



Universität Bremen

Fachbereich Wirtschaftswissenschaft | FB7

Schriftenreihe des  
Lehrstuhls für  
Logistikmanagement

Nr. 13  
Jahrgang 2014

Finke, S. (Hrsg.)

Transportkostenvorteile von Hub-and-Spoke-Netzwerken im  
Vergleich zu Point-to-Point-Verbindungen im  
containerisierten Hinterlandverkehr Deutschlands

Deppe, Jannick

## Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis .....	I
Abbildungsverzeichnis .....	III
Tabellenverzeichnis .....	IV
Formelverzeichnis .....	V
Abkürzungsverzeichnis .....	VI
Symbolverzeichnis .....	VII
1 Einleitung .....	1
1.1 Einordnung und Abgrenzung des Themas .....	1
1.2 Forschungsfrage .....	1
1.3 Gang der Argumentation .....	2
2 Die Entwicklung des Containertransports .....	3
3 Point-to-Point-Verbindungen (Direktverkehr) im Transportwesen .....	8
3.1 Einführende Erklärung .....	8
3.2 Veranschaulichendes Beispiel im LKW-Transport (Fallbeispiel 1) .....	8
4 Hub-and-Spoke-Netzwerke .....	13
4.1 Einführende Erklärung .....	13
4.2 Hub-and-Spoke-Netzwerktypen .....	13
4.2.1 1-Hub-Netze .....	13
4.2.2 Multi-Hub-Netze .....	14
4.2.3 Sanduhr-Hubs und Hinterland-Hubs .....	14
4.3 Hub-and-Spoke-Netzwerke in der Entstehung .....	15
4.4 Vorteile von Hub-and-Spoke-Netzwerken .....	17
4.4.1 Multiplikatoreffekt .....	17
4.4.2 Economies of Density .....	19
4.4.3 Economies of Scope .....	20

---

4.4.4	Economies of Scale .....	21
5	Praxisbeispiel mit unterschiedlichen Transportalternativen (Fallbeispiel 2) .....	23
6	Auswertung und Darstellung der Ergebnisse .....	30
7	Fazit und Ausblick .....	33
	Literaturverzeichnis.....	A

---

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Containerumschlagsentwicklung in Deutschland .....	5
Abbildung 2: Anteile der Verkehrsträger am Güterverkehr 2010.....	6
Abbildung 3: Größte Seehäfen Deutschlands 2010 .....	8
Abbildung 4: Transportmodell Direktverkehr bei vollständiger Kapazitätsauslastung .....	10
Abbildung 5: Transportmodell bei noch vorhandener Transportkapazität .....	11
Abbildung 8: 1-Hub-Netz (links) und Multi-Hub-Netz (rechts).....	14
Abbildung 9: Sanduhr-Hub (links) und Hinterland-Hub (rechts).....	15
Abbildung 6: Vergleich zweier Fluggesellschaften vor der Deregulierungsphase .....	16
Abbildung 7: Hub-and-Spoke-Netzwerk in der Luftfahrt nach Deregulierung .....	17
Abbildung 10: Vergleich der Anzahl der Flugverbindungen.....	18
Abbildung 11: Darstellung des Transportaufkommens im Fallbeispiel.....	23
Abbildung 12: Kostengünstigste Transportlösung im Fallbeispiel 2 .....	32

---

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Containerumschlag der großen Nordseehäfen 1968-1970.....	4
Tabelle 2: Güterverkehrsleistung 1969 bis 1970.....	5
Tabelle 3: Entfernungen Direktverkehr im Fallbeispiel 1 in Kilometern .....	9
Tabelle 4: Vor- und Nachteile im Direktverkehr .....	12
Tabelle 5: Entfernungen von den Seehäfen zu den Zielorten in Kilometern .....	24
Tabelle 6: Betriebsdaten Transportmöglichkeit 1 .....	25
Tabelle 7: Betriebsdaten Transportmöglichkeit 2 .....	26
Tabelle 8: Entfernungen von den Seehäfen zu den Hubs und Zielorten in Kilometern.....	27
Tabelle 9: Betriebsdaten Transportmöglichkeit 3 .....	27
Tabelle 10: Betriebsdaten Transportmöglichkeit 4 .....	28
Tabelle 11: Betriebsdaten Transportmöglichkeit 5 .....	29
Tabelle 12: Betriebskostenübersicht der Transportmodelle im Fallbeispiel 2 .....	30

**Formelverzeichnis**

Formel 1: Kosten einer Anfangslösung.....	10
Formel 2: Berechnung der Kostenänderung.....	11
Formel 3: Transportkosten je TEU im Fallbeispiel 2.....	31

## Abkürzungsverzeichnis

<i>Abkürzung</i>	<i>Bedeutung</i>
Abb.	Abbildung
ACT	Associated Container Transportation
BRD	Bundesrepublik Deutschland
CAB	Civil Aeronautic Board
DDR	Deutsche Demokratische Republik
DVZ	Deutsche Verkehrs-Zeitung
GVZ	Güterverkehrszentrum
H&S-Netzwerk	Hub-and-Spoke-Netzwerk
LKW	Lastkraftwagen
KV-Terminal	Kombinierter-Verkehr-Terminal
OCL	Overseas Container Line
Rbf.	Rangierbahnhof
TEU	Twenty-Food-Equivalent-Uni

## Symbolverzeichnis

<i>Symbol</i>	<i>Bezeichnung</i>	<i>Einheit</i>
C	Kilometerkostensatz des Verkehrsträgers	Euro pro Kilometer
$c_{ij}$	Kosten eines Streckenabschnitts	Kilometer
CO <sub>2</sub>	Kohlenstoffdioxid	Gramm
i	Standortindikator	Ohne Einheit
j	Standortindikator	Ohne Einheit
$\Sigma$	Summe einer Rechnung	Kilometer oder Euro
$\Delta_{ij}$	Kostenänderung	Kilometer
n	Mathematische Hilfsvariable	Ohne Einheit
s	Einzelner Transportweg	Kilometer
Q	Grenzwert für Kostenvergleich der Verkehrsträger	TEU-Container
X	Anzahl zu transportierender Container	TEU-Container
Y	Containerkapazität des einzelnen Transportmittels	TEU-Container
Z	Anzahl der notwendigen Transporte	Ohne Einheit
$Z_0$	Gesamte Transportkosten	Kilometer



# 1 Einleitung

## 1.1 Einordnung und Abgrenzung des Themas

Das Wachstum des weltweiten Handelsvolumens ist neben dem Fortschritt durch technische oder technologische Innovationen einer der wichtigsten Faktoren für die Entwicklung und Gestaltung internationaler Transportketten. Dabei harmonisieren diese beiden Faktoren hervorragend miteinander. So motiviert ein Anstieg im Handelsvolumen zu technologischem Fortschritt, während technologischer Fortschritt das Wachstum des Handelsvolumens vorantreibt. Mit der Einführung des Containers im zwanzigsten Jahrhundert und der Entwicklung zum ISO-Container, welcher einen flexiblen Wechsel zwischen verschiedenen Verkehrsträgern ermöglicht, wurde der Grundstein für den internationalen Containertransport gelegt, welcher bis heute einen rasanten Aufschwung durchlebt. Sowohl durch die Errichtung von Containerterminals an Seehäfen oder Binnenterminals als auch durch den Einsatz immer größerer Transportträger verzeichnet der weltweite Containerumschlag seit der Jahrtausendwende sogar prozentual zweistellige Wachstumsraten pro Jahr im Seeverkehr (Statistisches Bundesamt 2006, 1349). Nicht wenige Studien berichten daher von hohem Investitionsbedarf in Deutschland, um zukünftig einen derart hohen Containerumschlag in Seehäfen und im Hinterlandverkehr bewältigen zu können (HaCon Ingenieurgesellschaft mbH & KombiConsult GmbH 2013, 8 ff.). Grundlegend für die Bewältigung des hohen, prognostizierten Containerumschlagvolumens ist dabei die Struktur der Transportnetzwerke selbst. Sowohl die Transportzeit, die Transportkosten und die Transportqualität stellen an dieser Stelle wichtige Determinanten der Transportlogistik dar (Kortschak 2003, 41 f.). Um den damit verbundenen Anforderungen an die Container-Logistik weitestgehend gerecht zu werden, ist es von hoher Bedeutung ein infrastrukturelles Transportnetz zu implementieren, welches einen Containertransport so effizient wie möglich gestaltet. Die dazu hauptsächlich eingesetzten Transportmodelle des Direktverkehrs und der Hub-and-Spoke-Netzwerke (H&S-Netzwerke) bilden dabei zwei grundverschiedene Methoden des Containertransports. Da sich nicht alle Determinanten mit ihren gegenseitigen Abhängigkeiten umfassend in einer Bachelorarbeit betrachten lassen, soll das Augenmerk dieser Arbeit vergleichend zwischen diesen beiden Transportalternativen vornehmlich auf die Transportkosten fallen. Dies leitet fortführend zu der Frage, welches Transportmodell für den Einsatz im Containerverkehr in Bezug auf die Transportkosten geeigneter ist, das heißt, welches einen kostengünstigeren Verkehr ermöglicht. Die Forschungsfrage, welche dieser Arbeit zu Grund liegt, lässt sich daraus abgeleitet wie folgt formulieren.

## 1.2 Forschungsfrage

Als Forschungsfrage im Vordergrund steht die Untersuchung, ob und inwieweit ein sternenförmiges Hub-and-Spoke-Netzwerk gegenüber Direktverkehrsnetzen (Point-to-Point-Verbindungen) Vorteile in Bezug auf die Transportkosten im containerisierten Hinterlandverkehr Deutschlands haben können. Unter containerisiertem Hinterlandverkehr ist in diesem Zusammenhang der Transport der meist über den Seeweg angelieferten Standard-Container von den Seehäfen über nachgelagerte Binnen-Verkehrsnetze zu den meist kontinentalen Zielorten und umgekehrt zu verstehen. Die wissenschaftliche Bedeutung dieser Fragestellung liegt wie erwähnt vor allem in der Kostenminimierung im Containertransport, da diese vor dem Hintergrund des wachsenden Welthandelsvolumens einen entscheidenden Faktor für den Logistikstandort Deutschland darstellt. Die besondere Bedeutung des Containertransports über die Seehäfen spiegelt sich auch dadurch wieder, dass derweil etwa

60% des weltweiten Containerumschlages in den internationalen Häfen abgewickelt wird (Verkehrsrundschau 2014a, o.S.).

### **1.3 Gang der Argumentation**

Die grundlegende Methodik dieser Arbeit gestaltet sich so, dass in den Kapiteln zwei bis vier in erster Linie theoretisches Wissen über die Entwicklung und die Tendenzen des Containerverkehrs sowie über die beiden Transportmodelle des Direktverkehrs und der H&S-Netzwerke vermittelt werden soll. Anschließend sollen die im Theorieteil entstandenen Ansätze durch ein ausführliches Praxisbeispiel, in Form eines Transportproblems, welches verschiedene Lösungsalternativen je nach Transportmodell zulässt, hinreichend untersucht werden. Im letzten Teil dieser Arbeit folgen eine Ergebnisanalyse sowie eine darauf aufbauende Schlussfolgerung.

Kapitel zwei befasst sich im Detail besonders mit den anfänglichen Effekten der Einführung des Containers Mitte der 1960er sowie vergleichend der Situation und Entwicklung der letzten zwanzig Jahre. Dies soll besonders den Trend im Wachstum des Containerumschlagsvolumens in Deutschland erkennen lassen. Um anschließend in die Thematik der Transportnetze überzuleiten, wird Kapitel drei das erste Transportmodell für den Containerverkehr vorgestellt. Dabei handelt es sich um Point-to-Point-Verbindungen. Untersucht werden dabei deren Anwendbarkeit und Effekte durch den Einsatz im Containerverkehr sowie deren Vor- und Nachteile, veranschaulicht durch ein kleineres Praxisbeispiel im Direktverkehr via Straße. Direkt darauffolgend soll im vierten Kapitel das alternative Transportmodell der H&S-Netzwerke ausführlich und differenziert analysiert werden, um den expliziten Unterschied zwischen diesen Netzwerktypen darzulegen und die Vorteile der H&S-Netze zu erläutern. Begonnen wird dabei mit der ursprünglichen Entwicklung der H&S-Netzwerke im US-Luftverkehr. Es wird berichtet, wie und aus welchen Umständen sich dieser Netzwerktyp entwickelte. Nachfolgend werden die Vorteile der H&S-Netzwerke umfassend dargestellt. Durch ein komplexes Transportproblem in Kapitel fünf, welches sowohl durch Direktverkehr- als auch H&S-Netzwerk-Modelle gelöst werden kann, werden diese beiden Transportmodelle anhand der Höhe der Transportkosten in fünf möglichen Lösungsszenarien final gegenübergestellt. Dabei sollen neben den verschiedenen Transportmöglichkeiten auch verschiedene Verkehrsträger berücksichtigt werden, um neben dem Netzwerkdesign auch die daran geknüpften Potentiale der Verkehrsträger beurteilen zu können. Bewusst werden dabei in den ausgewählten Beispielen ausgehend von den deutschen Seehäfen nur die Verkehrsträger Straße und Schiene für den Hinterlandtransport untersucht, da der Anteil des Binnenschiffs am Containerverkehr des Hamburger Hafens nur 1,5% beträgt (Förster 2013, 14) und eine Betrachtung aller drei Verkehrsträger den Rahmen dieser Arbeit übersteigen würde.

## 2 Die Entwicklung des Containertransports

Im Jahre 1956 realisierte der aus North Carolina stammende US-amerikanische Reeder Malcom Purcell McLean seine Idee eines effizienten Transportsystems: Getrieben von der Überzeugung, dass Güter auch ohne ständiges Ab- und Umladen zwischen den Verkehrsmitteln oder Ladungseinheiten rationeller befördert werden könnten, setzte er als Pionier seiner Zeit Container im Seeverkehr ein.

Als am 26. April 1956 mit der *Ideal X* der erste Containerfrachter 58 Container von Newark nach Houston transportierte, konnte kaum jemand ahnen, dass diese Innovation eine der gravierendsten Änderungen für die Entwicklung des weltweiten Handelsmarktes bedeuten würde (Sudalaimuthu und Raj 2009, 219; Mahoney 1985, 13 ff.). Im Gegenteil: Diese Entwicklung wurde lange Zeit von anderen Reedern skeptisch betrachtet, zu ungewiss war es, ob der Container sich als dominante Ladungseinheit durchsetzen würde (Lutteroth 2011, o.S.). Die Erfolge um McLeans Containerschiffe und die ständige Vergrößerung der Anzahl und der Ladekapazitäten dieser, spiegelte sich auch in der Effizienz dieser wieder. So ersetzte ein Containertransport fünf traditionelle Transporte (White und Senior 1983, 150). Zudem verbrachten damalige Linienfrachtschiffe etwa die Hälfte ihrer Reisezeit in den Häfen, wodurch hohe Kosten entstanden, ohne dass das Schiff für weitere Transportleistungen eingesetzt werden konnte (Heeckt 1969, 409). Exler (1996, 39) spricht in diesem Zusammenhang von einem Vorteil in der Zeitersparnis zwischen einer konventionellen und einer containerisierten Beladung bei einem Verhältnis von 9:1.

Ein weiterer maßgeblicher Vorteil bestand darin, dass die Bündelung von Ladungseinheiten in Containerflüssen eine Homogenisierung von an sich heterogenen Gütern erlaubte. Die Produktivität gegenüber konventionell verladenen Gütern stieg gar bis über 300% im Hafenumschlag und im Schifftransport (Stabenau 1980, 223).

Nachdem am 06. Mai 1966 mit der *Fairland* von McLeans Sea-Land-Reederei das erste Containerschiff in Deutschland angelegt hatte, investierten 1966 und 1967 mit den britischen Overseas Container Line (OCL), der Associated Container Transportation (ACT) sowie dem Norddeutsche Lloyd erste europäische Reeder in große Anzahlen an Containerschiffen (Lutteroth 2011, o.S.).

Durch diese Investitionen wurde ein rasantes Wachstum des Containerumschlages in Europa ausgelöst. Während in den fünf größten Nordseehäfen (Bremen, Hamburg, Rotterdam, Amsterdam und Antwerpen) 1968 noch 300.000 Container umgeschlagen wurden, waren es 1969 etwa 470.000 und 1970 bereits fast 640.000 Container. Dies entspricht einem Anstieg des Containerumschlages in Stückzahlen von rund 113% in nur zwei Jahren (siehe Tabelle 1). Größter Stückgut- und Containerhafen Europas war damals wie heute Rotterdam mit einem Anteil in Höhe von etwa 38% der umgeschlagenen Container für 1968 und 1970. Mit einer Anteilssteigerung von 27,75% (1968) auf 30,72% 1970 machten die deutschen Nordseehäfen Hamburg und Bremen rund ein Drittel des Stückcontainerumschlages der fünf größten Nordseehäfen aus. Bremen selbst steigerte seinen Anteil von 15,72% auf 17,55% des Stückgutverkehrs, während Hamburg von 12% auf 13,16%. Beide deutschen Häfen konnten ihren absoluten Containerumschlag in nur zwei Jahren annähernd verdreifachen.

