

Entwicklung einer Methodik zur Generierung einer Datenbasis für Optimierungssysteme in der maritimen Leercontainerlogistik

Development of a method to generate a data base for optimization systems in maritime empty container logistics

Nina Vojdani
René Rösner

Lehrstuhl für Produktionsorganisation und Logistik
Fakultät für Maschinenbau und Schiffstechnik
Universität Rostock

Dieser Beitrag stellt ein Vorgehen zur Entwicklung einer Methodik zur Generierung einer praxisnahen Datenbasis für numerische Untersuchungen im Rahmen der maritimen Leercontainerlogistik vor. Das Vorgehen wird an einem exemplarischen Anwendungsfall verdeutlicht. Die Resultate sollen Testläufe für Szenarien der Leercontainerlogistik unterstützen und somit eine Basis für die Entwicklung und Bewertung organisatorischer Verbesserungsansätze, mathematischer Optimierungsmodelle, entsprechender Lösungsalgorithmen und praxisnaher Simulationsumgebungen bilden.

[Leercontainerlogistik, Datengenerierung, Simulation]

This paper presents a procedure for developing a method to generate a realistic data base for numerical experiments in the context of maritime empty container logistics. The method is illustrated by an example. The results should support tests required for empty container logistics scenarios and thus form a basis for the development and evaluation of organizational improvement approaches, mathematical optimization models, corresponding solution algorithms and realistic simulation environments.

[empty container logistics, data generation, simulation]

1 AUSGANGSSITUATION

Der internationale Warenaustausch wurde in den 1960er Jahren mit der Einführung normierter Seetransportbehälter maßgeblich beeinflusst und resultierte in einem technologischen Wandel der Transportlogistik. Neben den mit dem Einsatz standardisierter Container einhergehenden positiven Effekten wie kürzere Lieferzeiten, erhöhte Sicherheit und günstigere Gütertransporte, entsteht jedoch auch die sogenannte Leercontainerproblematik. Aufgrund der Unpaarigkeit globaler Handelsströme resultiert in primär exportierenden Regionen ein

Leercontainerdefizit und in vorwiegend importierenden Regionen ein Leercontainerüberschuss. In der Folge wird ein Leercontainerfluss von der Überschuss- in die Defizitregion erforderlich.

Die Leercontainerproblematik kann anhand verschiedener Kennzahlen charakterisiert werden. Durchschnittlich ist jeder fünfte umgeschlagene Container in einem Seehafen ein Leercontainer. Drewry Shipping Consult beziffert die weltweiten Leercontainerbewegungen im Jahr 2009 mit 50 Millionen TEU (Twenty Foot Equivalent Unit – 20-Fuß-Standardcontainer). Den Reedereien entstanden dadurch geschätzte Kosten von 30,1 Milliarden US Dollar [Unc11]. Darüber hinaus lagern weltweit ca. 1,5 bis 2,5 Millionen Leercontainer in see- oder hafennahen Hinterlandgebieten [TB09]. Diese bedingen einen hohen Platzbedarf und führen zur Verknappung der Lagerflächen in Seehäfen. Zusätzlich führen die Transporte zu einem hohen Verkehrsaufkommen, sind mitverantwortlich für Staus im Hafenbereich und bedingen hohe CO₂- und Lärmemissionen. Die Optimierung leercontainerrelevanter Logistikprozesse ist folglich wirtschaftlich, ökologisch und gesellschaftlich zwingend notwendig.

Voraussetzung für die Entwicklung und Bewertung organisatorischer Verbesserungsansätze (z.B. Kooperation), mathematischer Optimierungsmodelle, entsprechender Lösungsalgorithmen und realistischer Simulationsumgebungen sind numerische Untersuchungen mithilfe praxisnaher Testdaten. Mit diesen können Effekte und Einsparungspotentiale quantifiziert und Schwachstellen frühzeitig erkannt werden. Weiterhin kann der Transfer von Forschungsergebnissen in die Praxis beschleunigt werden, da Akteure der Containerlogistik durch die Ergebnisse, bei Verwendung fundierter Inputdaten, vom Einsatz der entwickelten Ansätze überzeugt werden können.

Die Beschaffung und Aufbereitung benötigter praxisnaher Inputdaten ist jedoch mit hohem Aufwand verbun-

den und oft kaum möglich. Die für numerische Untersuchungen benötigten Inputdaten lassen sich in Systemorganisations-, Systemstruktur- und Systemlastdaten strukturieren (siehe Abbildung 1) [Kob00]. Insbesondere Systemlastdaten sind aufgrund verschiedener Umstände (keine Berechtigung, System nicht real existierend) oft nicht zugänglich.

Systemorganisation	Systemstruktur	Systemlast
<ul style="list-style-type: none"> • Ablauforganisation <ul style="list-style-type: none"> - Lokale/globale Steuerstrategien - Auswahlstrategien - Störfallmanagement - ... • Restriktionen <ul style="list-style-type: none"> - Lokale/globale Ein-/Ausgangsbedingungen - ... 	<ul style="list-style-type: none"> • Elementbeschreibung <ul style="list-style-type: none"> - Schiffskapazitäten - Umschlagsdauer - ... • Elementanordnung (Positionsdaten (x, y, z, \angle)) <ul style="list-style-type: none"> - Hafenstandorte - Depotstandorte - ... • Elementverknüpfung <ul style="list-style-type: none"> - Containerschiffsrouten - Hinterlandverkehr - ... 	<ul style="list-style-type: none"> • Produktdaten <ul style="list-style-type: none"> - Containertypen (Abmessungen, Material, Preis) - ... • Auftragsdaten <ul style="list-style-type: none"> - Ankunftszeiten - Abgangszeiten - Auftragsmenge - Position des Auftrags zum Betrachtungsbeginn - ...

