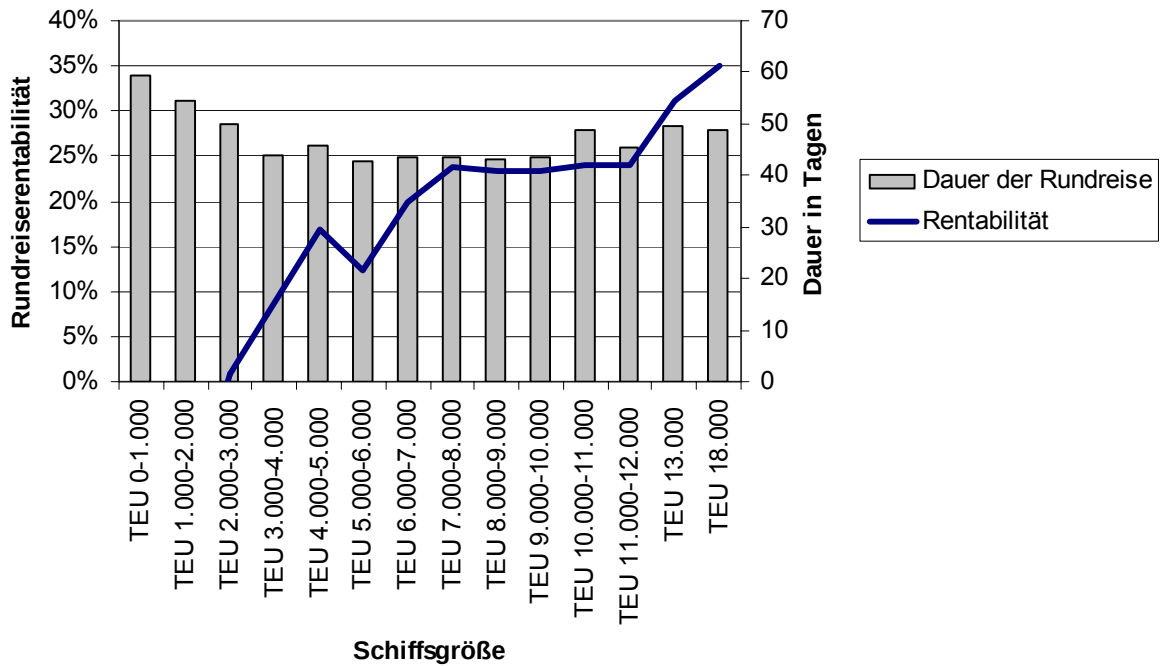


Abbildung 54: Rentabilität und Dauer einer Rundreise

Auch der Ansatz, die Jahreseinnahmen und -kosten für die Rentabilitätsaussage zu benutzen, ist nicht zielführend, da diese Berechnung den gleichen Wert wie den für eine Rundreise ergibt.

$$R_T = \frac{\frac{E_R}{T_R} \cdot 365 - \frac{K_R}{T_R} \cdot 365}{\frac{K_R}{T_R} \cdot 365} = \frac{E_R - K_R}{K_R} = R_R$$

T_R = Dauer der Rundreise

Als Maß für die Vergleichbarkeit der Wirtschaftlichkeit einer Rundreise kann hier jedoch der Anstieg der Rentabilität R_R über die Dauer der Rundreise T_R angegeben werden. Dieser Quotient wird als Rundreiseproduktivität P_R definiert:

$$P_R = \frac{R_R}{T_R}$$

Die Rundreiseproduktivität gibt an, wie schnell die Rendite anwächst. Damit soll der unterschiedliche Zeitbezug bei der einfachen Renditebetrachtung ausgeglichen werden. Erwirtschaftet zum Beispiel ein Schiff in 50 Tagen 30 % Rendite, so ist das Schiff genauso produktiv wie ein Schiff, dass in 25 Tagen 15 % Rendite erwirtschaftet.

Für das bisher betrachtete Beispiel ergeben sich die Rundreiseproduktivitäten aus Abbildung 55.

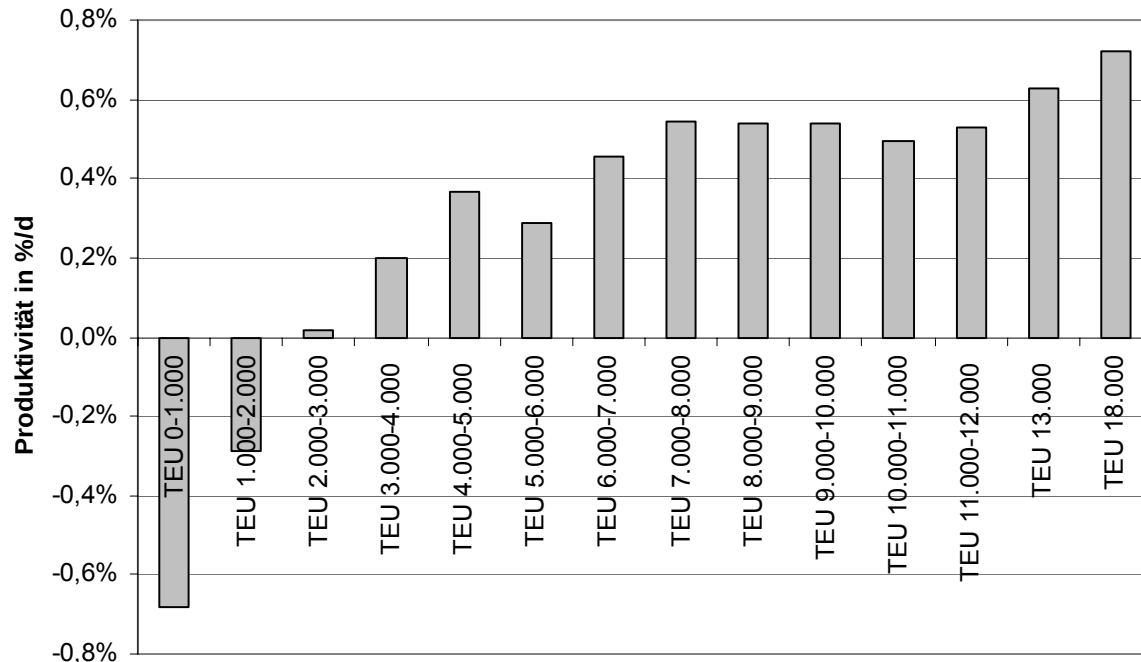


Abbildung 55: Vergleich der Rundreiseproduktivitäten P_R

In dem betrachteten Beispiel weist das 12.000- bis 13.000-TEU-Schiff von den bisher schon im Bau bzw. in Fahrt befindlichen Schiffen die größte Produktivität auf. Sie ist höher als die Produktivität des zum Beispiel 7.000- bis 8.000-TEU-Schiffes. Weiterhin basieren die Rentabilitäts- und Produktivitätsaussagen auf gleichen Randbedingungen für alle Schiffe. Jedes Musterschiff der betrachteten Schiffsgrößencluster operiert im Rahmen seiner technischen Möglichkeiten innerhalb einer identischen Rundreise. Es stellt sich aber die Frage, wie die Rentabilität sich entwickelt, wenn unterschiedliche Randbedingungen auf die Schiffe zu treffen. So wird insbesondere die Auslastung der großen Schiffe in Frage gestellt. Gegenwärtig können nur wenige Häfen die größten Schiffe bei vollem Tiefgang abfertigen. Auch würde sich zum Beispiel eine Verringerung der Containerdurchschnittsgewichte sehr positiv auf die Rentabilität der 8.000-TEU-Schiffe auswirken (siehe Abbildung 56).

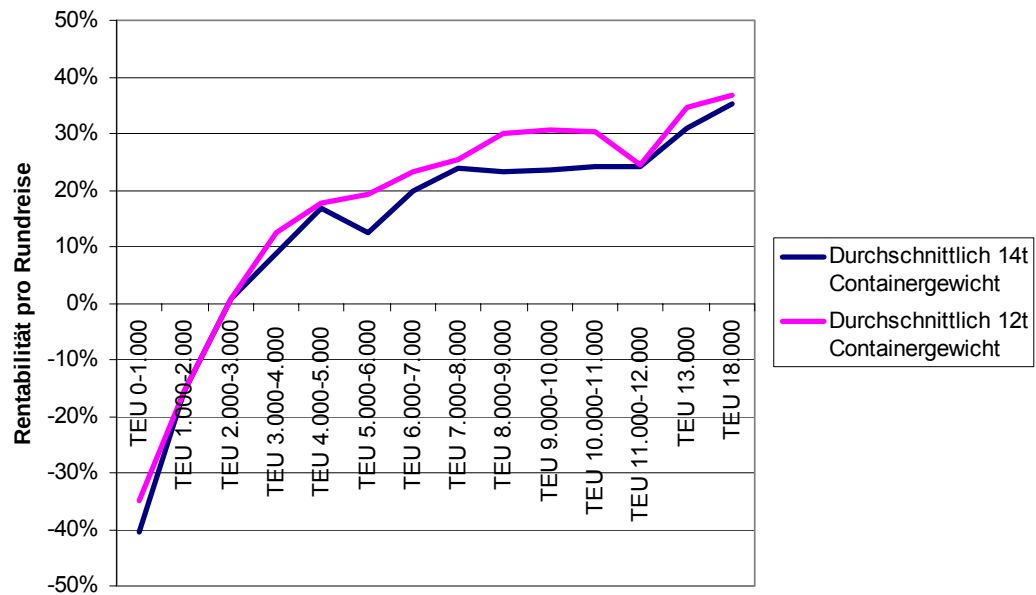


Abbildung 56: Abhängigkeit der Rentabilität R_R vom durchschnittlichen Containergewicht für die ausgewählte Rundreise aus Abbildung 43

Kleinere Schiffe können die größeren in der Rentabilität allein durch unterschiedliche Containergewichte überholen. Die Ursache liegt darin, dass die Tragfähigkeit der mittleren Schiffe mit ca. 8.000 TEU bei 14-t-Container viel früher erreicht wird als bei den noch größeren Schiffen. Sinkt das Containerdurchschnittsgewicht um nur 2 t, so können viel mehr Stellplätze auf den Schiffen genutzt werden. Die Rundreiseproduktivität P_R macht diesen Effekt noch deutlicher (Abbildung 57).

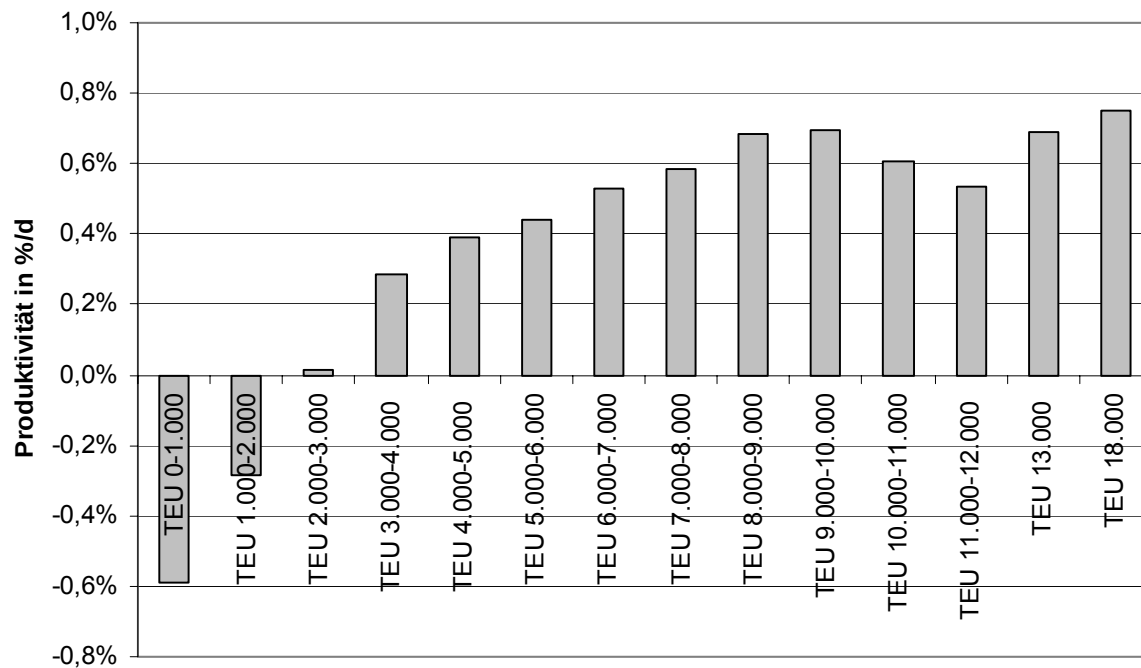


Abbildung 57: Rundreiseproduktivität P_R der verschiedenen Schiffe bei 12 t durchschnittlichem Containergewicht

Die Schiffe zwischen 8.000 bis 10.000 TEU erwirtschaften pro Tag relativ mehr als alle anderen Schiffe. Die Entwicklungstendenz der Gewichte der im Hamburger Hafen empfangenen und versendeten Container ist in Abbildung 58 graphisch dargestellt.

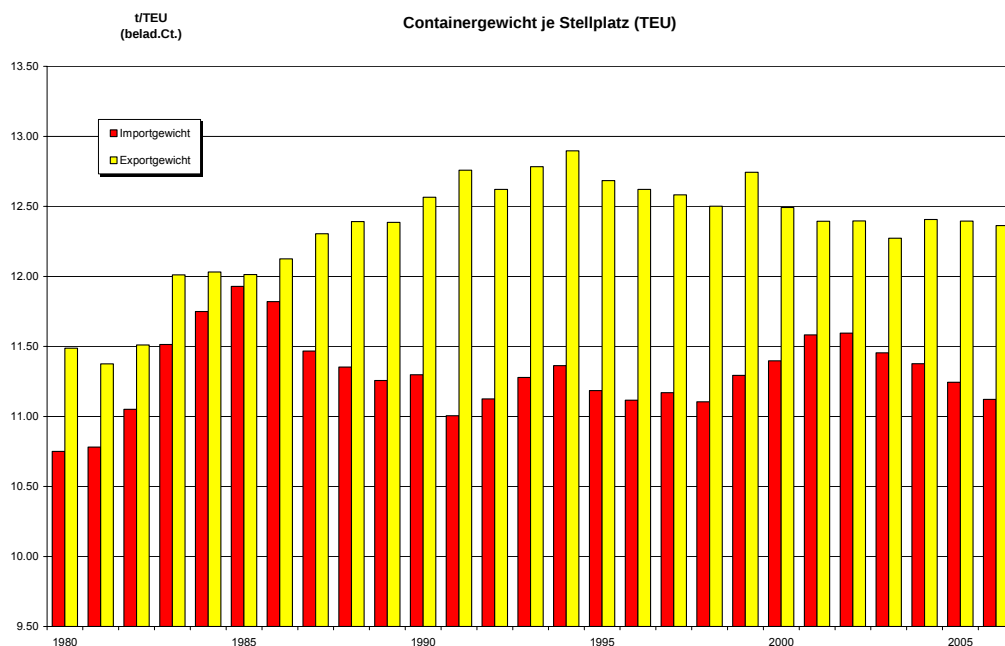


Abbildung 58: Entwicklung der durchschnittlichen Containergewichte im Hamburger Hafen [Quelle: HHM 2006]

Demnach entwickeln sich besonders die Importgewichte nach unten. Wird in diesem Zusammenhang die Relation Asien–Europa betrachtet, so tritt genau hier der Effekt aus Abbildung 56 ein. Kleinere Schiffe können besser die Stellplatzkapazität nutzen, da die Tragfähigkeit nicht so schnell erreicht wird.

Es sei nochmals darauf hingewiesen, dass hier nur ein vergleichendes Kosten- und Einnahmenmodell entwickelt wurde, um Schiffe miteinander zu vergleichen. Die absolute Höhe dieser Rentabilität bzw. Rundreiseproduktivität wird in der Realität kaum nachweisbar sein. Dass die in Tabelle 16 gezeigten Frachtraten tatsächlich für jeden Container erzielt werden, erscheint als höchst unwahrscheinlich. Genau wie bei den Kaitarifen wird es auch für die Frachtraten Mengenrabatte oder Ähnliches geben, die zu geringeren Einnahmen führen als hier angenommen. Außerdem wurde hier – unter Berücksichtigung der Imbalancen – eine 100-%-Auslastung mit Vollcontainern angesetzt. Die Konkurrenzsituation der Reedereien bleibt damit unbeachtet. Man muss davon ausgehen, dass Wettbewerbseffekte und Marktsituationen – auch auf den Hauptrelationen ohne Imbalancen – dazu führen, dass nicht alle theoretisch möglichen Stellplätze eines Schiffes bei jeder Abfahrt mit vollen Containern zu belegen sind.

Dennoch sind stagnierende Rentabilitäten und Rundreiseproduktivitäten mit zunehmender Schiffsgröße zu erkennen. Außerdem können diese Bewertungsmaßstäbe der Wirtschaftlichkeit relativ einfach verändert bzw. manipuliert werden. Da diese Untersuchung nicht an allen existierenden Rundreisen durchgeführt werden kann, um zu allgemein gültigen Aussagen zur Wirtschaftlichkeit von verschiedenen Containerschiffsgrößen zu gelangen, ist eine Überführung der bisherigen Kosten- und Einnahmenberechnungen in ein allgemeines Rentabilitäts- und Produktivitätsmodell für Containerschiffe notwendig. Daraus können dann Erkenntnisse hinsichtlich der Wirkung von Veränderungen verschiedener Parameter auf die Rentabilität und Produktivität der verschiedenen Containerschiffsgrößen abgeleitet werden.

4.8 Allgemeines Bewertungsmodell zur Wirtschaftlichkeit von Containerschiffen

4.8.1 Allgemeines Kostenmodell

Bei der bisherigen Vorgehensweise ist von Nachteil, dass eine konkrete Rundreise zu Grunde gelegt werden muss. Die von den Reedereien angebotene Anzahl möglicher Rundreisen bzw. Routen ist aber nahezu unendlich. Auch das Ladungsaufkommen, die Imbalancen usw. können auf ein und derselben Rundreise zwischen den Anbietern höchst unterschiedlich sein. Deshalb soll eine Rundreise durch Parameter des Kosten- und Einnahmenmodells ausgedrückt werden. Um eine Rundreise durch Parameter auszudrücken, werden folgende Modellannahmen für eine Rundreise getroffen:

Die Anzahl aller umzuschlagenden Container einer Rundreise N_{CR} kann wie folgt bestimmt werden:

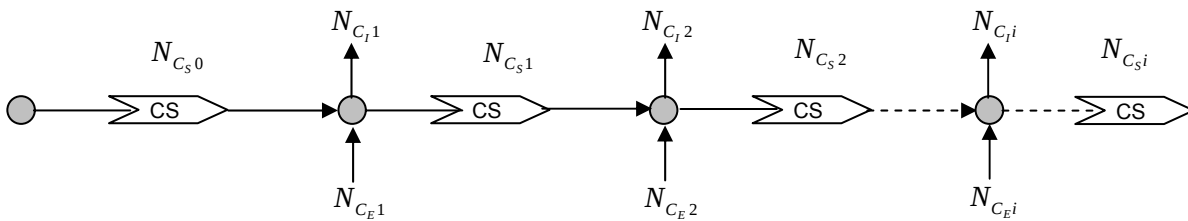


Abbildung 59: Bestimmung des Vollcontaineraufkommens einer Rundreise

$$N_{CR} = \sum_1^k (N_{Ci} + N_{Ce i})$$

pro Hafen gilt:

$$N_{Ci} + N_{Ce i} = \Delta_i \cdot \frac{NTEU_s}{F_{TEU}} \cdot \alpha$$

wobei Δ_i die Menge umzuschlagender Container im Hafen i anteilig gemessen an der Schiffsnettoladepazität ist. Durch α wird, wie bereits erwähnt, eine eventuell verminderte Auslastung durch geringeres Ladungsaufkommen berücksichtigt. Somit ist die Menge umzuschlagender Container:

$$N_{CR} = \sum_1^k \Delta_i \cdot \frac{NTEU_s}{F_{TEU}} \cdot \alpha = \frac{NTEU_s}{F_{TEU}} \cdot \alpha \cdot \sum_1^k \Delta_i$$

Die Aufsummierung der anteiligen Umschlagmengen pro Hafen und Stellplatz ist die Wiederbelegung W_R eines Stellplatzes pro Rundreise:

$$\sum_1^k \Delta_i = 2 \cdot W_R$$

Somit kann die Anzahl aller pro Rundreise umzuschlagender Container N_{CR} und damit notwendigen Umschlagoperationen allein durch die Schiffsnettoladepazität in TEU, einem Auslastungsfaktor und einer angenommenen Wiederbelegung eines Stellplatzes bestimmt werden.

$$N_{CR} = \frac{NTEU_s}{F_{TEU}} \cdot \alpha \cdot 2 \cdot W_R$$

Jede Umschlagoperation wird mit einem Kaitarif, der einerseits für 20'- bzw. 40'-Container und andererseits zwischen den Kontinenten unterschiedlich ist, belegt. Die Aufteilung der Umschlagmenge N_{CR} in 20' und 40' erfolgt über:

$$\begin{aligned} N_{CR} &= N_{C20R} + N_{C40R} \\ N_{C20R} &= \left(\frac{2NTEU_s}{F_{TEU}} - NTEU_s \right) \cdot \alpha \cdot 2 \cdot W_R \\ N_{C40R} &= \left(NTEU_s - \frac{NTEU_s}{F_{TEU}} \right) \cdot \alpha \cdot 2 \cdot W_R \end{aligned}$$

Bezüglich der Verteilung der Umschlagoperationen zwischen den Kontinenten kann man davon ausgehen, dass die Hälfte der Umschlagoperationen einer Rundreise auf einem Kontinent stattfindet. Vereinfachend werden pro Kontinent gleiche Kaitarife angenommen. Der Unterschied der Kaitarife lässt sich über einen Faktor β ausdrücken, zum Beispiel:

$$K_{KAI_{20}Asien} = \beta \cdot K_{KAI_{20}Europa}$$

Mit diesen Abstraktionen lassen sich die Zeitkomponenten einer Rundreise mit k-Häfen, ohne sie genau zu kennen, wie folgt berechnen:

$$T_R = T_{SR} + T_{LR}$$

$$T_R = \underbrace{\frac{S_R}{V_S}}_{\text{Seezeit}} + \underbrace{k \cdot T_H + \frac{NTEU_S}{F_{TEU}} \cdot 2 \cdot \alpha \cdot W_R \cdot \frac{T_{UM}}{N_{CB}}}_{\text{Hafenzeit}}$$

Darauf aufbauend generieren sich die Kostenkomponenten zu:

$$K_{FR} = K_{FS} \cdot \left(\frac{S_R}{V_S} + k \cdot T_H + \frac{NTEU_S}{F_{TEU}} \cdot 2 \cdot \alpha \cdot W_R \cdot \frac{T_{UM}}{N_{CB}} \right)$$

$$K_{VSR} = K_{VS} \cdot \frac{S_R}{V_S}$$

$$K_{VHR} = K_{HS} \cdot T_{LR}$$

$$K_{UR} = \alpha \cdot W_R \cdot (1 + \beta) \cdot \left(K_{KAI_{20}Europa} \cdot \left(\frac{2NTEU_S}{F_{TEU}} - NTEU_S \right) + K_{KAI_{40}Europa} \cdot \left(NTEU_S - \frac{NTEU_S}{F_{TEU}} \right) \right)$$

Die Berechnungen der Einnahmen einer Rundreise werden in ähnlicher Weise abstrahiert.

4.8.2 Allgemeines Einnahmenmodell

Vereinfachend wird auch hier wieder angenommen, dass sich die Einnahmen pro Container, die auf einem Kontinent erzielbar sind, durch ein Verhältnis zu den erzielbaren Einnahmen¹⁹ des anderen Kontinents ausdrücken lassen, zum Beispiel:

$$E_{C \text{ Asien-Europa}} = \delta \cdot E_{C \text{ Europa-Asien}}$$

Die Menge der Vollcontainer ist gleich der halben Menge der Umschlagoperationen der Rundreise bei Imbalance 0 %. Sind Imbalancen vorhanden, so reduziert sich im Gebiet der Imbalancen die Vollcontainermenge um die Differenz der Imbalance zur Vollausslastung.

$$N_{CVR} = \frac{NTEU_S}{F_{TEU}} \cdot \frac{\alpha}{2} \cdot W_R + \frac{NTEU_S}{F_{TEU}} \cdot \frac{\alpha}{2} \cdot W_R \cdot (100\% - Q_R)$$

¹⁹ Die Einnahmen umfassen Frachtrate, zweimal THC sowie CAF

Bei der Berechnung der Einnahmen sind, wie schon aufgezeigt, für 20'- und 40'-Container unterschiedliche Frachtraten²⁰ anzusetzen. Im Gebiet der Imbalance reduziert sich jeweils die Frachtrate um den Faktor δ . Die Einnahmen, die sich mit vollen 20'-Containern pro Rundreise erzielen lassen, berechnen sich zu:

$$E_{R20} = E_{C_{20} \text{ Europa-Asien}} \cdot \left(\frac{2 \cdot NTEU_s}{F_{TEU}} - NTEU_s \right) \cdot \frac{\alpha \cdot W_R}{2} \cdot (1 + \delta \cdot (100\% - Q_R))$$

Die Einnahmen der 40'-Container sind berechenbar über:

$$E_{R40} = E_{C_{40} \text{ Europa-Asien}} \cdot \left(NTEU_s - \frac{NTEU_s}{F_{TEU}} \right) \cdot \frac{\alpha \cdot W_R}{2} \cdot (1 + \delta \cdot (100\% - Q_R))$$

Der Aufschlag (BAF) für den Brennstoffverbrauch ist ebenfalls eine Einnahme und wird auf jeden vollen TEU erhoben.

$$E_{BAF} = BAF_{TEU} \cdot NTEU_s \cdot \frac{\alpha \cdot W_R}{2} \cdot (1 + (100\% - Q_R))$$

Die Summe der Einnahmen ergibt die Gesamteinnahmen pro Rundreise.

4.8.3 Allgemeines Bewertungsmodell zur Rentabilität und Produktivität

Die Rentabilitäts- und Produktivitätsberechnung ergibt sich mit den vereinfachten Kosten- und Einnahmenberechnungen wie in Abbildung 60 dargestellt.

Im nächsten Kapitel sollen nun die wesentlichen Parameter des Modells und deren Möglichkeit zur Veränderung diskutiert werden.