Anzumerken bezüglich der Zahlen der Tabelle ist zudem, dass diese nicht auf die Standard-Einheit des 20-Fuß-Containers bereinigt sind. TEU-Container (Standardcontainer) sind 6,058 Meter lang, 2,438 Meter breit und 2,591 Meter hoch (Hapag Lloyd 2014, 5). Der Containerisierungsgrad bzw. das Container-Umschlagvolumen logistischer Standorte wird

heutzutage in TEU-Einheiten, also der Anzahl an Standardcontainern, gemessen. Eine Umrechnung in solche Standardcontainer würde beispielsweise für Bremen statt 112.000 Containern (1970) sogar 194.500 Einheiten bedeuten. Dennoch liefert sie einen anschaulichen Überblick über das rasante Wachstum des Containerumschlags von 1968-1970.

Containerumschlag der großen Nordseehäfen 1968-1970			
	1968	1969	1970
Bremische Häfen in 1.000 Stk. in 1.000 t	47 465	73 821	112 1.382
Hamburg in 1.000 Stk. in 1.000 t	36 274	61 431	84 640
Rotterdam in 1.000 Stk. in 1.000 t	114 1.138	196 2.043	242 keine Angabe
Amsterdam in 1.000 Stk. in 1.000 t	45 172	41 198	32 keine Angabe
Antwerpen in 1.000 Stk. in 1.000 t	57 605	100 1.196	168 2.216

Tabelle 1: Containerumschlag der großen Nordseehäfen 1968-1970 (DVZ 1971, 24)

Die Entwicklungen des internationalen Containerverkehrs und das daraus resultierende Containerumschlagswachstum deutscher Häfen hatten ebenfalls Auswirkungen auf den nationalen und internationalen Hinterlandverkehr. Mit anderen Worten erreicht der Container zwar per Schiff den jeweiligen Zielhafen, für das Erreichen des endgültigen Zieles sind jedoch noch weitere Transportstrecken auf Land oder Binnengewässer zu überbrücken.

Für den Transport auf Landfläche bot sich entweder der Umschlag des Containers vom Containerschiff auf Transportzüge (Umschlag von Wasser auf Schiene), das Umladen des Containers auf Transportlastkraftwagen (Umschlag von Wasser auf Straße) oder eben das Umladen von großen Seeverkehrsschiffen auf kleine Transportschiffe der Binnenschifffahrt (Umschlag von Wasser auf Wasser). Luftverkehr, Rohrleitungen oder Seilbahnen spielen im Binnenverkehr eine untergeordnete Rolle (Michaletz 1994, 9).

Die nachfolgende Tabelle 2 zeigt einen Überblick über den Güterverkehr des Bundesgebiets (d.h. ohne DDR) für 1969 und 1970. Angegeben wird die transportierte Menge an Gütern in Tonnen. Dabei handelt es sich um Bruttoangaben, also einschließlich Verpackung und gegebenenfalls auch inklusive Großbehälter. Die Beförderungsleistungen beziehen sich dabei auf die Entfernungen im Inland. Sie sind also im grenzüberschreitenden Verkehr bis oder ab der Landesgrenze berechnet. Die Beförderungsleistung wird in Tonnenkilometern (tkm) angegeben.

Dies entspricht dem Produkt aus Menge mal Entfernung und ist darüber hinaus jeweils auf das Kalenderjahr bezogen.

Güterverkehrsleistung 1969 und 1970 in der BRD ohne DDR				
	Mengen in Mill. t		Beförderungsleistung in Mrd. tkm	
	1969	1970	1969	1970
Eisenbahn	380	394	80,2	86,1
LKW-Fernverkehr	158	165	38	41,9
Binnenschifffahrt	234	240	47,7	48,8
Seeverkehr	124	138	-	-
Rohrfernleitungen	74	81	14,8	15,1
Zusammen	970	1018		

Tabelle 2: Güterverkehrsleistung 1969 bis 1970 (Statistisches Jahrbuch 1971, 313)

Dem hohen Anstieg des Containerumschlags stehen ebenfalls durchweg positive Wachstumsraten der einzelnen Verkehrsträger im Güterverkehr von 1969 zu 1970 gegenüber. So stieg die gesamte Güterverkehrsleistung von 970 Millionen Tonnen im Jahre 1969 um etwa 48 Millionen Tonnen auf 1018 Millionen Tonnen im Jahre 1970. Die gesamte Güterverkehrsleistung stieg damit innerhalb eines Jahres um etwa 5% an.

Dieser Wachstumstrend im Containerverkehr setzt sich bis heute fort. Beispielsweise durch den Einsatz immer größerer Transportschiffe (Schönknecht 2009, 27-33) oder einer wachsenden Zahl an Containerterminals sind die Containerumschlagszahlen besonders in letzten beiden Jahrzehnten deutlich gewachsen. Während 1995 in Deutschland noch etwa 4,7 Millionen TEU umgeschlagen wurden, waren es nur zehn Jahre später mit 12,1 Millionen TEU schon beinahe die dreifache Menge (siehe Abbildung 1). Dies entspricht einem Wachstum des Containerverkehrs in Deutschland von etwa 257% in nur zehn Jahren. Das durchschnittliche jährliche, prozentuale Wachstum von 1995 bis 2005 beträgt etwa 9,88%. Die absoluten Wachstumsraten steigen besonders ab der Jahrtausendwende auf jährlich etwa eine Millionen TEU-Container.

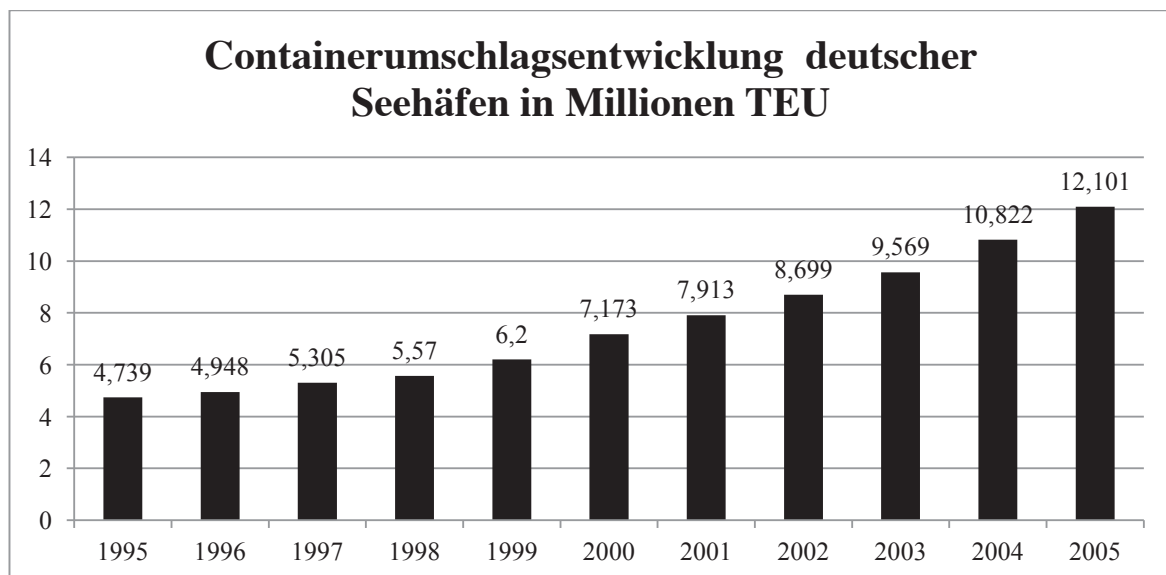


Abbildung 1: Containerumschlagsentwicklung in Deutschland (Statistisches Bundesamt 2006, 1160)

Für das Jahr 2013 werden die Containerumschlagsmengen der beiden wichtigsten deutschen Containerhäfen Hamburg und Bremerhaven nach Angaben des Hafens Hamburg Marketing e. V. auf etwa 9,26 Millionen TEU in Hamburg und 5,8 Millionen TEU in Bremerhaven beziffert. Die beiden bedeutendsten Seehäfen Deutschlands erreichen zusammengerechnet einen Containerumschlag in Höhe von 15,06 Millionen TEU-Containern im Jahre 2013.

Damit übersteigen allein die beiden wichtigsten Seehäfen den Containerumschlag aller deutschen Seehäfen von 2005 bereits um 24,45%. Zudem wird in diesen beiden Häfen heute in einem Jahr in etwa so viel umgeschlagen wie in den drei Jahren von 1995 bis 1997 in allen deutschen Seehäfen zusammen. Der Trend zeigt also ganz klar zu weiterem Wachstum des Containerumschlags in den nächsten Jahren.

Aus dem hohen Wachstum der Containerumschlagszahlen folgt die Frage nach den Anteilen der jeweiligen Verkehrsträger. Denn wie eingangs erwähnt besteht ein Zusammenhang zwischen den eingesetzten Verkehrsträgern und der Auswahl des Transportsystems. Die dazu vorliegenden Zahlen des statistischen Bundesamtes (2011, 763) geben Aufschluss über die Verkehrsträgeranteile im Jahre 2011 (siehe Abb. 2).

Nach wie vor stehen die Verkehrsträger Straße, Schiene und Wasser im Vordergrund. Wobei etwa 76,83% der Güterverkehrsmengen in Deutschland über die Straße befördert werden, welche damit den wichtigsten und meistbenutzten Verkehrsträger für den Hinterlandverkehr darstellt (siehe Abbildung 2). Dies führt unweigerlich zu der Annahme, dass Transporte meist nicht ohne den Verkehrsträger Straße realisiert werden können. Dies soll jedoch in Kapitel fünf noch im Detail vergleichend zwischen Transportalternativen analysiert werden.

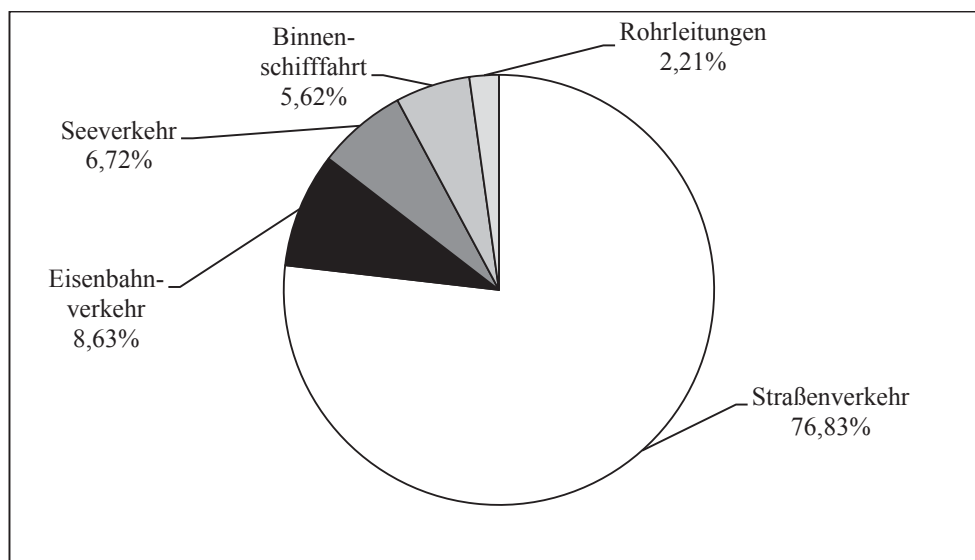


Abbildung 2: Anteile der Verkehrsträger am Güterverkehr 2010 (Statistisches Bundesamt 2011, 763)

Sowohl bei dem maritimen Seetransport, dem Langstreckentransport via Güterzug als auch beim anschließenden, intermodalen Hinterlandverkehr ist mit dem wachsenden Handelsvolumen auch eine ständig wachsende Herausforderung an das Logistik-Management gebunden.

Diese Herausforderung besteht vornehmlich auf ökonomischen, ökologischen und organisatorischen Aspekten. Während sich die ökonomischen Aspekte vorrangig auf Unternehmensziele wie Kosten, Gewinn oder beispielsweise Rentabilität abzielen, sind unter



ökologischen Aspekten auch die Schonung der Umwelt und Konformität zu und Einhaltung von umweltpolitischen Auflagen des Staates zu berücksichtigen (McKinnon et al. 2012, 43 ff.). Besonders die hohe Auslastung des Verkehrsträgers Straße (siehe Abbildung 2) steht damit auf Grund der hohen Emissionswerte der Lastkraftwagen im Widerspruch.

Dass mit dem steigenden Transportaufkommen auch ein zunehmendes Management von Person und Sache, wie eben Flotten- und/oder Personalmanagement, einhergeht, ist nur ein kleiner Auszug aus den organisatorischen Aspekten. Auch strategische Entscheidungen, wie Unternehmenskooperationen, Entscheidungen über Prozessabläufe und Kommunikationswege beinhalten hohen organisatorischen Aufwand. Zudem sind oftmals die Interessen Dritter (Zulieferer, Kunden) zu beachten (Scheer und Borowsky 1999, 3-14).

Vor diesem Hintergrund sind auch die Entscheidungen über die Gestaltung und das Management der Transportkette (Supply Chain) zu treffen.

Ein bedeutsamer Zielkonflikt im Transportwesen liegt zwischen der Erreichung einer möglichst kurzen Transportzeit (Delivery Time) und den möglichst geringen Transportkosten (Transportation Costs) (Kortschak 2003, 41 f.). Ein direkter Transport des Containers von A nach B auf kürzester Strecke stellt in diesem Zusammenhang die schnellste Transportmethode dar. Da weder die Wasserstraße noch die Schiene einen solchen direkten Verkehr in jedem Fall gewährleisten kann, da ganz einfach nicht jeder Start- und Zielort mit dem Schienennetz oder Wasserstraßennetz verbunden ist und der Transport via LKW oft flexibel und schnell abläuft, lässt sich erklären, weshalb 76,83% der Güterverkehrsleistungen auf der Straße stattfinden. Der verstärkte Einsatz von Schiene und Wasserstraße würde nicht zuletzt auf Grund der niedrigeren Emissionswerte dazu beitragen, dass das Straßennetz entlastet werden würde und gleichzeitig durch ihre geringeren CO<sub>2</sub>-Emissionswerte dazu beitragen, die Logistik umweltfreundlicher zu gestalten.

Die hier einführend diskutierten, strategischen Anforderungen gelten ebenso für die Wahl des Transportmodelles zur Realisierung der Transportkette. Schon die Kostenfaktoren der einzelnen, eingesetzten Transportmittel können erhebliche Kostenunterschiede aufweisen.

In den nachfolgenden Kapiteln drei und vier sollen die beiden Transportmodelle des Direktverkehrs und der H&S-Netzte zur vergleichenden Darstellung analysiert werden. Zunächst wird dazu in Kapitel drei nun das Transportmodell des Direktverkehrs näher erläutert werden. Der hier festgestellte hohe Anteil des Verkehrsträgers Straße soll darüber hinaus in einem ersten, kleinen Praxisbeispiel im Direktverkehr analysiert werden.

### 3 Point-to-Point-Verbindungen (Direktverkehr) im Transportwesen

#### 3.1 Einführende Erklärung

Der schnellste Weg, die zu transportierenden Güter von A nach B zu befördern, bleibt ohne Zweifel der kürzeste, das heißt, bei dem in der Regel kein Wechsel des Transportmittels erfolgt. Bei einem solchen Direktverkehr, welcher auch als „ungebrochener“ Verkehr bezeichnet wird, wird der Zielort direkt vom Startort angefahren ohne weitere Zwischenstationen zu passieren (Verkehrsrundschau 2014b, o.S.). Der ausbleibende Wechsel des Transportmittels impliziert dabei, dass nur ein Verkehrsträger benutzt wird. Im Klartext erfolgt der Transport also entweder via LKW, der Schiene oder dem Binnenschiff, nicht jedoch in einer Kombination dieser. Vor allem sobald die zurückgelegte Strecke und die damit verbundene Transportzeit eines der wichtigsten Transportkriterien (beispielweise beim Transport von Lebensmitteln und Kühlware) ist, so wird auch der Direktverkehr als Transportmodell hohe Bedeutung haben. Da die Kosten des Direktverkehrs in späteren Kapiteln noch näher erläutert werden, soll an dieser nur ein einführendes, veranschaulichendes Beispiel für die Auswahl eines Transportmodelles dargestellt werden.

#### 3.2 Veranschaulichendes Beispiel im LKW-Transport (Fallbeispiel 1)

Zur nachfolgenden Untersuchung sollen im ersten Schritt die Kosten stark vereinfacht nur durch die zurückgelegte Strecke in Kilometern berechnet werden. Startpunkt des Transportes der ersten Analyse ist jeweils einer der fünf größten Seehäfen. Ermittelt wurden diese auf der Grundlage der Umschlagszahlen in Millionen Tonnen Gütern im Jahre 2010 (Handelsblatt 2012, o.S.). Abbildung 3 veranschaulicht die geographische Lage dieser und gibt zudem die Umschlagszahlen der jeweiligen Seehäfen an. Erkennbar ist dabei auch der große Anteil und damit die große wirtschaftliche Bedeutung von Hamburg und Bremerhaven.