Abbildung 1. Systematisierung von Inputdaten

Wenn Datensätze vorliegen, kann deren Verwendung ebenfalls mit Problemen verbunden sein: Experimente umfassen im Allgemeinen die Untersuchung verschiedener Szenarien, wobei einzelne Inputparameter gezielten Manipulationen unterzogen werden und dabei, der Realität entsprechend, Daten abhängiger Parameter ebenfalls beeinflusst werden sollten.

In der Folge müssen praxisnahe Datenkonstellationen auf Basis intelligenter Methoden generiert werden. Die Entwicklung einer entsprechenden Methodik und eine anschließende Implementierung ist zeitaufwändig und wird in Forschungsprojekten nur selten fokussiert. Die resultierende mangelnde Berücksichtigung von Abhängigkeiten zwischen zu generierenden Inputdaten und externer Einflussfaktoren auf die Inputparameter führt zu in sich nicht konsistenten Datensätzen, die wiederum zu falschen Schlussfolgerungen führen können („garbage in, garbage out“). Um diesen Problemen entgegenzuwirken, ist somit eine intelligente Methodik zu entwickeln, die für benutzerspezifische Szenarien der maritimen Leercontainerlogistik praxisnahe Inputdaten generiert.

Ziel dieses Beitrags ist die Vorstellung einer Vorgehensweise zur Entwicklung einer Methodik zur Datengenerierung für unterschiedliche Modelle bzw. Problemstellungen im Rahmen der maritimen Leercontainerlogistik, für die numerische Experimente durchzuführen sind. Im Folgenden wird zunächst eine Übersicht verwandter Publikationen gegeben, die die Datengenerierung thematisieren. Im Anschluss wird ein Vorgehen zur Erstellung einer Methodik vorgestellt und mithilfe eines exemplarischen Anwendungsfalls veranschaulicht. Zum Abschluss werden die Ergebnisse zusammengefasst und ein Überblick über weiteren Forschungsbedarf gegeben.

2 LITERATURANALYSE

Die Generierung von Inputdaten für numerische Untersuchungen ist in vielen Forschungsfeldern der Logistik

und Produktion wie z.B. bei der Planung der Maschinenbelegung [HP01] oder von Containerterminals [Har04] eine wichtige Aufgabe. Im Folgenden soll eine kritische Betrachtung bisheriger Generierungsansätze der Leercontainerlogistik-Forschung erfolgen.

Gao untersuchte kostenoptimale Entscheidungen bezüglich der Mengen und der Allokation von Leercontainern [Gao94]. Für das entworfene Optimierungsmodell wurden drei Szenarien entwickelt und unterschiedliche Möglichkeiten der Containerbeschaffung sowie Kostensätze geprüft. Zum Test eines entwickelten stochastischen Modells und der angewandten Algorithmen erstellten Cheung und Chen einen Problemgenerator zur Erzeugung von Häfen, Kosten, Containerbedarf und -nachfrage [CC98]. Erera et al. haben ebenfalls ein Repositionierungsproblem untersucht und als multicommodity flow Problem modelliert [EMS05]. Dabei wurde ein exemplarischer Datensatz auf globaler Ebene generiert und zum Nachweis der Verwendbarkeit des Optimierungsmodells eingesetzt. Olivo et al. entwickelten einen Netzwerkansatz für das Leercontainermanagement mit besonderer Berücksichtigung kurzer Planungsperioden [OZDM05]. Die Anwendbarkeit bei Einsatz verschiedener Algorithmen wurde anhand von realen Datensätzen für den Mittelmeerraum geprüft. Von Li et al. wurde die Containerbestandsoptimierung in mehreren Häfen behandelt. Die entwickelte Strategie wurde anhand zweier generierter Fälle mit unterschiedlichen Auftragsbeziehungen für drei Standorte überprüft [LLWL07]. Shintani et al. untersuchten die bestmögliche Routengestaltung unter expliziter Betrachtung der Leercontainerrepositionierung [SINP07]. Dabei wurde ein Datensatz für Südostasien erstellt, um Rückschlüsse über das kombinierte Optimierungsmodell und verschiedene Algorithmen zu erhalten. Zur Kosteneinsparung wurde von Chang et al. die Möglichkeit der Substitution verschiedener Containerarten (TEU, FEU, Reefer etc.) betrachtet [CJC08]. Zur Bewertung des Optimierungsmodells und der entwickelten Algorithmen bezüglich Lösungszeit und -qualität wurden zwei Fallstudien erstellt, die Datenquellen unterschiedlicher Qualität heranziehen. Dong und Song untersuchten, ähnlich wie Gao, das kombinierte Containermengen- und Containerrepositionierungsproblem, wobei insbesondere Containerfrachter, Häfen und Rundreisen betrachtet wurden [DS09]. Dabei erfolgte die Entwicklung von zwei Fallstudien, denen unterschiedliche Problemgrößen (Anzahl Häfen, Anzahl Schiffe) zugrunde liegen. Song und Carter betrachteten die Kosteneinsparungspotentiale verschiedener Kooperationsmöglichkeiten im Leercontainermanagement [SC09]. Dabei wurden Daten anhand von Statistiken der größten Handelsrouten aus strategischer Sicht erstellt. Eine praxisorientierte Leercontainerstrategie wurde von Song und Dong untersucht, bei der die Zielrichtung der Container nicht exakt vorgegeben wird und die leeren Container bei Bedarf von anliegenden Containerfrachtern verfügbar sind [SD10]. Auch hier wurden mithilfe erstellter Szenarien numerische Untersuchungen durchgeführt.