²⁰ Frachtrate umfasst hier alle Bestandteile inkl. BAF, CAF und THC

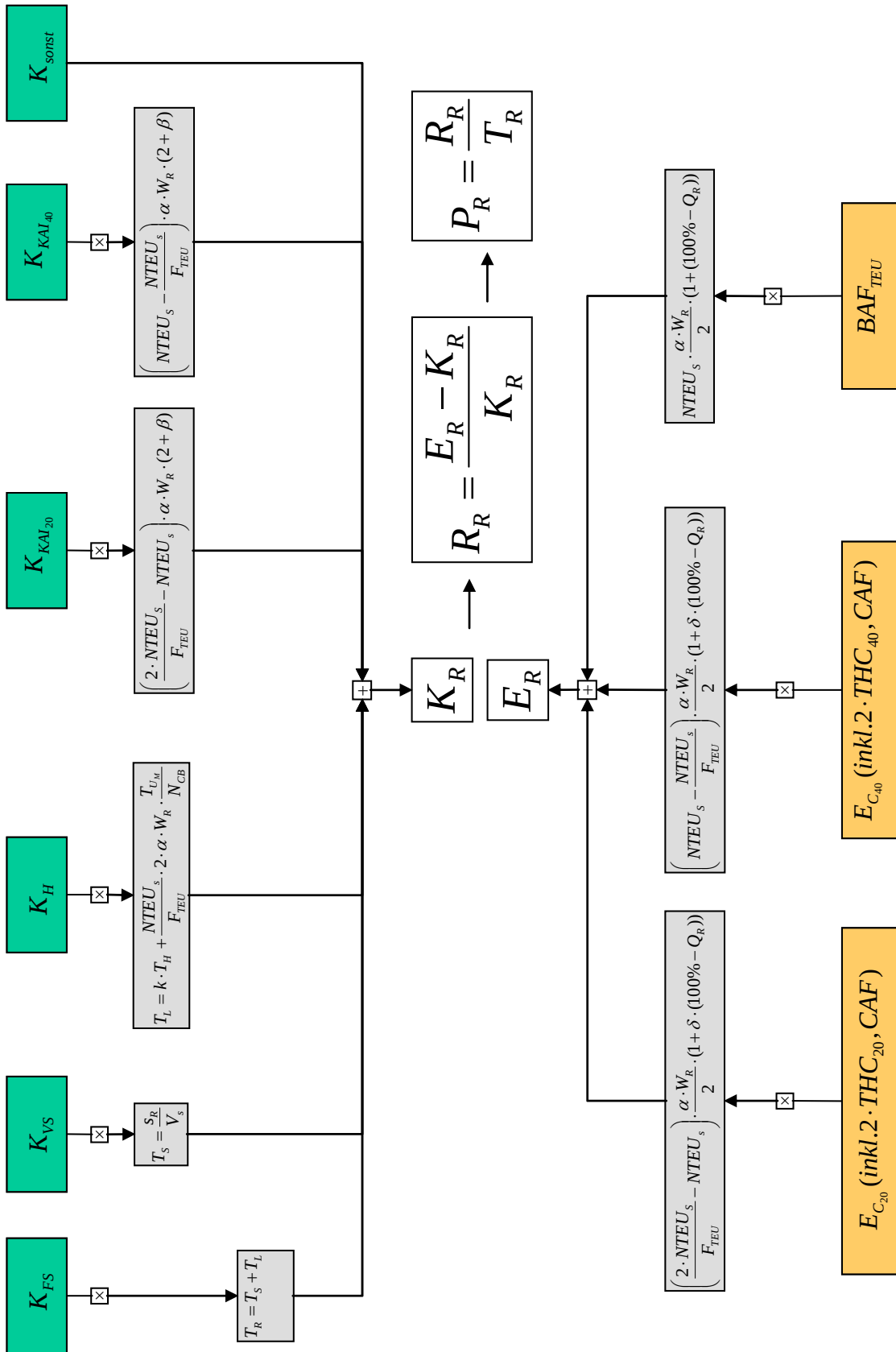


Abbildung 60: Allgemeines Bewertungsmodell zur Wirtschaftlichkeit verschiedener Containerschiffsgrößen

5. Varianzuntersuchungen am Bewertungsmodell

5.1 Relevante Parameter

Es werden folgende Parameter diskutiert:

- Wiederbelegung W_R
- Auslastung α
- Anzahl der Häfen k
- Dauer des Umschlagprozesses T_U
- Imbalance Q_{IB}
- TEU-Faktor F_{TEU}

Die Diskussion dieser Parameter erfolgt immer unter der Randbedingung, dass alle anderen Parameter sowie Kosten- und Einnahmenbestandteile zunächst unverändert bleiben. Einige Parameter wie beispielsweise die Wiederbelegung W_R und die Anzahl der Häfen k stehen jedoch in einem logischen Zusammenhang. Darauf wird dann gesondert hingewiesen.

Die Diskussion der monetären Koeffizienten auf Kosten- und Einnahmenseite wird im Rahmen dieser Arbeit nur bedingt geführt, da hier keine Möglichkeit der Einflussnahme durch logistische Maßnahmen gesehen wird.

5.2 Einfluss der Wiederbelegung W_R

Die Wiederbelegung eines Stellplatzes pro Rundreise W_R ist ein Parameter, der neben der eigentlichen Transportnachfrage maßgeblich durch das Verkaufsangebot und Verkaufsgeschick einer Reederei bzw. der von ihr beauftragten Agenten abhängt. Als Minimalwert wird für eine Rundreise der Wert 2 angenommen. Dies bedeutet, dass sowohl auf der Hin- als auch auf der Rückreise ein Stellplatz mit einem Container belegt wird. Daraus resultiert die logische Annahme, dass die Wiederbelegung nicht kleiner als die Anzahl der beteiligten Häfen einer Rundreise sein soll. Dies ist zwar möglich, aber dann sind in dieser Rundreise Leerfahrten enthalten, die nicht in der vergleichenden Rentabilitätsuntersuchung berücksichtigt werden sollen.

Die Wiederbelegung führt auf Kosten- und Einnahmenseite zu unterschiedlichen Effekten. Kostenseitig wird sie voll wirksam, da jede Wiederbelegung 2 Umschlagoperationen (Laden und Löschen) erfordert. Einnahmenseitig macht sich die Wiederbelegung nur dann bemerkbar, wenn mit jedem Vollcontainer die volle Frachtrate erzielt wird. Unterschiedliche Wiederbelegungen haben folgende Auswirkungen auf die Rentabilität (Abbildung 61):

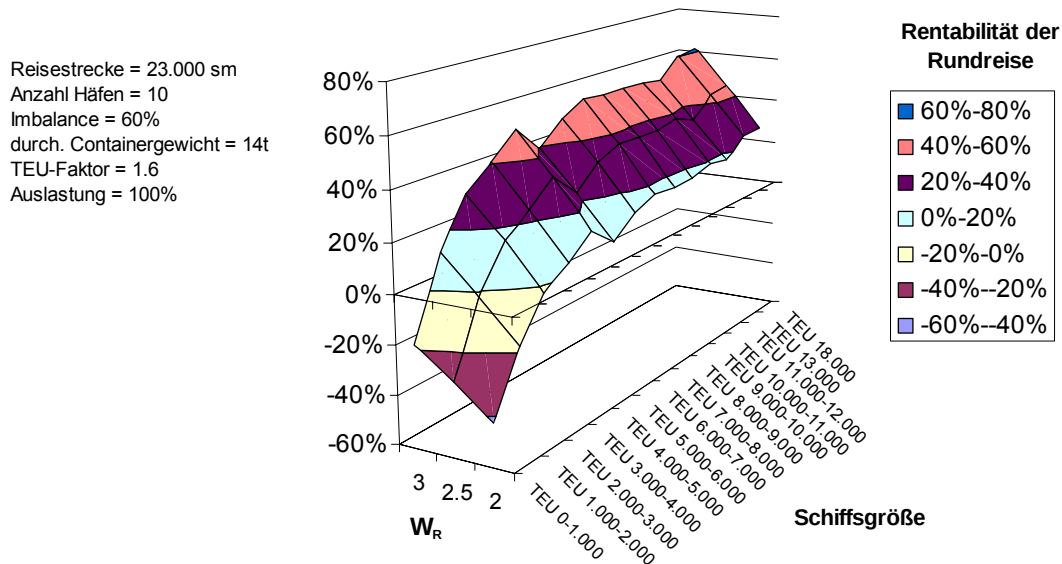


Abbildung 61: Allgemeiner Einfluss der Wiederbelegung W_R auf die Rentabilität einer Rundreise

Generell macht sich eine hohe Wiederbelegung positiv in der Rentabilität einer Rundreise bemerkbar. Es ist auch allgemein zu erkennen, dass kleinere Schiffe rentabler als größere sein können, sobald sie eine höhere Wiederbelegung als das größere Schiff haben. Bei der Rundreiseproduktivität ist ein ähnlicher Effekt zu beobachten, jedoch liegt die maximal erreichbare Rundreiseproduktivität nicht mehr bei den größten Schiffen (Abbildung 62). Bei Schiffen im Bereich von 7.000 bis 8.000 TEU wird das Maximum erreicht, d.h. pro Zeiteinheit wird dort mit zunehmender Wiederbelegung die höchste Rendite erzielt. Eine höhere Wiederbelegung als 3 wird nicht angenommen.

Es zeigt sich bereits jetzt, dass die Frage nach dem wirtschaftlichsten Schiff eigentlich nicht durch stationäre Kosten- und Einnahmenparameter zu beantworten ist. Vielmehr gilt es auch zu klären, wie sich der Ladungsdurchsatz bzw. die relationalen Verknüpfungen zwischen den Häfen während einer Rundreise gestalten. Diese Randbedingungen werden allgemein zu wenig betrachtet, obgleich sich zeigt, dass sie sich in den einzelnen Schiffsgrößenclustern unterschiedlich auswirken.

Reisestrecke = 23.000 sm
 Anzahl Häfen = 10
 Imbalance = 60%
 durch. Containergewicht = 14t
 TEU-Faktor = 1.6
 Auslastung = 100%

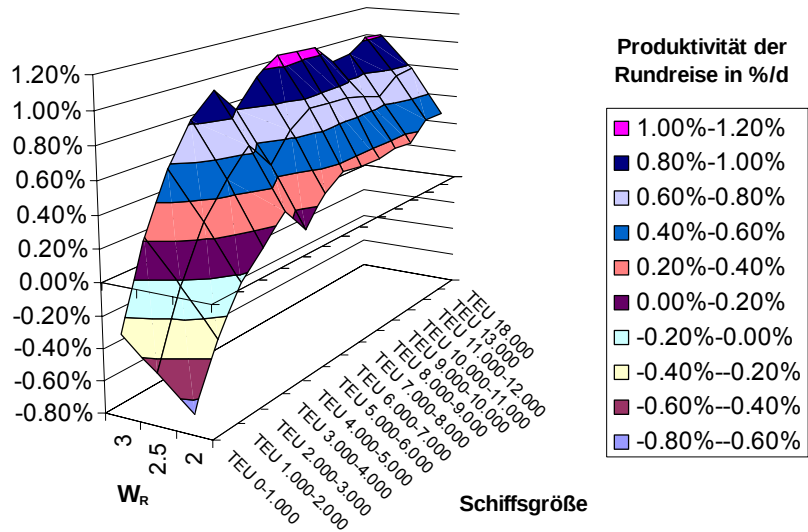


Abbildung 62: Allgemeiner Einfluss der Wiederbelegung W_R auf die Produktivität einer Rundreise

5.3 Einfluss der Auslastung α

Bei den bisherigen Annahmen wurde immer davon ausgegangen, dass die maximal mögliche Ladungsmenge unter Berücksichtigung der Imbalancen zur Verfügung steht. Zu klären ist, ob sich Auslastungsverluste entscheidend bemerkbar machen. Die Rentabilität verändert sich mit abnehmender Auslastung (Abbildung 63).

Reisestrecke = 23.000 sm
 Anzahl Häfen = 10
 Imbalance = 60%
 durch. Containergewicht = 14t
 TEU-Faktor = 1.6
 $W_R = 2.5$

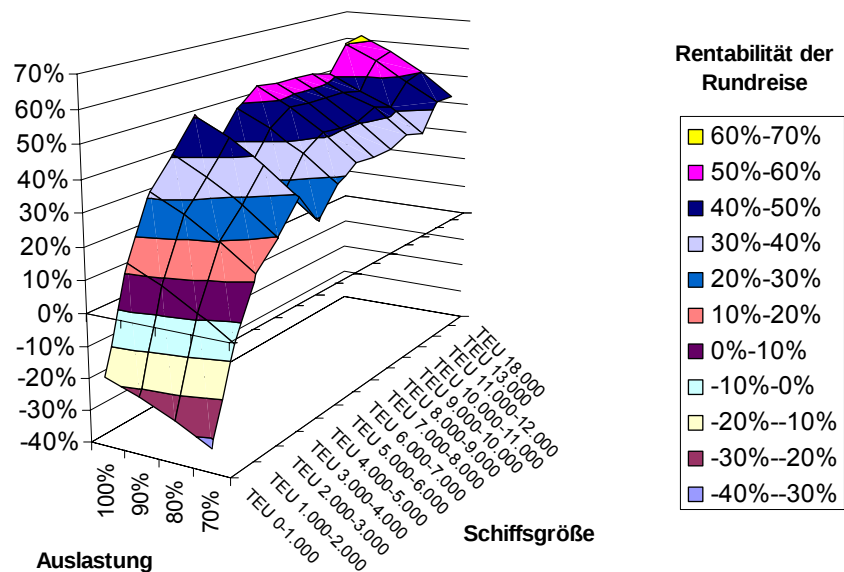


Abbildung 63: Allgemeiner Einfluss der Auslastung α auf die Rentabilität einer Rundreise

Auslastungsverluste machen sich auch bei der Produktivität bemerkbar (Abbildung 64).

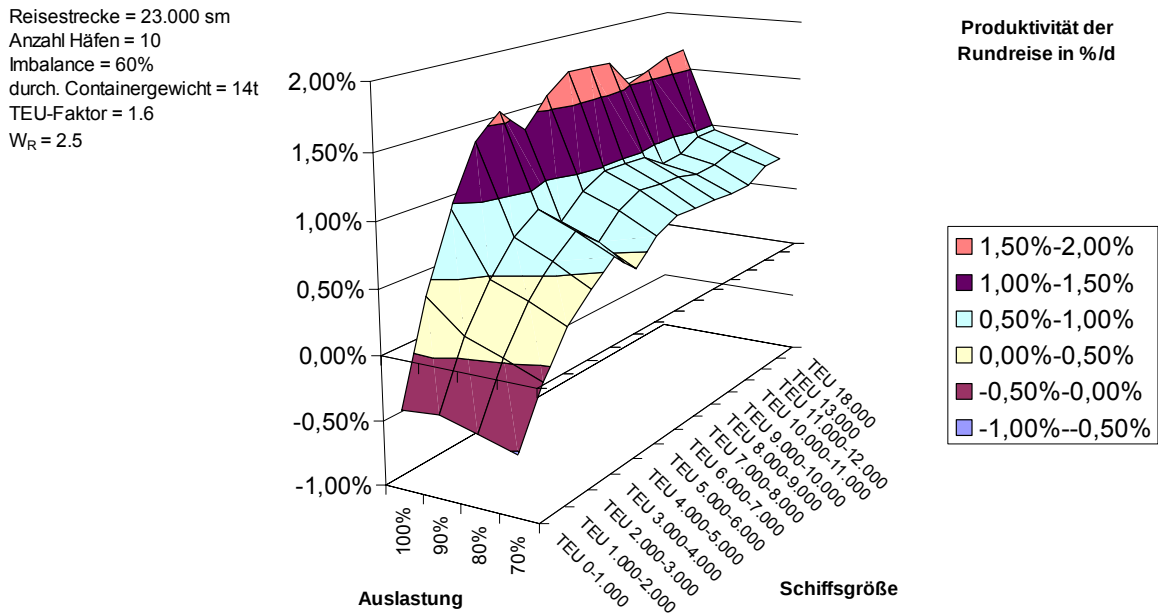


Abbildung 64: Allgemeiner Einfluss der Auslastung α auf die Produktivität einer Rundreise

Prozentual scheinen die Schiffe vergleichsweise ähnlich auf Auslastungsverluste zu reagieren. Jedoch muss beachtet werden, dass 10 % Auslastungsverlust bei einem kleinen Schiff deutlich weniger Containermengen erfasst als bei einem großen Schiff. Sollten beispielsweise während einer Rundreise 1.000 TEU an Container nicht bereit stehen, so ist das für ein 1.000-TEU-Schiff ein Auslastungsverlust von nahezu 30 % (unter der Annahme $W_R = 3$). Bei einem 12.000-TEU-Schiff wären das lediglich 2 bis 3 % Auslastungsverlust. Große Containerschiffe scheinen sich somit robuster gegenüber Auslastungsverlusten darzustellen.

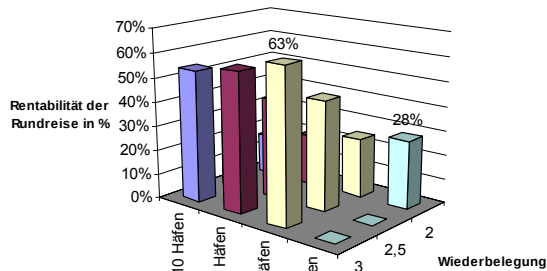
5.4 Einfluss der Anzahl der Häfen

Eine Veränderung der Anzahl der Häfen hat mehrere Auswirkungen. So kann sich die Wiederbelegung der Containerstellplätze verändern. Bei nur zwei Häfen ist keine größere Wiederbelegung als zwei möglich. Bei mehr als zwei beteiligten Häfen an einer Rundreise steigt die Chance, dass die Wiederbelegung über zwei steigt. Bleiben die anderen Randbedingungen einer Rundreise unverändert, so reduzieren sich die Kosten einer Rundreise lediglich um die Hafenanlaufkosten und im geringen Maße auch um die Fixkosten, da einige Hafenan-

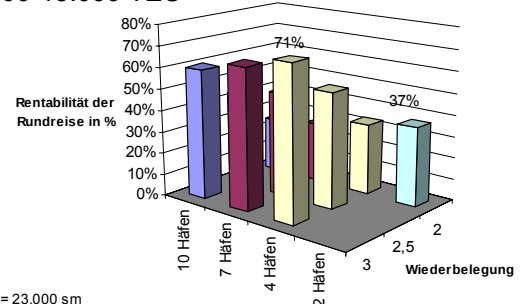
laufzeiten mit verminderter Geschwindigkeit entfallen und somit die Reisezeit etwas verkürzt wird. Die Reisstrecke soll aber zunächst unverändert bleiben.

Bei den bisherigen Rentabilitäts- und Produktivitätsbetrachtungen haben sich Schiffe zwischen 7.000 bis 8.000 TEU sowie 12.000 bis 13.000 TEU als die rentabelsten bzw. produktivsten Schiffe herausgestellt. Daher soll sich die Betrachtung zur Veränderung der Anzahl der Häfen auf diese zwei Schiffsgößencluster beschränken. Verschiedene Wiederbelegungen als auch die Anzahl unterschiedlicher Häfen sind jedoch Szenarien und keine Parameter, die im eigentlichen Sinne frei eingestellt werden können, sondern – wie bereits erwähnt – vom Ladungsangebot und Verkaufsgeschick einer Reederei abhängen. Für die beiden betrachteten Schiffsgößencluster ergeben sich folgende Szenariendarstellungen für veränderte Wiederbelegungen und Anzahl an Häfen (Abbildung 65):

7.000-8.000 TEU



12.000-13.000 TEU



Reisstrecke = 23.000 sm
Anzahl Häfen = 10
Imbalance = 60%
durch. Containergewicht = 14t
TEU-Faktor = 1.6
Auslastung = 100%

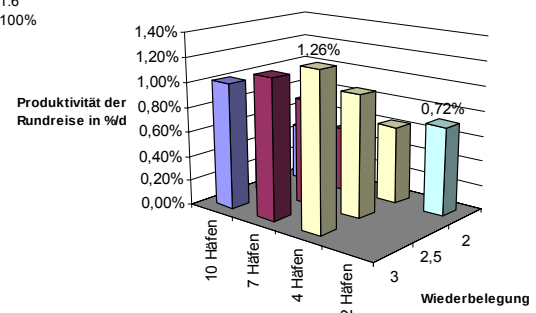
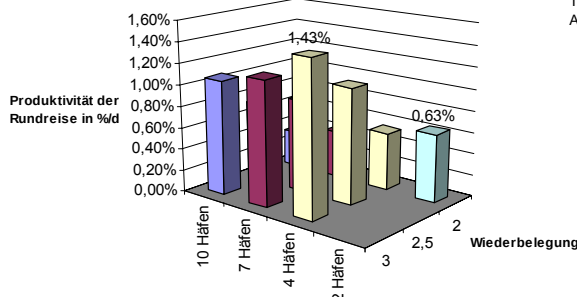


Abbildung 65: Theoretischer Einfluss der Wiederbelegung und der Anzahl der Häfen auf die Wirtschaftlichkeit der Containerschiffe

Das ideale Szenario müsste sich nach Abbildung 65 durch wenige Häfen in einer Rundreise mit hoher Wiederbelegung der Stellplätze der Containerschiffe auszeichnen. Das sind jedoch recht unwahrscheinliche Szenarien. Wie schon erläutert, kann bei zwei beteiligten Häfen einer Rundreise (z.B. in einem Hub-Feeder-System) die Wiederbelegung der Stellplätze nicht über 2 steigen. Mit zunehmender Anzahl der Häfen steigt dafür die Wahrscheinlichkeit,

die Stellplätze mehr als zweimal während einer Rundreise zu belegen. Somit ist hier eine Art Dilemma vorhanden, dass die höhere Wirtschaftlichkeit in Richtung wenig Häfen mit hoher Wiederbelegung tendiert, sich die Wiederbelegung aber reduziert. Der Wirtschaftlichkeitseffekt der Hafenreduzierung geht damit zum Teil wieder verloren. Soll die Rentabilität bzw. Produktivität der Schiffe bei weniger Häfen trotzdem beibehalten werden, so müsste die Reisedistanz verkürzt werden, um dadurch See- und Fixkosten (Reisezeitverkürzung) einzusparen.

Würde beispielsweise das 7.000- bis 8.000-TEU-Schiff unverändert in einer Rundreise von 10 Häfen und einer Wiederbelegung von 3 verbleiben (Rentabilität ca. 54 % und Produktivität ca. 1,07 % pro Tag) und würde das 12.000- bis 13.000-TEU-Schiff in einem Hub-Feeder-System mit nur 2 Hubhäfen operieren, so müsste sich die Seestrecke des 12.000- bis 13.000-TEU-Schiffes um ca. 4.000 sm reduzieren, um die gleiche Produktivität wie beim 7.000- bis 8.000-TEU-Schiff zu erzielen bzw. in gleicher Zeiteinheit eine hohe Rendite zu erwirtschaften. Sollte das 7.000- bis 8.000-TEU-Schiff lediglich mit einer Wiederbelegung von 2,5 fahren, so wäre der Gleichstand dieser beiden Schiffe auch bei unveränderter Seestrecke des größeren Schiffes erreicht. Tendenziell zeichnet sich jedoch ab, dass es bei reduzierter Anzahl der Häfen je Rundreise vorteilhaft wäre, auch die Seestrecke zu verkürzen bzw. die Häfen so zu wählen, dass sich verkürzte Seewege für das Schiff ergeben, um die Wirtschaftlichkeit beizubehalten.

5.5 Einfluss der Umschlaggeschwindigkeit

In dem bisherigen Einnahmen-Kostenmodell wurde die Umschlaggeschwindigkeit nach [Cux-00] berechnet und mit einem Hafenanlauf- und -ablegeoffset von 2 Stunden belegt. Die realen Liegezeiten des Hamburger Hafens im Jahr 2005 weisen jedoch darauf hin, dass zumindest in Hamburg diese Umschlaggeschwindigkeiten bei weitem nicht erreicht werden. Deshalb soll der Einfluss der Liegezeiten auf die Rentabilität und Produktivität der Schiffe näher untersucht werden. Würde man anstatt der bisher benutzten Regel zur Berechnung der Liegezeiten eines Schiffes das statistische Mittel des Hamburger Hafens für jedes Schiffsgrößencluster einsetzen, so würden sich die Reisezeiten wie folgt verändern (Abbildung 66):

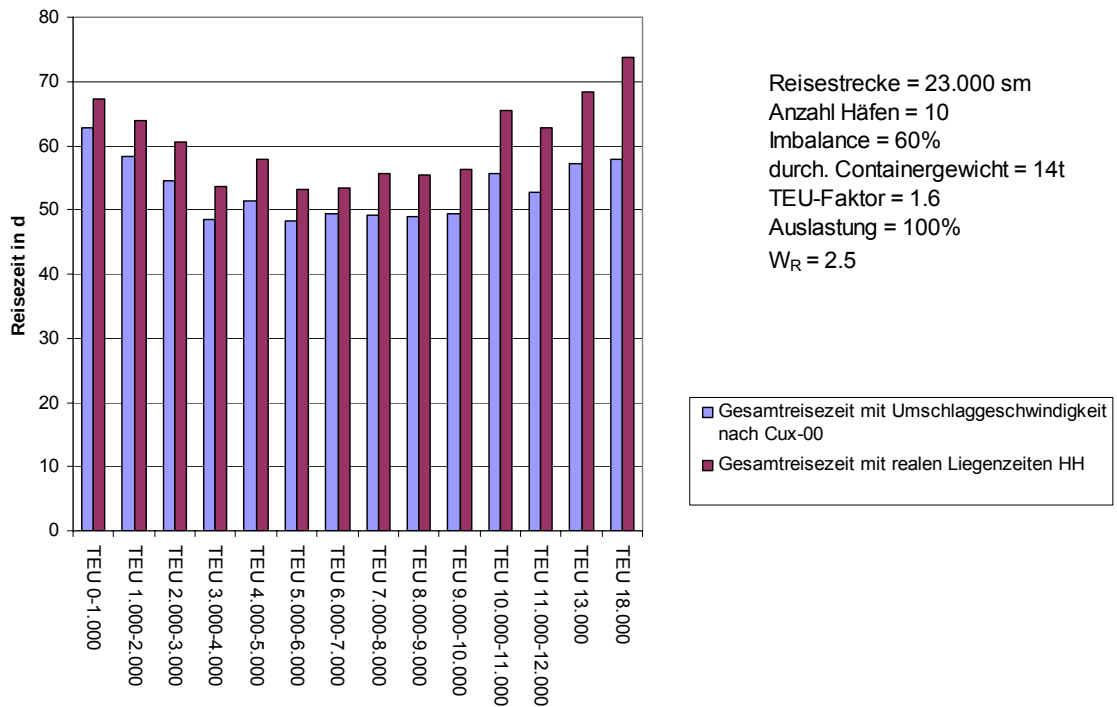


Abbildung 66: Veränderung der Reisezeiten unter Berücksichtigung der im Hamburger Hafen üblichen Liegezeiten

Die Reisezeitverlängerung pro Rundreise lässt Abbildung 66 klar erkennen, bei einer Jahresbetrachtung fällt sie aber noch deutlicher auf. Die Anzahl möglicher Rundreisen pro Jahr zeigt Abbildung 67.