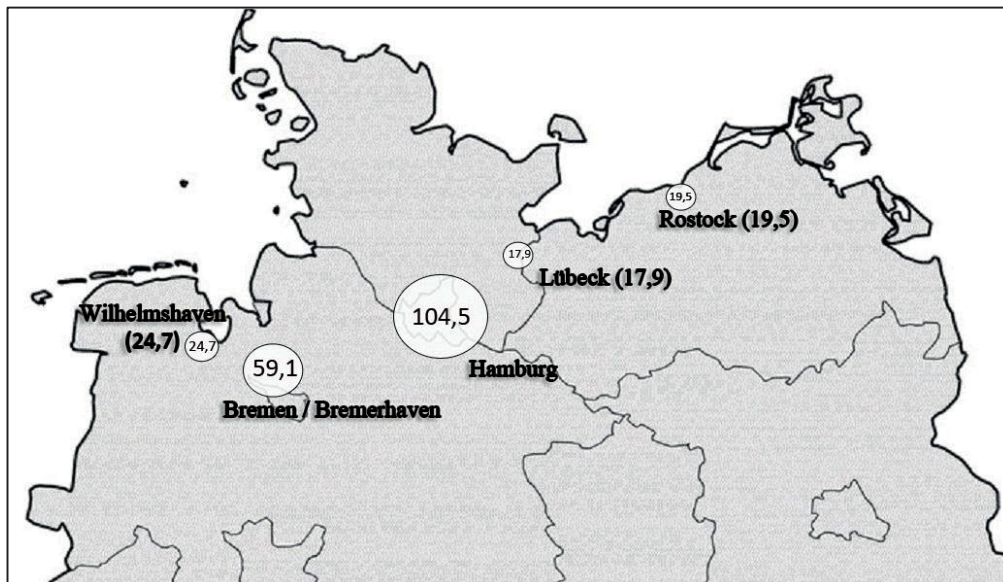


Abbildung 3: Größte Seehäfen Deutschlands 2010 (Eigene Darstellung auf Grundlage des Handelsblatts 2012, o.S.)



Im nachfolgenden Beispiel geht es um den Hinterlandtransport von den Seehäfen zu bestimmten Zielorten. Zielorte seien jeweils die Firmen A, B, C, und D. A befindet sich in Frankfurt, B in Berlin, C in München und D in Stuttgart.

Der direkte Verkehr mit der ausschließlichen Nutzung von Lastkraftwagen würde für dieses Modell zu folgenden Ergebnissen kommen:

Von/Nach	Frankfurt	Berlin	München	Stuttgart
Wilhelmshaven	483	498	848	680
Bremen	<b>442</b>	400	<b>750</b>	<b>629</b>
Hamburg	492	292	775	655
Lübeck	552	319	836	715
Rostock	669	<b>238</b>	778	826

Tabelle 3: Entfernungen Direktverkehr im Fallbeispiel 1 in Kilometern ((Ermittelt auf der Grundlage der Daten des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie 2014, o.S.)

Schon dieses einfache Modell zeigt die Problematik des direkten Verkehrs auf. So wäre Wilhelmshaven von allen vier Kunden bezogen auf die Länge des Transportweges am schlechtesten zu erreichen und umgekehrt der Transport der Container von Wilhelmshaven in die vier bedeutenden Wirtschaftszentren München, Stuttgart, Frankfurt und Berlin ebenfalls der längste Weg, wenn allein der Hinterlandverkehr über die deutschen Seehäfen betrachtet wird.

Die Verbindungen nach Bremen stellt sogar für drei der vier Firmen die kürzeste Strecke zu einem Seehafen dar und umgekehrt. Bereits an dieser Stelle könnte man sich die Frage stellen, ob es bei einem Transport von Waren, welche jeweils von Wilhelmshaven, Bremen und Bremerhaven nach Stuttgart transportiert werden soll, nicht Sinn machen würde, diese an einem zentralen Knoten (hier: Bremen) zu bündeln und somit Leerfahrten zu vermeiden und Wegeinsparungen und damit Kosteneinsparungen zu ermöglichen.

Wird davon ausgegangen, dass kein Umschlag der Ladeeinheit erfolgt und ein Lastkraftwagen nur eine maximale Transportkapazität von zwei TEU-Containern besitzt, so kommt eine Bündelung nur dann in Frage, wenn vom Startort (Bremerhaven oder Wilhelmshaven) der Lastkraftwagen noch eine verfügbare Kapazität von einem Container hat. Das heißt nur bei solchen Lastkraftwagen, die nur einen Container transportieren und in Bremen noch einen weiteren aufnehmen könnten.

Welchen Effekt eine Kombination von Fahrtwegen und eine dadurch entstehende Reduktion von zwei auf ein Transportfahrzeug hat, lässt sich mit einer heuristischen Vorgehensweise nach Thonemann (2010, 413) verdeutlichen. Hier wird von einer Anfangslösung, bei der jeder Kunde von einem Fahrzeug beliefert wird, ausgegangen. Dies lässt sich auf Fallbeispiel 1 übertragen. So wird der Zielort Stuttgart von Wilhelmshaven und gleichzeitig von Bremen direkt beliefert. Anschließend erfolgt die Rückfahrt der LKW. Die Pfeile demonstrieren hierbei die jeweilige Fahrtrichtung (siehe Abbildung 4).

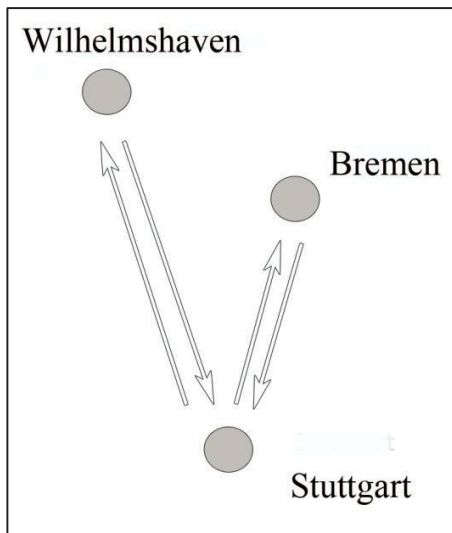


Abbildung 4: Transportmodell Direktverkehr bei vollständiger Kapazitätsauslastung (Eigene Darstellung)

Nach Formel von Thonemann errechnen sich die Gesamtkosten aus:

$$Z_0 = 2 \sum c_{oj} \quad , \quad \text{für } j = 1 \text{ bis } J \text{ Anzahl der Zielorte}$$

Formel 1: Kosten einer Anfangslösung (Thonemann 2010, 413)

Wobei  $c$  die Kosten des jeweiligen Streckenabschnitts beschreibt. Die Anfangslösung in diesem Modell besteht aus dem direkten Transport von Wilhelmshaven nach Stuttgart und von Bremen nach Stuttgart einschließlich Rücktransport.

Die Kosten der Streckenabschnitte lauten:

$$\text{Wilhelmshaven} - \text{Stuttgart} = c_{10} = 680$$

$$\text{Bremen} - \text{Stuttgart} = c_{20} = 629$$

Was für die Ermittlung der Gesamtkosten  $Z_0$  bedeutet:

$$Z_0 = c_{01} + c_{10} + c_{02} + c_{20} = 680 + 680 + 629 + 629 = 2618$$

Für zwei separate Transporte von Wilhelmshaven nach Stuttgart sowie von Bremen nach Stuttgart, die jeweils nur einen Container transportieren, ließe sich durch eine effizientere Tourenplanung, d.h. von nur einem Fahrzeug, welches von Wilhelmshaven über Bremen nach Stuttgart fährt, eine verbesserte Tour finden (siehe Abbildung 5).

Die Anzahl der Transportstrecken ist von vier auf drei gesunken, während eine Verbindungsstrecke zwischen Wilhelmshaven und Bremen dazu kommt.

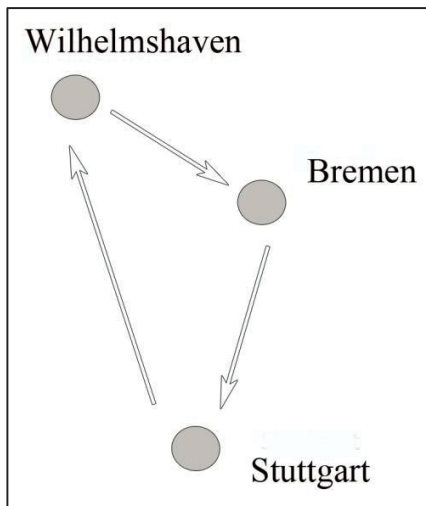


Abbildung 5: Transportmodell bei noch vorhandener Transportkapazität (Eigene Darstellung)

Die Kostenänderung im Vergleich zur Ausgangslösung lässt sich dann wie folgt ermitteln:

$\Delta_{ij} = -c_{i0} - c_{0j} + c_{ij}$ , mit  $i$  und  $j$  als Indizes für den jeweiligen Ort und 0 als Startpunkt

Formel 2: Berechnung der Kostenänderung (Thonemann 2010, 413)

$$\text{Wilhelmshaven} - \text{Bremen} = c_{12} = 101$$

$$\text{Bremen} - \text{Stuttgart} = c_{20} = 629$$

$$\text{Stuttgart} - \text{Wilhelmshaven} = c_{01} = 680$$

Die Gesamtkosten dieser neuen Route belaufen sich auf:

$$Z_0 = c_{12} + c_{20} + c_{01} = 101 + 629 + 680 = 1410$$

mit einer Kostenänderung zur Anfangslösung von:

$$\Delta_{12} = -c_{10} - c_{02} + c_{12} = -680 - 629 + 101 = -1208$$

Die Kosten der Anfangslösung wären also um fast die Hälfte reduziert inklusive einer umweltfreundlichen Vermeidung von einer Leerfahrt.

Würde jedoch die reine Transportzeit im Vordergrund stehen, so würde der Transport durch einen verlängerten Transportweg von Wilhelmshaven nach Stuttgart von 680 km auf 730 km sehr wahrscheinlich mehr Zeit in Anspruch nehmen.

Schon anhand dieses Beispiels werden Vor- und Nachteile des Direktverkehrs deutlich.

Vorteile	Nachteile
Kürzere Transportzeit. Daher geeignet für Produkte mit kurzen Lebensdauern (z.B. Kühlprodukte).	Längerer Transportweg pro Ladeinheit im Vergleich zu einer Güterbündelung auf eine bestimmte Transporteinheit. Damit verbunden sind ein höherer Kraftstoffverbrauch und eine steigende Umweltbelastung.
Kürzerer Transportweg der zu transportierenden Ladung.	Oftmals nur geringe Auslastung der Transportkapazitäten der Ladungsträger.
Schnellere Transportabwicklung durch ausbleibenden Umschlag der Ladeinheit.	Gegebenenfalls hohe Zahl entstehender Leerfahrten.
Geringer Organisationsaufwand bei einfacher Fahrt, da einfache Transportstruktur.	Hoher Bedarf an Personal und Transport-einheiten.
	Hoher Organisationsaufwand bei einer Vielzahl an Fahrten, da zentrale Transportsteuerung.

Tabelle 4: Vor- und Nachteile im Direktverkehr (Eigene Darstellung)

Die Ergebnisse der Untersuchung des Direktverkehrs lassen darauf schließen, dass eine effiziente Tourenplanung mit Kombinationen von Streckenabschnitten und der Umverteilung der Ladeinheit auf weniger Fahrzeuge zu Kosteneinsparungen führen kann. Im nächsten Schritt, stellt sich die Frage, ob durch die Kombination verschiedener Verkehrsträger (Straße, Schiene, Wasser) ebenso eine Kostensenkung möglich ist.

Der reine Vergleich an zurückgelegten Kilometern wird einem detaillierten Vergleich der Verkehrsträger nicht mehr gerecht. Vielmehr fallen nun verkehrsträgerspezifische Kostentreiber ins Gewicht (Kraftstoffverbrauch, Gesamtstreckennetz, Verfügbarkeit der Verkehrswege, etc.). Der hohe Kraftstoffverbrauch der Lastkraftwagen stellt einen gravierenden Nachteil dieses Verkehrsträgers da. Auch dadurch, dass durch die steigende Umweltbelastung durch die hohen CO<sub>2</sub>-Emissionen steigende Steuerbelastungen tendenziell zu Preissteigerungen führen werden (Rhenus Logistics 2012, 11).

Neben den direkt zu ermittelnden Kosten, sprechen auch indirekte Kosten, wie Verspätungen, beispielsweise durch Verkehrsstaus, eine entscheidende Rolle. Allein durch Letzteres soll ein volkswirtschaftlicher Schaden in Milliardenhöhe pro Jahr entstehen (Rhenus Logistics 2012, 11).

Die Auswirkungen durch die Entscheidung für das Direktverkehrstransportmodell werden in Kapitel fünf noch im ausführlichen Beispiel demonstriert. Zunächst soll nun ein alternatives Transportmodell, das der H&S-Netzwerke, welches den Kern dieser Arbeit darstellt, in Kapitel vier ausführlich erläutert werden, um zwischen diesen beiden Haupt-Transportmodellen differenzieren zu können.

## 4 Hub-and-Spoke-Netzwerke

### 4.1 Einführende Erklärung

Bei tendenziell wachsendem Transportaufkommen und damit auch höherer Auslastung des Transportnetzes und einer steigenden Anzahl an Transportleistungen, zeigt der Direktverkehr nicht zuletzt aufgrund der meist nicht vollen Ausnutzung des Transportmediums und dem hohen organisatorischen Aufwand bei zentraler Transportsteuerung zunehmend kostenintensive Schwächen auf (Blom und Harlander 2003, 288). Verbunden mit der wachsenden Anforderung an ein optimales Transportsystem ist ein Denken im Gesamtsystem von Nöten. Dies bedeutet besonders, den Transportfluss mehrerer Verkehrsträger und parallel ablaufender Transporte auf Kombinations- und Einsparpotentiale zu untersuchen.

Dazu wird im Folgenden ein alternatives Transportmodell zum Direktverkehr eingehend analysiert. Dabei handelt es sich um sogenannte Hub-and-Spoke-Netzwerke, welche statt dem direkten Weg von Start- zu Zielort Zwischenstationen (Hubs) passieren und somit neben dem zielgerichteten Umschlag der Ladungseinheit auch einen Wechsel des Transportmittels ermöglichen (Blunck 2005, 17).

### 4.2 Hub-and-Spoke-Netzwerktypen

Domschke und Krispin (1999, 284) definieren H&S-Netzwerke als „radiale Verkersnetze, in denen Verbindungen (Spokes, Speichen) strahlen- oder sternförmig auf einen zentralen Punkt (Hub, Nabe) zulaufen.“ Dabei sind zwei Orte nicht unbedingt direkt, sondern indirekt über einen Hub miteinander verbunden.

Der Hub selbst hat also ein Passagier-Bündlungspotential und steigert somit die Auslastung der Transportmittel, während jeder Ort in einem H&S-Netzwerk im Allgemeinen Start- oder Zielort sein kann.

Grundsätzlich können je nach Anzahl der auftretenden Hubs verschiedene Typen von Hub-and-Spoke-Netzwerken unterschieden werden.

#### 4.2.1 1-Hub-Netze

Als einfachste Form der H&S-Netzwerke verfügt das 1-Hub-Netz über nur ein Hub, an dem die Transportwege zusammengeführt werden. Als Umstiegspunkt im Personenverkehr oder als Umschlagsort im Güterverkehr kommt dem Hub eine hohe Bedeutung zu. In der Regel aus geografischen Aspekten, beispielsweise aufgrund der Streckenlänge der vor- und nachgelagerten Transportwege des Hubs, liegt dieses oft in zentraler Position zwischen Start- und Zielort der Transporteinheit.

1-Hub-Netze werden besonders bei solchen Transporten bevorzugt bei denen aus Zeitgründen eine niedrige Umschlagszahl verlangt wird. Dies ist zum Beispiel im Frachtluftverkehr der Fall (Mayer 2001, 12).