Die identifizierten Schwächen und Verbesserungspotentiale der untersuchten Ansätze zur Datengenerierung werden im Folgenden erläutert. Bei der Datengenerierung hinsichtlich der Netzwerkgestaltung ist es ein verbreiteter Ansatz, imaginäre reederrelevante Standorte (Knoten) zu wählen [Gao94; LLWL07] bzw. zufällige Punkte in einer euklidischen Ebene zu erstellen, die als Standorte dienen [CJC08; CC98]. Diese Varianten entsprechen nicht realen Transportgegebenheiten und ermöglichen daher nur eine unzureichende Berücksichtigung regionalspezifischer Charakteristika, wie bspw. unterschiedliche Lagerungskosten. Eine regionale Differenzierung ist sinnvoll, weil sie die Abbildung realitätsnaher Handelsungleichgewichte ermöglicht und somit maßgeblich die Datenqualität positiv beeinflusst.

Andere Vorgehensweisen legen regionalspezifische Klassifikationen [SC09; EMS05] bzw. eine explizite Benennung von Häfen [SINP07; DS09; SD10] zugrunde. Diese bilden die Basis zur Berücksichtigung regionaler Besonderheiten. Die Kategorisierungen sind jedoch meist speziell für das jeweilige Problem definiert und deshalb schwer auf beliebige Anforderungen übertragbar. Die aus Transportmittelkapazitäten resultierenden Abhängigkeiten zu weiteren relevanten Parametern der Containerlogistik sind in den untersuchten Publikationen unzureichend berücksichtigt. Zum Beispiel findet die Einbeziehung von Schiffskapazitäten lediglich in Bezug auf freie Stellplätze statt [DS09; SC09]. Weitere systemimmanente Zusammenhänge (z.B. Auftragsvolumen, Liegezeiten) werden nicht betrachtet.

Ein weiteres Defizit der untersuchten Ansätze stellt die unzureichende Berücksichtigung inlandbezogener Daten, wie Zeiten und Kosten für Umschlag oder Transport über Straße und Schiene dar. Zum Beispiel beschränken sich Olivio et al. auf eine spezielle Region [OZDM05]. Die Integration solcher Daten ist aufgrund der Intermodalität der maritimen Transportketten zwingend notwendig und beeinflusst maßgeblich die Netzwerkkonfiguration und somit das Leercontainermanagement.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass in der Literatur zur Optimierung der maritimen Containerlogistik erste Ansätze zur Datengenerierung vorhanden sind, diese jedoch nur eine eingeschränkte Funktionalität aufweisen und kaum Verwendung für verwandte Problemstellungen zulassen. Dies resultiert daraus, dass die Datengenerierung bisher nicht im Vordergrund von Untersuchungen stand und aufgrund vereinfachter Annahmen, die die realen Gegebenheiten nicht in ausreichendem Maße berücksichtigten, nicht den Anforderungen einer ganzheitlichen Betrachtung gerecht wurde. Dies beeinträchtigt die Qualität und Aussagekraft der Forschungsergebnisse und erhöht gleichzeitig die Skepsis seitens der Anwender bezüglich erlangter Resultate. Weiterhin sind bei der Datenerstellung kaum Parameterabhängigkeiten integriert. In der Folge wirken sich Datenveränderungen durch den Benut-

zer im Rahmen von Experimenten nur lokal aus und abgeleitete Ergebnisse werden somit verfälscht.

Aufgrund der dargestellten Relevanz der Thematik und Defizite der Ansätze in der Fachliteratur sind vertiefte Untersuchungen zur bedarfsgerechten Generierung von Daten für numerische Untersuchungen innerhalb der maritimen Leercontainerlogistik und die Entwicklung einer entsprechenden Methodik zwingend notwendig.

3 ENTWICKLUNG EINER METHODIK FÜR DIE DATENGENERIERUNG

In diesem Abschnitt wird ein allgemeines Vorgehen zur Entwicklung einer Methodik zur Datengenerierung beschrieben, das auf verschiedene Anwendungsfälle übertragbar ist. Das Vorgehen beinhaltet folgende fünf Schritte, die im Verlauf des Kapitels näher erläutert werden:

1. Inputparameterpool bilden und konkretisieren
2. Einflussparameter und Wirkungszusammenhänge analysieren
3. Verfügbare Daten analysieren und Kategorien bilden
4. Datenunsicherheiten analysieren
5. Generierungsvorschriften entwickeln

Das Vorgehen wird am Beispiel eines am Lehrstuhl für Produktionsorganisation und Logistik der Universität Rostock entwickelten Optimierungsmodells für die Leercontainerlogistik veranschaulicht, welches in Abbildung 2 dargestellt ist. Eine Anwendung des Vorgehens zur Bildung einer Simulationsumgebung bzw. zur Untersuchung von Lösungsalgorithmen erfolgt analog.