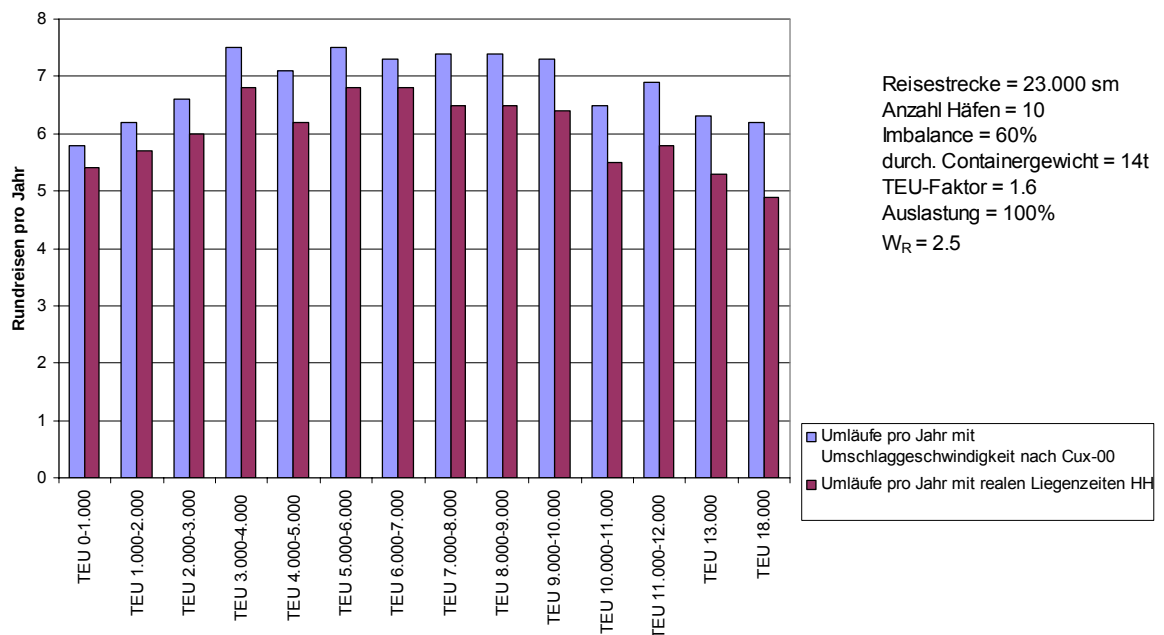


Abbildung 67: Anzahl möglicher Rundreisen pro Schiffsgrößencluster in einem Jahr in Abhängigkeit unterschiedlicher Umschlaggeschwindigkeiten

Falls die Liegezeiten der Schiffe nach dem Verfahren Cux-00 eintreten und sich nicht an den realen Liegezeiten des Hamburger Hafens orientieren, können Schiffe ab ca. 7.000- bis 8.000-TEU-Schiffsgröße eine Rundreise und damit einen kompletten Produktionszyklus pro Jahr mehr ausführen.

Die Umschlaggeschwindigkeit bzw. die davon abhängige Liegezeit eines Schiffes im Hafen ist somit von maßgebender Bedeutung für die Rentabilität und Produktivität eines Schiffes. Kürzere Liegezeiten bewirken nicht nur weniger Kosten im Bereich der Hafenkosten (z.B. Raumentgelt), sondern vor allem weniger Fixkostenumlagen pro Rundreise durch die Umlaufbeschleunigung der Schiffe (Abbildung 68).

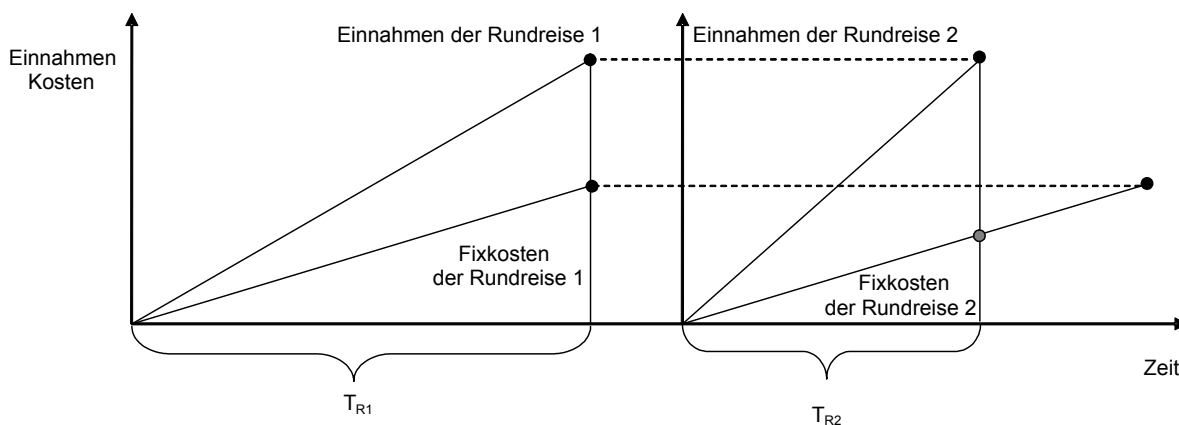


Abbildung 68: *Prinzipieller Effekt der Umlaufbeschleunigung bei Containerschiffen auf die Einnahmen und Kosten*

Im Idealfall bleiben sogar die Einnahmen bei weniger Kosten in einem verkürzten Zeitraum gleich. Damit steigt sowohl die Rentabilität als auch die Produktivität eines Schiffes stark.

Die Rentabilität und Produktivität einer Rundreise gestalten sich durch diesen Effekt wie in Abbildung 69 dargestellt.

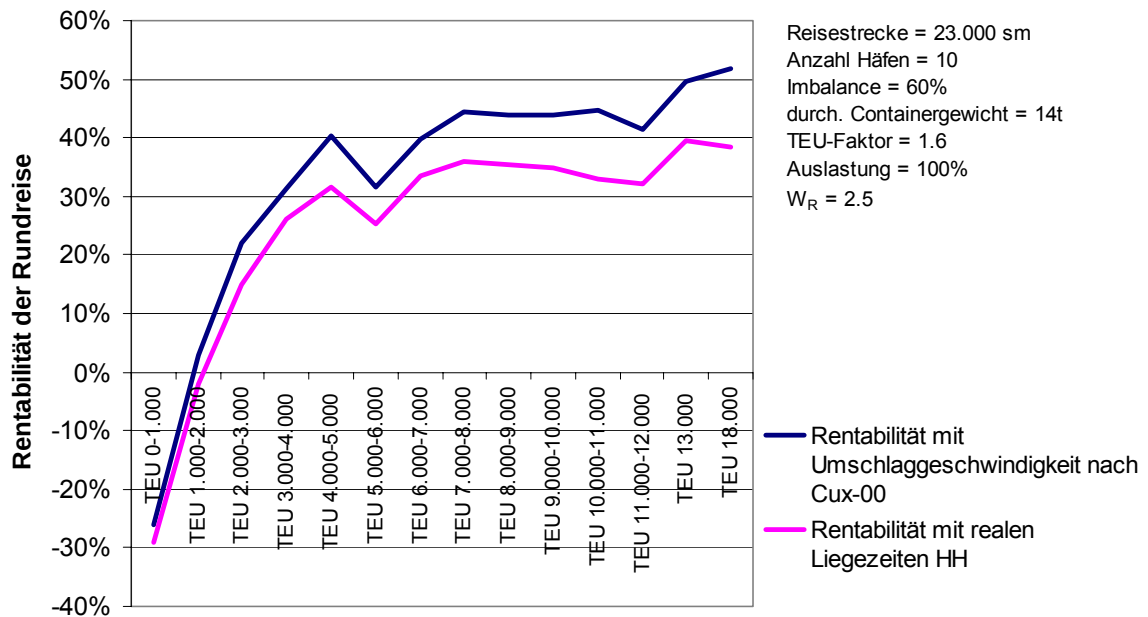


Abbildung 69: Einfluss unterschiedlicher Umschlaggeschwindigkeiten auf die Rentabilität

Sollten die Liegezeiten des Hamburger Hafens als Weltmaßstab gelten, so würde sich die Rentabilität, die für die Berechnung der Liegezeiten bisher auf Planungsannahmen aus dem Jahr 2000 eines eventuellen Hafens in Cuxhaven beruhen, um mehr als 10 % in Abhängigkeit der Schiffsgröße verschlechtern. Die Produktivität würde ebenfalls deutlich sinken (siehe Abbildung 70).

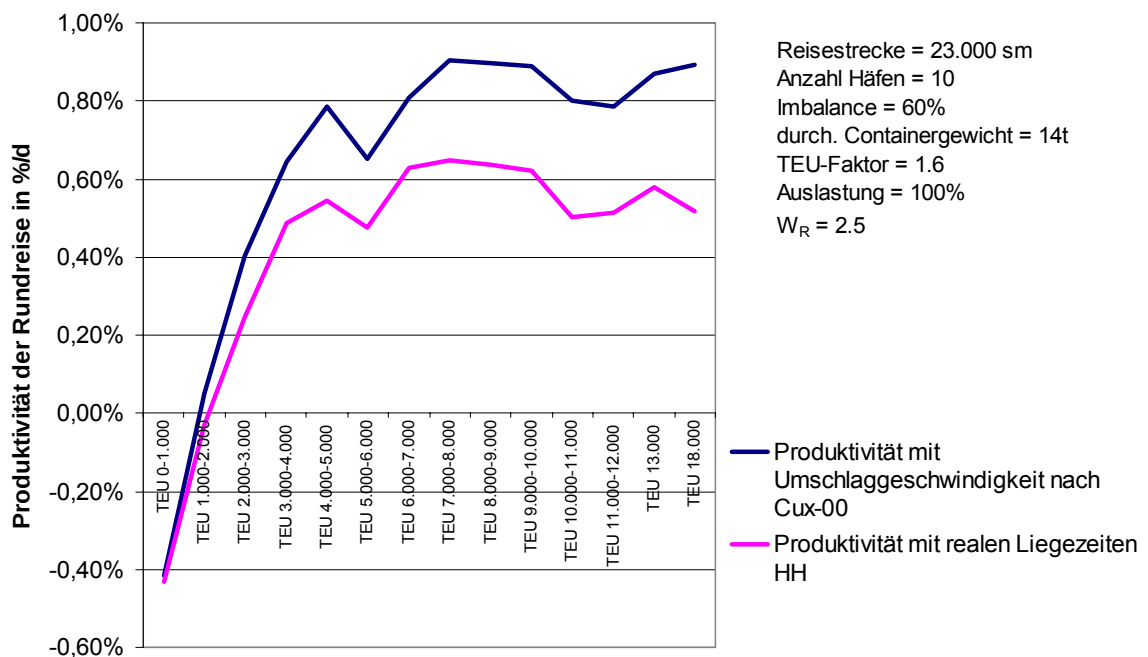


Abbildung 70: Einfluss unterschiedlicher Umschlaggeschwindigkeiten auf die Produktivität

Die Bedeutung der Hafenliegezeit soll noch mit zwei praktischen Beispielen erhärtet werden.

Beispielsweise wird eine Europa-Asien-Rundreise von der Hapag-Lloyd AG mit 8 Häfen und ca. 23.000 sm (Hapag-Lloyd Europe - Asia Loop 1/EU1 mit Stand vom 24.10.2006) angeboten. Die Rundreisezeit soll 55 Tagen betragen. Dieser Wert stellt sich auch mit den realen Liegezeiten des Hamburger Hafens ein, wenn diese in die Modellgleichung aus Abbildung 60 auf andere Häfen übertragen werden.

Zu einem ähnlichen Ergebnis kommt ein Vergleich mit dem von Cosco angebotenen AE1 Loop (Stand 24.10.2006). Aus diesem Vergleich lässt sich schlussfolgern, dass die in der Literatur benutzten Berechnungsverfahren zur Bestimmung der Umschlaggeschwindigkeit und der daraus abgeleiteten Hafenliegezeit eines Schiffes vermutlich zu optimistisch sind. Sollten sie jedoch zutreffen, so gibt es in jedem namhaften Containerhafen ein Potenzial von bis zu 50 % Schiffsliegezeitverkürzung (siehe auch Abbildung 38). Diese 50 %ige Liegezeitverkürzung eines Schiffes pro Hafen könnten die Rundreiserentabilität und -produktivität um mehr als 10 % anheben.

Die Differenz in der Rundreiserentabilität zwischen beispielsweise einem 12.000- bis 13.000-TEU-Schiff und einem 7.000- bis 8.000-TEU Schiff lag in ähnlichen Größenordnungen.

Durch Maßnahmen zur Umschlagbeschleunigung in den Häfen, und zwar durch solche, die sich an allgemeinen Planungsannahmen orientieren, können demnach ähnliche Effekte erreicht werden wie durch den Einsatz deutlich größerer Schiffe. Damit zeigt sich folgende Alternative: Anstatt in immer größere Schiffe sollte zunächst erst in schnellere und möglicherweise reedereieigene Containerterminals investiert werden. Damit ließen sich mit kleineren Schiffen ähnlich gute Rentabilitäten und Produktivitäten erzielen wie mit deutlich größeren Schiffen.

5.6 Einfluss der Imbalance Q_{IB}

In Abbildung 42 wurden die weltweiten Container-Imbalancen auf den Relationen Europa–Asien, Asien–Amerika und Europa–Amerika dargestellt. Größere Imbalancen wirken sich wie Auslastungsverluste aus, jedoch nur auf eine Hälfte der Rundreise. Daher sind Schwankungen in der Imbalance nicht ganz so stark zu bewerten wie Auslastungsverluste (Abbildung 71).

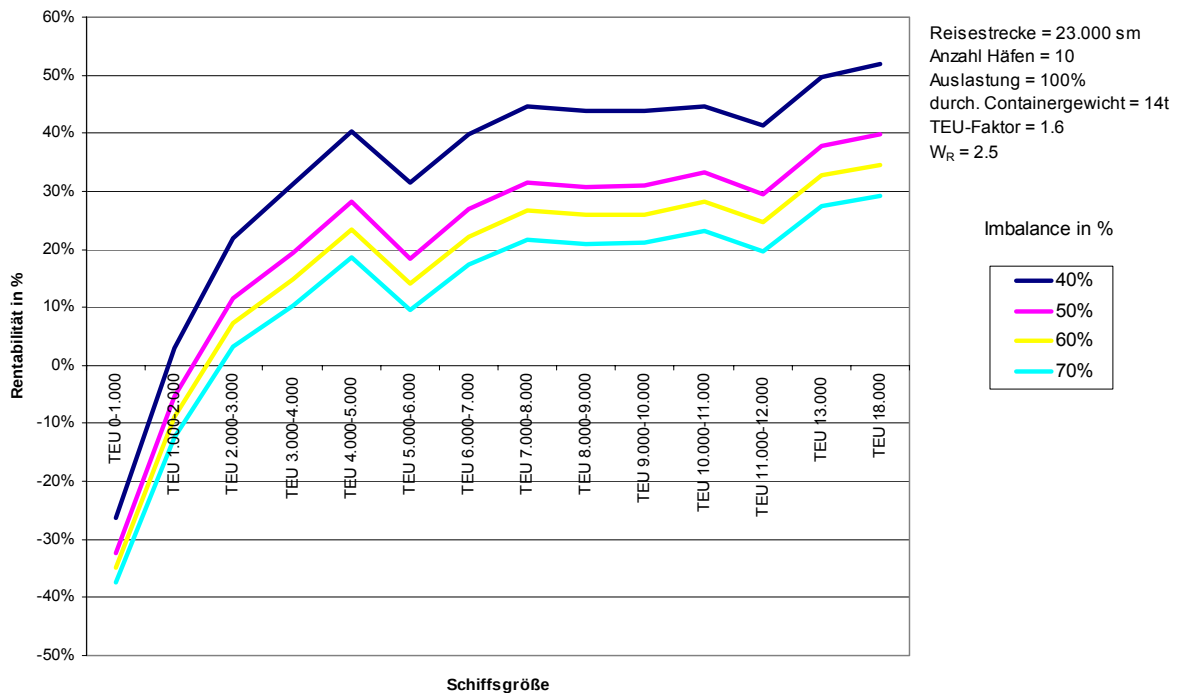


Abbildung 71: Einfluss verschiedener Imbalancen Q_{IB} auf die Rentabilität einer Rundreise

Allerdings kann es sein, dass auf Grund der unterschiedlichen Containerumlaufmengen – das sind alle Container einer Rundreise, die entweder auf den Schiffen oder gerade an Land sind – die Imbalancen unterschiedlich stark auf die verschiedenen Schiffe wirken. Für jeden TEU-Stellplatz auf einem Containerschiff müssen nach [ISL-05-2, S. 4] 2,4 TEU vorgehalten werden. Da aber auch in Abhängigkeit der Schiffsgrößen für ein und denselben Dienst unterschiedlich viele Schiffe bereitgestellt werden müssen, ergeben sich erhebliche Differenzen in den Containerumlaufmengen (siehe Abbildung 72).

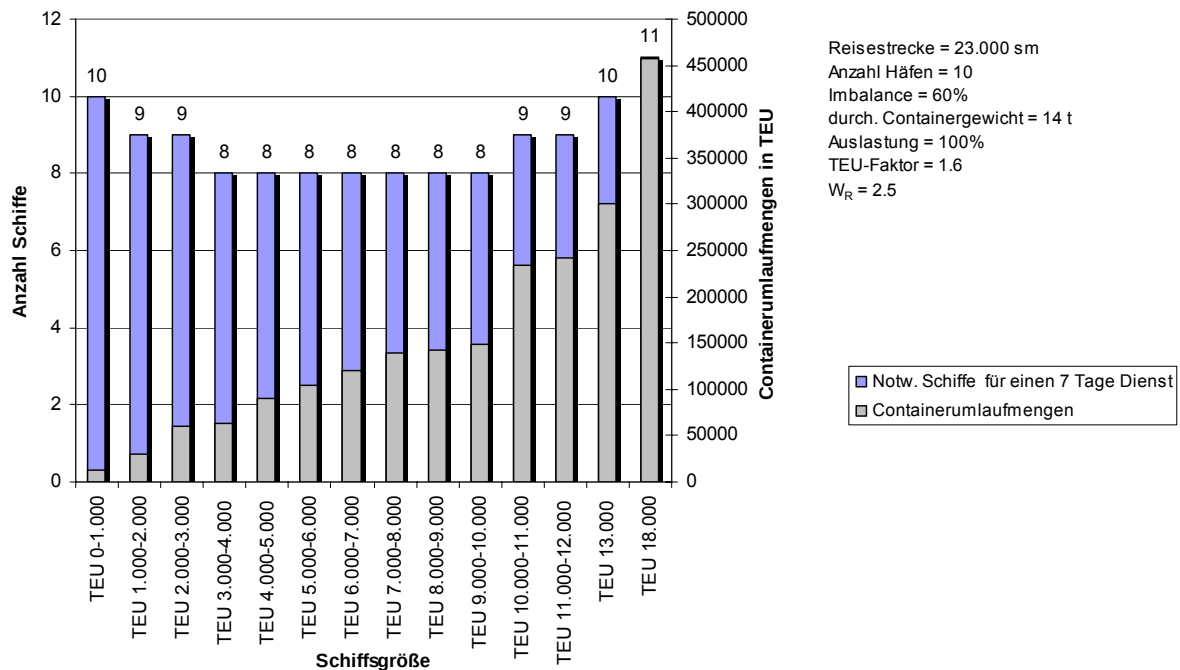


Abbildung 72: Anzahl der Schiffe und Containerumlaufmengen für einen 7-Tage-Dienst

Der Dienst mit dem größten Schiff braucht ca. 35-mal so viele Container wie der Dienst eines Schiffes aus dem kleinsten Schiffsgrößencluster. Es bleibt zu klären, ob die größeren Containermengen stärker von den Imbalancen betroffen sind als die kleineren. Eine Aufstellung ausgewählter Reedereien aus dem Transpazifik-Verkehr deutet darauf hin (Tabelle 19), dass es keinen Zusammenhang zwischen der Containerumlaufmenge und deren Reaktion auf die Imbalancen gibt.

Transpazifik				
Reederei	Westbound in 1000 TEU	Eastbound in 1000 TEU	Gesamt in 1000 TEU	Imbalance
MaerskLine	508	1150	1658	56%
Evergreen	248	1022	1270	76%
Hanjin	328	750	1078	56%
APL	248	703	951	65%
Hyundai	257	586	843	56%
Coscon	188	581	769	68%
OOCL	221	543	764	59%
China Ship	80	567	647	86%
NYK	172	473	645	64%
"K"Line	150	444	594	66%
Gesamtimbalance:				65%

Tabelle 19: Ausgewählte Reedereien aus dem Transpazifik-Verkehr und deren beförderte Containermengen in 2005 [Dyn-06-10]

Tabelle 19 zeigt, dass die Reederei Maersk Line, die die meisten Container im transpazifischen Fahrtgebiet befördert, zusammen mit der Hanjin-Reederei die geringsten Imbalancen zu verzeichnen hatte. Bei der Reederei Evergreen als zweitgrößter Transporteur trat dagegen eine Imbalance auf, die deutlich über dem Durchschnitt lag.

Die Wirkung unterschiedlicher Imbalancen auf die Produktivität ist in Abbildung 73 dargestellt.

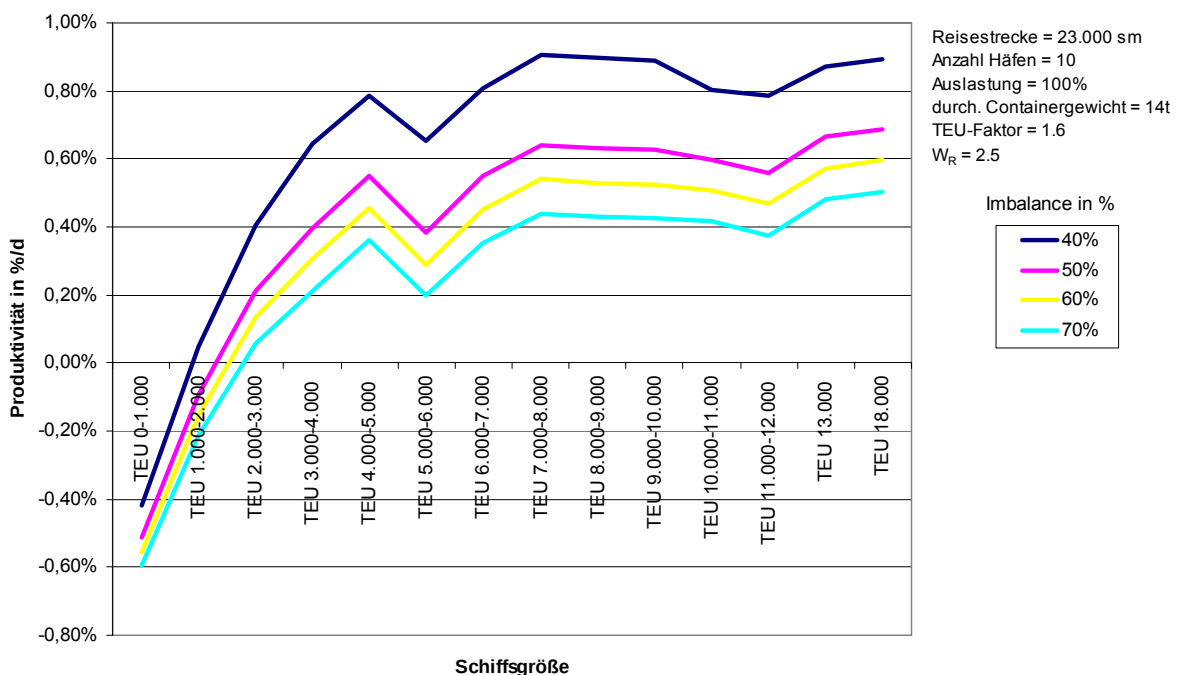


Abbildung 73: Einfluss verschiedener Imbalancen Q_{IB} auf die Produktivität einer Rundreise

5.7 Einfluss des TEU-Faktors F_{TEU}

Über den TEU-Faktor, der sich zwischen 1 und 2 bewegen kann, wird die Zusammensetzung der Containermenge aus 20'- und 40'-Containern ausgedrückt. Ein hoher TEU-Faktor bedeutet einen hohen Anteil an 40'-Containern. TEU-Faktor 1,6 bedeutet zum Beispiel 60 % Anteil an 40'-Containern. Mit zunehmender Anzahl an 40'-Containern verringert sich aber auch die Anzahl der Arbeitsspiele der Containerbrücken. Wenn beispielsweise bei einem Schiff 1.000 TEU gelöscht werden, so sind bei nur 20'-Containern 1.000 Arbeitsspiele notwendig. Sind dagegen nur 40'-Container zu löschen, so sind lediglich 500 Arbeitsspiele notwendig. Spreader, die mehrere Container auf einmal anschlagen können, sollen zunächst unberücksichtigt

bleiben. Die Rentabilität verhält sich damit unter einem veränderlichen TEU-Faktor tendenziell wie folgt (Abbildung 74).

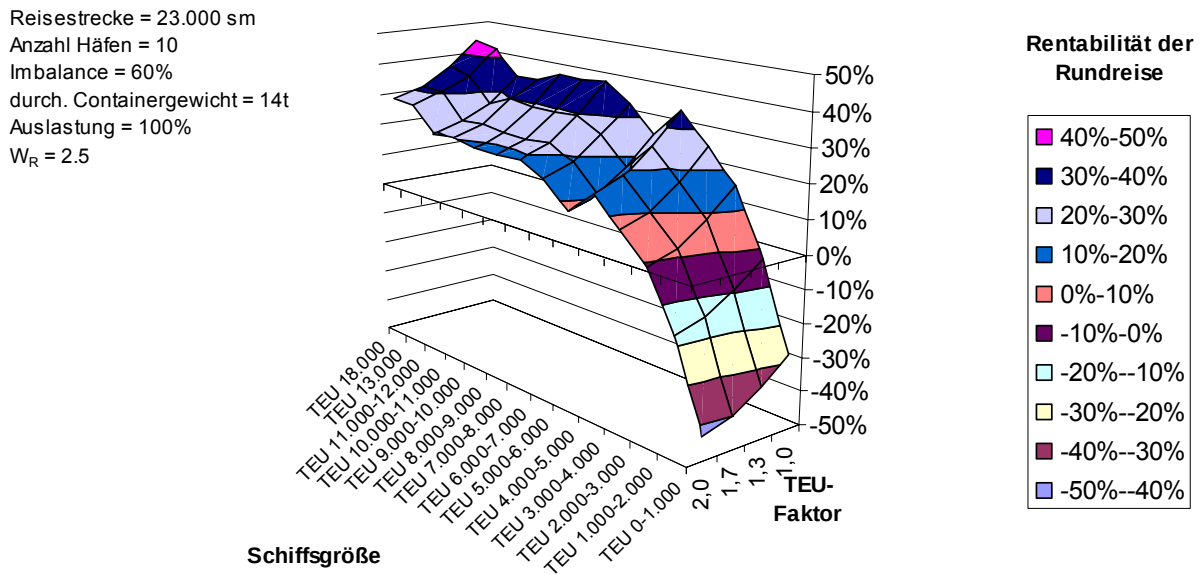


Abbildung 74: Einfluss des TEU-Faktors auf die Rentabilität einer Rundreise

Mit steigendem TEU-Faktor sinkt die Rentabilität. 40'-Container sind aus Sicht eines Schiffes unrentabler als 20'-Container. Ähnlich verhält es sich mit der Produktivität (Abbildung 75).