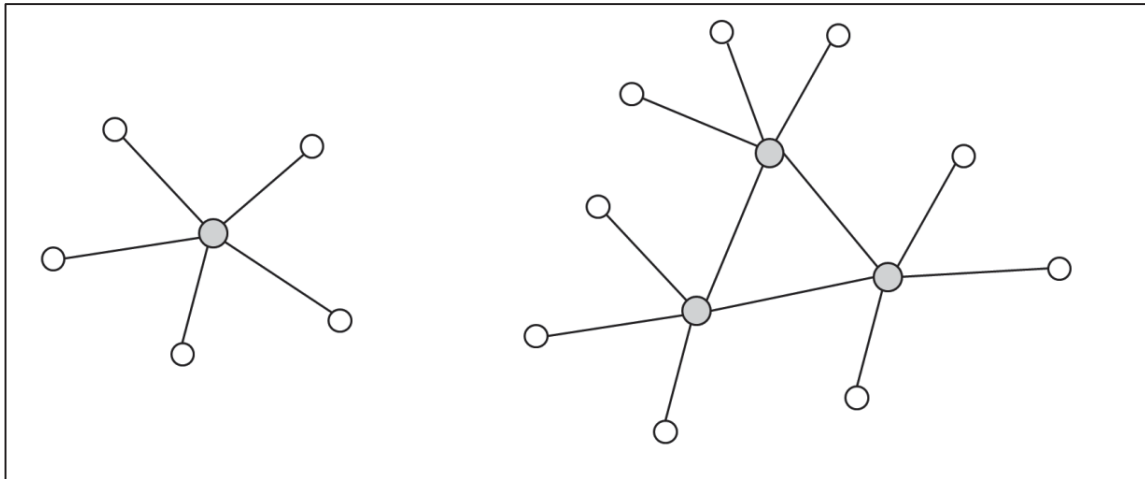


Abbildung 6: 1-Hub-Netz (links) und Multi-Hub-Netz (rechts) (Mayer 2001, 12)

#### 4.2.2 Multi-Hub-Netze

Gleichzeitig bildet das 1-Hub-Netz die Basis für ein komplexeres Transportsystem. Besitzt ein Transportsystem mehrere Hubs, so handelt es sich um ein Multi-Hub-Netz (siehe Abb. 8). Diese Hubs selbst werden jedoch nicht unabhängig voneinander betrieben, sondern hubübergreifend koordiniert (Mayer 2001, 12). Mit einem Multi-Hub-Modell lassen sich mehr Orte verbinden als mit einem einfachen 1-Hub-Netz, jedoch existiert ein Zeitnachteil aufgrund dessen, dass mindestens zwei Umstieg- oder Umschlagprozesse durchgeführt werden müssen. Zudem ist ein erheblich höherer Aufwand für die Organisation des größeren Verkehrsstromes im Vergleich zu 1-Hub-Netzwerken notwendig.

#### 4.2.3 Sanduhr-Hubs und Hinterland-Hubs

Wird im Weiteren die Funktion des jeweiligen Hubs bezüglich der Verteilung des Passagier- oder Güteraufkommens untersucht, so lassen sich zwei spezielle Typen von H&S-Netzwerken unterscheiden.

Dabei wird zwischen Sanduhr- oder Hinterland-Hubs unterschieden (Domschke und Krispin 1999, 284; Doganis und Dennis 1989, 42 ff.; Hanlon 1996, 73; Teuscher 1993, 265 f.).

Sanduhr-Hubs verdanken ihren Namen ihrer Form und der gleichgerichteten Flussrichtung der Güterrichtung, beispielsweise von Norden nach Süden. Die Verkehrsströme fließen mit derselben geografischen Flussrichtung in den Hub ein mit dem sie ihn wieder verlassen (siehe Abbildung 9). Domschke und Krispin (1999, 285) berichten in Bezug auf Sanduhr-Hubs von Orten, die vorrangig geographisch günstig en route liegen, um eine Durchgangsnachfrage zu bedienen.

Ein Beispiel hierfür sind Transporte, die in Bremen und Hamburg starten und in Hannover zusammengeführt werden, um einen effizienteren Transport nach Mittel- oder Süddeutschland zu ermöglichen.

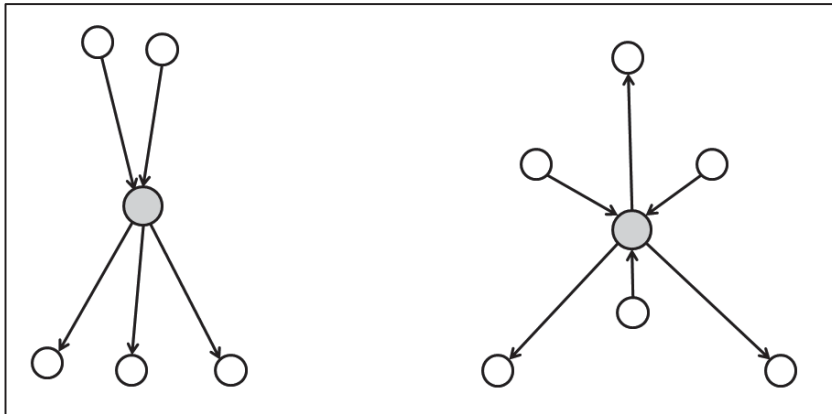


Abbildung 7: Sanduhr-Hub (links) und Hinterland-Hub (rechts) (Mayer 2001, 13)

Während Sanduhr-Hubs sich auf die geografische Flussrichtung der Verkehrsströme beziehen, dient ein Hinterland-Hub (siehe Abb. 9) eher dazu, Transportladungen oder Passagiere aus einem bestimmten Umkreis des Hubs durch Kurzstreckentransporte im Hub zu bündeln, ehe sie an den weiter entfernten Zielort weitergeleitet werden. Die Flussrichtung ist unerheblich. Kurzstreckentransporte erreichen den Hub, Langstreckentransporte verlassen ihn. Diese beiden speziellen Hub-Typen lassen sich sowohl mit 1-Hub-Netzen als auch mit Multi-Hub-Netzen gestalten (Domschke und Krispin 1999, 285).

### 4.3 Hub-and-Spoke-Netzwerke in der Entstehung

H&S-Netzwerke entstanden als neuer Netztyp besonders durch das Aufkommen von Paket- und Expressdiensten sowie der Deregulierung des Luftverkehrs in den USA in den 1970er und 1980er Jahren (Mayer 2001, 1).

Die seit Ende der 1930er Jahre für die Regulierung des Flugverkehrs in den USA zuständige Behörde CAB (Civil Aeronautic Board) bot besonders durch Barrieren des Marktein- bzw. -austritts, der Vergabe von Strecken- und Betriebsrechten sowie der Preisfestsetzung für Fluggesellschaften weder die Möglichkeit noch der Anreiz ihre Produktionsprozesse zu optimieren (Domschke und Krispin 1999, 282). Die Preispolitik des CAB vornehmlich auf die Profitabilität des gesamten Luftverkehrs ausgerichtet und orientierte sich an den durchschnittlichen Kosten der Leistungserstellung, welche abhängig waren von der Streckenlänge. Da jedoch die Kosten auch durch flexible Faktoren, wie der angebotenen Kapazität, der Höhe des Verkehrsaufkommen sowie saisonaler Schwankungen abhing, fanden die tatsächlichen Kosten keine Berücksichtigung (Mayer 2001, 8). Dadurch fand ein Preiswettbewerb der wenigen, unterschiedlichen Fluggesellschaften praktisch nicht statt (Mayer 2001, 8). Preisbildung und Vergabe von Subventionen blieben Regulierungsbereiche (Bailey et al. 1985, 11). Lediglich im Service-Bereich, beispielsweise in Form von Erhöhung der Anzahl der Flüge auf bestimmten Strecken, war eine wettbewerbsfördernde Rivalität vorhanden, die jedoch letztlich eher sinkende durchschnittliche Renditen zur Folge hatte (Bailey et al. 1985, 20; Basedow 1989, 207).

Bevor es zu der Entstehung und Einführung dieser Netzwerkstruktur kam, betrieben vor allem Trunk Carrier noch während der Regulierung in erster Linie Direktverkehrsnetze (Point-to-Point-Verbindungen) (Phillips 1987, 215 ff.). Der Luftverkehr war somit vorherrschend so organisiert, dass angeflogene Ziele meist über Direktverbindungen bzw. Direktflügen erreichbar waren. Die Unwirtschaftlichkeit dieses Transportmodells aufgrund des geringen



Passagieraufkommens führte zu sehr hohen Betriebskosten (Mayer 2001, 9). Durch die Kritik an diesem Modell durch Wissenschaftler und Vertretern der Industrie begann die Deregulierungsphase des Luftverkehrs in den USA mit dem Erlass des Airline Deregulation Act im Jahre 1978 (Mayer 2001, 9).

Es war nun wesentlich einfacher, als neu gegründete Fluggesellschaft dem Markt beizutreten sowie als bestehende diesen wieder zu verlassen (Bailey et al. 1985, 35 f.; Wells 1994, 76 ff.). Neue Betriebsrechte wurden teilweise automatisch erworben. Erworbene Streckenrechte konnten verkauft, vermietet oder übertragen werden (Tjon 1997, 40). Ab dem Jahre 1983 wurde die Preiskontrolle, welche vorher eine von der CAB vorgegebene Spanne einhalten musste, vollständig aufgehoben (Bailey et al. 1985, 45 ff.; Wells 1994, 78). Dadurch entstand ein Wettbewerb am Markt, welcher eine steigende Produktivität der Fluggesellschaften (Bailey et al. 1985, 147 ff.) und ein Absinken des Flugpreisniveaus zur Folge hatte (Morrison und Winston 1995, 13 f.). Zudem wurde das Leistungsangebot der Fluggesellschaften durch eine insgesamt höhere Flugfrequenz erhöht (Morrison und Winston 1995, 21 f.).

Langfristige Folge der Deregulierung war die vollkommene Reorganisation der Flugnetze (Mayer 2001, 7). Abbildung 6 und 7 zeigen die Entwicklung und Neuorganisation des Luftverkehrs anhand des Vergleichs der Streckennetze zweier Fluggesellschaften. Vor der Regulierung ist das Flugnetz der Fluggesellschaft A (grau) unabhängig von dem der Fluggesellschaft B (schwarz). Fluggesellschaft A verfügt insgesamt über neun Flugverbindungen und steuert dabei acht Flughäfen an, während Fluggesellschaft B über zehn Flugverbindungen verfügt und ebenfalls acht Flughäfen erreicht. Dabei existieren vier Streckenabschnitte die sowohl von Fluggesellschaft A als auch von Fluggesellschaft B beflogen werden. Insgesamt existieren folglich 19 Flugstrecken, die einen Transport zu zehn Flughäfen ermöglichen. Wird beispielhaft von einer Flugzeugauslastung in Höhe von 50% ausgegangen, so bedeutet dies im Umkehrschluss, dass insgesamt der Transport auf 8,5 Flugstrecken indirekt 8,5 Leerfahrten gleicht, vorausgesetzt die Transportkapazität aller Flugzeuge würde ausgeschöpft werden und jede Flugverbindung würde von einem anderem Flugzeug bedient werden. Dennoch würden auf allen 19 Flügen sämtliche fixen, wie auch variable Kosten für den Transport anfallen.

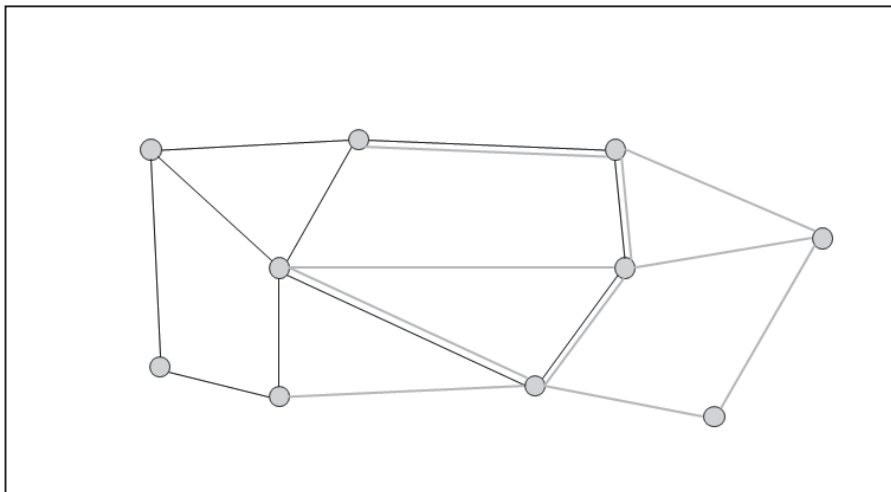


Abbildung 8: Vergleich zweier Fluggesellschaften vor der Deregulierungsphase (Eigene Darstellung)

Abbildung 7 zeigt hingegen das entstandene H&S-Verkehrsnetz. Zwei geographisch geeignete Flughäfen fungieren nun als Hub und bilden als solche einen Knotenpunkt bei der



Verbindung zweier beliebiger Flughäfen. Während sich die Fluggesellschaft B (schwarz) auf die Verbindungen der westlichen Flughäfen fokussiert und über den zentralen Knoten (westliches Hub) verbindet, konzentriert sich die Fluggesellschaft A (grau) besonders auf die Zusammenführung der östlichen Flughäfen im östlichen Hub. Beide Hubs sind über zwei Streckenverbindungen miteinander verbunden. Zwar sind Passagiere der einen Fluggesellschaft gezwungen an einem Hub umzusteigen, wenn sie einen Flughafen erreichen möchten, jedoch sind nun alle Flughäfen für die Passagiere mit maximal einmaligem Umsteigen erreichbar. Im Vergleich existieren nun nur noch zehn Streckenverbindungen, was die Transportkosten der Fluggesellschaften erheblich reduziert. Bei gleichem Passagieraufkommen von Osten nach Westen und umgekehrt wird der Nachteil für Fluggesellschaft A, dass Passagiere am westlichen Hub auf Fluggesellschaft B umsteigen, zu 100% dadurch kompensiert, dass die gleiche Zahl Passagiere von Fluggesellschaft B am östlichen Hub auf Fluggesellschaft A wechseln. Hauptaspekt der H&S-Netzwerke ist nun die Möglichkeit die Passagiere am jeweiligen Hub zu bündeln und somit die Auslastung der Flugzeuge drastisch zu erhöhen.

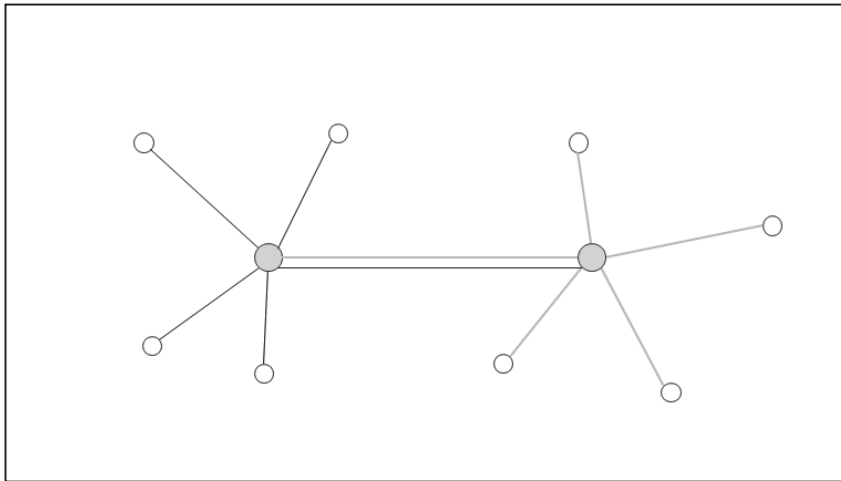


Abbildung 9: Hub-and-Spoke-Netzwerk in der Luftfahrt nach Deregulierung (Eigene Darstellung)

#### 4.4 Vorteile von Hub-and-Spoke-Netzwerken

Das Aufkommen und Verbreiten von H&S-Netzwerken ist durch eine Reihe von Vorteilen dieses Netzwerktyps gegenüber dem alternativen Modell des Direktverkehrs zu erklären. Die bisher anfänglich erläuterten Vorteile sollen im Folgenden detailliert betrachtet werden. In Bezug auf H&S-Netzwerke lassen sich insbesondere vier markante Vorteile feststellen, welche in den folgenden Abschnitten nacheinander erläutert werden.

##### 4.4.1 Multiplikatoreffekt

Aufgrund der Zusammenführung von Flugstrecken in einem Hub sind die Startorte des Flugzeuges mit jedem anderen Startort, welcher damit zum Zielort werden kann, verbunden. Dies führt unweigerlich dazu, dass für die Verbindung der Städtepaare in einem Direktverkehrsnetz ab einer bestimmten Anzahl an Flughäfen mehr Verbindungen eingerichtet werden müssen als in einem H&S-Netzwerk. Dieser Effekt wird als Multiplikatoreffekt bezeichnet (Mayer 2001, 16). Diese Multiplikatorwirkung ist ebenfalls von besonderer Bedeutung sobald ein neuer Flughafen entsteht und an das vorhandene Netz angeschlossen werden soll. Während im H&S-Netz bereits eine Verbindung des Flughafens mit dem Hubflughafen genügt, um diesen mit allen weiteren Flughäfen zu verbinden, so

würde in einem Direktverkehrsnetz als logische Schlussfolgerung dieselbe Anzahl an Neuverbindungen errichten werden müssen, wie bereits Flughäfen im Netz existieren. In einem Flugnetz wie dem der USA würde das zur Errichtung einer immensen Zahl an Flugverbindungen führen, wohingegen eine überschaubare Anzahl an neu Verbindungen in einem H&S-Netz ausreichen würde. Brenner et al. (1985, 82 f.) haben in diesem Zusammenhang festgestellt, dass eine günstige geographische Lage des Hubs dazu führen kann, dass die Anzahl der bedienten Städtepaare im H&S-Netz im Vergleich zum Direktverkehr deutlich steigt, während die zurückgelegte Strecke in Kilometern ungefähr gleich bleibt. Dieser Vorteil lässt sich auch mathematisch belegen: für ein 1-Hub-Netz einer Fluggesellschaft, welches aus  $n+1$  Flughäfen besteht, können mit  $n$  direkten Verbindungen zum Hub  $n(n-1)/2$  indirekte Flugverbindungen (mit Umstieg im Hubflughafen) betrieben werden, wohingegen in einem Direktverkehrsnetz für  $n$  Städtepaare genau  $n$  Flugverbindungen benötigt werden. Letztendlich bedeutet dieser Vorteil die Einsparungen für Einrichtung neuer Flugverbindungen sowie die Anschaffung und den Betrieb neuer Flugzeuge und hat somit erhebliche Auswirkungen für die Transportkosten im gesamten Transportnetz. Dadurch können außerdem weniger befahrene Zielorte kostengünstig in das Netz aufgenommen werden, was beim Direktverkehr unwirtschaftlich wäre. Die nachfolgende Grafik zeigt den immensen Vorteil an weniger benötigten Verbindungen im H&S-Netz, um jeden Flughafen an das gesamte Flugnetz anbinden zu können (siehe Abb. 10). Mit jedem neu errichteten Flughafen reicht genau eine neue Verbindung zu einem Verkehrsknoten (Hub), um diesen mit jedem weiteren Flughafen zu verbinden. Wird jedoch einen Direktverkehr von A nach B angestrebt und versucht ein Netz zu implementieren, in dem jeder Flughafen jeden direkt anfliegen kann, so steigt die Anzahl der benötigten Verbindungen weit überproportional im Vergleich zum Anstieg der Anzahl der neuen Flughäfen.