Das Modell basiert auf der mathematischen Netzwerktheorie [VLR13]. Reederrelevante Standorte sowie Leasingunternehmen werden durch Knoten eines Graphen modelliert. Die Knoten werden für alle betrachteten Planungsperioden dupliziert. Verschiedene Handlungsalternativen (Transport, Lagerung, Leasing etc.) bzw. festgelegte Containerflüsse (Anfangsbestände, Aufträge etc.) können durch Kanten mit entsprechenden Attributen (untere Kapazität λ , obere Kapazität κ , Kosten γ) in das Modell integriert werden. Durch Ermittlung eines kostenminimalen Flusses der Einheiten (verschiedene Container) von einer Quelle q zur Senke s in dem so entstehenden Raum-Zeit-Graphen sind Handlungsempfehlungen für die Containerbesitzer ableitbar.

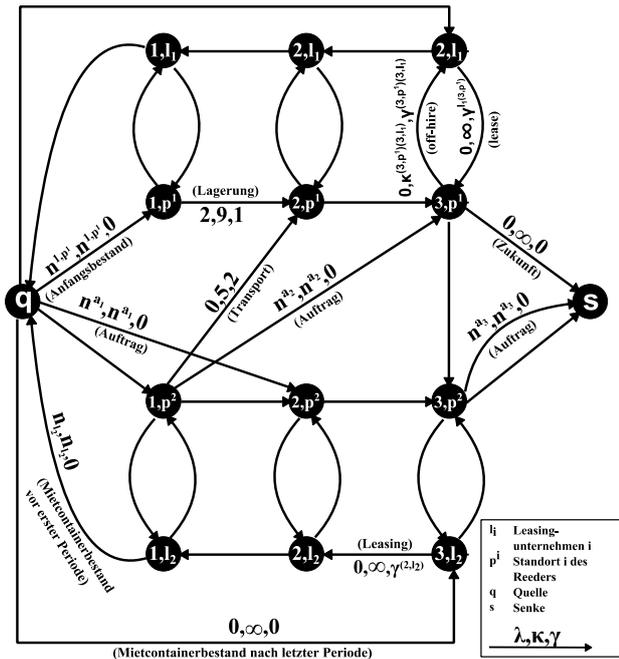


Abbildung 2. Als exemplarischer Anwendungsfall dienender Optimierungsansatz auf Basis der Netzwerktheorie

3.1 INPUTPARAMETERPOOL BILDEN UND KONKRETISIEREN

Im ersten Schritt ist zunächst ein Pool mit Inputparametern zu bilden, die vom vorliegenden Optimierungsmodell vorausgesetzt werden und für die dementsprechend für numerische Untersuchungen Daten vorliegen müssen. Da mit einem Parameter verschiedenste reale Gegebenheiten modelliert werden, sind die Parameter bezüglich ihrer differenzierten Bedeutungen soweit zu konkretisieren, dass Eigenschaftsunterschiede innerhalb einer „Klasse“ mit fortschreitender Konkretisierung in einem angemessenen Umfang reduziert werden. Als Beispiel sei der Parameter „obere Kapazität“ genannt. Dieser kann beispielsweise Transportkapazitäten, Lagerungskapazitäten oder Leasingkapazitäten modellieren. Im Falle einer Lagerungskapazität ist zu unterscheiden, ob die Lagerung in einem Depot oder einem Terminal stattfindet. Je nach

Tabelle 1. Konkretisierter Inputparameterpool (Ausgewählte Parameter)

	Bedeutung		Attribute		
	Allgemein	Konkretisiert	Untere Kapazität	Obere Kapazität	Kosten
Knoten	Reederrelevante Standorte zu verschiedenen Zeitpunkten etc.	Kai, Terminal-Flächen, Off-Dock-Depots, Hinterland-Depots			
	Leasing-Unternehmen zu verschiedenen Zeitpunkten	-			
Kanten	Lagerungen	Lagerung im Terminal, Off-Dock-Depot, Hinterland-Depot	Sicherheitsbestände	Lagerkapazitäten	Lagerungskosten
	Transporte	Seeverkehr, Straßenverkehr, Eisenbahnverkehr, Binnenschifffahrt, Umschlag	Mindesttransportmengen	Transportkapazitäten	Transportkosten
	Aufträge	-	Auftragsmengen	Auftragsmengen	-
	Leasing	Zeitabhängiges Leasing, zeitunabhängiges Leasing	Mindestabnahmemengen	Maximale Leasingmengen	Leasingkosten
	Anfangsbestände	Depotbestände, Leercontaineranfangsbestände auf Containerschiffen	Anfangsbestände	Anfangsbestände	-

Anwender und Verwendungsabsicht könnten wiederum verschiedene Depots unterschieden werden (beispielsweise Off-Dock oder Hinterland).