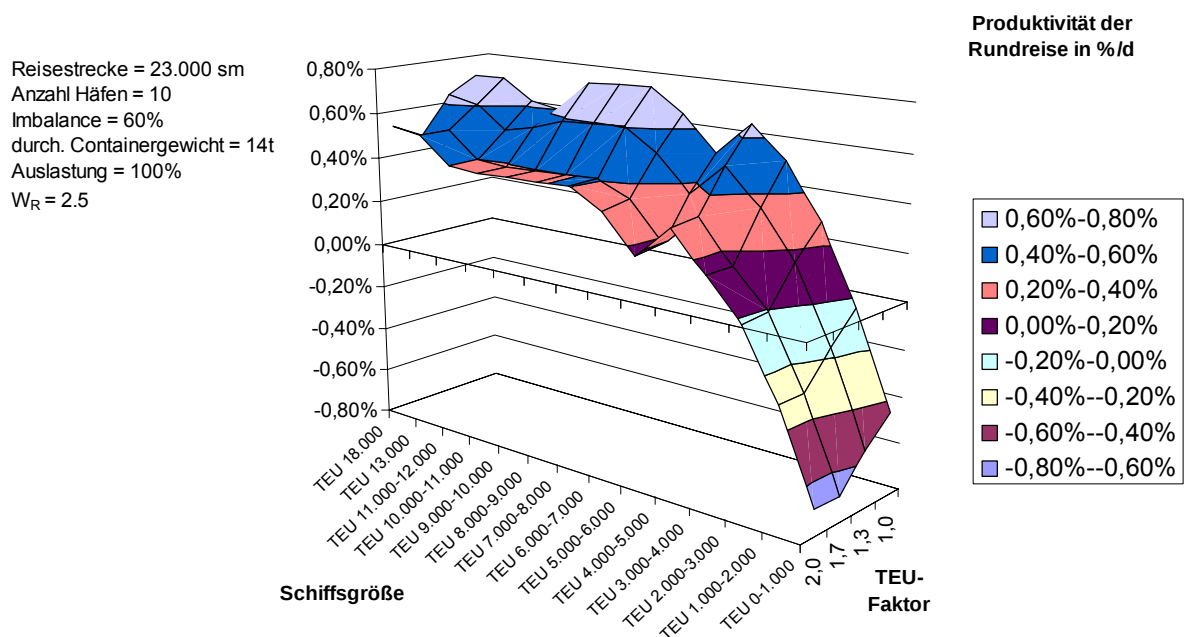


Abbildung 75: Einfluss des TEU-Faktors auf die Produktivität einer Rundreise

Wenn sich die Zahl der Arbeitsspiele verringert, so verringert sich auch die Umschlagzeit und damit die Umlaufzeit eines Schiffes. In dem vorliegenden Modell werden jedoch für einen 40'-Container nicht die doppelten Einnahmen gegenüber einem 20'-Container erzielt. Die Umlaufbeschleunigung gleicht diesen Einnahmenverlust nicht aus. Eine stärkere Tendenz zu mehr 40'-Containern muss demnach auch mit Frachtraterhöhungen für 40'-Containern einhergehen. Ein steigender TEU-Faktor wirkt sich insgesamt negativ auf die Wirtschaftlichkeit einer Rundreise aus.

5.8 Zusammenfassender Überblick zu den unterschiedlichen Einflussfaktoren

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass sich die Wirtschaftlichkeit der Containerschiffe in dem bisher betrachteten Liniensystem ab ca. 7.000 bis 8.000 TEU Schiffsgröße kaum noch steigern lässt und stellenweise sogar mit zunehmender Schiffsgröße wieder abnimmt. Unter idealen Voraussetzungen wie beispielsweise geringe Imbalancen und hohe Auslastung sind die größten hier betrachteten Schiffe geringfügig wirtschaftlicher als kleinere. Als Maß der Wirtschaftlichkeit wurde die Rentabilität und die Produktivität, der Rentabilitätsanstieg pro normierter Zeiteinheit, gewählt.

Von den betrachteten Einflussfaktoren

- Wiederbelegung W_R ,
- Auslastung α ,
- Anzahl der Häfen k ,
- Dauer des Umschlagprozesses,
- Imbalance und
- TEU-Faktor F_{TEU}

ist im Sinne einer von einer Reederei direkt beeinflussbaren Stellgröße nur die Anzahl der Häfen für einen Schiffstyp bzw. die Schiffsgröße relevant. Alle anderen Einflussfaktoren sind zwar in ihrer Wirkung beschreibbar, jedoch von einer Reederei nicht frei wählbar bzw. nicht ohne außerhalb der Schiffsoptionen liegenden Maßnahmen zu verändern. Es stellt sich aber die Frage, ob die Auswahl der Häfen nach rein wirtschaftlichen Kriterien getroffen werden kann oder ob es Einschränkungen gibt, die die maximal erreichbare Wirtschaftlichkeit behindern.

5.9 Möglichkeiten und Grenzen zur Auswahl der Häfen

Ob Häfen sich für eine Rundreise eignen, hängt neben dem eigentlichen Ladungsaufkommen und Transportbedarf zunächst von den nautischen und technischen Möglichkeiten dieser Häfen ab. Begrenzend wirken dabei Tiefgangseinschränkungen im Hafen oder in der Zufahrt und nicht ausreichend dimensionierte Containerbrücken zur Be- und Entladung (Spannweite und Höhe). In [MÜL-05] werden für Schiffe der 12.000-TEU-Generation die Tiefgänge in Tabelle 20 angegeben.

L_{BP}	352 m	382 m	381 m	382 m
B	56,0 m	54,2 m	57,0 m	52,0 m
H	29,0 m	27,7 m	29,0 m	?
T_{scant}	15,0 m	15,0 m	14,7 m	16,0 m
Rows u.D./ü.D.	20/22	19/21	18/22	?/20
Prop No	2	2	1/2	1

Tabelle 20: Dimensionen für 12.000-TEU-Schiffe

Nach Angaben des Germanischen Lloyd sind die Dimensionen der Spalte 4 in Tabelle 20 der Emma Maersk (siehe auch Tabelle 4 L203) gleichzusetzen. Somit stellt sich zum Beispiel für dieses Schiff ganz konkret die Frage, welche Häfen überhaupt im Rahmen einer wirtschaftlichen Rundreise mit vollem Tiefgang angelaufen werden können.

Die Tiefgangs- und Umschlagvoraussetzungen wichtiger Häfen der Welt auf Basis der Angaben von Hafen Hamburg Marketing e.V. sind in Tabelle 21 dargestellt.

Ports	Weekly calls	T/S share	Draft m.	Gantry outreach
Algeciras	5	85%	16.0	22
Antwerp	8	22%	14.0	21
Bremerhaven	6	43%	14.0	22
Busan	16	35%	16.0	22
Colombo	15	70%	14.0	18
Damietta	7	80%	14.5	18
Dubai	5	43%	14.0	25
Felixstowe	12	20%	14.7	23
Gioia Tauro	12	95%	15.0	20
Hamburg	21	46%	15.1	23
Hong Kong	57	20%	15.5	23
Jeddah	15	22%	16.0	20
Kaohsiung	17	55%	14.0	20
Khor Fakkan	4	70%	15.0	22
Le Havre	14	30%	14.0	22
Malta	8	93%	15.5	19
Nagoya	5	n.a.	14.0	18
Ningbo	14	n.a.	17.0	23
Piraeus	5	62%	14.0	18
Port Kelang	29	54%	16.5	22
Port Said	11	80%	16.5	22
PTPelepas	15	95%	14.0	22
Qingdao	19	n.a.	14.5	25
Rotterdam	25	24%	22.5	22
Salalah	4	98%	15.0	22
Shanghai	19	35%	14.2	22
Shenzhen	32	n.a.	16.0	23
Singapore	48	80%	14.8	23
Southampton	9	10%	14.9	20
Taranto	6	95%	14.0	22
Tokyo	5	n.a.	15.0	18
Valencia	8	21%	16.0	22

Successively shown are the following details:

- Ports: name of the port
- Weekly calls: present number of weekly calls of Europe-Far East services (as at early-October)
- T/S share: the 2002-share of transshipment of the total port TEU handlings (including other trade routes)
- Draft: the maximum available draft in metres (either at quay or in the fairway)
- Gantry outreach: outreach in boxes-wide of gantries installed or on order (sourced from WorldCargo news)

Tabelle 21: Tiefgangsbeschränkungen und Umschlagmöglichkeiten führender Welthäfen nach dem HHM e.V. 2006

Selbst der in 2005 größte Hafen der Welt Singapur (gemessen an den Containerumschlagzahlen) bietet nicht den erforderlichen Tiefgang, um die gegenwärtig größten sich im Bau befindlichen oder fahrenden Schiffe mit vollem Tiefgang abzufertigen. Bei einer weiteren Verifizierung der Daten in [z.B. LLO-06] ist ersichtlich, dass es sich hierbei um die optimalen Daten weniger Terminals und nicht der kompletten oder zumindest der größten Teile der Häfen handelt. Somit stehen diese Vorraussetzungen auch in diesen Häfen nur relativ wenigen Schiffen zur selben Zeit zur Verfügung.

Die Spannweite der Containerbrücken über 20 Reihen hinweg scheint dagegen in vielen Häfen der Welt gegeben zu sein. Aber auch bei diesen Häfen ist dies nach einer Recherche in [LLO-06] immer auf nur wenige Terminals begrenzt.

Ein weiteres Problem neben der ausreichenden Spannweite der Containerbrücken ist ihre maximale Arbeitshöhe. Die Schiffe aus Tabelle 20 werden bei voller Auslastung 9 bis 10 Containerlagen an Deck befördern [MÜL-05]. Eine Anfrage bei der Grand Alliance, einem Reedereiverbund aus Hapag-Lloyd, NYK, Orient Overseas Container Line (OOCL) und Malaysian Intern. Shipping Corp (MISC), ergab, dass die meisten Häfen in der Welt gegenwärtig nur etwa bis zu 7 Containerlagen über Deck bearbeiten können.

Im Rahmen dieser Arbeit kann das Netzwerk der weltweiten Häfen nicht auf die geplanten Ausbauzustände vollständig untersucht werden. Es ist jedoch zu vermuten, dass sich die Anzahl der Anlaufhäfen mit zunehmender Schiffsgröße einschränkt. In [REI-04] wird sogar ein Offshore-Terminal vorgestellt, um unter anderem den Ausbauschwierigkeiten von bisherigen Häfen zu entgehen und Großcontainerschiffe abzufertigen.

Die prinzipielle Wirkung der Variation der Hafenanzahl wurde bereits in Abschnitt 5.4 dargestellt. Dabei zeigte sich aber der Widerspruch, dass sich wesentliche Wirtschaftlichkeitsvorteile bei einer Reduzierung der Hafenanzahl nur mit einer Reduktion der Seestrecke bei gleichzeitig unverminderter Wiederbelegung der Containerstellplätze ergeben. Bei den großen Schiffen sind Hafenreduzierungen bei gleichzeitiger Kombination mit Feederschiffen bis hin zum reinen Hub-Feeder-System im Gespräch, um die optimalen Operationsbedingungen für diese Schiffe zu schaffen. Daher soll die Veränderung des Liniensystems näher untersucht werden.

5.10 Möglichkeiten und Grenzen zur Veränderung des Liniensystems

In der folgenden vergleichenden Untersuchung soll ein konstantes Netzwerk aus Häfen, das bisher mit einer Rundreise aus der Linienschifffahrt bedient wurde, mit einem Hub-and-Feeder-System, bestehend aus mehreren Schiffen, bedient werden (siehe Beispiele in Abbildung 76).

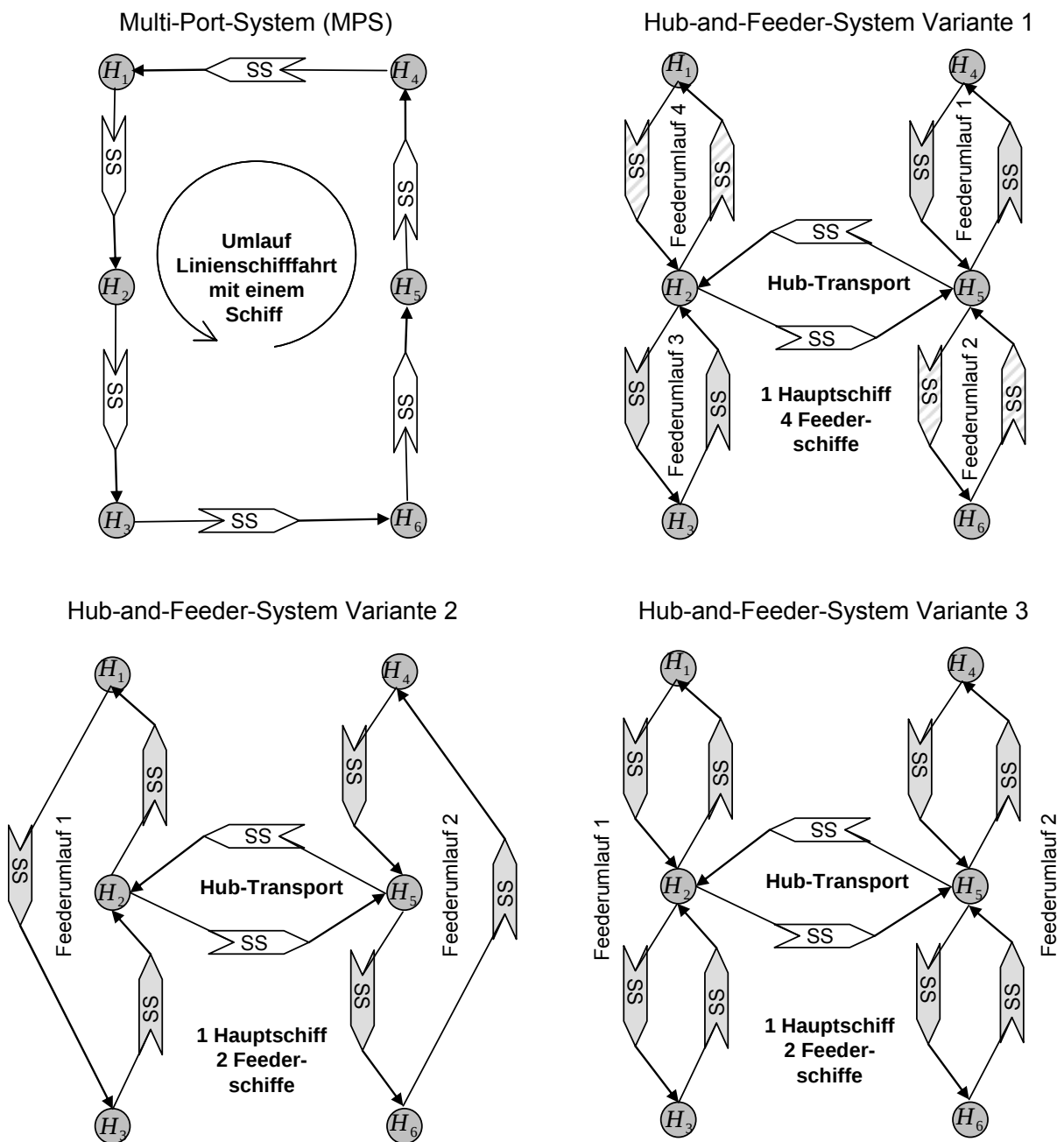


Abbildung 76: Auswahl alternativer Varianten zur Bedienung eines Fahrgebietes im Liniendienst mit kombinierten Diensten

Die Vielfalt zur Bedienung des Liniendienstes des Fahrgebietes aus Abbildung 76 mit kombinierten Diensten ist enorm. Die Variantenvielfalt soll jedoch nicht Gegenstand der Untersuchung sein. Es geht vielmehr darum zu untersuchen, ob ein Großcontainerschiff, das zuvor im normalen Liniensystem operiert bzw. dort operieren müsste, aber infolge unzulänglicher Hafenbedingungen nicht kann, in einem der möglichen Hub-and-Feeder-Systeme wirtschaftlicher arbeiten kann als zuvor.

Für den Vergleich werden die folgenden Randbedingungen definiert. Unabhängig davon, ob das Netzwerk der Häfen mit einer Rundreise aus der Linienschiffahrt oder einem kombinierten Dienst bedient wird, sind die Einnahmen in beiden Diensten gleich.

$$E_R = E_K$$

E_R = Einnahmen der Rundreise

E_K = Einnahmen der kombinierten Reise

In einem Hub-and-Feeder-System kann für das Hauptschiff keine höhere Wiederbelegung der Containerstellplätze als 2 angenommen werden. Diese gleiche Annahme soll auch für den klassischen Liniendienst gelten.

$$W_R = W_K = 2$$

W_R = Wiederbelegung der Containerstellplätze eines Schiffes in der Rundreise

W_K = Wiederbelegung der Containerstellplätze des Hauptschiffes im kombinierten System

Das ist eine Annahme, die den klassischen Liniendienst eigentlich benachteiligt, da dieser durchaus die Chance hat, eine höhere Wiederbelegung als 2 zu erreichen.

Die Kosten der Rundreise K_R des Liniendienstes lassen sich wie folgt beschreiben:

$$K_R = K_{FR} + K_{VSR} + K_{VHR} + K_{UR}$$

mit:

$$K_{FR} = K_{FS1} \cdot T_R$$

$$K_{VSR} = K_{VS1} \cdot T_S$$

$$K_{VHR} = K_H \cdot (k \cdot T_H + T_U)$$

$$K_{UR} = K_{U_{20}} \cdot N_{C_{20}} + K_{U_{40}} \cdot N_{C_{40}}$$

Sonderkosten werden nicht betrachtet.

Die Kosten des Hub-and-Feeder-Systems K_{H-F} bestehen aus dem Teil des Hubtransportes und der Feederdienste:

$$K_{H-F} = K_{HUB} + K_{FEE}$$

Die Kosten K_{HUB} können analog einer Rundreise mit nur 2 Häfen und verminderten Zeiten ΔT berechnet werden. Da es sich laut Annahme um dasselbe Schiff wie im Liniendienst handelt, sind die spezifischen Kostensätze gleich.

$$K_{HUB} = K_{FHUB} + K_{VSHUB} + K_{VHHUB} + K_{UHUB}$$

mit:

$$K_{FHUB} = K_{FS1} \cdot (T_R - \Delta T_R)$$

$$K_{VSHUB} = K_{VS1} \cdot (T_S - \Delta T_S)$$

$$K_{VHHUB} = K_H (2 \cdot T_H + T_U)$$

$$K_{UHUB} = K_{UR}$$

Da die Menge Container im Liniendienst wie auch im reinen Hub-Transport gleich ist, fallen die reine Umschlagzeit sowie die Umschlagkosten gleich aus. Sollen die Kosten des Hub-and-Feeder-Systems nicht höher sein als die des klassischen Liniendienstes, so muss Folgendes gelten:

$$K_R \geq K_{HUB} + K_{FEE}$$

$$K_R - K_{HUB} \geq K_{FEE}$$

Für die linke Seite der Gleichung gelten die gleichen spezifischen Kostensätze, da es sich um das gleiche Schiff handelt. Somit ergibt sich:

$$K_{FS1} \cdot \Delta T_R + K_{VS1} \cdot \Delta T_S + K_H \cdot (k-2) \cdot T_H \geq K_{FEE}$$

Die Feederkosten dürfen somit nur gleich oder kleiner als die Ersparnisse des Hauptschiffes sein, die sich ergeben aus:

- Fixkosteneinsparungen durch verkürzte Umlaufzeiten,
- Einsparungen bei den variablen Kosten See durch eine kürzere Seestrecke und damit weniger Zeit auf See und
- Kosteneinsparungen durch weniger reine Hafenliegezeit.

Die verkürzte Umlaufzeit ΔT_R kann wie folgt ausgedrückt werden:

$$\Delta T_R = \Delta T_S + (k - 2) \cdot T_H$$

Die eingesparte Zeit auf See lässt sich wiederum in guter Näherung ausdrücken durch:

$$\Delta T_S \approx \frac{\Delta s}{V_{S1}}$$

Die eingesparte Zeit auf See soll ungefähr gleich dem Quotienten aus der reduzierten Seestrecke und der Geschwindigkeit V_{S1} des Schiffes S_1 sein. Durch diese Näherung ist es möglich, allein durch die Angabe der Seestreckenreduzierung die eingesparten fixen und variablen Kosten anzugeben. Für die Einsparung der Hafenkosten ist jedoch die Angabe der eingesparten Häfen erforderlich.

Beispielhaft zeigt die Darstellung in Abbildung 77 die Kosteneinsparungen für ein 12.000- bis 13.000-TEU-Schiff, das aus einem fiktiven Liniensystem mit 10 Häfen und 23.000 sm in ein reduziertes Liniensystem mit weniger Häfen bis runter zum reinen Hub-and-Feeder-System, bestehend aus 2 Häfen, wechselt.

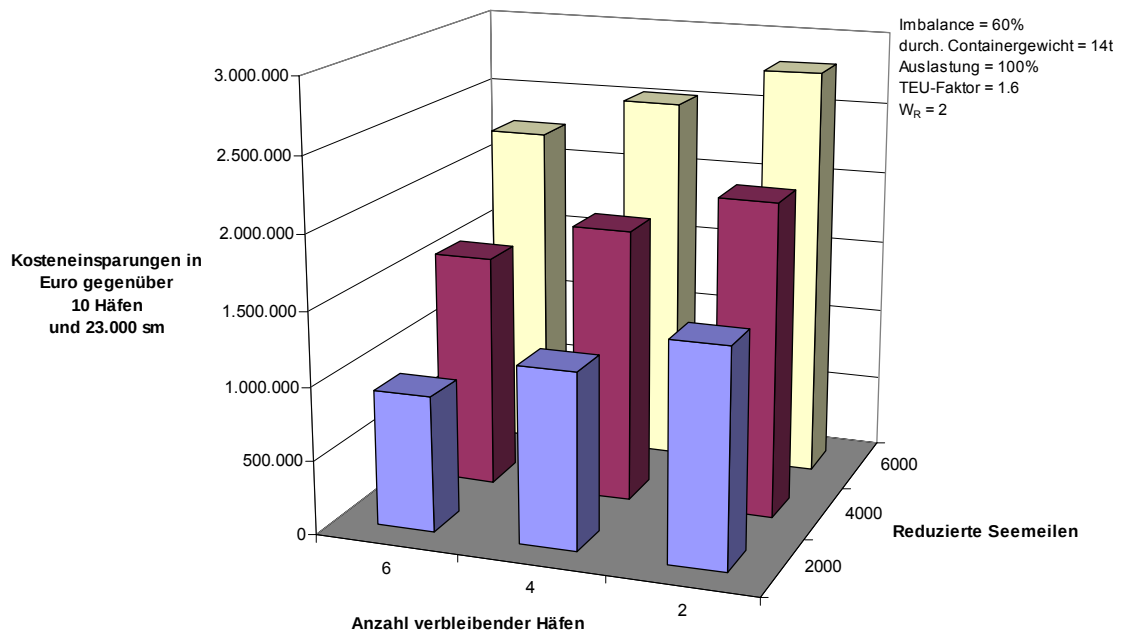


Abbildung 77: Beispielhafte Kosteneinsparungen eines 12.000- bis 13.000-TEU-Schiffes durch Verkleinerung des Operationsgebietes

Mit dem aus Abbildung 77 maximal eingefahrenen Sparbetrag könnten zum Beispiel die Rundreisen zweier Schiffe der Klasse 1.000 bis 2.000 TEU mit ca. 6.000 sm und 5 Häfen jeweils bezahlt werden (Auslastung 100 %, $W_R = 2$). Ob sich damit tatsächlich dann das alte Fahrtgebiet komplett bedienen lässt, muss geprüft werden. Dafür müsste bekannt sein, wie der zweite Teil des kombinierten Dienstes konkret gestaltet wird bzw. wie das Netzwerk aussieht. Auch kann nicht gesagt werden, ob die Transportkapazität dieser Schiffe ausreicht oder zu groß ist. Das hängt vom Quelle-Ziel-Aufkommen der noch zu bedienenden Häfen ab. Zu erkennen ist aber, dass die Kostenersparnisse durch die Reduzierung der Seestrecke und der Hafenanzahl nur zum Weitertransport bzw. Feedern einer relativ kleinen Containermenge ausreicht. In dem Beispiel aus Abbildung 77 könnten im günstigsten Fall ca. 10 % der Container mit den eingesparten Kosten in das ursprüngliche Fahrtgebiet weiter befördert werden. Aber selbst bei Kostenneutralität kann der mit dem kombinierten Dienst angestrebte Rentabilitätsanstieg des Großcontainerschiffes gegenüber dem klassischen Liniensystem dann nicht mehr erreicht werden. Bei singulärer Betrachtung des Schiffes aus dem Hub-Transport des Hub-and-Feeder-Systems zeigt sich durchaus eine Kosteneinsparung bei verkürzten Umlaufzeiten. Damit steigt gleichzeitig die Rentabilität sowie Produktivität dieses Schiffes. Der Wirtschaftlichkeitsanstieg reicht jedoch nicht aus, um damit größere Containermengen im Feederbereich in einem kombinierten Dienst zu finanzieren. Auch könnte der

Effekt eintreten, dass die Feedertransporte von Schiffen des normalen Liniendienstes übernommen werden, die eigentlich nicht zum kombinierten Dienst gehören. Dann würde deren Wiederbelegung während einer Rundreise zwangsläufig steigen und damit auch deren Wirtschaftlichkeit (Abbildung 78).