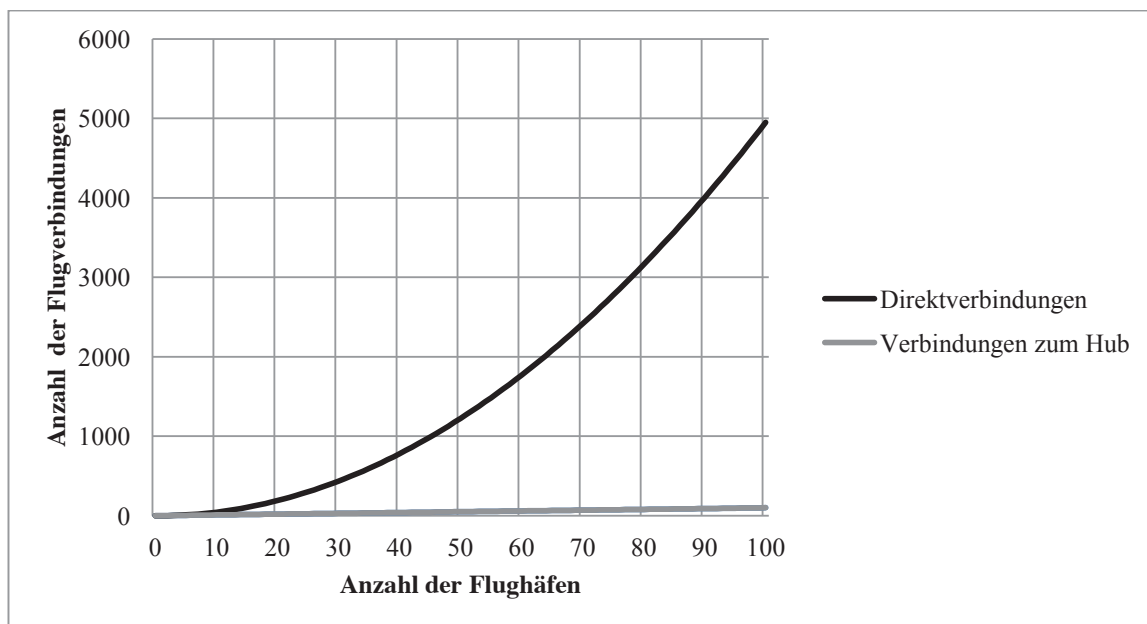


Abbildung 10: Vergleich der Anzahl der Flugverbindungen (Eigene Darstellung auf Grundlage von Mayer (2001, 16))

Des Weiteren würde in einem solchen Direktverkehrsnetz die hohe Anzahl der Verbindungen weitergedacht auch eine hohe Anzahl an Starts und Landungen verursachen, welche je nach Kapazität, Größe und Ausstattung des Flughafens gegebenenfalls gar nicht bewältigt werden könnten.

Der Multiplikatoreffekt ist eine allgemeine Eigenschaft dieses Netzwerktyps. Dadurch gelten dessen Vorteile in jedem Transportnetz, welches über ein H&S-Netzwerk organisiert ist, unabhängig vom Transportmittel. Das heißt, sowohl im Flugverkehr als auch im Containertransport spielt dieser Effekt eine wesentliche Rolle (Mayer 2001, 42 ff.).

Während jedoch im Flugverkehr die Verbindungen über Luftwege stattfinden, so muss im Containerverkehr entweder eine Verbindung über Straße, Schiene oder Wasser eingerichtet werden. Dies hat in der Vorplanung eine genauere Kostenanalyse zur Folge, da beispielsweise das Einrichten einer neuen Schienenverbindung kostenintensiver sein wird, als die einer neuen Flugverbindung. Die Verkehrsdichte ist bei diesen Verkehrsträgern vergleichsweise höher als in der Luftfahrt. Zudem ist ein Hub, welches sich rein auf den Verkehrsträger Straße bezieht, nur bei unausgelasteten LKW-Kapazitäten sinnvoll (siehe Fallbeispiel 1), da ansonsten kein Bündelungseffekt eintritt. Ebenso ist ein Hinterlandtransport rein über den Verkehrsträger Wasser nicht möglich, wenn der Zielort über keine Anbindung zu einer Wasserstraße hat. Dasselbe gilt natürlich für den reinen Schienentransport. Dies zeigt die Abhängigkeit der einzelnen Verkehrsträger untereinander. Da jedoch Emissionswerte eines Transportes auf Schiene und Wasser deutlich günstiger sind als der Transport auf der Straße und ebenso durch die Bündelungspotentiale der Bahn und des Binnenschiffes, ist für den effizienten Containertransport eine Berücksichtigung aller drei Verkehrsträger relevant. Dieser Umstand muss auch bei der Einrichtung eines Hub beachtet werden. So kann ein Zielort in den meisten Fällen nur über einen bestimmten Verkehrsträger in das Verkehrsnetz aufgenommen werden, da eben viele Zielorte nicht über eine ausreichende Schienennetz- oder Wasserverbindung verfügen, die einen Containertransport ermöglichen würden. Infolgedessen werden die meisten Neuverbindungen über die Straße stattfinden. Während ein Hub nicht nur die Güterströme, sondern auch die Verkehrsträger zusammenführen kann und einen effizienten Umschlag gewährleisten kann.

#### 4.4.2 Economies of Density

Der zuletzt angesprochene Punkt des Zusammenführens zur Gewährleistung eines effizienten Umschlages, das heißt, die Konsolidierung der Verkehrsströme, ist ein wichtiger Vorteil von H&S-Netzen. Economies of Density besagen, dass durch die Verwendung von Hubs der Transport zu räumlich konzentrierter Nachfrage führt und die Grenzkosten für die Beförderungen eines jeden Transportgutes dabei sinken, da es zu einer Verkehrsverdichtung kommt (Mayer 2001, 18).

Grenzkosten sind aus dieser Sicht als Kostenanstiegsrate zu verstehen. In der Gesamtkostenfunktion hängen deren variablen Kosten besonders von der Anzahl transportierter Güter ab. Als Ableitung dieser Funktion und somit Steigungsrate der Gesamtkosten stellen die Grenzkosten nun den relativen Anstieg der Gesamtkosten bei gleichzeitiger Erhöhung der variablen Kosten (hier: Transportgüter oder Flugpassagiere) dar.

Durch die Einführung von H&S-Netzen in der Luftfahrt stieg die Verkehrsdichte auf den einzelnen Verbindungen. Williams (1994, 18) fand heraus, dass der durchschnittliche Ladefaktor (Anzahl der verkauften Sitzplätze im Verhältnis zur Sitzplatzanzahl) auf Strecken, die einen Hub verlassen oder in einen Hub münden, nach der Deregulierung um 5-10% angestiegen war im Vergleich zu Zeiten vor der Deregulierung. Caves et. al. (1994) haben das Vorhandensein von Economies of Density in der Luftfahrt untersucht, indem sie den Zusammenhang zwischen den Gesamtkosten einer Fluggesellschaft, ihrer Netzwerkstruktur und dem Passagieraufkommen analysiert haben. Dabei stellten sie fest, dass bei einer konstanten Anzahl an angeflogenen Zielen bei einer Erhöhung des Passagieraufkommens um

1% die Gesamtkosten nur um 0,8% gestiegen. Jedoch beachteten Caves et. al. (1984) dabei nicht die Anzahl an Hubs, die einen entscheidenden Einfluss auf die Dichte auf den Speichen haben kann.

Dass die Economies of Density dennoch einen entscheidenden Vorteil von H&S-Netzen darstellen, belegen auch Bruecker und Spiller (1994), die in ihren Untersuchungen nur indirekte Verbindungen über ein Hub untersucht haben, in denen der Hub weder Ziel- noch Startpunkt des Transports war. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass in Netzen mit höherer Verkehrsdichte die Grenzkosten etwa 13-25% geringer waren als in Netzen mit niedrigerer Dichte.

Auch im Containerverkehr ist eine räumliche Konzentration der Nachfrage nach denselben besonders von Vorteil. Mori und Nishikimi (2002, 169) erkennen eine positive Korrelation zwischen der Konzentration der Nachfrage nach Transportgütern/Containern und Transportservice mit der Effizienz des Transports. In einem Vergleich des Containertransports auf den in etwa gleichlangen Strecken Jakarta-Japan und Singapur-Japan benötigt der Umschlag und der Containertransport von Jakarta nach Japan doppelt solange wie vom Hub-Terminal aus Singapur. Des Weiteren berichten sie, dass ein Transport von Japan zu einem Nicht-Hub-Terminal in Südasiens im Vergleich zum Transport zu einem Hub-Terminal etwa 22,6% teurer ist.

Für den Hinterlandverkehr in Deutschland lässt sich daher annehmen, dass eine hohe Konzentration der Nachfrage an einem Hub-Terminal ebenfalls einen positiven Effekt auf die schnelle und kostengünstigere Abwicklung des Umschlags hat. Beispielsweise die hohen Umschlagszahlen der Duisburg-Ruhrorter Häfen als Drehkreuz am Rhein und trimodales Hub-Terminal in einem Ballungsraum sind zumindest ein Indiz dafür.

#### 4.4.3 Economies of Scope

Mit dem Zusammenführen der Verkehrsströme ist für eine effiziente Abwicklung des Transportes eine übergreifende Organisation und Koordination notwendig. In der Luftfahrt resultieren diese „Economies of Scope“ besonders aus der gemeinsamen Nutzung von Flughafenfazilitäten bei der Wartung, Flug- und Flugzeugabwicklung sowie der gemeinsamen Nutzung von Produktionsfaktoren wie Flugpersonal, Flugzeug etc. (Domschke und Krispin 1999, 289). Die damit verbundene Konzentration von Ressourcen ermöglicht es Fluggesellschaften sowohl Flugzeuge als auch Flugpersonal effizienter einzusetzen (Johnson 1985, 299 ff.; Morrison und Winston 1986, 2). Domschke und Krispin (1999, 291) fügen dem hinzu, dass durch die Möglichkeit Flugpläne aufeinander abzustimmen die Möglichkeit besteht, die Nutzungsdauer eines Flugzeugs zu optimieren und damit Kosten einzusparen.

Auch im Containerverkehr wirken sich die Vorteile eines gemeinsam betriebenes Operationsnetz durch die einzelnen am Transport beteiligten Parteien, wie Speditionen, Hub-Betreibern, Dienstleistern oder sonstigen logistikintensiven Industrie- und Handelsbetrieben, auf die Transportkosten aus. Unter einem gemeinsamen Operationsnetz ist dabei insbesondere ein gemeinsames Kommunikations-, Informations- oder Transportnetz zu verstehen. Besonders bei denjenigen Bahnhöfen, Flughäfen oder Binnenhäfen, die als Knotenpunkt zwischen verschiedenen Verkehrsträgern oder Transportwegen agieren und über ein hohes jährliches Umschlagsvolumen verfügen, findet sich oft ein regionales Cluster verschiedener Unternehmen. An vielen nationalen oder europäisch bedeutsamen Verkehrsachsen von Straße, Schiene und teilweise auch Wasser in Deutschland finden sich Güterverkehrszentren (Freight

Villages) (ISL und LUB Consulting GmbH 2010, 21). Viele Güterverkehrszentren verfügen dabei über sogenannte KV-Terminals zur Realisierung des kombinierten Verkehrs.

Ein Beispiel für das gemeinsame Organisationsnetz im Containerverkehr lässt sich anhand von GVZ-Trägerschaften darstellen, deren vorrangige Aufgabe, das unternehmensübergreifende Management der Abläufe im GVZ ist.

Ein weiterer Vorteil ist, dass durch die geografische Bündelung logistischer Funktionen sich oft weitere Unternehmen an diesem Standort ansiedeln. Dies hat in logischer Konsequenz, dass sich auch eine gewisse Menge an logistischem Know-how auf einer vergleichsweise kleinen Fläche konzentriert. Durch ein gemeinsames Kommunikations- und Informationsnetz wird es nun möglich effizientere Entscheidungen bezüglich des Containertransportes oder der Containerlagerung zu treffen, was sich ebenfalls auf die Höhe der Transportkosten auswirken kann. Beispielsweise können verfügbare Lagerkapazitäten schnell und direkt kommuniziert werden, wodurch eine kostengünstige Lösung zur Lagerung von Containern schnell realisiert werden kann.

#### 4.4.4 Economies of Scale

Durch den Bündelungseffekt am Hub eines H&S-Netzwerkes ergibt sich die Möglichkeit für die erhöhte Menge an Transporteinheiten pro Transport auch größere Transportmittel zu verwenden. Diesen Effekt ist im Luftverkehr durch den Einsatz größerer Flugzeuge im Langstrecken-Flugbereich erkennbar. Bei Kurzstrecken wie einem europäischen Kontinentalflug sind oftmals kleinere Flugzeuge, zum Beispiel der A319 oder A320 der Airbus Group im Einsatz, während für längere, beispielsweise Interkontinentalflüge oft der Airbus A330, der eine höhere Passagierkapazität besitzt, eingesetzt wird (Lufthansa Group 2014, o.S.). Der Grund dafür liegt im Kostendegressionseffekt. Dieser besagt in dem Zusammenhang, dass aus technischen Gründen größere Flugzeuge bei gleichem Sitzladefaktor auf längeren Strecken geringere Betriebskosten pro Sitzmeile aufweisen als kleinere (Bailey et al. 1985, 48 ff.; Brenner et al. 1985, 95). Dass auf Kurzstrecken kleinere Flugzeuge verwendet werden, kann durch die Erhöhung der Flugfrequenz gleich mehrere Vorteile für eine Fluggesellschaft bringen. Zum Einen können mehrere Flugzeiten angeboten werden, wodurch sich die Wartezeit für Passagiere erheblich verkürzt. Zum Anderen bietet ein breites Angebot an Flügen für die Fluggesellschaft natürlich auch einen Marketingvorteil (Domschke und Krispin 1999, 291). Domschke und Krispin (1999, 290) sprechen gar davon, dass die hohe Flugfrequenz und die zeitliche Bündelung von Starts und Landungen einen mit dem Umsteigen verbundenen Zeitverlust überkompensieren.

Der Einsatz größerer Fahrzeuge spielt auch im Containerverkehr eine entscheidende Rolle. So ist im Überseetransport der letzten Jahrzehnte ein andauerndes Wachstum der Containerschiffe zu beobachten (Schönknecht 2009, 28).

Dies führt dazu, dass auch immer mehr Container die deutschen Häfen auf einen Schlag erreichen, die nun effizient zu ihren jeweiligen Zielorten transportiert werden sollen.

Die Möglichkeit größere Fahrzeuge für den Hinterlandverkehr einzusetzen sowie deren Wirkung auf die Effizienz des Transportes ist an die jeweilige Kapazität der Ladungsträger gebunden. So stellt im Straßenverkehr in der Regel eine maximale Kapazität von zwei Containern pro LKW die obere Grenze dar (Eurogate 2014, o.S.) Gleichzeitig ist die Straße als Verkehrsträger bereits sehr ausgelastet, wodurch auch eine höhere Frequenz von LKW-Transporten mit erhöhtem Stau-Risiko und einer höheren Umweltbelastung als bei

alternativen Verkehrsträgern einhergehen. Die Verkehrsträger Wasser und Schiene bieten ein hohes Einsparpotential durch den Einsatz größerer Fahrzeuge, da sie über eine höhere Transportkapazität verfügen als ein LKW

Im containerisierten Schienenverkehr bietet das H&S-Netzwerk wesentliche Bündelungsvorteile. So kann bei entsprechender zeitlicher Koordination ein langer Güterzug mit einer großen Zahl an zusammengestellten Containern den Hub verlassen oder erreichen. Das Zusammenstellen und Trennen von Zügen zu längeren oder kürzeren Zügen erfolgt dabei in der Regel an Rangierbahnhöfen. Ein herausstechendes Beispiel für Rangierbahnhöfe bildet dabei der Rbf Maschen, südlich von Hamburg, welcher als größter Rangierbahnhof Europas und zweitgrößter Rangierbahnhof der Welt eine zentrale Rolle für die Hinterlandanbindung beispielsweise der deutschen Nordseehäfen Bremen und Hamburg sowie dem Ostseehafen Lübeck oder bei Zugtransporten von und nach Skandinavien einnimmt (Deutsche Bahn Mobility Logistics AG 2014, o.S.). Im Klartext bedeutet dies, Container, die per Zug von den Seehäfen in Richtung des deutschen Hinterlandes transportiert werden sollen, können in Maschen zusammengestellt werden und als einzelner, langer Zug den nächsten Hub in der Nähe des Zielortes ansteuern. Dasselbe gilt auch für den umgekehrten Prozess oder inklusive weitere Zwischenstufen.