Im vorliegenden Optimierungsmodell werden zum einen ein vorliegender Graph (Knoten und Kanten) sowie die Kantenattribute Kosten, untere und obere Kapazität für numerische Untersuchungen benötigt. Eine Auswahl benötigter Inputparameter sowie ihre Konkretisierung ist in Tabelle 1 dargestellt.

3.2 EINFLUSSPARAMETER UND WIRKUNGSZUSAMMENHÄNGE ANALYSIEREN

Ausgehend von den konkretisierten Inputparametern und deren Bedeutungen sind Wirkungszusammenhänge zwischen den Parametern und Einflussfaktoren auf die Parameter zu identifizieren. Auf diese Weise wird bei der späteren Generierung der Daten zum einen gewährleistet, dass mit geringem Umfang an Eingabeinformationen große Datensätze erstellt werden können. Zum anderen wird dem späteren Benutzer im Rahmen von Experimenten ermöglicht, individuell Parameter zu manipulieren, ohne abhängige Daten aufwändig selbst zu ändern. Als Beispiel sollen die Netzwerkparameter *Transportkante*, *Auftragskante* sowie die Kantenattribute *Auftragsmenge*, *Sicherheitsbestand*, *Lagerkapazität* und *Anfangsbestand* dienen. Ausgewählte Wechselwirkungen und Einflussfaktoren sind in Abbildung 3 dargestellt. Transportkanten zwischen Hafenstandorten bilden unter anderem angebotene Containerschiffsrouten von Reedereien ab. Auf Basis der Schiffstransportdaten sind Aussagen über Vollcontainerflüsse (Auftragskanten) möglich, da diese in der globalen maritimen Containerlogistik vorrangig durch den Schiffs-transport bestimmt sind. Die Inlandtransportzeiten bzw. Instandhaltungszeiten sind unter Beachtung regionaler Aspekte abschätzbar, so dass Ausgangs- und Eingangszeitpunkte von Containern in den Depots ableitbar sind. Die zugehörige Auftragsmenge ist unter anderem vom Start- und Zielhafen des Containertransports sowie dem Handelsungleichgewicht der Regionen (z.B. Europa, Asien) der Häfen abhängig. Weiterhin ist die Schiffskapazität auf der zugehörigen Route von Bedeutung.

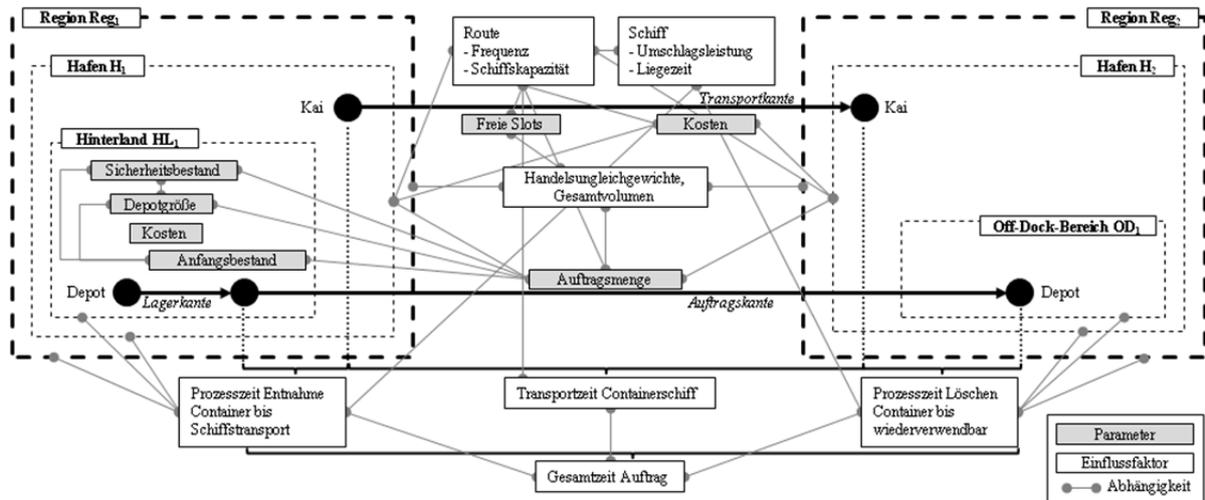


Abbildung 3. Ausgewählte Wechselwirkungen der Inputparameter und Einflussfaktoren

Auftragsmengen und deren Start- und Endzeitpunkte besitzen wiederum Einfluss auf die Depotgrößen sowie Sicherheitsbestände der Entnahme- und Rückgabeorte. Optimierungsmodelle gehen im Allgemeinen von Anfangsbeständen zum ersten Betrachtungspunkt aus. Die Anfangsbestände einzelner Depot sind abhängig von den jeweiligen Depotgrößen und Sicherheitsbeständen.

Die genannten Parameter werden unter anderem durch regional-, hafen-, depot- und schiffsgrößen-spezifische Einflussfaktoren beeinflusst. So sind zum Beispiel Lagerkosten abhängig von der Region und dem Standort des Depots. Die maximal umschlagbaren Leercontainer in einer bestimmten Zeit sind beispielsweise vom Hafen und dessen Umschlagsmittel sowie der Schiffgröße abhängig.