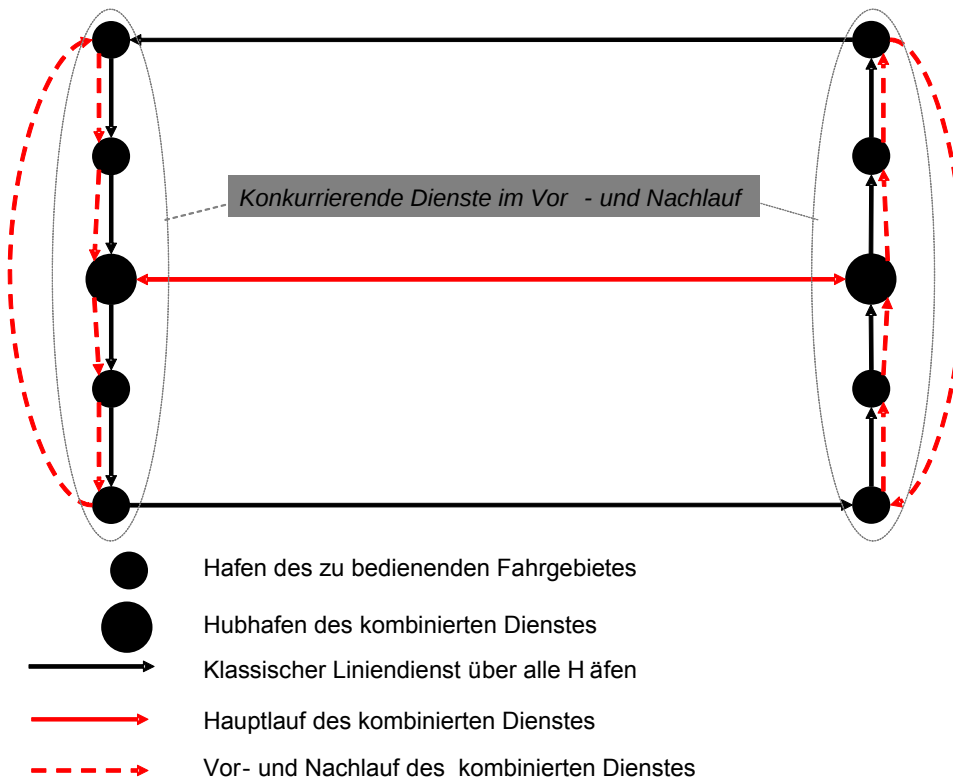


Abbildung 78: Konkurrierende Dienste aus dem Liniensystem und dem Vor- und Nachlauf eines Hub-and-Feeder-Systems

Somit könnte der Versuch der Implementierung von Hub-and-Feeder-Systemen oder ähnlichen Diensten in Gebieten der Linienschifffahrt – motiviert durch den Einsatz größerer Containerschiffe, die aber nicht mehr alle Häfen anlaufen können – auch zur Stärkung der klassischen Linienschifffahrt mit kleineren Schiffen führen. Das wäre nun definitiv nicht das Ziel der Einführung größerer Containerschiffe. Daraus leitet sich ab, dass es sich kaum lohnt, einen kombinierten Dienst in einem Fahrtgebiet, das auch durch die normale Linienschifffahrt bedient werden kann, anzubieten. Aber selbst, wenn es eine kostendeckende und konkurrenzfreie Lösung geben sollte, so wären zum Beispiel mit den Kosteneinsparungen aus Abbildung 77 weniger als 10 % der Containermenge wirtschaftlich im Vor- und Nachlauf zu befördern.

Diese Ergebnisse lassen folgende Schlussfolgerung zu: Wenn Großcontainerschiffe entweder aus nautischen oder aus Gründen der Rentabilitäts- und Produktivitätserhöhung in ein

verkleinertes Fahrtgebiet mit weniger Häfen wechseln bzw. dort neu operieren wollen, so stellen sie sich nur dann wirtschaftlicher als kleinere, im alten Fahrgebiet noch operierende Containerschiffe dar, wenn die Ladung dieser Großcontainerschiffe nahezu ausschließlich in dem verkleinerten Fahrtgebiet als Quelle-Ziel-Ladung zu generieren ist. Fallen Vor- und Nachlauftransporte mit Feederschiffen in die Häfen des ursprünglichen Fahrtgebietes an, so werden zum einen der Rentabilitäts- und Produktivitätsvorteil durch zusätzliche Kosten wieder kompensiert und zum anderen die Wahrscheinlichkeit erhöht, dass die verbliebenen Containerschiffe des ursprünglichen Liniendienstes eine verbesserte Wirtschaftlichkeit durch gerade diese neuen Feedertransporte erreichen. Die zusätzlichen Kosten der Großcontainerschiffe wären dann die Einnahmen der kleineren und gegebenenfalls der konkurrierenden Schiffe.

Die Aussage, dass kombinierte Dienste aus mehreren Schiffen wahrscheinlich unrentabel sind, bezieht sich aber nicht auf Fahrgebiete, die ohnehin nur mit kleineren Schiffen zu erreichen sind, wie zum Beispiel die Ostsee.

Die Einschränkung in den Einsatzmöglichkeiten von Großcontainerschiffen und der Schlussfolgerung, dass kombinierte Transportdienste in einem ursprünglichen Linienschiffahrtssystem nur sehr begrenzt wirtschaftlicher sind, stellen aber neue Anforderungen an die Häfen, die in dem reduzierten Liniensystem verbleiben und mit den größeren Containerschiffen angelaufen werden. Die neuen Anforderungen leiten sich daraus ab, dass in dem reduzierten Liniensystem pro Hafen und Schiff mehr umgeschlagen wird als in dem weiter vernetzten ursprünglichen Liniensystem. In einem Liniensystem, das nur noch aus zwei Häfen bestehen würde, wären dann in jedem Hafen nahezu die komplette Ladekapazität eines Schiffes zu laden und zu löschen. Bei einem 12.000- bis 13.000-TEU-Schiff würde das bedeuten, dass 12.000 bis 13.000 TEU gesammelt und ebenso viele nach dem Lade- und Löschbetrieb im Hinterland verteilt werden müssen. Die Tendenz, dass im Verhältnis zur Schiffgröße (Feeder ausgenommen) größere Schiffe relativ mehr umschlagen als kleinere Schiffe, ist bereits heute zu erkennen (Abbildung 79).

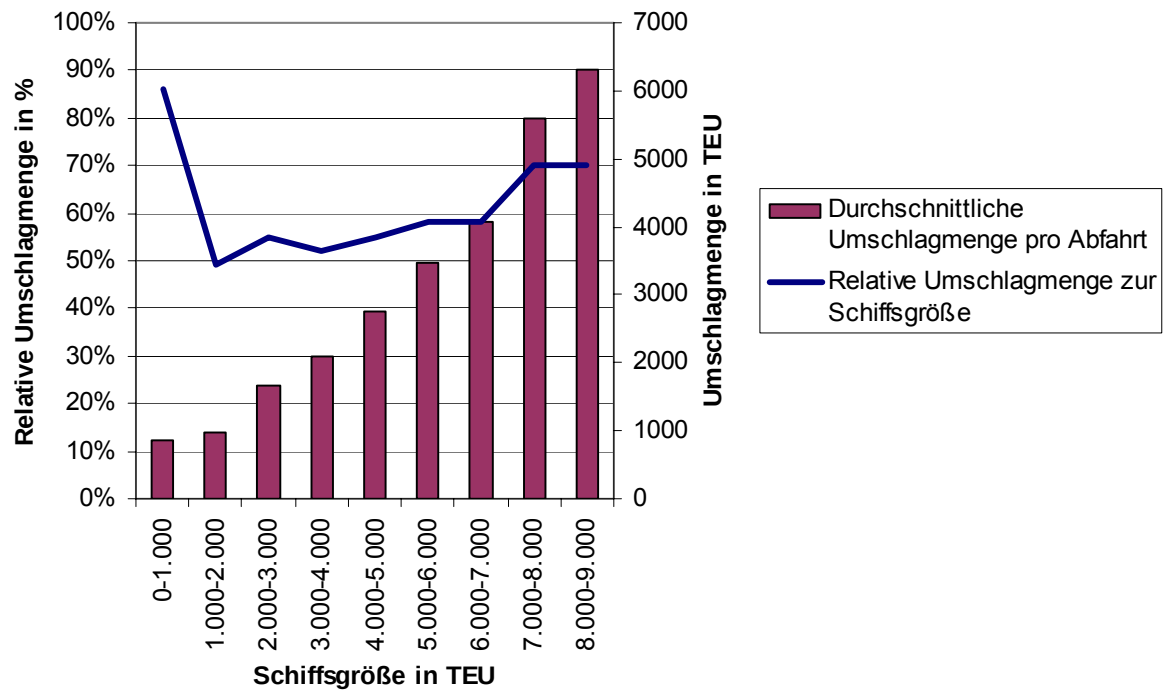


Abbildung 79: Verhältnis von Schiffsgröße und relativer Umschlagmenge zur Schiffsgröße im Hamburger Hafen 2005 [Datenquelle: HPA 2005]

Die Anforderungen an die Häfen und das Hinterland, die sich aus diesem Effekt ergeben, sind Gegenstand des nachfolgenden Abschnittes.

6. Anforderungen an Häfen und Hinterland durch die Veränderung des Liniensystems

Großcontainerschiffe, in der vorliegenden Datenbasis Schiffe ab ca. 8.000 bis 9.000 TEU, operieren am wirtschaftlichsten in einem Liniensystem mit weniger Häfen und verkürzten Seestrecken. Dies hat zur Folge, dass die Häfen, die zu den Diensten dieser Schiffe gehören, pro Schiffsabfahrt und zunehmender Schiffsgröße absolut und relativ zur Schiffsgröße immer mehr Container umschlagen müssen. Daraus leiten sich sowohl Optimierungsmöglichkeiten als auch neue Probleme für die Vor- und Nachläufe ab.

6.1 Optimierungsmöglichkeiten in den Umschlagverfahren und Seehäfen

Zu den Optimierungsmöglichkeiten bei den Umschlagverfahren sind bereits viele Innovationen entwickelt und zum Einsatz gekommen. An dieser Stelle wird nur ein kurzer Überblick zu den aktuellen Innovationen gegeben und deren Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit der Containerschiffe dargestellt.

Durch die je Hafenanlauf größeren Umschlagmengen pro Schiff bei gleichzeitiger Reduzierung der Hafenanzahl wird es möglich, die spezifischen Umschlaggeschwindigkeiten zu erhöhen. Der Einfluss der Staupläne bzw. ungenügend optimierter Staupläne wird reduziert [z.B. VOß-04]. Bei heutigen Umschlagoperationen kommt es immer wieder zu dem Effekt, dass auf dem Containerschiff Container, die nicht zum Umschlaghafen gehören, aber die darunter liegenden Container überdecken, umgestapelt werden müssen. Das kostet Arbeitsplätze der Containerbrücken, die nicht dem effektiven Laden und Löschen eines Schiffes zur Verfügung stehen. Nach [KOR-02, S. 67] sind das gegenwärtig zwischen 2 bis 10 % aller Arbeitsspiele. In einem Liniensystem mit zwei Häfen kann dieser Effekt praktisch nicht mehr auftreten. Alle Container, die den Hafen mit solch einem Schiff erreichen, gehören zur Löschmenge und müssen entladen werden. Umstapelungen auf dem Schiff entfallen. Auch beim Beladen vereinfacht sich der Stauplan, da Zwischenhäfen kein Sortierkriterium mehr für den Stauplan sind.

Die Vergrößerung der zusammenhängenden Umschlagmengen ermöglicht auch neuartigen Containerspreadern den häufigeren Einsatz (Abbildung 80). Double-20'- oder -40'-Spreader können mehrere Container auf einmal anschlagen und in einem Arbeitsspiel befördern [DER-07].

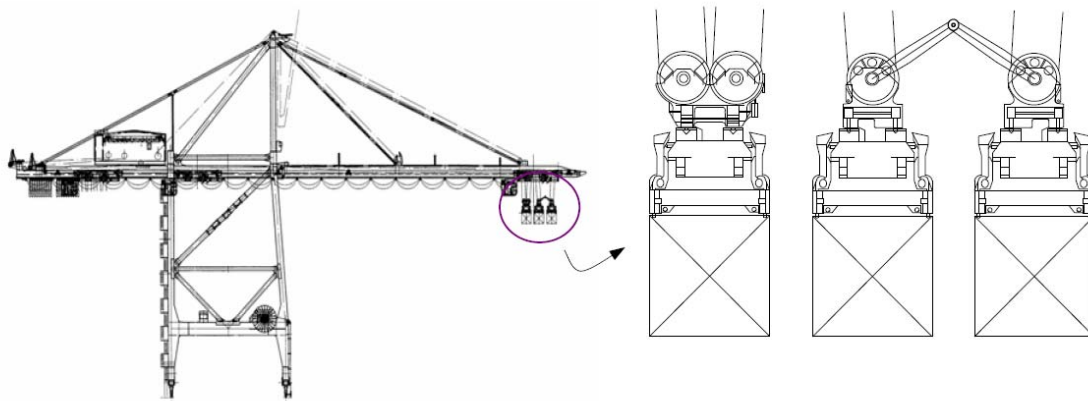


Abbildung 80: Einsatz von Mehrfachspreadern zur Erhöhung der Umschlagleistung [DER-07]

Auch die Erhöhung der technischen Verfügbarkeit der Containerbrücken steht gegenwärtig im Fokus der Terminalbetreiber. Ausfall- und Reparaturzeiten sollen auf ein Minimum reduziert werden. Eine optimierte Brückeneinsatzplanung in Abhängigkeit der Personalverfügbarkeit und weiteren Randbedingungen sind ebenfalls aktuelle Bestrebungen im Containerumschlag.

Die Umsetzungen dieser Innovationen werden in Summe dazu führen, dass die Umschlaggeschwindigkeit zwischen Schiff und Kaikante steigt, was sich positiv auf die Wirtschaftlichkeit der großen Containerschiffe auswirkt (Abbildung 81).

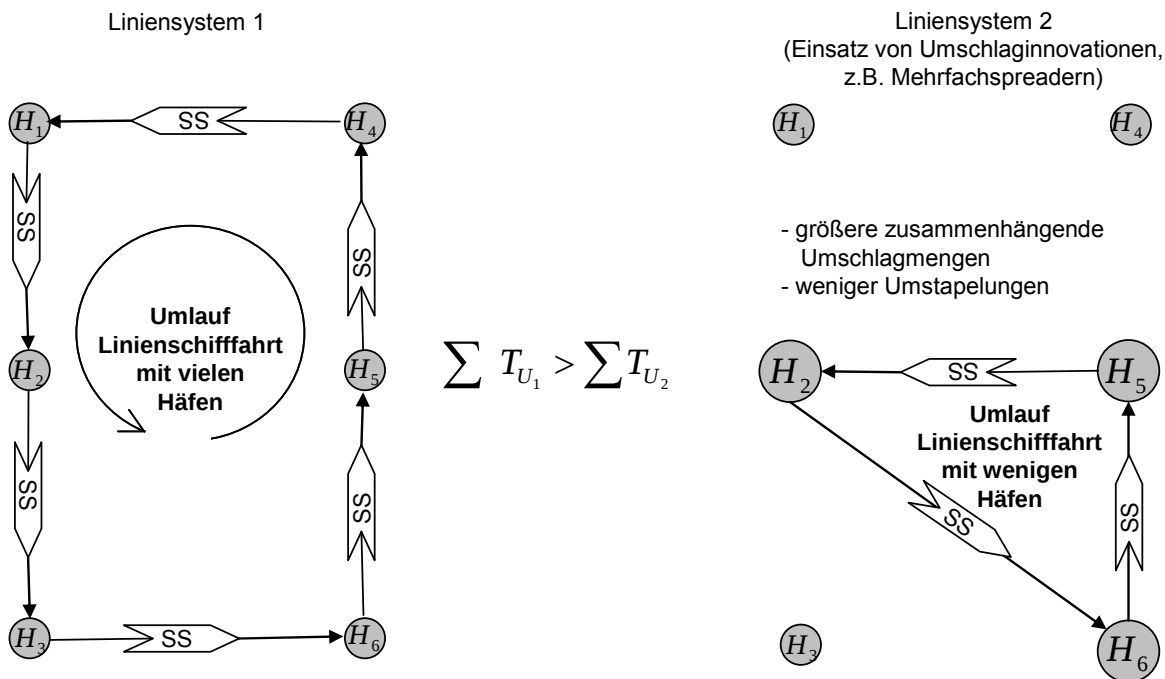


Abbildung 81: Voraussetzungen und Wirkungen des Einsatzes von Umschlaginnovationen

Hohe Umschlagleistungen an den Containerbrücken können aber nur dann erreicht werden, wenn die Container auch aus und zu den Containerlagern mit gleicher Leistung befördert werden können. Wenn eine Containerbrücke mit 30 Moves pro Stunde arbeiten soll, so sind auch 30 Container pro Stunde zur Containerbrücke zu befördern bzw. von dieser abzunehmen. Das ist die Aufgabe des innerbetrieblichen Transports in den Containerterminals.

Der innerbetriebliche Transport in den Containerterminals hat und wird auch in Zukunft ebenfalls Innovationsschübe erfahren, die einerseits die Kosten senken und andererseits den geschwindigkeitsoptimalen Anschluss an die seeseitigen Containerbrücken herstellen. Beispielshaft seien hier die Arbeiten von Hartmann [HAR-04] erwähnt. In Anlehnung an diese Vorgehensweise und Algorithmen werden die fahrerlosen Transportsysteme des Container-Terminals Altenwerder (CTA) gesteuert. Für die Zukunft kann davon ausgegangen werden, dass die Erhöhung der seeseitigen Umschlaggeschwindigkeit durch den innerbetrieblichen Transport in den Containerterminals getragen wird.

Die Containerlager in den Terminals müssen ebenfalls eine größere Menge an Containern aufnehmen, was zunächst mehr Fläche erfordert. Um den Flächenverbrauch aber nicht zu stark ansteigen zu lassen, wird die Lagerhöhe und damit auch die Lagerdichte ansteigen. Dies erfordert wiederum neue Lagerbediengeräte und Lagerführungsstrategien. Automatische Lagerbediengeräte in überfahrfähigen Ausführungen, beispielsweise Double Rail Mounted Gantry Cranes (DRMG), bieten hierfür gute Voraussetzungen [REI-04, S. 19].

Insgesamt lässt sich feststellen, dass es eine Verkettung von Forderungen – beginnend mit der Forderung nach höherer Wirtschaftlichkeit von Containerschiffen bis in die verschiedenen Subsysteme eines Containerterminals – gibt, für die sich in jedem der bisher betrachteten Subsysteme Möglichkeiten zur Realisierung aufzeigen (Abbildung 82). Somit ist hier eine direkte Auswirkung des Größenwachstums von Containerschiffen auf die Häfen als Schnittstellen der intermodalen Transportketten zu erkennen. Hören die Systembetrachtungen an dieser Stelle auf und werden alle Forderungen der einzelnen Subsysteme durch die aufgezeigten oder andere Maßnahmen erfüllt, so gibt es aus wirtschaftlicher Sicht eine hohe Existenzberechtigung für große Containerschiffe von über 10.000 TEU.

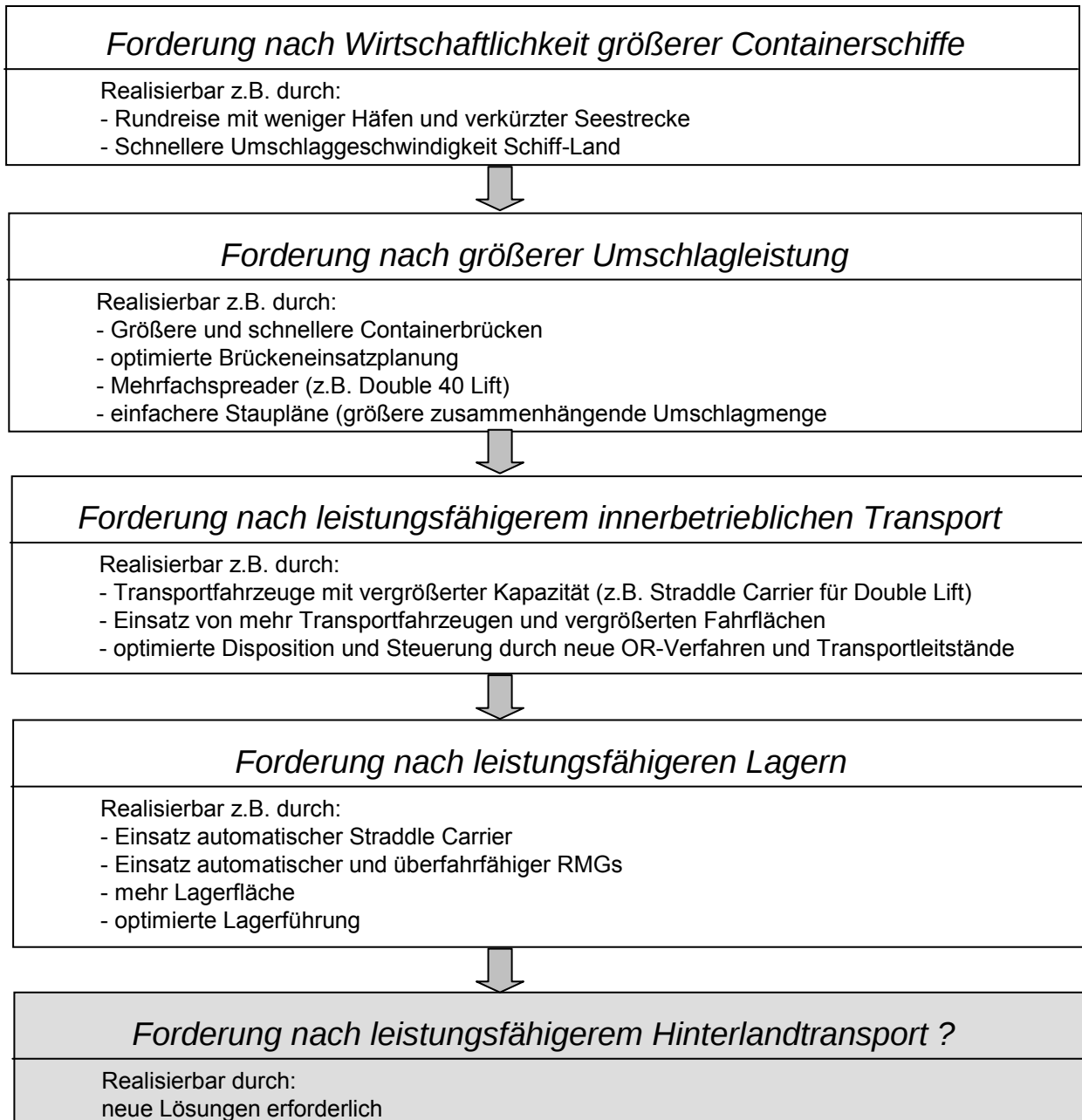


Abbildung 82: Verkettung der Forderungen an die einzelnen Subsysteme des Seetransports und des Hafens, die sich mit einer hohen Wirtschaftlichkeit von Containerschiffen verbindet

Es stellt sich jedoch die Frage, ob die einzelnen Subsysteme aus Sicht der Terminals wirtschaftlich weiterentwickelt werden können und ob die Systembetrachtung an dieser Stelle aufhören darf.

Die wirtschaftliche Weiterentwicklung der Terminal-Subsysteme muss regional differenziert betrachtet werden. Regional unterscheiden sich die Eigentumsverhältnisse von Infra- und Suprastruktur. In Europa sind in der Regel Infra- und Suprastruktur in getrennten Eigentums-

verhältnissen. Fällt die Entwicklung der Infrastruktur nicht in den Kostenbereich eines Containerterminals, so reduzieren sich die Entwicklungs- und Ausbaukosten im Wesentlichen auf:

- Umschlaganlagen mit Abfertigungsstellen,
- innerbetriebliche Transportsysteme,
- Lagertechniken sowie
- EDV und Organisation.

Das scheint für viele Terminalbetreiber realisierbar zu sein. Ob sich der Aufwand aus wirtschaftlicher Sicht der Terminals für relativ wenige Schiffe lohnt, kann nicht ohne weitere Untersuchungen, die jedoch nicht mehr Gegenstand dieser Arbeit sind, gesagt werden. Zusätzlich stellen allerdings die Terminalbetreiber Forderungen nach neuen Flächen sowie exklusiven Zu- und Abfahrten für die Verkehrsträger des Vor- und Nachlaufes gegenüber den übrigen Wirtschaftsverkehren und öffentlichen Individualverkehren [z.B. FHH-05 S. 19], die nicht sie, sondern die öffentliche Hand bezahlen muss. Insofern scheint auch die Systembetrachtung der Terminalbetreiber nicht an den Terminalgrenzen zum Hinterland aufzuhören, sondern darüber hinaus zu gehen.

Seehafen- und -hinterlandinfrastrukturen können jedoch nicht unbegrenzt durch die öffentliche Hand finanziert werden [HOL-06]. Dennoch stellen sich die meisten Terminalbetreiber aber so dar, dass sie die steigenden Containermengen mit verfeinerten, jedoch qualitativ gleichwertigen Methoden umschlagen, lagern sowie sammeln und verteilen wollen wie bisher. Dass diesen Bemühungen Grenzen durch äußere Randbedingungen gesetzt sind bzw. diese Bemühungen nicht ausreichen, ist Gegenstand des folgenden Abschnittes. Der Abschnitt orientiert sich auf Grund einer guten Datenbasis am Hamburger Hafen. Die dargestellte Problematik kann aber in nahezu jedem großen Containerhafen der Welt auftreten.

6.2 Anbindung der Hinterlandverkehre an die Seehäfen

6.2.1 Anschlussleistungen der Terminals an das Hinterland

Aus den bisherigen Untersuchungen ist erkennbar, dass die Umschlagleistung zwischen Containerschiff und Terminal – bis in die Containerlager hinein und umgekehrt – steigerbar ist. Großcontainerschiffe mit wenigen Häfen in ihren Rundreisen begünstigen sogar eine höhere Umschlagleistung. Nach der bisherigen Berechnungsgrundlage können pro 80 m Kai-länge 30 Container pro Stunde umgeschlagen werden. Bei einem TEU-Faktor von 1,5 ent-

spricht das einer Leistung von 45 TEU/h pro 80 m Kailänge. Durch den wirkungsvollen Einsatz von Mehrfachspreadern kann diese Umschlagleistung weiter steigen. Die theoretische seeseitige Umschlagleistung eines Containerterminals P_{UTS} mit der Länge s_{KAI} kann somit ausgedrückt werden durch

$$P_{UTS} = \frac{s_{KAI}}{s_B} \cdot \frac{60 \text{ min}}{T_{UM}} \cdot \omega \left[\frac{\text{TEU}}{h} \right]$$

wobei ω als Steigerungsfaktor durch beispielsweise den Einsatz von Mehrfachspreadern definiert wird.

Landseitig muss die Umschlagleistung eines Terminals nach den jeweiligen Verkehrsträgern differenziert werden. Wird zum Beispiel nur der LKW betrachtet, so kann davon ausgegangen werden, dass jeder LKW pro An- oder Abfahrt zu einem Terminal 2 TEU befördern kann. Die landseitige Abfertigungsleistung der Terminals für LKW P_{UTLKW} im Rahmen dieser Untersuchung kann nur als Parameter angenommen werden. Für das Containerterminal Hamburg Altenwerder wird die Abfertigungsleistung bei LKW auf $200 \frac{\text{Fz}}{h}$ geschätzt. Werden die sich daraus ergebenden see- und landseitigen Umschlagleistungen verglichen, so ergibt sich folgendes Bild (Abbildung 83).