Verschiedene, alternative Transportmöglichkeiten sollen nachfolgend in Kapitel fünf ausgehend von einem fiktiven Transportproblem untersucht werden. Dabei werden Direktverkehrsmodelle und H&S-Netzwerke anhand ihrer Transportkosten direkt gegenübergestellt.



## 5 Praxisbeispiel mit unterschiedlichen Transportalternativen (Fallbeispiel 2)

Im Kapitel zwei wurde bereits die Vorteilhaftigkeit von Ladungsbündelungen bezüglich der Transportkosten, welche auf der Grundlage der zurückgelegten Kilometer ermittelt worden waren, anfänglich dargestellt. Das nachfolgende, fiktive Beispiel ist nun wesentlich komplexer und damit näher an der Realität des deutschen Hinterlandverkehrs. Als Transportmöglichkeiten stehen nicht nur der LKW-Transport auf der Straße, sondern auch die Verkehrsträger Schiene und Wasserstraße zur Auswahl. Des Weiteren ist nun auch eine Entscheidung über das Netzwerkdesign zu treffen. Sowohl Direktverkehrsmodelle, als auch H&S-Netzwerkstrukturen sind möglich.

Fallbeispiel 2: Drei in Deutschland ansässige Firmen erwarten Ladungen von insgesamt 59 TEU-Containern von unterschiedlichen Lieferanten. Dabei erreichen 8 TEU-Standardcontainer den Lübecker Hafen. Jeweils 25 TEU sind in Bremerhaven sowie 26 TEU in Hamburg angekommen. Die Standardorte der drei Firmen und damit die Zielorte für den Containertransport befinden sich in Erlangen, Bayreuth und Regensburg.

Da die Firmen Lieferanten aus verschiedenen Teilen der Welt beauftragt haben, sind die Ladungen, die einen bestimmten Zielort haben verstreut an unterschiedlichen Häfen angekommen.

Die Firma E aus Erlangen erwartet eine Ladung in Höhe von 17 Containern, wovon 8 in Bremerhaven, 5 in Hamburg und 4 in Lübeck angekommen sind. Firma B aus Bayreuth erwartet 11 Container, wovon 6 in Hamburg und 5 in Bremerhaven angekommen sind. Firma R aus Regensburg hat die übrigen 31 Container, wovon 4 in Lübeck, 12 in Bremerhaven und 15 in Hamburg stehen, beantragt. Es wird davon ausgegangen, dass in jedem Zielort die Möglichkeit besteht, Container zwischen Straße und Schiene umzuschlagen.

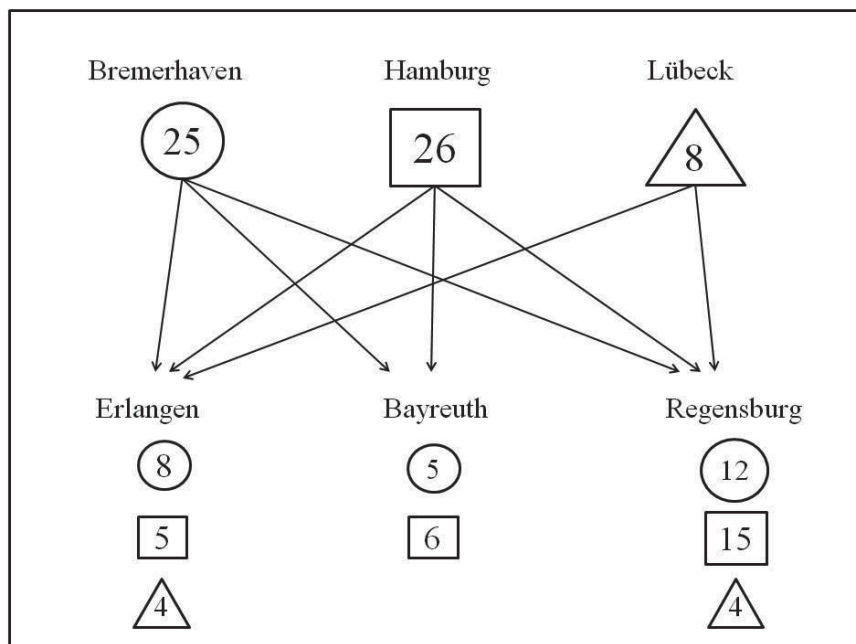


Abbildung 11: Darstellung des Transportaufkommens im Fallbeispiel (Eigene Darstellung)

Für die Realisierung der Transporte existieren verschiedene Möglichkeiten. Unter Berücksichtigung der gegebenen Infrastrukturalternativen kommen für den Direktverkehr nicht alle Verkehrsträger für alle Städte in Betracht. So ist keiner der Zielorte auf dem Wasserwege erreichbar. Auf dem Wasserwege könnten die Container also nur an einen näher gelegenen Ort befördert werden, von dem aus ein Nachlauf via Straße oder Schiene notwendig wäre. Da jedoch alle drei Zielorte Anbindung an das Schienennetz haben, wird im Folgenden der Verkehr via Straße und via Schiene in verschiedenen Transportalternativen untersucht. In denjenigen Beispielen die über den Verkehrsträger Schiene ablaufen, soll zudem der Effekt der Hubs in Form von Rangierbahnhöfen demonstriert werden, da eben diese als Knotenpunkte des Containerverkehrs in einem effizienten H&S-Netzwerk fungieren. Dies wird sich in der Summe der Fahrtleistung und der Betriebskosten widerspiegeln. Mit den Beispielen wird also im Kern versucht, den Direktverkehr den H&S-Netzwerken bezogen auf die Transportkosten je Container, auch vor dem Hintergrund der Verkehrsträgerwahl, gegenüberzustellen.

### Transportmöglichkeit 1: Direktverkehr über den Verkehrsträger Straße

In diesem Transportmodell wird von der maximalen Transportkapazität von zwei TEU-Containern pro LKW ausgegangen. Die relevanten Straßenverbindungen sind in der nachfolgenden Tabelle in Kilometern aufgeführt:

Von/Nach	Erlangen	Bayreuth	Regensburg
Bremerhaven	620	595	735
Hamburg	590	560	700
Lübeck	650	Kein Transport	750

Tabelle 5: Entfernungen von den Seehäfen zu den Zielorten in Kilometern (Ermittelt auf der Grundlage der Daten des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie 2014, o.S.)

Ermittelt wurden die Transportkosten auf der Grundlage der Rhenus Studie (Rhenus Logistics 2012). Dort wird eine Betriebskostenrechnung für einen Transport-LKW mit einer Nutzungsdauer von sieben Jahren durchgeführt, der pro Jahr eine Fahrtleistung von 120.000 km bei 240 Tagen zu je zwölf Stunden Einsatzzeit erbringt. Der Kraftstoffverbrauch entspricht etwa 35 l pro 100 km; Der durchschnittliche Kraftstoffpreis 0,7125 EUR/l. Mit inbegriffen sind 0,15 EUR/km LKW-Maut, da es sich vorwiegend um Autobahnstrecken handelt. Rhenus Logistics (2012, 6) ermittelt auf der Grundlage einer Kostenrechnung, die u.a. Fahrzeugabschreibungen, Kraftstoffkosten, Reparatur- und Wartungskosten, Fahrerpersonalkosten und fixe Verwaltungskosten des Fahrzeuges mit einberechnet und auf die Fahrtleistung aufteilt, einen durchschnittlichen Betriebskostensatz in Höhe von 1,26 EUR pro km (Rhenus Logistics 2012, 5).

In diesem Praxisbeispiel richtet sich die Anzahl der Fahrten an den zu transportierenden TEU-Einheiten. Bei angenommener maximaler Kapazität entsprechen als zwei TEU genau einer Lieferung. Die gesamte Fahrleistung schließt dabei Hin- und Rückfahrt von Start- zu Zielort ein. Kurzum: Die LKW liefern die TEU-Container am Zielort ab und fahren zum Ausgangspunkt unbeladen zurück. Bei Direktverkehr auf der Straße werden in diesem Beispiel für ein Transportvolumen in Höhe von 59 TEU 31 Transportfahrten durchgeführt (siehe Tabelle 6), dies auf einer insgesamt zurückgelegten Strecke von 41050 km. Multipliziert mit dem vorher angegebenen Betriebskostensatz pro Kilometer führt dies zu gesamten Betriebskosten in Höhe von etwa 51.723 EUR. Für die insgesamt 31 Fahrten,



müssten auch 31 Fahrer eingesetzt werden, sofern nicht Fahrer mehrere Touren fahren. Die Hälfte der Transporte sind Leerfahrten, wodurch also die Hälfte der Transportkosten nicht für den Transport eines Containers eingesetzt wird.

Von	Nach	TEU	Hinfahrten / Rückfahrten	Gesamte Fahrtleistung	Kraftstoffkosten [€]	Anzahl Fahrer	Gesamte Betriebskosten [€]
Bremerhaven	Erlangen	8	4/4	4960	1980,90	4	6249,6
	Bayreuth	5	3/3	3570	1425,77	3	4498,2
	Regensburg	12	6/6	8820	3522,49	6	11113,2
Hamburg	Erlangen	5	3/3	3540	1413,79	3	4460,4
	Bayreuth	6	3/3	3360	1341,90	3	4233,6
	Regensburg	15	8/8	11200	4473,00	8	14112
Lübeck	Erlangen	4	2/2	2600	1038,38	2	3276
	Regensburg	4	2/2	3000	1198,13	2	3780
Gesamt		59		41050	14413,44	31	51723

Tabelle 6: Betriebsdaten Transportmöglichkeit 1 (Eigene Darstellung)

Dadurch spiegeln 51.723 EUR Betriebskosten sowohl den Transport der Container, als auch den Rückweg der LKW wieder.

Als Vergleichskennziffer der Modelle werden die Kosten pro transportierten Container angegeben:

Kosten pro Container mit Leerfahrten:

$$\frac{51.723 \text{ EUR}}{59 \text{ TEU}} = \mathbf{876,66 \text{ EUR/TEU}}$$

Natürlich könnte der Leerfahrtenaspekt damit wiederlegt werden, dass gegebenenfalls beim Rücktransport auch andere Container wieder mitgenommen werden könnten. Für einen akkuraten Vergleich reicht es an dieser Stelle aus, den Kostensatz pro TEU nur auf den Hintransport zu beziehen und damit die Kosten für die Leerfahrten außen vor zu lassen.

Um einen Container im Direktverkehr via LKW an den Zielort zu befördern, ergibt sich als bei Transportmöglichkeit 1 somit folgender Kostensatz pro TEU:

$$\frac{51.723 \text{ EUR} * 0,5}{59 \text{ TEU}} = \mathbf{438,33 \text{ EUR/TEU}}$$

## Transportmöglichkeit 2: Direktverkehr Schiene

Da sowohl Erlangen, Bayreuth als auch Regensburg über einen Bahnhof verfügen, an dem ein Containerumschlag erfolgen kann, können die Container dorthin auch auf der Schiene transportiert werden.

Der direkte Verkehr würde nun bedeuten, dass die Container auf der Schiene maximal mit Containern desselben Zielortes zusammengestellt werden könnten (analog zum Direktverkehr im Flugnetz). Die Kapazität eines Containerzuges soll dabei oberhalb der maximal transportierten 59 TEU liegen.

Das Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (2012, o.S.) schätzt die durchschnittlichen Betriebskosten für einen Güterzug auf etwa 15 Euro pro Kilometer. Dieser Betriebskostensatz wurde dabei ohne erklärendes Kostenrechnungsverfahren veröffentlicht, jedoch setzen sich die Betriebskosten in erster Linie aus den Faktoren Trassenentgelte, Traktion und Energie zusammen.

In dieser Variante lassen sich bei einer insgesamt zurückgelegten Strecke von 11.122 km Betriebskosten in Höhe von 166.830 EUR ermitteln (siehe Tabelle 7). Zur besseren Vergleichbarkeit der Transportalternativen, soll im Folgenden weiterhin nur der Start-Ziel-Transport untersucht werden. Mit anderen Worten wird nur die halbe Strecke zu halben Betriebskosten betrachtet.

Von	Nach	TEU	Hin- u. Rückfahrten	Gesamte Fahrleistung [km]	Betriebskosten [€]
Bremerhaven	Erlangen	8	1/1	1270	19050
	Bayreuth	5	1/1	1412	21180
	Regensburg	12	1/1	1426	21390
Hamburg	Erlangen	5	1/1	1262	18930
	Bayreuth	6	1/1	1404	21060
	Regensburg	15	1/1	1416	21240
Lübeck	Erlangen	4	1/1	1388	20820
	Regensburg	4	1/1	1544	23160
Gesamt		59		11122	166830

Tabelle 7: Betriebsdaten Transportmöglichkeit 2 (Eigene Darstellung)

Da der Betriebskostenfaktor der Bahn etwa zwölf-mal höher ist als der Betriebskostenfaktor des LKW nach Rhenus Studie (1,26 Euro pro Kilometer), müsste die Bahn auch mindestens zwölf Container mehr transportieren pro Strecke als der LKW, um dieselben Stückkosten pro Container zu erreichen wie der LKW. Tatsächlich jedoch transportiert die Bahn in diesem Beispiel im Schnitt nur etwa 7,375 TEU pro Strecke, also nur in etwa das 3,5-fache des LKW (Zwei TEU pro Strecke). Aufgrund der geringen Transportmengen pro Verbindung sind die Betriebskosten der Bahn im Direktverkehr ohne Bündelungseffekt um ein Vielfaches höher als beim LKW.

In dieser Lösung würden Kosten in Höhe von 1.413,81 EUR pro TEU entstehen.

$$\frac{166.830 \text{ EUR} * 0,5}{59 \text{ TEU}} = \mathbf{1.413,81 \text{ EUR/TEU}}$$

Daraus lässt sich schließen, dass ein besonderer Vorteil der Bahn, nämlich die deutlich höhere Transportkapazität im Vergleich zum LKW, in diesem Beispiel den relativen Unterschied zu den Betriebskostenfaktoren nicht ausgleichen kann. Anders kann dies natürlich in Beispielen aussehen, in denen ein deutlich höheres Transportvolumen befördert werden soll.

### Transportmöglichkeit 3: Hub-and-Spoke-Verkehr über die Knotenpunkte Maschen Rbf und Nürnberg Rbf

Bei dem dritten Transportmodell werden die Verkehrsströme aus Bremerhaven, Hamburg und Lübeck am Rangierbahnhof Maschen gebündelt. Anschließend erfolgt ein Weitertransport zum Rangierbahnhof Nürnberg. Ausgewählt wurden diese beiden Rangierbahnhöfe, da sie durch ihre günstige geografische Lage (Maschen als Knotenpunkte der Seehäfen und Nürnberg als Knotenpunkt der Zielorte) als zentrale Knoten zwischen Nord- und Süddeutschland als hoch-effiziente Hubs erscheinen. Am Rangierbahnhof Nürnberg wird der Güterzug wieder je nach Zielrichtung in drei Güterwagen getrennt, ehe die Container ihren Zielort erreichen.

Von/Nach	Maschen
Bremerhaven	180
Hamburg	20
Lübeck	80

Von/Nach	Nürnberg
Maschen	590

Von/Nach	Nürnberg
Regensburg	100
Erlangen	20
Bayreuth	90

Tabelle 8: Entfernungen von den Seehäfen zu den Hubs und Zielorten in Kilometern (Ermittelt auf der Grundlage der Daten des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie 2014, o.S.)

Wird die zurückgelegte Strecke zwischen den Startorten über die Hubs bis zu den Zielorten mit dem angegebenen Betriebskostensatz multipliziert, lassen sich auf einer insgesamt zurückgelegten Strecke von 2160 km Betriebskosten in Höhe von 32.400 EUR ermitteln (siehe Tabelle 9).

Von	Nach	TEU	Hinfahrten / Rückfahrten	Gesamte Fahrleistung [km]	Betriebskosten [€]
Bremerhaven	Maschen	25	1/1	360	5400
Hamburg	Maschen	26	1/1	40	600
Lübeck	Maschen	8	1/1	160	2400
Maschen	Nürnberg	59	1/1	1180	17700
Nürnberg	Erlangen	17	1/1	40	600
	Bayreuth	11	1/1	180	2700
	Regensburg	31	1/1	200	3000
Summe				2160	32400

Tabelle 9: Betriebsdaten Transportmöglichkeit 3 (Eigene Darstellung)

Die höhere Containerkapazität des Containerzuges führt auf den Teilabschnitten, auf denen viele Container transportiert werden, zu deutlich günstigeren Transportkosten. Dies ist vergleichbar mit dem Vorteil der Economies of Scale, also solchen, die aus dem Einsatz größerer Fahrzeuge entstehen. Gemeint sind damit in erster Linie Fahrzeuge mit einer größeren Kapazität. Insgesamt ergeben sich für den Transport eines TEU-Containers auf dem effektiv betrachteten Streckenabschnitt, also dem Start-Ziel-Transport durchschnittlich 274,58 EUR/TEU.