3.3 VERFÜGBARE DATEN ANALYSIEREN UND KATEGORIEN BILDEN

Verfügbare, recherchierbare, angemessen schätzbare Daten (z.B. durchschnittliche Geschwindigkeit eines Containerschiffs) der identifizierten Parameter und Einflussfaktoren sind bezüglich gleicher Merkmalsausprägungen zu klassifizieren, um Übersichtlichkeit zu gewährleisten

und unnötige Komplexität zu vermeiden sowie allgemeine Aussagen zu erlauben. Einerseits können Klassen im Allgemeinen aufgrund von Erfahrungen über Abhängigkeiten erarbeitet werden. Andererseits sind auch Verfahren aus der Cluster-Analyse einsetzbar, die der Strukturerkennung in umfangreichen Datenbeständen dienen. Die Klassifizierung ist erforderlich, da aufgrund des immensen Zeitaufwands eine lückenlose Erschließung aller Daten nicht zielführend ist (z.B. Lagerungskosten in allen Häfen der Welt ermitteln), aber dennoch benutzerindividuelle Angaben umsetzbar sein sollten. Mögliche Klassifizierungsaspekte könnten regionaler, zeitlicher und mengenmäßiger Natur sein. Beispielsweise können sich Lagerungskosten in benachbarten Häfen gleichen oder Umschlagsleistungen bei Containerschiffen ähnlicher Kapazität nahezu identisch sein. Tabelle 2 und Tabelle 3 veranschaulichen Klassifizierungsbeispiele anhand räumlicher Aspekte und Schiffskapazitäten.

Weiterhin sollten bereits in dieser Phase Parameter bzw. Einflussfaktoren bekannt sein, die im Rahmen der Szenarienerstellung benutzerindividuell festzulegen sind und nicht zu recherchieren sind. Beispiele wären die Länge der Planungsperioden und die Routen von Containerschiffen.

Tabelle 2. Beispiel einer zweidimensionalen Kategorisierung nach räumlichen Aspekten für verschiedene Parameter

Hafenbereich	Region				
	Asien	Europa	Nordamerika	Südamerika	Afrika
Im Containerterminal
Im Off-Dock-Bereich
Im Hinterland

Tabelle 3. Beispiel einer Kategorisierung nach Schiffskapazitätsaspekt mit Beispielparametern

Parameter	Schiffskapazität in TEU			
	0-2.000	2.000-7.000	7.000-12.000	12.000-18.000
Umschlagskapazität pro Stunde
Durchschnittliche Liegezeit in Häfen

3.4 DATENUNSIKERHEITEN ANALYSIEREN

Um der Dynamik der maritimen Containerlogistik und den weit verbreiteten mathematischen Verbesserungsansätzen unter Berücksichtigung von Unsicherheiten im Kontext der maritimen Leercontainerlogistik [VR12] gerecht zu werden, sollten die generierten Daten Streuungen unterliegen. Hierfür sind den kategorisierten Daten entsprechende Wahrscheinlichkeitsverteilungen zuzuordnen. Bei ausreichender Datengrundlage empfiehlt sich hierfür die Zuhilfenahme statistischer Verfahren wie dem Kolmogorov-Smirnov-Test oder dem Chi-Quadrat-Test. Bei unzureichender Datengrundlage sind weiterhin vereinfachte Wahrscheinlichkeitsverteilungen wie Gleich- oder Dreiecksverteilung einsetzbar.

3.5 GENERIERUNGSVORSCHRIFTEN ENTWICKELN

Im Anschluss sind unter Berücksichtigung der vorangegangenen Schritte Algorithmen zu entwickeln, die Daten für die identifizierten Inputparameter generieren. Im Folgenden werden ausgewählte Generierungsvorschriften anhand des exemplarischen Anwendungsfalls erläutert. Eine Anwendung auf verwandte Optimierungsmodelle bzw. Simulationsumgebungen bei ähnlicher Datengrundlage ist jedoch möglich. Nach Erstellung des Netzwerks werden zunächst die Auftragsmengen generiert und daraus Depotgrößen, Sicherheitsbestände sowie Anfangsbestände abgeleitet. In Tabelle 4 sind alle Daten aufgeführt, die im Kontext der Generierung als bekannt vorausgesetzt werden. Kategorisiert werden sie dabei nach dem Grund der Verfügbarkeit.

Tabelle 4. *Im exemplarischen Anwendungsfall als bekannt vorausgesetzte Daten*

Kategorie	Beschreibung
Benutzerindividuell	Planungsperioden und deren Dauer
	Reederrelevante Standorte mit entsprechender Zuordnung zu Regionen sowie Einordnung der Depots in Hinterland- und Off-Dock-Depots
	Mengenverhältnisse zwischen den aus-/eingehenden Auftragscontainern und dem Sicherheits-/Maximalbestand regionalspezifischer Lagerungsfaktor, der eine Orientierung des Anfangsbestands zwischen Sicherheits- und Maximalbestand ermöglicht
Benutzerindividuell, frei verfügbar	Routen der Containerschiffe und entsprechende Frequenzen
	Schiffskapazitäten auf allen Routen
	Durchschnittliche paarweise Verhältnisse der Vollcontainermengen zwischen allen betrachteten Regionen
Benutzerindividuell, schätzbar	Wiederbelegungsfaktor auf Routen
	Durchschnittliche Auslastung der Schiffe mit Vollcontainern
	Wahrscheinlichkeitsverteilungen der regionalspezifischen Zeiten der Prozesse von Containerentnahme bis zur Terminalanlieferung in Zusammenhang mit einem Auftrag
	Wahrscheinlichkeitsverteilungen der regionalspezifischen Zeiten der Prozesse von Terminalankunft bis zum Zeitpunkt der Wiederverwendbarkeit in Zusammenhang mit einem Auftrag

So könnten Daten benutzerindividuell bestimmt werden, frei zugänglich sein (zum Beispiel über Internetseiten von Reedereien) oder auf Basis von Expertenwissen oder Recherchen schätzbar sein.