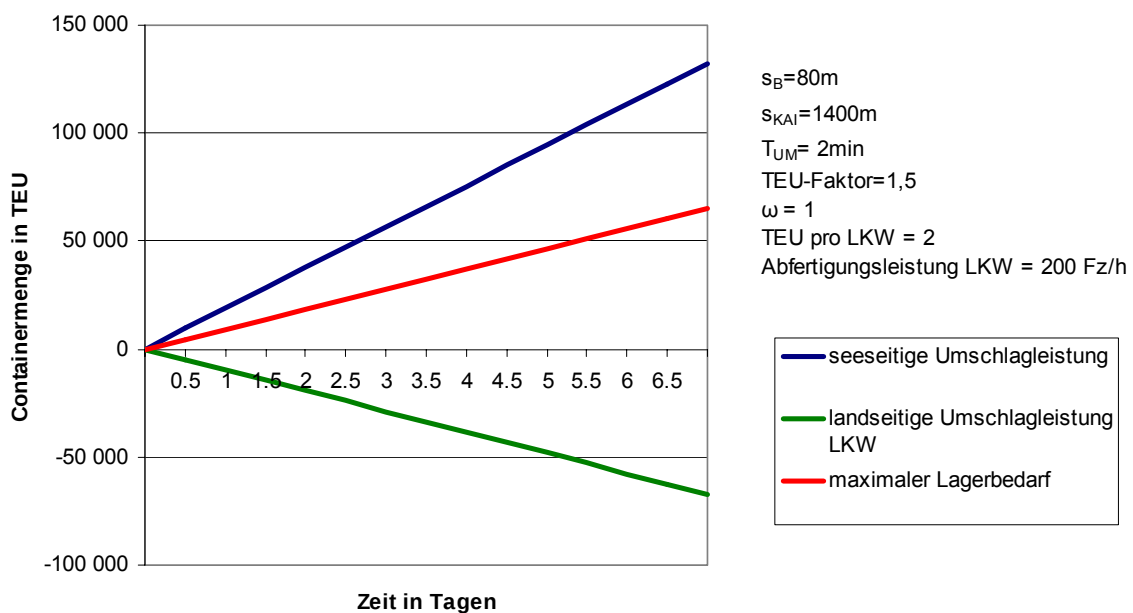


Abbildung 83: Vergleich von see- und landseitiger Umschlagleistung eines Terminals

Die seeseitige Umschlagleistung liegt deutlich über der landseitigen. Erst bei ca. 400 LKW-Abfertigungen pro Stunde wäre ein Gleichstand der Umschlagleistungen erreicht. Ungleiche Leistungen müssen somit zwangsläufig über Lager (Puffer) angepasst werden.

Kommen seeseitig beispielsweise Mehrfachspreader zum Einsatz, so erhöht sich damit auch die seeseitige Umschlagleistung. Steigt der zuvor definierte Steigerungsfaktor ω dadurch auf 2 an, so wären theoretisch 800 LKW-Abfertigungen pro Stunde notwendig, um einen Gleichstand der see- und landseitigen Umschlagleistungen an einem typischen Containerterminal zu erreichen. 800 LKW pro Stunde kann jedoch noch nicht einmal eine Autobahn im frei fließenden Verkehr realisieren [FRA-06, S. 12]²¹. Zufahrten zu Containerterminals sind in der Regel aber nur Stadtstraßen gleichzusetzen und im Falle des Hamburger Hafens sind sogar 4 Terminals zu bedienen. Selbst wenn die Containerterminals also die Abfertigungsleistungen für LKW deutlich erhöhen würden, kann das Straßennetz die Fahrzeuge nicht in ausreichender Menge pro Zeiteinheit an die Terminals heranführen.

Auch wenn in diesem kurzen Vergleich theoretische Umschlagleistungen, die praktisch vermutlich so nicht eintreten werden, gegenübergestellt wurden, so ist eine doch deutliche Diskrepanz zwischen see- und landseitiger Umschlagleistung zu erkennen. Sie weist darauf hin, dass der Verkehrsträger LKW nicht in der Lage sein wird, die erforderliche Anschlussleistung an die Seehäfen herzustellen. Wenn Containerterminals die Umschlagleistungen im Zuge einer verbesserten Wirtschaftlichkeit von Containerschiffen erhöhen, so können nicht in der gleichen Intensität die Container über die Straße abgeführt bzw. angeliefert werden. Entweder müssen die Container länger zwischengelagert oder weitere Verkehrsträger massiv mit in die Vor- und Nachlauftransporte der Seehäfen eingebunden werden.

Längere Zwischenlagerung von Containern wird aber zwangsläufig zu längeren Durchlaufzeiten der Container in den Häfen führen. Ob das alle Container-Versender und -Empfänger akzeptieren, steht dabei zur Diskussion. Insbesondere Container mit wertvollen Waren können auf verlängerte Durchlaufzeiten empfindlich reagieren. Eine Verlängerung der Durchlaufzeit der Waren hat – wie in Abschnitt 1 bereits erwähnt – mit zum Aussterben der Supertanker geführt.

Das Einbinden weiterer Verkehrsträger verringert dieses Risiko. Somit führt die Forderung nach höherer Wirtschaftlichkeit von Containerschiffen zur Forderung nach Einbindung weite-

²¹ Unter der Annahme, dass ein LKW die Verkehrsfläche von ca. 2,5 PKW einnimmt

rer Verkehrsträger in den Seehafenhinterlandverkehr. Bisher wurden verschiedene Verkehrsträger im Seehafenhinterlandverkehr mehr aus wettbewerbspolitischer Sicht untereinander gesehen. In Zukunft könnten sie zwingend erforderlich sein, um das Ladungsaufkommen großer Containerschiffe und damit deren Wirtschaftlichkeit zu sichern. Hierdurch könnte eine fundamentale Rückwirkung der Containerschiffsgrößenentwicklung auf die intermodale Transportkette und insbesondere auf den Modal-Split eintreten.

Zwischen dem Verkehrsträger Straße und den anderen Verkehrsträgern des Vor- und Nachlaufs gibt es aber entscheidende Unterschiede. Eisenbahn, Binnen- und Feederschiff sind keine Einzelverkehrsträger, wie der LKW. Zum wirtschaftlichen Betrieb dieser Verkehrsträger sind mehrere Container notwendig, d.h. für diese Verkehrsträger werden ebenfalls Sammel- und Verteilprozesse benötigt. Diese Sammel- und Verteilprozesse unterliegen jedoch ebenfalls Problemen, die neben der Schiffsgrößenentwicklung auch aus der Infrastruktur verteilter Häfen resultieren.

6.2.2 Entwicklung der Variantenvielfalt im intermodalen Transport

Häfen bestehen in der Regel aus mehreren Terminals. Im Hamburger Hafen existieren zum Beispiel vier wesentliche Terminals, die operativ unabhängig voneinander arbeiten und teilweise mehrere Kilometer auseinander liegen [FHH-05]. Die Umschlagmöglichkeiten sind – was die technischen Voraussetzungen angeht – mehr oder weniger gleich. Jedes Terminal steht mit dem Hinterland in nahezu identischen Transportrelationen (Abbildung 84).

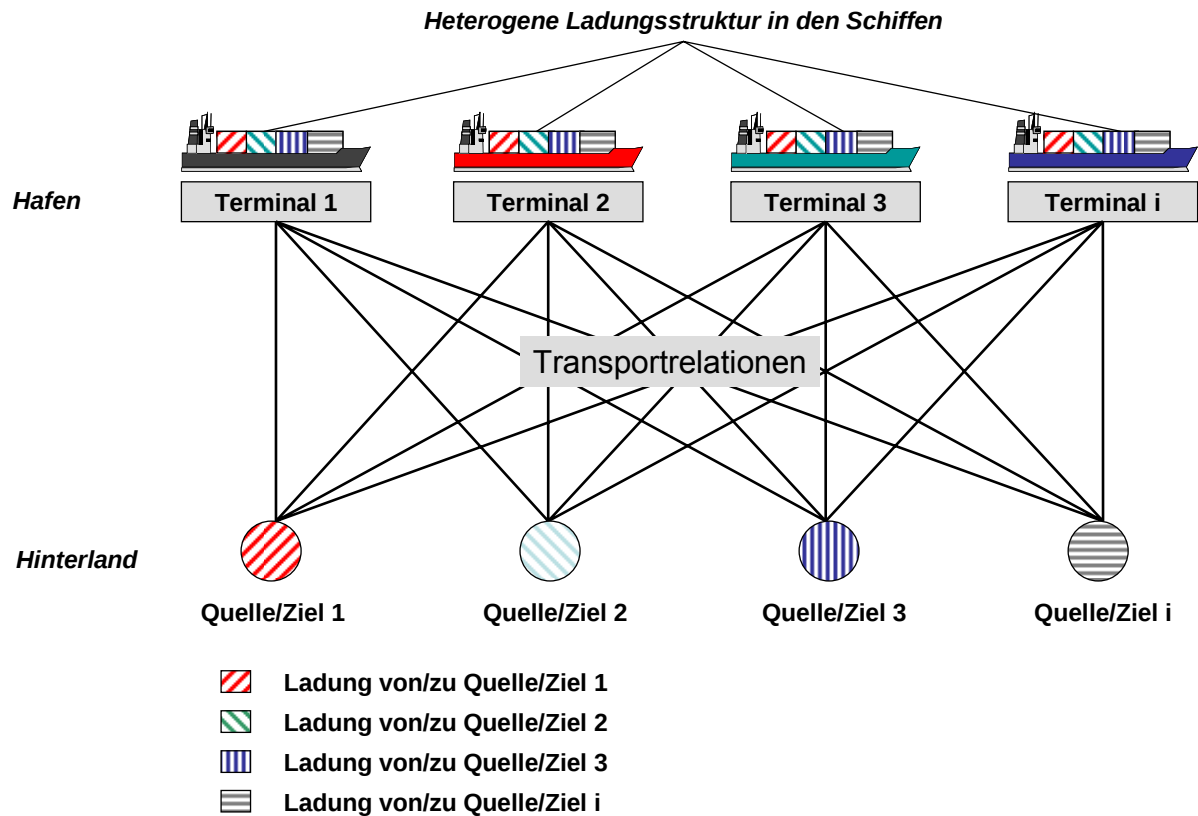


Abbildung 84: Transportrelationen zwischen den Terminals und dem Hinterland

Diese starke Vernetzung mit dem Hinterland ist notwendig, um den vielen verschiedenen Quelle-Ziel-Relationen der Ladung gerecht zu werden. Bezogen auf die Quellen und Ziele sind die Container relativ ungeordnet über die verschiedenen Schiffsabfahrten verteilt. Diese Annahme kann beispielsweise durch die Zunahme des Hafennetzwerkes zwischen Nord-West-Europa und Fernost unterstrichen werden.

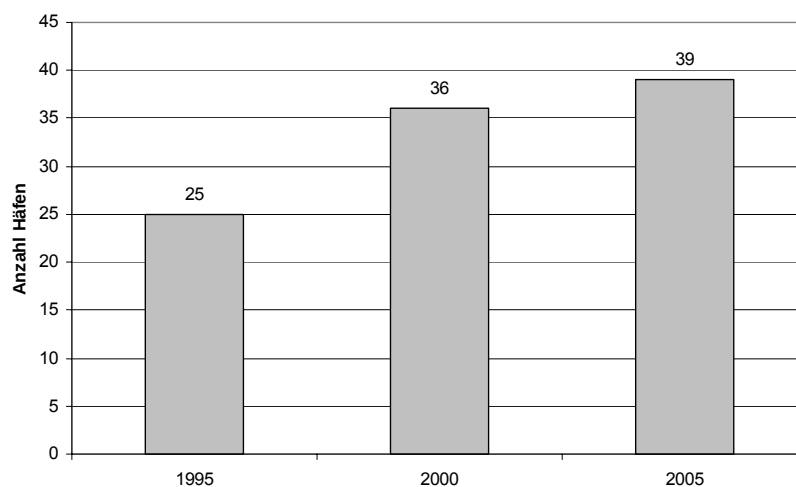


Abbildung 85: Entwicklung der durchschnittlich beteiligten Häfen in der Relation Nord-West-Europa und Fernost [Quelle: HHM 2005]

Eine konkrete Zuordnung der nordwesteuropäischen Häfen zu den Fernost-Häfen ist nach dem HHM nicht möglich, da sich die Verbindungen relativ schnell verändern. Ein Dienst, der heute noch in Rotterdam angeboten wird, kann beispielsweise auf Grund eines besseren Kaitarifs schon Morgen in Hamburg angeboten werden und umgekehrt. Auch die Anzahl der Dienste, d.h. die Anzahl der verschiedenen Routen, die dieses Hafennetzwerk umfasst, entwickelte sich stetig nach oben.

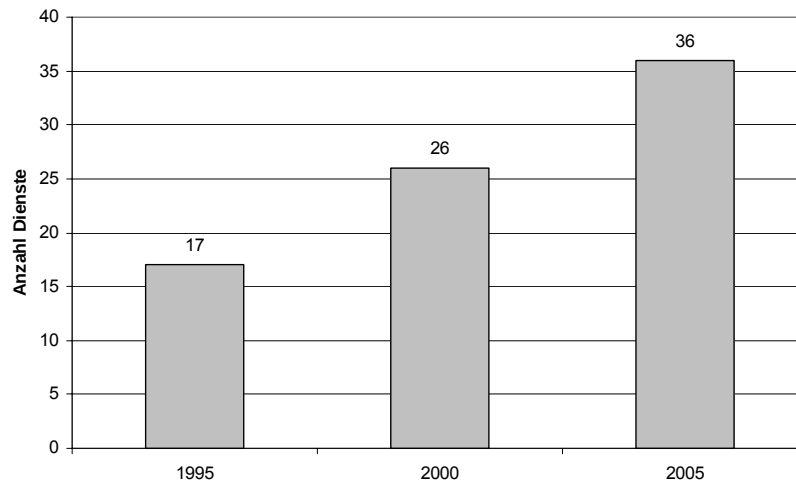


Abbildung 86: Anzahl der angebotenen Fernost-Dienste über die Nordrange nach Jahren [Quelle: HHM 2005]

Seeseitig entwickelte sich das Transportnetzwerk immer feinmaschiger und wird offensichtlich auch mit immer höherer Frequenz durchfahren (siehe Abbildung 87).

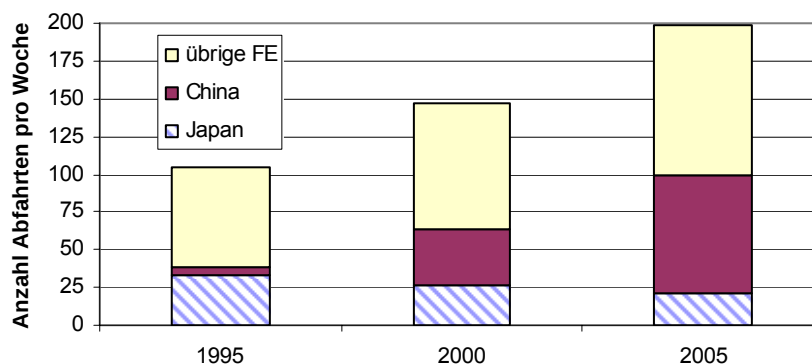


Abbildung 87: Entwicklung der durchschnittlichen wöchentlichen Abfahrten in der Relation Nord-West-Europa und Fernost [Quelle: HHM 2005]

Die Häfen an sich sind jedoch nur Schnittstellen im intermodalen Transport und nur selten originäre Ladungsquellen bzw. -ziele. Es besteht eine starke Verflechtung mit dem Hinter-

land. Die folgende Grafik kann als Indikator für die Vernetzung der Häfen Rotterdam, Antwerpen, Bremen und Hamburg mit dem deutschen Hinterland gewertet werden.



Abbildung 88: Grobverteilung der Ladungsmengen der Nordrange-Häfen mit dem deutschen Hinterland in 2004 [interne Studie HHM]²²

Aus dem sich permanent weiter entwickelnden weltweiten Hafennetzwerk und der starken überregionalen Vernetzung der Häfen mit dem Hinterland kann demzufolge angenommen

²² Die Berechnungen zur Vernetzung der Nordrange-Häfen mit dem deutschen Hinterland konnten auf Grund stark fehlerhafter Datenbasen nicht exakt durchgeführt werden.

werden, dass die Sortier- und Konsolidieranforderungen der Container in den Terminals immer weiter steigen werden. Es wird immer mehr Quellen und Ziele sowie mögliche Schiffsabfahrten zum Transport zwischen diesen Relationen geben. Prinzipiell veranschaulicht die Abbildung 89 das Problem.

Quelle/ Ziele	1	2	3	4	5	→ zunehmend
1	0	D_1	D_2	D_3	D_4	
2	D_1	0	D_2/D_3	D_5	D_6	
3	D_2	D_2/D_3	0	D_5	D_7	
4	D_3	D_5	D_5	0	D_4	
5	D_4	D_6	D_7	D_4	0	
↓						
zunehmend						

D_i Dienst bzw. angebotene Abfahrt ab einem Hafen (→ zunehmend)

Abbildung 89: Prinzipielle Zunahme der Quelle-Ziel-Beziehungen und möglicher Schiffsabfahrten (Dienste) zum Transport

Wenn zum Beispiel Güter aus Quelle 3 der Matrix aus Abbildung 89 zum Ziel 1 und 2 transportiert werden sollen, so sind von vornherein verschiedene Dienste zu nutzen. Zusätzlich können bei Ziel 2 verschiedene, möglicherweise konkurrierende Dienste genutzt werden. Prinzipiell sind Container aus der Quelle 3 im Hafen nach den Abfahrten D_2, D_3, D_5 und D_7 zu sortieren. Umgekehrt sind Container aus den verschiedenen Diensten für die verschiedenen Ziele zu sammeln und gegebenenfalls zu konsolidieren, wenn Massentransportmittel für den Nachlauf eingesetzt werden.

Zur Unterstreichung der Komplexität, die sich hinter dem expandierenden Transportnetz verbirgt, sollen nur die wesentlichen Häfen Nord-West-Europas und die direkt angebotenen Fernost-Häfen in diese Matrix eingesetzt werden. Damit hätte die Matrix aus Abbildung 89 die Dimension 13×26 . In jedem Feld könnten theoretisch 36 verschiedene Dienste stehen. Jeder Spalten- oder Zeilenkopf kann wiederum mit Hunderten Unterzielen bzw. Quellen in Verbindung stehen. Wird weiterhin bedacht, dass viele in Konkurrenz stehende Unternehmen Transporte planen und abwickeln, so erscheint es nahezu unmöglich, dass sich hier eine „höhere“ Ordnung oder ein Bündelungseffekt in Bezug auf die Quelle-Ziel-Relationen in

Zukunft einstellen werden. Es erscheint beispielsweise als unwahrscheinlich, dass es bei der Quelle-Ziel-Relation $3 \rightarrow 2$ aus Abbildung 89 einen kollektiven Beschluss zum Ausschluss von Dienst 3 und zur Lenkung aller Ladung in den Dienst 2 geben wird. Bei allein in Hamburg ca. 330 ansässigen und konkurrierenden Speditionen (Angabe des Vereins Hamburger Spediteure 2006), die sich mit Vor- und Nachlauftransporten beschäftigen, ist eine Transportplanung, die auf Synergieeffekte zur Reduzierung von Sortier- und Konsolidierungsvorgängen in den Containerhäfen abzielt, praktisch ausgeschlossen. Letztlich spiegelt sich hier auch die wachsende Globalisierung wieder. Unternehmen der verschiedensten Orte stehen heute durch die gestiegene Arbeitsteilung in weltweiten Materialflussbeziehungen, die sie vor einigen Jahren noch nicht hatten. Der Container bzw. die Containerarten haben – was Dimensionen und Handling angeht – einen hohen Stand der „Gleichheit“ erreicht. Aber die Quell- und Zielorte der Container werden immer vielfältiger.

Die Großcontainerschiffsentwicklung verursacht zwar nicht diesen Effekt, aber sie verschärft ihn, da mit zunehmender Schiffsgröße immer mehr ungeordnete Container in stauplangerichte Container und umgekehrt konvertiert werden müssen. Das geschieht unter verschärften Zeitanforderungen, da die Wirtschaftlichkeit der Containerschiffe maßgeblich von der Umschlaggeschwindigkeit in den Häfen abhängt. Das Konsolidieren, Sammeln und Verteilen dieser in ihrer Quelle-Ziel-Heterogenität steigenden Containermengen ist neben dem eigentlichen Umschlag die Kernaufgabe der Häfen, die mit immer mehr Quelle-Ziel-Dienst-Varianten umgehen müssen.

6.2.3 Heutiger Umgang mit der Variantenvielfalt

Um die notwendigen Sortierungen und Konsolidierungen der Container für die Schiffsabfahrten und für die Hinterlandtransporte herzustellen, sind logistische und technische Operationen innerhalb und außerhalb der Terminals notwendig. Die internen Möglichkeiten der Containerterminals wurden bereits kurz erwähnt und sollen nicht weiter Gegenstand dieser Arbeit sein. Vielmehr soll hier dargestellt werden, welche Auswirkungen die Quelle-Ziel-Variantenvielfalt im Containertransport auf die Vor- und Nachlaufverkehrsträger Eisenbahn, Binnen- und Feederschiff sowie den Flächenverbrauch in den Hafenregionen insgesamt hat.

Die Quelle-Ziel-Variantenvielfalt bei den Containern wird häufig dazu führen, dass pro Schiffsanlauf nicht genügend zielreine Container für einen der zuvor genannten Verkehrsträger des Nachlaufes vorhanden sind. Umgekehrt werden diese Verkehrsträger aus dem Hinterland zwar viele Container heranfahren, die aber für viele verschiedene Abfahrten bestimmt sind. Die heutigen prinzipiellen Möglichkeiten zur Abwicklung dieser zu sortierenden Containermassen sollen am Beispiel des Imports bzw. Nachlaufs von Containern erläutert werden. In Exportrichtung bzw. im Vorlauf treten aber die gleichen Probleme auf.

Als einfachste Möglichkeit der Konsolidierung von Ladung steht – wie in Abbildung 90 am Beispiel von drei Terminals dargestellt – die Lagerung zur Verfügung. Über mehrere Schiffsankünfte werden Container jeweils an einem Terminal gesammelt, bis genügend zielreine Container für einen Verkehrsträger vorhanden sind. Je nach Größe des Verkehrsträgers sind für diesen Konsolidierungsprozess große oder kleine Lagerkapazitäten vorzusehen. Die Eisenbahn kann gegenwärtig in Deutschland maximal 100 TEU mit einem Zug transportieren (maximale Zuglänge mit 700 m angenommen). Feederschiffe erreichen im Ostseeraum Größen von über 1.000 TEU. Binnenschiffe liegen in ihren Dimensionen zwischen diesen Größen. Die Lagerkapazitäten müssen sich an der Größe und der Häufigkeit dieser Verkehrsträger ausrichten. Auch wenn sich aus Sicht der Containerterminals und Verkehrsträger mit der Zeit ein kontinuierlicher Prozess pro Terminal einstellen wird, der die Verkehrsträger mit Ladung auslastet, so kommt es doch zu einer weiteren Durchlaufzeiterhöhung der Container im Terminal dieser Lagerung. Nicht nur die unterschiedlichen Umschlagleistungen zwischen Kaikante und Hinterland bewirken demzufolge Durchlaufzeiterhöhungen, sondern auch die Struktur bzw. die Zusammensetzung der Container, wenn der Hinterlandtransport so wie dargestellt funktioniert.

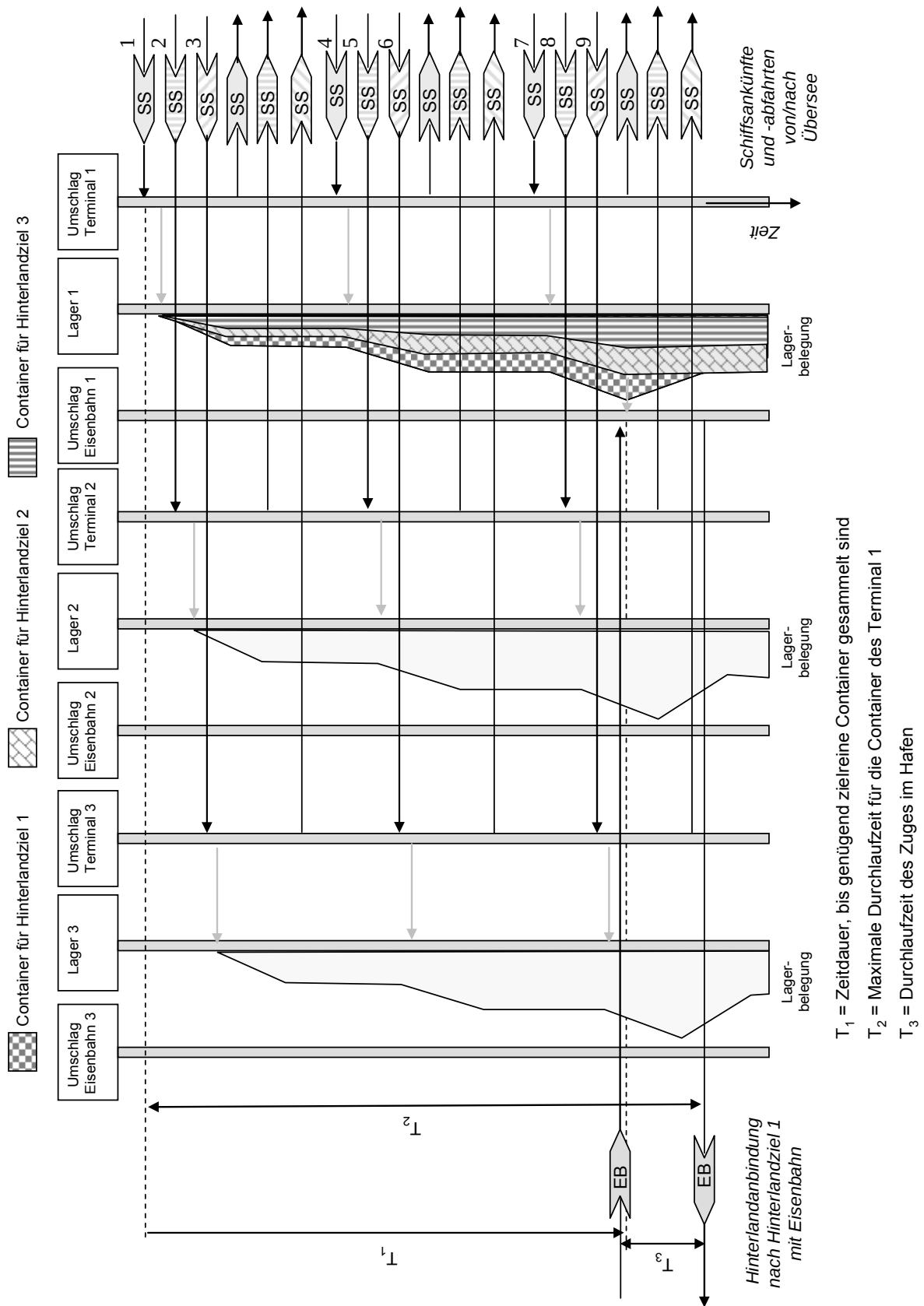


Abbildung 90: Prinzipielles Verfahren im Nachlauf mit Lagerung zur Sammlung zielreiner Container

Soll dem Effekt der Durchlaufzeiterhöhung der Container entgegengewirkt werden, so können die Container durch die Verkehrsträger des Vor- bzw. Nachlaufs über verschiedene Containerterminals eingesammelt werden. Kann oder soll der Verkehrsträger nicht geteilt werden, so verfährt der Verkehrsträger zwischen den einzelnen Terminals wie beispielsweise in Abbildung 91 dargestellt. Bei Feederschiffen im Hamburger Hafen kann dieses Verfahren zwischen den Terminals direkt bestimmt werden. In 2005 liefen Feederschiffe durchschnittlich pro Hafenanlauf ca. 3,3 verschiedene Terminals an [Datenquelle: aus HPA-Datei 2005], um Container zu laden und zu löschen. Auf Nachfragen bei der Reederei Teamlines wurde sogar der Regelwert 4 angegeben. Die Reduzierung auf 3,3 basiert darauf, dass aus Zeitgründen häufig LKWs für Sammeltransporte zwischen den Terminals eingesetzt werden, um nicht noch eine Liegeplatzverholung in Kauf zu nehmen. Ein 8.000-TEU-Schiff wechselte im Jahr 2005 pro Hafenanlauf seinen Liegeplatz dagegen nie.