Der Transport über Knotenpunkte ist damit bereits deutlich günstiger als beide vorherigen Modelle des Direktverkehrs.

$$\frac{32.400 \text{ EUR} * 0,5}{59 \text{ TEU}} = 274,58 \text{ EUR/TEU}$$

**Transportmöglichkeit 4: Hub-and-Spoke-Verkehr über Maschen Rbf, Seelze Rbf und Nürnberg Rbf**

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, weitere Rangierbahnhöfe/Hubs einzubinden. So lassen sich die Verkehrsströme aus Hamburg und Lübeck in Maschen bündeln und mit den Containern aus Bremerhaven im Rangierbahnhof Seelze bei Hannover zusammenführen.

Diese Möglichkeit erscheint besonders dadurch sinnvoll, dass der Rangierbahnhof Seelze unmittelbar auf der kürzesten Strecke von Bremerhaven nach Nürnberg liegt und somit ein Umweg jener Güter über Maschen Rbf wegfällt. In diesem Transportmodell ergeben sich auf einer insgesamt zurückgelegten Strecke von 2.170 km Betriebskosten in Höhe von 32.550 EUR.

Von	Nach	TEU	Hinfahrten / Rückfahrten	Gesamte Fahrleistung [km]	Betriebskosten [€]
Bremerhaven	Seelze	25	1/1	360	5400
Hamburg	Maschen	26	1/1	40	600
Lübeck	Maschen	8	1/1	160	2400
Maschen	Seelze	34	1/1	320	4800
Seelze	Nürnberg	59	1/1	870	13050
Nürnberg	Erlangen	17	1/1	40	600
	Bayreuth	11	1/1	180	2700
	Regensburg	31	1/1	200	3000
Summe				2170	32550

Tabelle 10: Betriebsdaten Transportmöglichkeit 4 (Eigene Darstellung)

In diesem Transportmodell würden 59 TEU auf dem betrachteten Start-Ziel-Transport von 1085 km zu Betriebskosten in Höhe von 16.275 EUR befördert werden. Dies führt zu einem Transportkostensatz pro TEU-Container in Höhe von 275,85 EUR., wodurch dieses Modell in etwa dieselben Transportkosten pro Container aufweist wie Transportmodell 3.

$$\frac{32.550 \text{ EUR} * 0,5}{59 \text{ TEU}} = 275,85 \text{ EUR/TEU}$$

**Transportmöglichkeit 5: LKW-Vor- und Nachlauf vor bzw. nach Schienenverkehr zwischen Maschen und Nürnberg**

Eine weitere Transportmöglichkeit bildet der LKW-Vor- und Nachlauf zu den jeweiligen Rangierbahnhöfen. Der gebündelte Transport auf dem deutlich längsten Streckenabschnitt, d.h. auf dem Teil zwischen den Rangierbahnhöfen, erfolgt daraufhin auf der Schiene. Dieses Modell sieht also als Kombination der Verkehrsträger einen Einsatz des Verkehrsträgers Straße auf den kurzen Strecken und einen Einsatz des Verkehrsträgers Schiene auf der langen Strecke vor. Durch die vor- und nachgelagerten Transporte auf der Straße (insgesamt 10.430 km) führen zu Betriebskosten in Höhe von 13.141,80 EUR, während für den Schienenabschnitt (1.180 km) 17.700 EUR Betriebskosten anfallen.

Von	Nach	TEU	Hinfahrten / Rückfahrten	Gesamte Fahrleistung [km]	Betriebskosten [€]
Bremerhaven	Maschen	25	13/13	4160	5241,6
Hamburg	Maschen	26	13/13	650	819
Lübeck	Maschen	8	4/4	680	856,8
Maschen	Nürnberg	59	1/1	1180	17700
Nürnberg (Nachlauf)	Erlangen	17	9/9	324	408,24
	Bayreuth	11	6/6	1032	1300,32
	Regensburg	31	16/16	3584	4515,84
Summe				11610	30841,80

Tabelle 11: Betriebsdaten Transportmöglichkeit 5 (Eigene Darstellung)

Insgesamt entstehen für dieses Transportmodell auf dem effektiv betrachteten Transportteil (Start-Ziel-Transport) durchschnittliche Kosten in Höhe von 261,37 EUR/TEU.

$$\frac{30.841,80 \text{ EUR} * 0,5}{59 \text{ TEU}} = 261,37 \text{ EUR/TEU}$$

Die hier angewandten, fünf unterschiedlichen Lösungsszenarien haben jeweils zu unterschiedlichen Ergebnissen geführt. Die Vor- und Nachteile der Transportlösungen, werden anhand der Transportkosten im folgenden Kapitel interpretiert und ausgewertet, ehe im Kapitel 7 ein Fazit erfolgt.

## 6 Auswertung und Darstellung der Ergebnisse

In dem durchgeführten Fallbeispiel wurden zwei Direktverkehrsmodelle und drei H&S-Netzwerkmodellen, wovon eines sowohl den Verkehrsträger Straße als auch den Verkehrsträger Schiene mit einbezog, verglichen. Rein unter dem Aspekt betrachtet, dass die Minimierung der Transportkosten das Hauptziel der Untersuchung ist, so erweist sich das intermodale H&S-Netzwerk-Modell als kostengünstigste Lösung. Mit 261,37 Euro pro TEU ist diese sogar nahezu nur halb so kostenintensiv wie der Direktverkehr mittels LKW-Flotte. (483,33 Euro pro TEU). Transportmöglichkeit 3 und 4 ergeben ungefähr dieselben Transportkosten (siehe Tabelle 12). Das bedeutet, dass je nach Auslastung der Rangierbahnhöfe Maschen und Seelze flexibel zwischen diesen beiden Lösungen gewählt werden kann. Diese Flexibilität ermöglicht es bei Überlastung der Bahnhöfe, unnötigen Verzögerungen des Transportes auszuweichen. Transportmöglichkeit 4 hätte gegebenenfalls jedoch einen zeitlichen Nachteil, da die Container aus Hamburg und Lübeck zwei Rangierbahnhöfe passieren und bei zwei Umschlagvorgängen Wartezeiten in Kauf genommen werden müssen. Ebenso lässt sich argumentieren, dass die Container aus Hamburg und Lübeck früher starten könnten, da sie erst in Seelze Rbf zeitlich mit den Containern aus Bremerhaven abgestimmt werden müssten, welche ihrerseits einen insgesamt kürzeren Transportweg über Seelze statt über Maschen nach Nürnberg Rbf hätten.

Ebenfalls sehr auffällig ist die scheinbare Kostenexplosion bei direktem Verkehr auf der Schiene. Dies zeigt, dass die Kostenrelation bei der Schiene sehr von der transportierten Menge abhängig ist.

Transportmodell	Betriebskosten je TEU	Verkehrsträger im Hinterlandverkehr
1: Direktverkehr über den Verkehrsträger Straße	438,33	Straße
2: Direktverkehr Schiene	1413,81	Schiene
3: Hub&Spoke-Verkehr über die Knotenpunkte Maschen Rbf und Nürnberg Rbf	274,58	Schiene
4: Hub&Spoke-Verkehr über Maschen Rbf, Seelze Rbf und Nürnberg Rbf	275,85	Schiene
5: Intermodales Hub&Spoke-Modell mit LKW-Vor- und Nachlauf	261,37	Schiene Straße

Tabelle 12: Betriebskostenübersicht der Transportmodelle im Fallbeispiel 2 (Eigene Darstellung)

Ein besonderer Vorteil der Schiene ist ihre große Kapazität an Containern. Durch den Einsatz der Schiene können Bündelungspotentiale deutlich besser ausgeschöpft werden als mit dem LKW, der über eine maximale Kapazität von nur zwei TEU verfügt. Bleibt dieser Vorteil wie in diesem Beispiel ungenutzt und transportiert ein Containerzug nur eine sehr geringe Menge an Containern, so sind die Stückkosten pro Container gegebenenfalls deutlich höher als beim LKW. Dies was der Fall im Transportmodell 2.

Im Transportmodell 3, 4 und 5, bei denen der Transport über mindestens ein Hub erfolgte, wurden eben solche Bündelungspotentiale genutzt. Der geschilderte Vorteil der Economies of Scale zeigt sich deutlich an den erheblich günstigeren Stückkosten je TEU in diesen Modellen.

Transportmöglichkeit 5 unterscheidet sich von 3 und 4 dadurch, dass bei 5 der Vor- und Nachlauf zu den Hubs (hier: Rangierbahnhöfen) mit dem LKW erfolgt. Dass diese Transportmethode zu der günstigen Lösung führt, muss nicht zwangsläufig der Fall sein. Vielmehr sind die Stückkosten je TEU abhängig von der Anzahl der TEU und der zu überwindenden Strecke. Bei geringem Transportaufkommen auf kurzen Strecken ist der LKW kostengünstiger als der Containerzug. Hingegen ist der Transport via Schiene bei hohem Transportaufkommen auf längeren Strecken deutlich günstiger. Es scheint gar so als würde ein Grenzwert für einen jeweiligen Fall konstruiert werden können. Dieser Zusammenhang lässt sich an folgender Formel erläutern:

$$\text{Transportkosten je TEU} = \frac{Z * s * C}{X}$$

Formel 3: Transportkosten je TEU im Fallbeispiel 2 (Eigens ermittelt auf Grundlage der Betriebskostensätze)

Mit  $Z = 1$  für  $\frac{X}{Y} < 1$ , für  $\frac{X}{Y} > 1$  nimmt  $Z$  den nächstgrößten, ganzzahligen Wert an.

X: Anzahl zu transportierender Container

Y: Containerkapazität des einzelnen Transportmittels

s: Einzelner Transportweg (Nur Hinweg)

C: Kilometerkostensatz des Verkehrsträgers (Schiene 15 EUR/km, Straße 1,26 EUR/km)

Das Verhältnis der zu transportierenden Container zu der Containerkapazität des Transportmittels beschreibt dabei die Anzahl der nötigen Transporte. Multipliziert mit der Länge des einzelnen Transportweges und dem Kilometerkostensatz des Verkehrsträgers entstehen so die Betriebskosten. Für den Transport von 25 TEU von Bremerhaven nach Maschen lässt sich Folgendes ermitteln:

$$\frac{1 * s(\text{Schiene}) * 15 \text{ EUR/KM}}{25 \text{ TEU}} = \frac{13 * s(\text{Straße}) * 1,26 \text{ EUR/KM}}{25 \text{ TEU}}$$

Die 1 für die Schiene ergibt sich daraus, dass die Bahn mehr als 25 TEU transportieren kann, während der LKW nur auf eine Kapazität von zwei TEU kommt, wodurch  $Z$  den Zahlenwert 13 annimmt. Soll geprüft werden, ob die Schiene der günstigere Verkehrsträger ist, so ergibt sich fortführend:

$$s(\text{Schiene}) = 1,0833 * s(\text{Straße})$$

$$\text{bzw. } \frac{s(\text{Schiene})}{s(\text{Straße})} = 1,0833$$

1,0833 ist damit der kritische Wert, welches sich aus dem Verhältnis des Transportweges der Schiene zum Transportweg der Straße ergibt. Werte unterhalb bedeuten, dass die Schiene einen günstigeren Transport ermöglicht, Werte oberhalb bedeuten dasselbe für die Straße.

Im Anwendungsfall ergaben sich für den Transportweg der Schiene von Bremerhaven nach Maschen etwa 180 km bzw. 360 km für Hin- u. Rückweg, für den Transportweg via Straße 160 km (320 km). Daraus folgt ein Verhältnis von 180 zu 160, also 1,125. Dieser Wert liegt oberhalb der ermittelten 1,0833, der Transport via LKW ist also bezogen auf 25 TEU bei



gegebenen Umständen kostengünstiger. Natürlich lässt sich genauso bei gegebenen Streckenlängen die Anzahl der Container  $Q$  ermitteln, bei welcher die Straße günstiger als die Schiene wird und umgekehrt.

Angenommen die zu transportierende Anzahl an Containern würde die Kapazität eines Güterzuges nicht übersteigen ( $Z=1$ ), liegt dieser Grenzwert bei:

$$\frac{1 * 180 \text{ km} * 15 \text{ EUR/km}}{Q} = \frac{\frac{Q}{2} * 160 \text{ km} * 1,26 \text{ EUR/km}}{Q}$$

$$\text{bzw. } Q = 27 \text{ Container}$$

Beweis: Betriebskosten für die Beförderung von 26, 27 oder auch 28 Containern (die Transportkapazitätsgrenze wird nicht erreicht.  $Z=1$ ) von Bremerhaven nach Maschen auf der Schiene: 2.700 EUR. Betriebskosten für 27 Container mit LKW-Flotte: 2.822 EUR. Betriebskosten für 26 Container mit der LKW-Flotte: 2.620,80 EUR. Ab einer Menge von 27 Container ist die Straße der teurere Verkehrsträger. Da in diesem Beispiel 25 Container transportiert wurden, bleibt die Straße günstiger als die Schiene. Dies zeigt auch, dass bei größeren Transportmengen ein LKW-Vor- bzw. Nachlauf kostenintensiver ist, als der Einsatz eines Güterzuges. Darüber hinaus ist das Rangieren von Zügen schneller als das Beladen von Zügen mit Containern von mehreren LKW und verlangt einen höheren Aufwand an zeitlicher Koordination. Für den Teilabschnitt zwischen Maschen und Nürnberg würde sich für ein Transportaufkommen von 59 TEU ein kritisches Verhältnis von 2,52 ergeben. Die Transportwege ergeben ein Verhältnis von 590 km Bahnstrecke zu 586 km Straße, also 1,0068 was an dieser Stelle eindeutig die Schiene als günstigeren Verkehrsträger identifiziert. Dementsprechend erwies sich die intermodale Transportlösung mit einem LKW-Vor- und Nachlauf als kostengünstigste Variante.

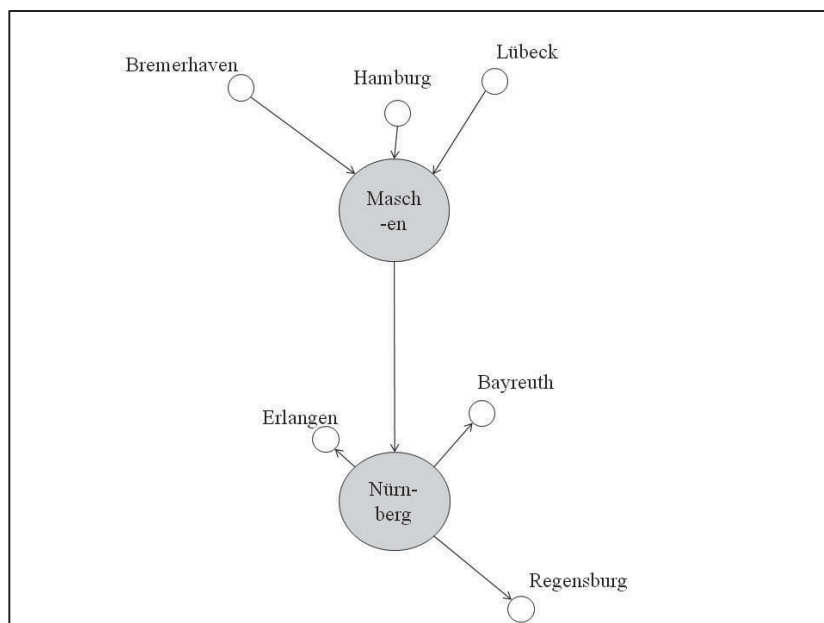


Abbildung 12: Kostengünstigste Transportlösung im Fallbeispiel 2 (Eigene Darstellung)

Der Rangierbahnhof Maschen fungiert in dieser Lösung ähnlich einem Sanduhr-Hub, während Nürnberg Rbf einen typischen Hinterland-Hub darstellt.



## 7 Fazit und Ausblick

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit sind die Transportmodelle des Direktverkehrs und der H&S-Netzwerke vorgestellt worden. Das Ergebnis des in Kapitel fünf behandelten Fallbeispiels resultiert aus den in Kapitel drei und vier vorgestellten Unterschieden beider Transportnetzwerktypen. Wie die erwähnten Vorteile des H&S-Modelles erwarten ließen, bildet das intermodale H&S-Netzwerk die kostengünstigste Transportlösung von allen fünf Alternativen. Durch die Abhängigkeit der Betriebskosten von Transportweg und Transportmenge lässt sich generell feststellen, dass je höher das zu transportierende Volumen an Containern ist, desto eher größere, bündelnde Transportmittel mit einer höheren Kapazität an Containern bezogen auf die Stückkosten pro Container günstiger sind als kleinere. Durch die geringe Containerkapazität von maximal zwei TEU ist mit einer reinen LKW-Flotte im Prinzip nur ein direkter Verkehr möglich, da kein Umschlagsprozess die Transportmenge erhöhen oder bündeln kann. Mit anderen Worten ist für die Gestaltung eines H&S-Netzwerkes, welches gegenüber dem Direktverkehrsnetz wie demonstriert deutliche Einsparpotentiale in Bezug auf die Transportkosten ermöglicht, auch der Einsatz von Verkehrsträgern notwendig, die ein Bündeln der Containerströme ermöglicht.