3.5.1 GENERIERUNG NETZWERK

Für das vorliegende Optimierungsmodell ist zunächst ein Raum-Zeit-Graph zu erstellen. Hierfür sind die als bekannt vorausgesetzten reederrelevanten Standorte als Knoten aufzufassen und in jeder Planungsperiode zu duplizieren. Die Lagerungskanten ergeben sich durch Verbinden horizontal benachbarter Knoten. Die Transportkanten können auf Basis der als bekannt vorausgesetzten Routen entsprechend des beabsichtigten Planungszeitraums und Periodenlängen eingefügt werden. Hierbei sind insbesondere Frequenzen der Routen zu beachten. Aus den Containerschiffsrouten sind die Auftragskanten assoziierbar (siehe Abbildung 3). Für alle Schiffe auf allen Routen kann für jeden angefahrenen Hafen eine benutzerabhängige Anzahl von Aufträgen erstellt und jeweils ein Entnahmeort (Off-Dock-Depot oder Hinterland) und ein auf der Route befindlicher Zielhafen bestimmt werden. Bei der Zielhafenwahl sind Häfen zu favorisieren, die sich nicht in derselben Region wie der Starthafen befinden. Daher ist eine entsprechende Zuordnung von Standorten zu Regionen vorzunehmen. Dies ist der Tatsache geschuldet, dass mit globalen Rundreisen eher Aufträge zwischen verschiedenen Regionen einhergehen. Im Zielhafen ist wiederum ein Depot im Off-Dock-Bereich oder Hinterland auszuwählen. Die Entnahmeperiode sollte dabei der Anlegeperiode des Schiffs am Hafen, abzüglich der regionalspezifischen Dauer des Prozesses der Entnahme eines Leercontainers im Depot bis zur Anlieferung des Vollcontainers im Container-Terminal entsprechen. Die Periode, in der die Container wieder verwendbar sind, ergibt sich aus der Anlegeperiode des Schiffs im Zielhafen, zuzüglich der regionalspezifischen Dauer des Prozesses der Abholung der Container vom Container-Terminal bis zur Rücklieferung (inklusive eventueller Instandhaltungsprozesse) der leeren Container im Depot. Auf die nähere Erläuterung der Generierung der Knoten und Kanten, die in Verbindung mit der Leasingoption stehen, sei im Rahmen dieses Beispiels verzichtet.

3.5.2 GENERIERUNG AUFTRAGSMENGEN

Die Generierung der Auftragsmengen (untere und obere Kapazität der generierten Auftragskanten) basiert auf drei Schritten - Grundwertberechnung, Ausgleichsmengenberechnung und Ausgleichsmengenaufteilung.

1. Grundwertberechnung

Sei S die Menge aller Schiffe und R die Menge aller Routen. Für ein Schiff $s \in S$ ist die gesamte Vollcontainermenge n_s während des betrachteten Planungszeitraums auf

$$n_s = v \cdot \kappa_s \cdot W_{r_s} \cdot \frac{n_T}{n_{T_{r_s}}}$$

schätzbar. Dabei ist κ_s die Kapazität des Schiffs s , welche im Durchschnitt mit einem Anteil von $v \in [0,1]$ mit Vollcontainern ausgelastet ist. Des Weiteren wird mit dem Wiederbelegungsfaktor W_{r_s} der Route $r_s \in R$ des Schiffs s multipliziert. Der Wiederbelegungsfaktor gibt an, wie viele Container während einer Rundreise eines Schiffs auf einem Stellplatz durchschnittlich stehen. Wenn z.B. ein Schiff s auf einer Route r nur zwischen zwei Häfen pendelt und dabei jeweils komplett entladen und wieder beladen wird, so ist $W_{r_s} = 2$. Die so errechnete Containermenge aller Aufträge eines Schiffs für eine Rundreise wird mit dem Quotienten der Anzahl der Perioden des Planungszeitraums (n_T) und der Anzahl der Perioden einer kompletten Rundreise der jeweiligen Route ($n_{T_{r_s}}$) skaliert, wobei angenommen wird, dass im Planungszeitraum jedes Schiff mindestens eine Rundreise durchführt. Sei A die Menge aller generierten Aufträge und $A_s \subseteq A$ die Menge aller mit Schiff $s \in S$ transportierten Aufträge. Alle $a \in A_s$ erhalten zunächst die Menge

$$n_a^0 = \frac{n_s}{|A_s|}.$$

Jedem mit Schiff s transportierten Auftrag wird demzufolge die gleiche Anzahl von Containern zugeordnet.