Durch das Einsammeln der zielreinen Container durch die Hinterlandverkehrsträger über verschiedene Terminals sinken die Lager- und Durchlaufzeiten der Container in den Terminals und damit auch der potenzielle Flächenverbrauch für Containerlagerungen. Im Gegenzug steigen aber die Durchlaufzeiten der Hinterlandverkehrsträger an, wie qualitativ in Abbildung 91 dargestellt. Verkehrsträger des Vor- und Nachlaufs unterliegen aber vermutlich ähnlichen Wirtschaftlichkeitsforderungen wie Großcontainerschiffe. Insofern ist hier ein Konflikt zu verzeichnen. Geringere Durchlaufzeiten der Container in den Terminals gehen zu Lasten längerer Durchlaufzeiten der Vor- und Nachlaufverkehrsträger Eisenbahn, Binnen- und Feederschiff und damit deren Wirtschaftlichkeit. Der Verkehrsträger LKW leidet dagegen nicht unter diesem Effekt. LKWs werden durch dieses Problem sogar zusätzlich begünstigt, da sie Umfuhren zwischen den Terminals fahren können, um das Verholen bzw. Verfahren der großen Hinterlandverkehrsträger zu minimieren. Diese Umfuhren bewirken in Hafenregionen bereits eine beachtliche Verkehrsbelastung, die zumeist nicht direkt messbar ist bzw. die Daten werden nicht veröffentlicht. Sie sind aber zum Beispiel für den Hamburger Hafen abschätzbar.

Die Terminals Eurogate, Burchardkai und CTA fertigten im Herbst 2006 ca. 9.500 LKW²³ pro Tag ab. Das würde theoretisch einer Containermenge von 36.000 TEU (2 TEU pro LKW anliefern und auch wieder abholen) entsprechen. Hochgerechnet auf ca. 300 Betriebstage im Jahr käme damit eine Gesamtmenge von mehr als 10 Mio. TEU heraus. Das wäre mehr, als

²³ Nennung auf dem 2. Hamburger Hafentag der DVWG

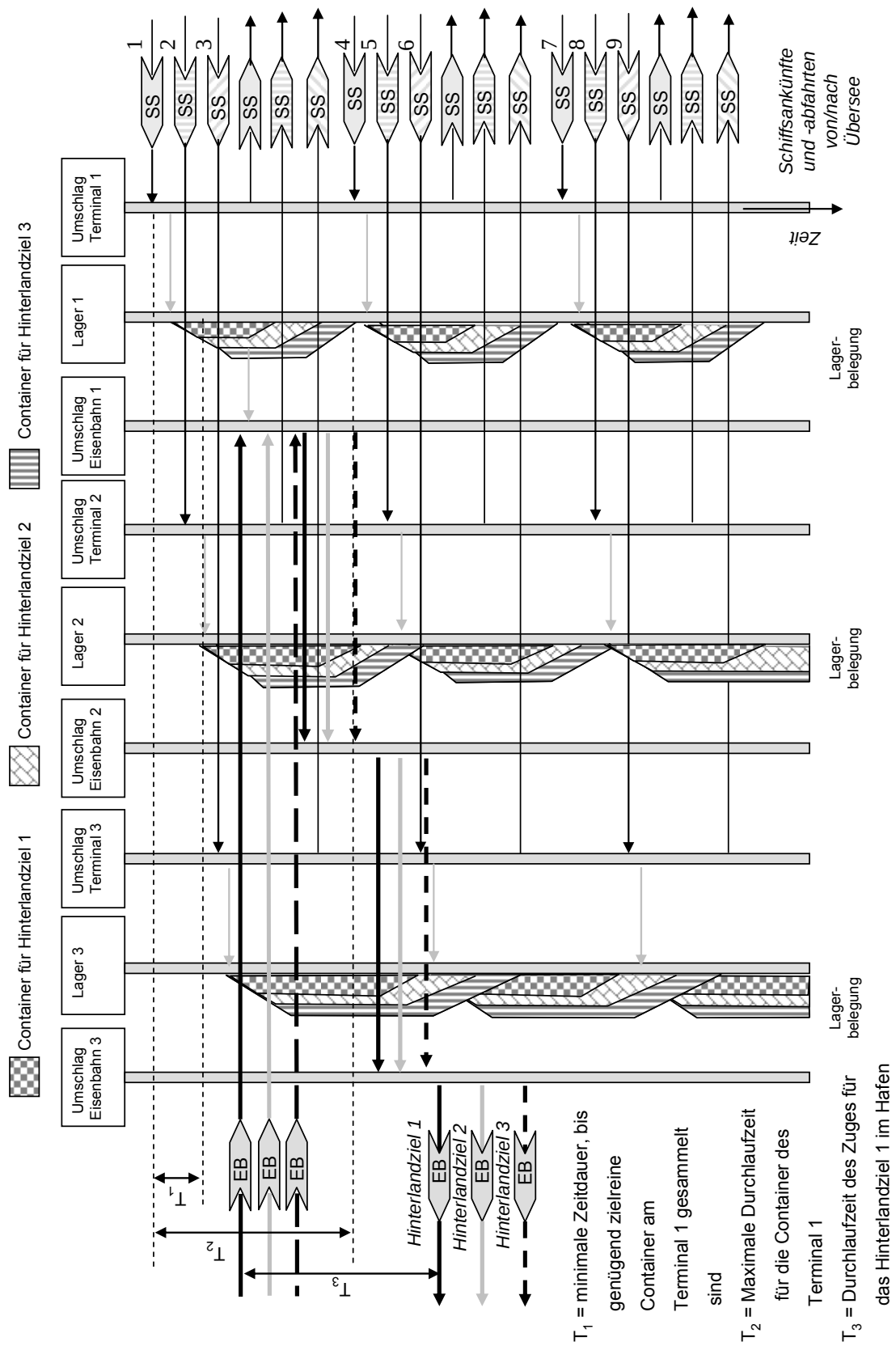


Abbildung 91: Prinzipielles Verfahren zur Sammlung zielreiner Container durch den Nachlaufverkehrsträger

der gesamte Hamburger Hafen insgesamt gegenwärtig umschlägt. Der Straßenverkehr hat aber lediglich einen Anteil am Modal-Split von 50 % oder ca. 3 Mio. TEU (siehe Tabelle 22).

	<i>Empfang</i>	<i>Versand</i>	<i>Umschlag</i>
<i>Übersee</i>	4 205	3 883	8 088
<i>Hinterland</i>	Versand 3 349	Empfang 3 036	6 385
<i>Feeder</i>	847	856	1 703
<i>Bahn</i>	812	618	1 430
<i>Binnenschiff</i>	52	50	102
<i>LKW</i>	1 638	1 512	3 150
<i>davon HH, Umland</i>	819	756	1 575
<i>D, EU-Nachbarstaaten</i>	1 683	1 424	3 107

Tabelle 22: *Modal-Split des Hamburger Hafens in 2005 [Quelle: HHM 2006]*

Sicherlich spielen auch Auslastungsverluste der LKW eine Rolle, beispielsweise wenn der Hamburger Hafen leer angefahren und nur auf dem Rückweg ein Container mitgenommen wird. Werden diese hochgerechneten LKW-Mengen aber nur auf das reine Hinterlandaufkommen an Containern umgelegt, so würde sich lediglich eine Auslastung von ca. 30 % pro LKW ergeben. Das erscheint als sehr unrealistisch. LKW-Umfahren zur Herstellung zielreiner Containermengen müssen demzufolge zumindest im Hamburger Hafen bereits eine beachtliche Rolle spielen.

Da sowohl bei den LKWs indirekt und bei den Feederschiffen direkt der Effekt der Quelle-Ziel-Variantenvielfalt der Container nachzuweisen ist, tritt mit hoher Wahrscheinlichkeit dieser Effekt auch bei den Binnenschiffen und der Eisenbahn im Hamburger Hafen auf.

Ob die Lagerung der Container, die LKW-Querverkehre (Container wird bewegt) oder Sammeltouren der großen Verkehrsträger (Transportmittel wird bewegt) die dominierende Rolle in einer verteilten Hafenstruktur spielen, kann hier nicht gesagt werden. Von jedem scheint etwas dabei zu sein und kann in den Häfen der Welt sicherlich variieren. Allen Varianten gemein ist aber, dass sie zu unwirtschaftlichen Effekten bei den Vor- und Nachlaufverkehrsträgern führen, die Infrastruktur in und um die Terminals bzw. Häfen massiv belasten und letztlich keine minimale Durchlaufzeit der Container in den Terminals ermöglichen. Je größer die punktuelle Ladungsmenge ist, umso stärker treten diese negativen Effekte hervor. Somit

werden größere Containerschiffe durch die Notwendigkeit, mehr Ladung in Relation zur Schiffgröße umzuschlagen, vermehrt zu solchen negativen Effekten führen.

Es stellt sich die Frage nach Alternativen zum heutigen Umgang mit der Quelle-Ziel-Variantenvielfalt der Container sowie den steigenden Containermengen pro Abfahrt durch die größeren Containerschiffe. Am Fallbeispiel des Hamburger Hafens sollen konkrete Lösungsansätze aufgezeigt werden, um die Vor- und Nachlauftransporte und damit die gesamte Transportkette so auszurichten, dass die mögliche Steigerung in der Wirtschaftlichkeit von Containerschiffen sich auch auf die gesamte Transportkette auswirkt.

6.3 Lösungsansätze zur Herstellung der Anschlussleistungen im Hinterlandverkehr

Wie bereits dargelegt, kann die Wirtschaftlichkeit von großen Containerschiffen durch eine Erhöhung der Leistungsfähigkeit im Umschlag in den Containerterminals hergestellt werden. Diese Leistungsfähigkeit kann aber gegenwärtig nicht ins Hinterland übertragen werden. Dafür wäre zunächst eine stärkere Einbindung weiterer Hinterlandverkehrsträger gegenüber dem LKW notwendig. Die weiteren Verkehrsträger Eisenbahn, Binnen- und Feederschiff können jedoch nicht ihre volle Leistungsfähigkeit erbringen, da die verteilten Ladungsmengen in einem Hafengebiet aufwendige Sammel- und Verteiloperationen für diese Verkehrsträger erfordern, die letztlich nichts anderes als eine Sortierung der Container bewirken. Diese Sortierung kann aber auch als neue, zentrale Funktion eines Hafens definiert werden, für die es Konzepte zu erarbeiten gilt.

Lösungsansätze für diese zentrale Funktion wurden bereits vorgestellt. In [PAWE-06-1] wurde zum Beispiel ein Lösungsansatz für den Verkehrsträger Bahn im Hamburger Hafen aufgezeigt. Diesem Lösungsansatz nach sollen alle Containerzüge des Fernverkehrs nur noch ein Hafenhinterlandterminal anlaufen und dort die Container laden und löschen. Von diesem Hafenhinterlandterminal aus werden dann die Container zielrein auf Shuttlezüge verladen. Die Shuttlezüge laufen dann ausschließlich ein Containerterminal an. Auf der Rückfahrt nehmen die Shuttlezüge jeden Container – unabhängig vom eigentlichen Bestimmungsort – aus dem Containerterminal, der für den Nachlauf mit der Bahn vorgesehen ist, mit. Die Herstellung von zielreinen Ladungen wird dann im Hafenhinterlandterminal vorgenommen. Das Prinzip ist in Abbildung 92 dargestellt.

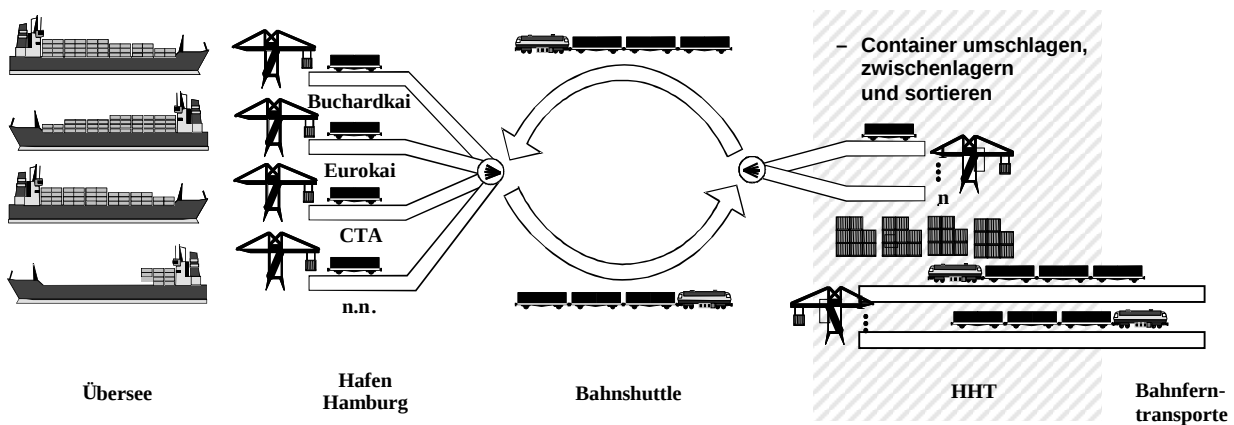


Abbildung 92: *Prinzipskizze des Hafenhinterlandterminals für Bahnverkehre des Hamburger Hafens*

Die Deutsche Bahn prüft gegenwärtig die Möglichkeit der Umsetzung [DVZ-144, S. 7].

Der große Vorteil aus Sicht der Containerterminals bei diesem Prinzip besteht darin, dass keinerlei Sortierungen und längere Lagerungen der Container für den bahnseitigen Nachlauf notwendig sind. Im Gegenzug können die empfangenen Container aus dem Shuttlesystem entsprechend der Abfahrten bestellt werden, so dass die notwendigen Sortierarbeiten zur Verladungsvorbereitung auch vorwiegend im Hinterlandterminal stattfinden könnten. Das wirkt sich insgesamt positiv auf den Flächenverbrauch in den Containerterminals aus.

Das Prinzip mit terminalreinen Shuttlezügen würde sich weiterhin dadurch auszeichnen, dass keine Querverkehre zwischen den Terminals mit Zügen notwendig wären. Das entlastet insgesamt die Bahninfrastruktur. Weiterhin sinkt gegenüber heute die Trassenbelastung zwischen den Containerterminals und dem Hafenhinterlandterminal.

Durch das Anlaufen des Hafenhinterlandterminals steigern die Fernzüge ihre Produktivität, da keine Zeiten mehr für Zugbildungs- und Rangierarbeiten zwischen den Terminals verloren gehen.

Operative Steuerungsmöglichkeiten im Hafenhinterlandterminal sind in [KNU-05] vorgestellt. Dort wurden bereits Algorithmen entwickelt, um optimale Arbeitssequenzen der Verladebrücken in einem Bahn-Bahn-Terminal zu erreichen.

Analog zu den Containern des bahnseitigen Vor- und Nachlaufs wäre es ebenfalls sinnvoll, die Container für den see- bzw. flussseitigen Vor- und Nachlauf über einen zentralen Binnen- bzw. Feederhafen abzuwickeln.

Zentrale Sammel- und Verteilpunkte für die Vor- und Nachlaufverkehrsträger wären eine adäquate Lösung, um die steigenden Containermengen im Umschlag, die mit aus der Forderung nach höherer Wirtschaftlichkeit von Großcontainerschiffen entstehen, effizienter und schneller im Hinterlandverkehr abzuwickeln als heute.

7. Zusammenfassung und Ausblick

7.1 Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit hatte die intermodale Transportkette für ISO-Container mit Vor-, Haupt- und Nachlauf zum Gegenstand. Untersuchungsschwerpunkt bildete dabei der wirtschaftliche Einsatz von Containerschiffen im Hauptlauf der intermodalen Transportkette als Bestandteil des heutigen Rundreisensystems. Anlass bildete das scheinbar ungebremste und noch anhaltende Größenwachstum der Containerschiffe sowie die sich darauf ausrichtenden Infrastrukturentwicklungen in den Seehäfen. Es sollte die Frage geklärt werden, ob größere Containerschiffe automatisch zu immer wirtschaftlicheren Containertransporten führen oder ob es bisher nicht betrachtete Effekte und Parameter im Gesamtsystem der intermodalen Transportkette gibt, die der Größenentwicklungen von Containerschiffen entgegenwirken oder sie begünstigen.

Im Kapitel 1 wurden kurz die Ausgangssituation dargestellt und Analogien zu ähnlichen Phänomenen in der Transportgeschichte aufgezeigt. Insbesondere wurden Parallelen zum Aussterben der Supertanker in den 70er und 80er Jahren des 20. Jahrhunderts gezogen. In der Geschichte des modernen Seetransports war immer nur eine gewisse Stetigkeit im Transportaufkommen zu erkennen, aber nur selten eine einheitliche Entwicklung in der Transporttechnologie und -organisation. In der Literatur wurden zwar Ansätze zur wirtschaftlichen Bewertung von Containerschiffen gefunden, sie bezogen sich jedoch vorwiegend auf isolierte Kostenbetrachtungen von Containerschiffen ohne Produktivitätsansätze und Einbezug der restlichen Transportkette.

Kapitel 2 modellierte deshalb systematisch die intermodale Transportkette und ordnete das Containerschiff als Massentransportmittel in den Hauptlauf einer Transportkette ein. Es wurde die Komplexität des Ablaufes einer Transportkette in verschiedenen Zustandsdarstellungen modelliert um zu zeigen, dass mit zunehmender Containerschiffsgröße immer mehr äußerst komplexe Logistikabläufe, die eigenen Optimierungskriterien unterliegen, auf ein Transportmittel konzentriert bzw. von diesem aus verteilt werden müssen. Weiterhin wurde auf die prinzipiell gegenläufigen Tendenzen in der Größenentwicklung zwischen den Verkehrsträgern des Vor- und Nachlaufes sowie des Hauptlaufes verwiesen. Ob diese Tendenz zu Widersprüchen oder Problemen in der Transportkette führt, wird bisher nur wenig in der Literatur diskutiert. Im Rahmen des Ausbaus von öffentlichen Infrastrukturmaßnahmen werden mögliche Probleme aus diesen Entwicklungen allein in kapazitiven Erweiterungen ge-

sucht. Die permanente Steigerung der Containerschiffsgrößen wird dabei als gegeben angesehen.

Aufbauend darauf stellt Kapitel 3 in allgemeiner Weise die Motivation des Größenwachstums von Containerschiffen dar. Es zeigte sich, dass der Economy-of-Scale-Effekt einer der Hauptmotivationen für immer größere Containerschiffe ist. Unter Economy of Scale wurde dabei der Effekt definiert, dass Containerschiffe pro Stellplatz mit zunehmender Schiffsgröße immer kostengünstiger werden. Allerdings ist der Economy-of-Scale-Effekt eine statische Größe, die lediglich auf die Fixkosten eines Containerschiffes wirkt. Einnahmen und andere Kostenarten werden damit nicht beeinflusst. Die Aussagekraft über die Wirtschaftlichkeit von Containerschiffen ist damit ziemlich begrenzt.

Zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit von Containerschiffen wurde deshalb das heutige vorherrschende Rundreiseprogramm der Reedereien im Kapitel 4 modelliert. Die Modellierung hatte den wirtschaftlichen Vergleich verschiedener Containerschiffsgrößen und nicht exakte Rundreisekalkulationen zum Ziel. Die Wirtschaftlichkeit verschiedener Containerschiffsgrößen wurde dabei an der Rentabilität und der Produktivität (Rentabilität pro Zeiteinheit) gemessen bzw. verglichen. Für das Modell war es zunächst erforderlich, Schiffsgrößencluster zu entwickeln und die verschiedenen Kostenarten und jeweiligen Kostenparameter pro Schiffsgrößencluster zu berechnen. Dafür waren umfangreiche Recherchen erforderlich. Von besonderer Unsicherheit war dabei der Schiffsneubaupreis. Allerdings zeigte sich, dass die Kapitalkosten als Bestandteil der Fixkosten im Rahmen einer Rundreise auf unter 15 % Kostenanteil sinken. Mit zunehmender Schiffsgröße entwickeln sich pro Rundreise die Hafen- und Umschlagkosten zum dominierenden Kostenblock.

Das in Kapitel 4 gewählte Beispiel einer typischen Europa-Asien-Rundreise machte deutlich, dass Rentabilität und Produktivität der Containerschiffe mit zunehmender Schiffsgröße zunächst stark ansteigen, um dann zu stagnieren. Weiterhin war es allein durch Veränderung der Containergewichte möglich, kleinere Containerschiffe wirtschaftlicher darzustellen als größere. Diese einfache Manipulationsmöglichkeit zum einen sowie die Notwendigkeit einer konkreten Rundreise als Berechnungsgrundlage zum anderen machte es erforderlich, ein allgemeines Wirtschaftlichkeitsmodell von Containerschiffen zu entwickeln.

Kapitel 5 nimmt an diesem allgemeinen Modell zur Berechnung der Wirtschaftlichkeit von Containerschiffen verschiedene Parametervariationen vor. Es zeigte sich, dass die Wirtschaftlichkeit von Containerschiffen von sehr vielen Einflussfaktoren abhängt, die außerhalb

des eigentlichen Containerschiffes liegen und nicht von den Reedereien beeinflusst werden können. Zu diesen Parametern zählen beispielsweise die Imbalance und der TEU-Faktor. Es wurde die Aussage gefestigt, dass kleinere Containerschiffe durch andere, geringfügig veränderte Parameter die Wirtschaftlichkeit von größeren Containerschiffen übertreffen können. Umgekehrt wurde nachgewiesen, dass Großcontainerschiffe durchaus hochwirtschaftlich fahren können, wenn insbesondere die Umschlagleistung in den Häfen steigt.

Da gegenwärtig nicht in allen bedeutenden Seehäfen der Welt ausreichende Tiefgangsvoraussetzungen für alle Containerschiffsgrößen existieren, wurde weiterhin eine Abschätzung vorgenommen, welche wirtschaftlichen Vorteile erzielbar wären, wenn die vorherrschenden Rundreiseprogramme in der Containerschifffahrt in Hub-and-Feeder-Systeme gewandelt würden. Die erkennbaren wirtschaftlichen Vorteile für Hauptschiffe zwischen den Hubhäfen waren aber nicht so groß, als dass damit nennenswerte Containerströme in einem Feeder-System finanzierbar gewesen wären. Die Reduzierung der Hafenanzahl in einem vorhandenen Rundreiseprogramm macht nur Sinn, wenn die Container auch ausschließlich von den bzw. für die verbliebenen Häfen zu transportieren sind. Ein seeseitiger Weitertransport der Container zu Häfen, die auch mit kleineren Schiffen eines anderen Rundreiseprogramms erreichbar sind, ist nicht wirtschaftlich. Daraus wurde abgeleitet, dass Containerschiffe mit steigender Schiffsgröße immer mehr Container in Relation zur Schiffsgröße umschlagen müssen, um ihre Rentabilität und Produktivität in einem Rundreiseprogramm mit weniger Häfen zu bewahren. Diese Aussage konnte auch an Hand von Messwerten aus dem Hamburger Hafen bestätigt werden. Damit war ein deutlicher Rückwirkungseffekt auf die Seehäfen und die übrige Transportkette durch steigende Schiffsgrößen erkennbar.

In Kapitel 6 werden die Auswirkungen der überproportional zur Schiffsgröße steigenden Umschlagmengen pro Abfahrt auf die Containerterminals untersucht. Für die rein seeseitigen Umschlagleistungen wirken sich die größeren Umschlagmengen zunächst positiv aus, da durch die größeren zusammenhängenden Containermassen neue Umschlagverfahren zum Einsatz kommen können, die heute durch stärkere Stauplanrestriktionen nicht möglich sind. So ist zu erwarten, dass die Umstapelungen innerhalb des Schiffes während des Lade- und Löschvorganges immer weiter zurückgehen und damit der Einsatz von Mehrfachspreadern im größeren Umfang möglich wird. Die dadurch steigende Umschlaggeschwindigkeit wirkt sich positiv auf die Wirtschaftlichkeit der Großcontainerschiffe aus.