Mit dem Zusammenführen der Containerladungen an den Rangierbahnhöfen in Maschen und Nürnberg war es möglich, alle 59 TEU-Container auf nur einem Transportmittel über ein weite Strecke zu befördern, gleichzeitig konnte der LKW durch den vor- und nachgelagerten Transport zu den jeweiligen Hubs aus drei verschiedenen Richtungen beim Transport von vergleichsweise kleineren TEU-Ladungen auf kürzeren Strecken ebenfalls zur Kostenreduzierung beitragen. Die maximale Kostenreduzierung lag somit in der Kombination beider Verkehrsträger. Die Forschungsfrage ist klar damit beantwortet, dass H&S-Netzwerke gegenüber Point-to-Point-Verbindungen deutliche Transportkostenvorteile haben können. Das Ausmaß des Einsparpotentials hängt jedoch von den eingesetzten Verkehrsträgern sowie der zu transportierenden Beförderungsmenge ab.

Der Vorteil der Economies of Scope lässt sich besonders an solchen Rangierbahnhöfen erwarten, an denen eine Vielzahl an unterschiedlichen Transporten übergreifend verwaltet werden können und so insgesamt eine höhere Effizienz im gesamten Transportaufkommen erwartet werden kann als im individuellen Direktverkehr. Mit der Konzentration des Umschlagsvorganges an größeren Hubs ist auf Grund der erwähnten Clusterbildung und der daraus resultierenden Anhäufung an Logistik-Know-how und gesteigertem Leistungsvermögen geht zudem eine Steigerung der Logistikeffizienz einher (abzuleiten aus den Economies of Density). Besonders kosteneffektiv ist ebenso der Umstand, dass in einem H&S-Netzwerk eine deutlich geringere Anzahl an Verbindungen, um das gesamte Netz zu verbinden oder um neue Start- und Zielorte oder Hubs zu integrieren, benötigt wird als im Direktverkehr. Vor dem Hintergrund des steigenden Transportaufkommens, ist somit ein H&S-Netzwerk deutlich vorteilhafter als ein Direktverkehrsnetz. Durch ihre große Transportkapazität, die geringen Emissionswerte und die Bündelungsmöglichkeit verschiedener Verkehrsströme erscheint die Schiene als prädestinierter Verkehrsträger für ein H&S-Transportnetz.

Das Binnenschiff verfügt grundsätzlich über dieselben Potentiale, ist jedoch infrastrukturell durch die geringe Anzahl an Wasserstraßen sehr eingeschränkt. Durch die niedrige Transportgeschwindigkeit auf den Wasserstraßen insbesondere ist das Binnenschiff besonders bei Transporten einsetzbar, bei denen die Transportzeit den Transportkosten klar untergeordnet ist (z.B. Kohle, Erze). Dennoch wird dem Binnenschiff bis zu 80% ungenutztes

Potential attestiert (Foerster 2013, 13 f.). Diese Thematik rund um das Binnenschiff überschreitet jedoch den Rahmen dieser Arbeit, welches sich auf Transportsysteme bezieht, die die Verkehrsträger Schiene und Straße integrieren. Um den Verkehr zukünftig noch stärker von Straße auf Schiene und gegebenenfalls Wasserstraße zu verlagern und dabei die Transportkostenvorteile eines H&SS-Verkehrsnetzes optimal auszunutzen, muss zunächst ein Schienen- und Wasserstraßennetz entstehen, welches zum Straßennetz insofern konkurrenzfähig ist, dass es den Zeitverlust durch längere Transportwege, Umschlagvorgänge und niedrigere Transportgeschwindigkeiten durch Einsparungen durch die in dieser Arbeit dargestellten Transportkostenvorteile der H&S-Netzwerke überkompensieren.

Zur Förderung des Wasserstraßen- und des Schienennetzes lässt sich bereits eine Vielzahl an Bauvorhaben, Ideen oder Konzepten, beispielsweise der Bundesregierung Deutschlands finden (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung 2010, 16-31).

Dies hat zur Folge, dass bei Integration der neuen Verbindungen in ein H&S-Verkehrsnetz, ein hohes Potential besteht den containerisierten Hinterlandverkehr Deutschlands zukünftig trotz oder gerade wegen eines wachsenden Umschlagsvolumens noch effizienter zu gestalten.

---

## Literaturverzeichnis

Bailey, E.E. / Graham, D.R. / Kaplan, D.P. (1985): Deregulating the airlines. Cambridge, USA: The MIT Press.

Basedow, J. (1989): Wettbewerb auf den Verkehrsmärkten. Eine rechtsvergleichende Untersuchung zur Verkehrspolitik. Heidelberg: C.F. Müller Juristischer Verlag.

Blom, F. und Harlander, N. (2003): Logistik-Management. Der Aufbau ganzheitlicher Logistikketten in Theorie und Praxis. 2., erweiterte Auflage. Renningen: Expert Verlag.

Blunck, S. (2005): Modellierung und Optimierung von Hub-and-Spoke-Netzen mit beschränkter Sortierkapazität. In: Furmans, K. (Hrsg.): Wissenschaftliche Berichte des Institutes für Fördertechnik und Logistiksysteme der Universität Karlsruhe (TH). Karlsruhe: Universitätsverlag Karlsruhe, 1-153.

Brenner, M.A. / Leet, J.O. / Schott, E. (1985): Airline deregulation. Westport: Eno Foundation for Transportation.

Brueckner, J.K. und Spiller, P.T. (1994): Economies of traffic density in the deregulated airline industry. In: Journal of Law and Economics, 1994 (2) Band 37, 379-415.

Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (2014): Dienstleistungszentrum für Geoinformation und Geodäsie. Online im Internet unter: <http://www.geodatenzentrum.de> (Stand: 12.09.2014; Abfrage: 09.08.2014; [MEZ] 12:16 Uhr).

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2010): Aktionsplan Güterverkehr und Logistik. Logistikinitiative für Deutschland. Online im Internet unter: [https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/VerkehrUndMobilitaet/aktionsplan-gueterverkehr-und-logistik-anlage.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/VerkehrUndMobilitaet/aktionsplan-gueterverkehr-und-logistik-anlage.pdf?__blob=publicationFile) (Stand: 30.08.2013; Abfrage: 07.09.2014; [MEZ] 12:23 Uhr).

Caves, D.W. / Christensen, L.R. / Tretheway, M.W. (1984): Economies of density versus economies of scale: Why trunk and local service airline costs differ. In: The Rand Journal of Economics, 1985 (4) Band 15, 471-489.

Deutsche Bahn Mobility Logistics AG (2014): Faktenblatt. Rangierbahnhof Maschen. Online im Internet unter: [http://www.deutschebahn.com/file/7324422/data/faktenblatt\\_maschen.pdf](http://www.deutschebahn.com/file/7324422/data/faktenblatt_maschen.pdf) (Stand: 07.07.2014; Abfrage: 24.08.2014; [MEZ] 17:24 Uhr).

DVZ (1971): Containerumschlag der großen Nordseehäfen 1968-1970. In: Deutsche Verkehrszeitung, 1971 (30), 1-32.

Doganis, R. und Dennis, N. (1989): Lessons in hubbing. In: Airline Business, 1989 (3), 42-47.

Domschke, W. und Krispin, G. (1999): Zur wirtschaftlichen Effizienz von Hub-and-Spoke-Netzwerken. In: Pfohl, H.-C. (Hrsg.): Logistikforschung. Entwicklungszüge und Gestaltungsansätze. Berlin: Erich Schmidt Verlag, 279-304.

Eurogate GmbH & Co. KGaA, KG (2014): Bahnverladung in Wilhelmshaven bewährt sich. Online im Internet unter: <http://www1.eurogate.de/Magazin/Bahnverkehr-Wilhelmshaven> (Stand: 11.09.2014; Abfrage: 11.09.2014; [MEZ] 19:35 Uhr).

Exler, M. (1996): Containerverkehr. Reichweiten und Systemgrenzen in der Weltwirtschaft. Nürnberg: Selbstverlag des Wirtschafts- und Sozialgeographischen Instituts der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg.

- Foerster, K. (2013): Hamburg blickt weit ins Binnenland. In: *Binnenschifffahrt*, 2013 (3), 14.
- Fraunhofer ISI (2012): Wirtschaftliche Aspekte nichttechnischer Maßnahmen zur Emissionsminderung im Verkehr. Online im Internet unter: <http://isi-projekt.de/wissprojekt-de/ntm/massnahmen/m5.php> (Stand: 07.09.2014; Abfrage: 07.09.2014; [MEZ] 13:01 Uhr).
- HaCon Ingenieurgesellschaft mbH & KombiConsult GmbH (2013): Entwicklungskonzept 2025 für den Kombinierten Verkehr (KV) in Deutschland. Online im Internet unter: <http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/VerkehrUndMobilitaet/aktionsplan-gueterverkehr-logistik-entwicklungskonzept.html?linkToOverview=js> (Stand: 04.09.2014; Abfrage: 04.09.2014; [MEZ] 13:57 Uhr).
- Hafen Hamburg Marketing e. V. (2014): Containerumschlag im Vergleich. Online im Internet unter: <http://www.hafen-hamburg.de/content/containerumschlag-im-vergleich> (Stand: 15.08.2014; Abfrage: 15.08.2014; [MEZ] 12:14 Uhr).
- Handelsblatt (2012): Die größten Seehäfen Deutschlands. Online im Internet unter: <http://www.handelsblatt.com/unternehmen/logistik-spezial2012/logistik-spezial-die-groessten-seehaefen-deutschlands/6238886.html?slp=false&p=2&a=false#image> (Stand: 21.03.2012; Abfrage: 26.08.2014; [MEZ] 14:13 Uhr).
- Hanlon, J.P. (1996): *Global airlines. Competition in a transnational industry*. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Hapag Lloyd AG (2014): Container Specification. Online im Internet unter: [http://www.hapag-lloyd.com/downloads/press\\_and\\_media/publications/Brochure\\_Container\\_Specification\\_en.pdf](http://www.hapag-lloyd.com/downloads/press_and_media/publications/Brochure_Container_Specification_en.pdf) (Stand: 24.08.2014; Abfrage: 11.09.2014; [MEZ] 16:03 Uhr).
- Heeckt, H. (1969): Weltverkehrswirtschaft. In: Baade, Fritz (Hrsg.): *Dynamische Weltwirtschaft*. München: Paul List Verlag, 405-472.
- ISL und LUB Consulting GmbH (2010): Effekte der Güterverkehrszentren in Deutschland. Online im Internet unter: [http://www.isl.org/sites/default/files/sites/news/news/2012-03-05-01/LUB\\_ISL\\_Schlussbericht\\_GVZ\\_Effekte.pdf](http://www.isl.org/sites/default/files/sites/news/news/2012-03-05-01/LUB_ISL_Schlussbericht_GVZ_Effekte.pdf) (Stand: 03.12.2013; Abfrage 07.09.2014; [MEZ] 12:37 Uhr).
- Johnson, R.L. (1985): Networking and market entry in the airline industry. In: *Journal of Transport Economics and Policy*, 1985 Band 19, 299-304.
- Kortschak, B. H. (2003): Servicestrategien. Flexibilität, Kosten, Qualität und Zeit als Wettbewerbsvorteile. In: Merkel, H. und Bjelicic, B. (Hrsg.): *Logistik und Verkehrswirtschaft im Wandel*. München: Verlag Vahlen, 38-49.
- Lufthansa Group (2014): Lufthansa Passage. Online im Internet unter: <http://www.lufthansagroup.com/unternehmen/flotte/lufthansa-passage.html> (Stand: 12.09.2014; Abfrage: 12.09.2014; [MEZ] 18:14 Uhr).
- Lutteroth, J. (2011): Container-Revolution. Welterfolg mit der Wunderkiste. Online im Internet unter: <http://www.spiegel.de/einestages/container-revolution-welterfolg-mit-der-wunderkiste-a-947252.html> (Stand: 15.08.2014; Abfrage: 15.08.2014; [MEZ] 19:11 Uhr).
- Mayer, G. (2001): *Strategische Logistikplanung von Hub-and-Spoke-Systemen*. 1. Auflage. Wiesbaden: Gabler Verlag und Deutscher Universitäts-Verlag.
- McKinnon, A. / Browne, M. / Whiteing A. (2012): *Green logistics. Improving the environmental sustainability of logistics*. 2. Auflage. London: Kogan Page.

- Mahoney, J.H. (1985): *Intermodal Freight Transportation*. Westport: Eno Foundation for Transportation.
- Michaletz, T. (1994): *Wirtschaftliche Transportketten mit modularen Containern*. München: Hussverlag.
- Morrison, S.A. und Winston, C. (1985): Intercity transportation route structures under deregulation: Some assessments motivated by the airline experience. In: *The American Economic Review*, 1985 (2) Band 75, 57-61.
- Mori, T. und Nishikimi, K. (2002): Economies of transport density and industrial agglomeration. In: *Regional Science and Urban Economics*, 2002 Band 32, 167-200.
- Phillips, L.T. (1987): Air carrier activity at major hub airports and changing interline practices in the United States' airline industry. In: *Transportation Research*, 1987 (3) Band 21, 215-221.
- Rhenus Logistics (2012): LKW-Maut in Deutschland. Online im Internet unter: [http://www.wsa-s.wsv.de/downloadbereich/pdf/lkw\\_schiff.pdf](http://www.wsa-s.wsv.de/downloadbereich/pdf/lkw_schiff.pdf) (Stand: 27.09.2012; Abfrage: 20.08.2014; [MEZ] 15:09 Uhr).
- Scheer, A. und Borowsky, R. (1999): *Supply Chain Management. Die Antwort auf neue Logistikanforderungen*. In: Kopfer, H. und Bierwirth, C. (Hrsg.): *Logistik Management. Intelligente I+K Technologien*. Berlin et al.: Springer Verlag, 3-14.
- Schoenknecht, A. (2009): *Maritime Containerlogistik. Leistungsvergleich von Containerschiffen in intermodalen Transportketten*. Heidelberg et al.: Springer.
- Stabenau, H. (1980): Seeverkehr und arbeitsteilige Weltwirtschaft im kommenden Jahrzehnt. In: *Geographische Rundschau*, 1980 (5) Band 32, 221-226.
- Sudalaimuthu, S. und Raj, S. (2009): *Logistics management for international businesses*. Neu-Delhi: PHI Learning Private Ltd.
- Teuscher, W.R. (1993): *Zur Liberalisierung des Luftverkehrs in Europa*. Dissertation, Fachbereich Wirtschaftswissenschaften, Universität Hamburg.
- Thonemann, U. (2010): *Operations Management. Konzepte, Methoden und Anwendungen*. 2., aktualisierte Auflage. München: Pearson Studium.
- Tjon, F. (1997): *Wirtschaftlichkeitsanalyse von Luftverkehrsunternehmungen*. Berlin: Duncker & Humblot.
- Verkehrsrundschau (2014a): RWI/ISL-Containerumschlag-Index. Welthandel wächst weiter. Online im Internet unter: <http://www.verkehrsrundschau.de/rwi-isl-containerumschlag-index-welthandel-waechst-weiter-1331886.html> (Stand: 05.09.2014; Abfrage: 05.09.2014; [MEZ] 15:28 Uhr).
- Verkehrsrundschau (2014b): Direktverkehr. Definition. Online im Internet unter: [http://www.verkehrsrundschau.de/direktverkehr-694340-vkr\\_lexikon.html](http://www.verkehrsrundschau.de/direktverkehr-694340-vkr_lexikon.html) (Stand: 11.09.2014; Abfrage: 11.09.2014; [MEZ] 12:20 Uhr).
- Wells, A.T. (1994): *Air transportation: A management perspective*. 3. Auflage. Belmont: Wadsworth Publishing Company.
- White, H. P. und Senior, M.L. (1983): *Transport Geography*. London et al.: Longman Inc.
- Williams, G. (1994): *The airline industry and the impact of deregulation*. 2. Auflage. Aldershot: Avebury Aviation.

Winter, H. und Katzschner, T. (2006): Containerumschlag deutscher Seehäfen 1995 bis 2005. In: Statistisches Bundesamt (Hrsg.): Wirtschaft und Statistik 11/2006. Wiesbaden: SFG Servicecenter Fachverlage, 1159-1167.

Universität Bremen  
Fachbereich Wirtschaftswissenschaften  
Lehrstuhl für ABWL und Logistikmanagement  
Wilhelm-Herbst-Str. 12  
28359 Bremen

Telefon: +49 0421 218 66981  
E-Mail: [kotzab@uni-bremen.de](mailto:kotzab@uni-bremen.de)  
[www.lm.uni-bremen.de](http://www.lm.uni-bremen.de)

ISSN 2365-2101

Als wissenschaftliches elektronisches Dokument veröffentlicht in der Staats- und  
Universitätsbibliothek Bremen und auf dem Lehrstuhlserver

Veröffentlicht: 2015