Die höhere seeseitige Umschlagleistung muss jedoch auch durch die übrigen Funktionsbereiche eines Containerterminals unterstützt werden. Insbesondere der innerbetriebliche

Transport und die Lagerbedienung müssen sich ebenfalls an den höheren Umschlagleistungen orientieren, damit der Anschluss an die Containerbrücken hergestellt werden kann. Das ist nach gegenwärtigem Stand der Technik möglich. Containerterminals könnten aus dem Containerlager heraus und umgekehrt in Richtung Kaikante der geforderten Umschlagleistung an den Containerbrücken folgen. Wird insgesamt die seeseitige Umschlagleistung der Containerterminals deutlich erhöht, so haben Containerschiffe von über 10.000 TEU eine wirtschaftliche Existenzberechtigung, wenn sie gleichzeitig ihre Rundreiserentabilitäten und -produktivitäten durch verkürzte Liniensysteme erhöhen. Allerdings kann diese Umschlagleistung nicht ins Hinterland fortgesetzt werden. Überschlagrechnungen zeigten, dass die Verkehrsleistungen im Straßenbereich relativ schnell erreicht werden und deutlich unter der möglichen seeseitigen Umschlagleistung liegen. Wenn keine Erhöhung der Durchlaufzeiten der Container in den Häfen eintreten soll, so ist die Einbindung von weiteren Verkehrsträgern wie Eisenbahn, Binnen- und auch Feederschiff im Vor- und Nachlauf aus Sicht der Wirtschaftlichkeit von Großcontainerschiffen notwendig. Bisher war der parallele Einsatz verschiedener Hinterlandverkehrsträger im Vor- und Nachlauf der Seehäfen mehr aus Wettbewerbsgründen dieser Verkehrsträger untereinander motiviert. Für die Wirtschaftlichkeit von Großcontainerschiffen wären sie aber zwingend erforderlich. Geschieht das nicht und es treten verlängerte Durchlaufzeiten der Container in den Häfen ein, so besteht das Risiko, dass insbesondere wertvolle Ladungen auf kleinere Schiffe oder sogar auf Häfen mit geringerem Ladungsaufkommen ausweichen. Die Korrelation zwischen Wert der Ladung und erhöhten Durchlaufzeiten war mit ausschlaggebend für das Aussterben der Supertanker.

Die steigenden Containermengen pro Abfahrt bergen aber noch ein weiteres, bisher nicht behandeltes Problem. In Kapitel 6 wurden Indikatoren aufgezeigt, dass die steigenden Containerströme sich nicht aus intensiveren Quelle-Ziel-Transporten zusammensetzen, sondern aus einem sich ständig ausdehnenden Transportnetzwerk. Häfen bündeln immer mehr Quellen und Ziele für Container. Bezogen auf die Versand- und Empfangsorte stellen sich die Containermassen in Zukunft vermutlich immer heterogener dar. In Kapitel 6 wurden verschiedene Effekte durch diese Quelle-Ziel-Variantenvielfalt der Container auf die Verkehrsträger Eisenbahn, Binnen- und Feederschiff sowie der Infrastruktur dargestellt. Für den wirtschaftlichen Einsatz dieser Verkehrsträger benötigen insbesondere verteilte Hafenregionen, wie zum Beispiel der Hamburger Hafen, neue Hinterlandhubs, um Sammel-, Verteil- und Sortierfunktionen für die Vor- und Nachlaufverkehrsträger zu übernehmen.

Im Ergebnis dieser Arbeit wird somit festgehalten, dass, wenn die wirtschaftlichen Vorteile von Großcontainerschiffen generiert werden sollen, diese Containerschiffe zunächst ihre

Ladungen in einem verkleinerten Rundreisensystem mit weniger Häfen akquirieren, die Seehäfen eine gesteigerte Umschlagleistung anbieten und im Hinterland neue Logistikkonzepte zur Anbindung der Vor- und Nachlaufverkehrsträger implementiert werden müssen. Nur wenn das Gesamtsystem Transportkette sich insgesamt an die Großcontainerschiffe anpasst – in der vorliegenden Arbeit Schiffe ab ca. 8.000 bis 10.000 TEU –, haben sie aus wirtschaftlicher Sicht eine Existenzberechtigung

7.2 Ausblick

Das in dieser Arbeit entwickelte Modell zur Kosten- und Leistungsbewertung von Containerschiffen kann als Grundlage zur Kosten- und Leistungsbewertung weiterer Schiffstypen genutzt werden. So wäre das Modell mit nur geringen Modifikationen für die wirtschaftliche Bewertung von Massengutschiffen einsetzbar. Die Transport- bzw. Kapazitätseinheit TEU bzw. NTEU müsste durch eine für Massengüter typische Einheit wie beispielsweise Tonnen oder Kubikmeter ersetzt werden. Die Rundreise eines Massengutschiffes würde sich vermutlich auch auf nur zwei Häfen beschränken. Für die Lade- und Löschzeiten wären jedoch in Abhängigkeit des Massengutes neue Untersuchungen zur Bestimmung dieser Zeiten – abhängig von Schiffsgröße und Umschlagmenge – notwendig

Auch für Ro/Ro-Schiffe wäre das Modell mit Erweiterungen nutzbar. Bei Ro/Ro-Schiffen wären die Längen- oder Lademeter der verschiedenen Decks die zu betrachtenden Produktiv-elemente. Die Einnahmenseite des Kosten- und Leistungsmodells müsste aber grundsätzlich überdacht werden, da Ro/Ro-Schiffe beispielsweise auch Einnahmen aus Passagiertransporten erzielen. Interessant wäre die Kombination dieses noch zu entwickelnden Modells für Ro/Ro-Schiffe mit dem bereits vorhandenen Modell für Containerschiffe, um Con/Ro-Schiffe zu bewerten. Diese Schiffstypen werden gerade im Ostseeraum diskutiert und einige Häfen beginnen gerade bzw. haben bereits begonnen, die Ro/Ro-Terminals dem Containerumschlag anzupassen (z.B. VEU-06, S. 5). Auf Multi-Purpose-Schiffe für konventionelle Stückgüter wäre das vorliegende Modell ebenfalls übertragbar.

Für die aus in dieser Arbeit abgeleiteten Anforderungen an Häfen und Hinterland für ISO-Containertransporte gilt es, die aufgezeigten Lösungsansätze aufzugreifen und in detaillierte Ablaufmodelle zu überführen. Hafenhinterlandhubs und zentrale Feeder- und Binnenschiffshäfen besitzen noch weiteren Forschungsbedarf, um praxistaugliche Lösungen zu etablieren. Eine besondere Herausforderung dürfte im Unternehmensmodell für solche Lösungen liegen.

Aber auch in der Gestattung des Containerschiffes als Transportmittel wird noch weiterer Forschungsbedarf gesehen. Große Containerschiffe – in der vorliegenden Datenbasis größer als 10.000 TEU – könnten sich nach dem Kosten- und Leistungsmodell zwischen wenigen Häfen, die über ein genügend großes Quelle-Ziel-Ladungsaufkommen verfügen, etablieren. Bei der Größe dieser Containerschiffe und den zu erwartenden hohen Umschlagmengen in Relation zur Schiffsgröße sind aber trotz möglicher Steigerungen in der Umschlaggeschwindigkeit Schiffs Liegezeiten im Bereich mehrerer Tage zu erwarten. Sollten diese Schiffs Liegezeiten dann im Bereich von 7 Tagen liegen, würden sich auch völlig neue Schiffstypen für den Containertransport anbieten. Bei 7 Tagen Schiffs Liegezeiten in einem wöchentlichen Abfahrtsmuster würden sich zwei Schiffe desselben Dienstes im Hafen treffen. Dann wäre es sinnvoll – ähnlich wie im Binnenschiffstransport –, Transport- und Maschineneinheit dieser Schiffe zu trennen: Nur die Transporteinheit verbleibt im Hafen, die Maschineneinheit übernimmt die andere, bereits fertig beladene Transporteinheit und setzt die Reise fort. Dieser Schiffstyp stellt aber gegenwärtig noch eine gewaltige technologische Herausforderung dar. Aus wirtschaftlicher Sicht wären sie jedoch die logische Konsequenz, falls sich große Containerschiffe auf nur sehr wenige Häfen einschränken würden.

Literaturverzeichnis

ARN-05	Arnold, D. Furmans, K.	Materialfluss in Logistiksystemen. 4. aktualisierte Auflage, Springer Verlag, Berlin/Heidelberg 2005
BDB-04	N.N.	http://www.bundesbank.de/statistik/statistik_zeitreihen.php , 19.05.2004
BLO-97	Bloech, J. Ihde, G.	Vahles Großes Logistiklexikon. Verlag Franz Vahlen GmbH, München 1997
BMWI-01	N.N.	Vernetzungspotenziale innerhalb der maritimen Wertschöpfungsketten am Schiffbau-, Seeschiffahrts- und Hafenstandort Deutschland. Endbericht zum gleichnamigen Forschungsvorhaben im Auftrag des Bundesministerium für Wirtschaft und Tech- nologie, 2001
BOX-05	N.N.	3rd International Summit, Boxship 2005, Conference Do- cumentation, Organised by Lloyd's List, Hamburg, 2005
BRE-81	Brennecke, J.	Geschichte der Schifffahrt. Sigloch-Edition, Künzelau 1981
BRE-93	Breitzmann, K. H. Schönknecht, R.	Containerlinienschifffahrt. Rostocker Beiträge zur Verkehrswissenschaft und Logis- tik, Eigenverlag der Universität Rostock 1993
BUNK-06	N.N.	Daily Bunkerbulletin vom 01.07.2006 www.bunkerworld.com 01.07.2006
BUND-03	N.N.	Bundesverkehrswegeplan 2003, Beschluss der Bundesregierung vom 02.07.2003. Druckerei des BMVWB, Bonn 2003

CMA-06	N.N.	http://www.cma-cgm.com/products_services/fleetlist.asp?cChoice=CN 9.5.2006
CON-04	N.N.	Schiffsbeteiligung, Conti Beteiligungsfonds III. München 2004
CUL-98	Cullinane, K. Khanna, M.	Economies of Scale in Large Container Ships. Journal of Transport Economies and Policy 33(1998)2, S. 185-208
CUX-00	N.N	CTC Container-Terminal Cuxhaven Machbarkeits- untersuchung Band I. Erläuterungsbericht Gesamtdarstellung des Vorhabens, Arbeitsgemeinschaft CT Deutsche Bucht Cuxhaven GmbH (i.G.) Hafenwirtschaftsgemeinschaft, Cuxhaven 2000
DER-07	Derrick, L. Jonathan, K. H. Michael, A. J.	Tandem-40 Dockside Container Cranes and Their Impact on Terminals. In: Paper of the ASCE Ports 2007 Conference San Diego, CA
DOE-02	Doerre, H.	Logistische Anforderungen an Seehäfen für den Hinter- landtransport auf Binnenwasserstraßen. In: Tagungsband zum Workshop Schifffahrt und Logistik auf Binnenwasserstraßen 2002 der Universität Hannover, Franziusinstitut für Wasserbau und Küsteningenieurwe- sen, Mitteilungen Heft 88/2002, Hannover 2002
DOM-95	Domschke, W.	Logistik: Transport. R. Oldenburg Verlag München Wien 1995

DRE-06-1	N.N.	Container Shipper Insight 1Q06. Quarterly Analysis of the Container Market of Drewry Shipping Consultants Ltd, London, Drewry Shipping Con- sultant Ltd 2006
DRE-06-2	N.N.	The Drewry Container Market Quarterly, Volume Seven. Third Edition, London, Drewry Shipping Consultant Ltd 2006
DÜC-04	Dücker, H. P.	Strategische Ziele zur Hamburger Hafenentwicklung. In: Tagungshandbuch zum 13. Hamburger Logistik- Kolloquium am 04.03.2004 an der Technischen Universi- tät Hamburg-Harburg
DVZ-144	N.N.	DVZ Sonderbeilage Nr. 144, vom 02.12.2006
DYN-06-10	N.N.	Dynar Liner Nr. 10/2006, Wöchentlicher Newsletter der DYNAMAR B.V. Transport and Shipping Information, 2006
EU-94	N.N.	Research, Technological Development and Demon- stration Programme in the Field of Transportation. Amtsblatt der EU TRC/VII/010/9 1994
FAR-06	N.N.	http://www.fareasternfreightconference.com , 10.09.2006
FHH-05	N.N.	Im Focus dynamischer Wachstumsmärkte, Chancen und Entwicklungspotenziale des Hamburger Hafens. Herausgeber: Freie und Hansestadt Hamburg, Hamburg Port Authority 2005
FUN-03	Fung, M. et al.	The impact of terminal handling charges on overall ship- ping charges, an empirical study. Transportation Research Part A(2003)37, S. 703-716

FRA-06	Frass, J.	Kapazitätsanalyse von Hinterlandverbindungen ausgewählter europäischer Seehäfen. Schriftenreihe des Instituts für Transportwirtschaft und Logistik der Wirtschaftsuniversität Wien, Wien 2006
FZA-06	Janiak, W.	Fakten und Zahlen zur maritimen Abhängigkeit der Bundesrepublik Deutschland. 19. Auflage Jahresbericht 2006
GIL-83	Gilman, S.	The Competitive Dynamics of Liner Shipping. Gower, Adlershot 1983
HAP-06	N.N.	Hapag Lloyd Jahresbericht 2005, www.hapag-lloyd.de , 10.09.2006
HAR-04	Hartmann, S.	A general framework for scheduling equipment and manpower at container terminals. OR Spectrum (2004)26, S. 51-74
HAU-00	Hautau, H.	Perspektiven der Schiffsgrößenentwicklung in der Containerschifffahrt – Herausforderung für die deutschen Nordseehäfen? Wissenschaftliches Kolloquium vom 6. und 7. Juli 2000 in Wilhelmshaven der DVWG, Bergisch Gladbach 2000
HAU-02	Hautau, U.	Seeverkehrsmärkte im wettbewerbspolitischen Wandel dargestellt am Beispiel der Container-Linienschifffahrt auf der Nordatlantik- und Fernost-Route. Europäische Hochschulschriften Reihe 5, Volks- und Betriebswirtschaft, Frankfurt am Main 2002
HAU-03	Hautau, U.	Dedicated Terminals: Wer hat den Vorteil? Internationales Verkehrswesen (2003)05, S. 200-202

HAU-06	Hautau, H. Pawellek, G. Schönknecht, A.	Binnenschifffahrt im Ostseeraum: Ungenutzte Potenziale. Internationales Verkehrswesen 58(2006)11, S. 549-552
HES-06	Hesse, M. Nuhn, H.	Verkehrsgeographie. Paderborn [u.a.], Schöningh 2006
HHLA-05	N.N.	Hamburger Hafen und Logistik Aktiengesellschaft, Geschäftsbericht 2005
HHLA-06	N.N.	http://www.hhla.de/global/popups/Kaitarif_index/index.htm 01.08.2006
HLC-06	N.N.	http://www.hapag-lloyd.de/de/fleet/vessels.html 13.05.06
HOL-06	Holocher, R.	Hafeninvestition als finanzielle Herausforderung. Internationales Verkehrswesen (2006)11, S. 539-541
HTV-05	Verband Deutscher Reeder e.V.	Heuertarifvertrag für die deutsche Seeschifffahrt (HTV-See). Hamburg 2005
HWWI-06/1	A.K.	Maritime Wirtschaft und Transportlogistik, Band A: Perspektiven des maritimen Handels – Frachtschifffahrt und Hafenwirtschaft. Gemeinsame Studie des HWWI Hamburgische WeltWirtschaftsinstituts und der Berenberg Bank, Hamburg 2006
HWWI-06/2	A.K.	Maritime Wirtschaft und Transportlogistik, Band B: Perspektiven für maritime Wirtschaft und Transportlogistik – Strategieansätze aus Unternehmens- und Investorensicht. Gemeinsame Studie des HWWI Hamburgische WeltWirtschaftsinstituts und der Berenberg Bank, Hamburg 2006

IHL-03	Ihlwan, M.	Monsters on the high seas. Business Week (2003)3837-1167, S. 37
ISL-05-1	ISL, Bremen	Shipping Statistics Yearbook 2005. Institut für Seeverkehrswirtschaft und Logistik, Bremen 2005
ISL-05-2	N.N.	Lage und Aussichten des Marktes für Container Anfang 2005. Institut für Seeverkehrswirtschaft und Logistik, Bremen 2005
JAN-87	Jansson, J. O. Shneerson, D.	Liner Shipping Economics. Champman and Hall, London 1987
JOR-06	Jordan, M.	Quay Crane Productivity. Presented at TOC Americas, Miami Nov 2002
KLÄ-04	Klaus, P. Krieger, W. (Hrsg.)	Gabler Lexikon Logistik. 3. Auflage, Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler/GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden 2004
KNU-05	Knut, A.	Modelling and Optimization of the intermodal terminal Mega Hub. In: Container Terminals and Automated Transport Sys- tems, S. 307, Springer Berlin Heidelber New York 2005
KOR-02	N.N.	A Study on the System Design and Operations of Auto- mated Container Terminal. Bericht des Korea Maritime Institute, www.port.re.kr/result/pdf/2000-16.pdf , 25.09.2006
KRA-97	Kraus, A.	Container-Transportsysteme der Zukunft. Schlussbericht zum gleichnamigen BMBF-Vorhaben, HDW, Kiel 1997.

KRAM-06	Krampe, H. Lucke, H. J. Hrsg.	Grundlagen der Logistik, Theorie und Praxis logistischer Systeme. Huss-Verlag, München 2006
LAU-87	Laue, U. Schönknecht, R.	Hochseefrachter der Weltschifffahrt. Band 1, transpress Verlag für Verkehrswesen, Berlin 1987
LEM-01	Lempke, B.	Perspektiven und Grenzen der Größenentwicklung in der Containerschifffahrt. Schiff & Hafen 53(2001)11, S. 12-20
LET-04	N.N.	http://www.lethsuez.com/tariff.htm , 10.06.2004
LLO-06	N.N.	Lloyd's List, Port of the World. Published by Lloyd's Marine Intelligence Unit, London 2006
MAH-04	Magnheim- Hörmann, T.	Münchener Rück sieht Risiken in der Containerschifffahrt. Frankfurter Rundschau vom 12.05.2004, S. 13
MAN-05	N.N.	Propulsion Trend in Container Vessels. MAN B&W Diesel A/S , Kopenhagen, Dänemark http://www.manbw.com/files/news/files/4672/P9028.pdf 19.01.2005
MAN-06	N.N.	http://www.manbw.com/engines/TwoStrokeLowSpeedPropEngines.asp?model=K98MC%20Mk7 16.05.2006
MAR-02	Martin, H.	Planung, Aufbau und Steuerung von Transport- und Lagersystemen. Vieweg Verlag, Braunschweig 2002

MEH-05	Mehldau, J. Schönknecht, A.	Abschlussbericht Arbeitspaket 3 zum EU-Projekt INTRA-SEA. Institut für Logistik der Technischen Universität Hamburg-Harburg, www.intrasea.org 2005
MÜL-04	Müller, L.	Eine Vision wird Wirklichkeit, das 9.000 TEU-Großcontainerschiff ist da. Schiff & Hafen 56(2004)04, S. 29-34
MÜL-05	Müller, L.	Aktuelle und Zukünftige Daten von Großcontainerschiffen. Vortrag vom 27.10.2005 auf dem 4. Elsfler Schifffahrtsforum
NEU-85	Neukirchen, H.	Seefahrt im Wandel der Jahrtausende. Transpress Verlag, Berlin 1985
NOT-02	Notteboom, T.	The interdependence between liner shipping networks and intermodal networks. In: http://www.eclac.cl/transporte/perfil/iamc_papers/proceedings/Notteboom.doc , Panama 2002
OV1-04	Lloyds Fonds	http://www.lloydfonds.de/index.php?section=pressroom_sub&value=20 , 19.05.2004
OV1-06	N.N.	http://www.hansatreuhand.de/ 13.05.2006
OV1-98	N.N.	Das Wachstum der Jumbos. Hansa International Maritime Journal 135(1998)03, S. 32-38
OV1-99	N.N.	ISO-Container der Reihe 1 - Klassifikation, Maße, Gesamtgewichte (ISO 668:1995). Beuth-Verlag, Berlin 1999

OV2-01	N.N.	Überkapazitäten unvermeidlich. Deutsche Verkehrszeitung vom 20.09.2001, S. 10
OV2-02	N.N.	Drawing the line. The economist (2002), S. 67
OV2-06	N.N.	http://www.bunkerworld.com/index_fs.html 16.05.2006
OV3-01	N.N.	ISO-Container - Terminologie. Korrektur 1, Beuth-Verlag, Berlin 2001
OV3-03	N.N.	Krieg und Terror treiben Schiffsbetriebskosten hoch. Deutsche Verkehrszeitung vom 01.07.2003, S. 6
OV4-03	N.N.	Wachstum bei Containerschiffen? Hansa International Maritime Journal 140(2003)08, S. 18-21
PAWL-99	Pawlik, T.	Seeverkehrswirtschaft, Internationale Containerlinien-schiffahrt eine betriebswirtschaftliche Einführung. Gabler, Wiesbaden 1999
PAWE-81	Pawellek, G.	Ablaufplanung bei innerbetrieblichen Transportketten. Dissertation an der Universität Dortmund Abteilung Maschinenbau, Dortmund 1981
PAWE-97	Pawellek, G. Blauert, C. Schirrmann, A. Martens, I.	Erarbeitung eines Konzeptes für eine „Just in Time“ – Transport und Lagerlogistik im Schiffbau. Abschlussbericht für das Forschungszentrum des Deutschen Schiffbaus e.V., Nr. 276, Hamburg 1997
PAWE-04	Pawellek, G. Schönknecht, A.	Internetgestützte Kommunikation in Transportketten. In: Jahrbuch der Logistik 2004, S. 110-115

-
- | | | |
|-----------|---------------------------------|---|
| PAWE-05-1 | Pawellek, G.
Schönknecht, A. | Hafenhinterlandterminal im Süderelberaum, Machbarkeitsstudie für ein bahnseitiges Hafenhinterlandterminal. Hamburg 2005 |
| PAWE-05-2 | Pawellek, G. | Hinterlandlogistik – Gesamter Effekt der Großcontainerschiffe in Gefahr.
Deutsche Schifffahrts-Zeitung 58(2005)46, S. 1 u. 4 |
| PAWE-06-1 | Pawellek, G.
Schönknecht, A. | Hinterlandlogistik bringt Kostensenkung im internationalen Hafenwettbewerb,
Schiff&Hafen (2006)7, S. 11-14 |
| PAWE-06-2 | Pawellek, G.
Schönknecht, A. | Neue Konzepte zur Beschleunigung intermodaler Transportketten.
In: Jahrbuch Logistik 2006, S. 14-16 |
| PAWE-06-3 | Pawellek, G. | Erfolg der Seehäfen hängt stark von der Hinterlandlogistik ab. Deutsche Schifffahrts-Zeitung 59(2006)37, S. 1 u. 4 |
| PAWE-07 | Pawellek, G.
Schönknecht, A. | Maritime Logistik – Innovationsstrategien, Lösungsansätze und Potenziale.
In: Jahrbuch Logistik 2007, S. 87-89 |
| PAY-99 | Payer, H. | Die Containerschiffe werden größer – die Häfen müssen reagieren.
Schiff & Hafen (1999)5, S. 10-12 |
| PEI-96 | Pein, J. W. | Giganten der Meere, Geschichte der Supertanker.
1. Auflage, Koehler, Hamburg 1996 |
| PET-62 | Petri, C. A. | Kommunikation mit Automaten.
Schriften des IIM Nr. 2, Institut für Instrumentelle Mathematik, Bonn 1962 |
| POE-00 | Poehls, C. | Technische Perspektiven der Größenentwicklung in der Containerschifffahrt.
Schiff & Hafen (2000)10, S. 11-24 |
-

POE-02	Poehls, C.	Grenzen des Wachstums bei Containerschiffen. Internationales Verkehrswesen (2002)10, S. 501-502
PRA-79	Prager, H. G.	Vom Frachtschiff zum Kühlschiff, Containerschiff und Bulk Carrier. 2. Auflage, Koehlers Verlagsgesellschaft mbH, Herford 1979
PRT-06	Port of Rotterdam	Rotterdam Port tariffs 2006. http://www.portofrotterdam.com/mmfiles/port_tariffs_tcm26-8326_tcm26-10151.pdf , 20.12.2006
REH-84	Rehbein, E.	Zu Wasser und zu Lande. 1. Auflage, Koehler & Amelang (VOB), Leipzig 1984
REI-04	Reise, S.	Offshore-Containerterminals als Transshipment-Hub – dargestellt am Beispiel der Deutschen Bucht. Dissertation am Institut für Transportwirtschaft und Logistik, Wirtschaftsuniversität Wien, 2004
SAL-89	Salzen, H.	Informationssysteme zur Containerkontrolle und -disposition. Erschienen in: Optimierung der Container-Logistik; Schriftenreihe der Deutschen Verkehrswissenschaftlichen Gesellschaft e.V. (DVWG), Bergisch Gladbach 1989
	Sonntag, H.	Routen suchen.
	Meimbresse, B.	Internationales Verkehrswesen (2006) 6, S. 287-290
SOR-04	Sorgenfrei, J.	Zukünftige Chancen der Hafenlogistik im neuen Europa. In: Tagungshandbuch zum 13. Hamburger Logistik-Kolloquium am 04.03.2004 an der Technischen Universität Hamburg-Harburg
STP-00	Stopford, M.	Defining The Future of Shipping Markets. ITIC Forum 2000, London 2000

STP-02-1	Stopford, M.	Is the Drive for ever Bigger Containerships Irresistible? Lloyds List Shipping Forecasting Conf., London 2002
STP-02-2	Stopford, M.	http://www.clarksons.net/freestuff/ci_paper_april2002.pdf , 06.07.2004
STP-95	Stopford, M.	Maritime Economics. Routledge, London 1995
SWI-06	Swinarski, B.	Bewertung see- und landgestützter Transportketten im Ostseeraum, Wirtschaftliche und umweltbezogene Aspek- te. Verlag Dr. Kovač, Hamburg 2005
TEAM-06	N.N.	http://www.teamlinesde/asp/system/emptyasp?P=203&VI D=default&SID=898947162936424&S=0&C=22714 09.05.2006
VBW-95-2	N.N.	Die Binnenwasserstraßen der Bundesrepublik Deutsch- land -Sammlung von Daten und Fakten-. Verein für europäische Binnenschifffahrt und Wasserstra- ßen e.V, Duisburg-Ruhrort 1995
VEU-06	N.N.	VEUS-LOG, Offizielles Organ der Vereinigung Europäi- scher Schifffahrtsjournalisten (2006)2
VLK-03	Volk, B.	Expansive Containerschifffahrt und Schiffsgroßenentwick- lung. Hansa International Maritime Journal (2003)10, S. 23-30
VOß-04	Voß, S. Stahlbock, R. Steenken, D.	Container terminal operations research – a classification and literature review OR Spectrum (2004)26, S. 3-49
WIJ-99	Winjolst, N. Scholtens, M.	Malacca-Max, the ultimate container carrier. Delft Univ. Press, Delft 1999

WIJ-00	Wijnolst, N. Waals, F. et al.	Malacca-Max [2], Container Shipping Network Economy. Delft Univ. Press, Delft 2000
WIL-02	Willmington, R.	The bigger the better. Containerisation International 36(2002)02, S. 52-53
WIT-00	Witthöft, H. J.	Container - Eine Kiste macht Revolution. Koehler, Hamburg 2000
WIT-04	Witthöft, H. J.	Container: die Mega-Carrier kommen. Koehler, Hamburg 2004
ZAC-02	Zachcial, M.	Economies of Scale in der Containerschiffahrt. Hansa International Maritime Journal 139(2002)01
ZAC-05	Zachcial, M. Heideloff, C.	Shipping Statistics Yearbook 2005. Institut für Seeverkehrswirtschaft und Logistik, Bremen 2005