2. Ausgleichsmengenberechnung

In der Praxis sind die Auftragsverhältnisse zwischen Regionen, wie zum Beispiel Asien, Europa und den USA, unausgeglichen, wodurch die Leercontainerproblematik hauptsächlich bedingt wird. Dieser Tatsache kommt die momentane Auftragsmengenverteilung jedoch noch nicht nach. Sei mit P die Menge aller reederrelevanten Standorte und mit $Reg_1 \subset P$ sowie $Reg_2 \subset P$ zwei definierte Regionen bezeichnet. Des Weiteren sei $A_{(Reg_1, Reg_2)}$ die Menge aller Aufträge von Reg_1 zu Reg_2 und

$$A_{Reg_1, Reg_2} = A_{(Reg_1, Reg_2)} \cup A_{(Reg_2, Reg_1)}$$

die Menge aller Aufträge zwischen Reg_1 und Reg_2 . Durch

$$n_{A_{(Reg_1, Reg_2)}} := \sum_{a \in A_{(Reg_1, Reg_2)}} n_a^0$$

sei die Gesamtanzahl aller derzeit zu transportierenden Vollcontainer von Reg_1 zu Reg_2 definiert. Ferner sei $V(Reg_1, Reg_2)$ das vorgegebene und dementsprechend anzustrebende durchschnittliche Verhältnis der Auftragsmengen von Reg_1 zu Reg_2 zu den Auftragsmengen von Reg_2 zu Reg_1 . Durch Umstellung der Gleichung

$$V(Reg_1, Reg_2) = \frac{n_{A_{(Reg_1, Reg_2)}} + x}{n_{A_{(Reg_2, Reg_1)}} - x}$$

lässt sich für die Relationen eine Ausgleichsmenge $x \in \mathbb{R}$ bestimmen, um das angestrebte Verhältnis zu erhalten.

3. Ausgleichsmengenaufteilung

Im nächsten Schritt muss eine angemessene Aufteilung der im Schritt 2 bestimmten Ausgleichsmenge x zwischen den Aufträgen der beiden betrachteten Regionen stattfinden. Mit $g_a \in [0,1]$ sei der Anteil eines jeden Auftrags $a \in A_{Reg_1, Reg_2}$ an der Ausgleichsmenge x bezeichnet, wobei gilt:

$$\sum_{a \in A_{(Reg_1, Reg_2)}} g_a x = \sum_{a \in A_{(Reg_2, Reg_1)}} g_a x = x$$

Die Bestimmung der Werte g_a findet unter Beachtung mehrerer Forderungen statt:

- *Forderung 1: Die Menge n_s soll unverändert bleiben.*

Sei $A_{(Reg_1, Reg_2)}^s \subseteq A_{(Reg_1, Reg_2)}$ bzw. $A_{(Reg_2, Reg_1)}^s \subseteq A_{(Reg_2, Reg_1)}$ die Menge aller Aufträge eines Schiffs $s \in S$ mit Ausgang in Reg_1 bzw. Reg_2 und Eingang in Reg_2 bzw. Reg_1 . Mathematisch lässt sich die Forderung für zwei Regionen dann wie folgt formulieren:

$$g_s := \sum_{a \in A_{(Reg_1, Reg_2)}^s} g_a = \sum_{a \in A_{(Reg_2, Reg_1)}^s} g_a \quad \forall s \in S$$

- *Forderung 2: Die Verteilung soll in Abhängigkeit der Vollcontaineranzahl eines Schiffs stattfinden.*

Der Anteil g_s soll von der Gesamtmenge der mit dem Schiff s transportierten Vollcontainer abhängig sein, um sicherzustellen, dass die Grundmengen n_a^0 der Aufträge nicht zu unverhältnismäßig verändert werden. Hierfür lässt sich für jedes Schiff s bezüglich der Relationen zwischen Reg_1 und Reg_2 eine Gesamtmenge n_{Reg_1, Reg_2}^s durch

$$n_{Reg_1, Reg_2}^s := \sum_{a \in A_{Reg_1, Reg_2}^s} n_a^0$$

definieren.

- *Forderung 3: Die Verteilung der Ausgleichsmenge soll entsprechend dem Verhältnis der Anzahl der Aufträge eines Schiffs zwischen beiden Transportrichtungen zweier Regionen stattfinden.*

So wird erreicht, dass die Ausgleichsmenge in beiden Richtungen zwischen zwei Regionen ungefähr die gleichen Auswirkungen bezüglich der Menge einzelner Aufträge hat. Für diese Absicht wird der Parameter $U_s(Reg_1, Reg_2) \in [0,1]$ durch

$$U_s(Reg_1, Reg_2) := \frac{\min(|A_{(Reg_1, Reg_2)}^s|, |A_{(Reg_2, Reg_1)}^s|)}{\max(|A_{(Reg_1, Reg_2)}^s|, |A_{(Reg_2, Reg_1)}^s|)}$$

eingeführt, der einen Indikator für die Aus- bzw. Unausgeglichenheit der Anzahl der Aufträge darstellt. Ein $U_s(Reg_1, Reg_2)$ nahe 0 bedeutet eine hohe Unausgeglichenheit.

- *Forderung 4: Die Auftragsmenge soll von den Größen des Export- und Importhafens des Auftrags abhängig sein.*

In der Realität sind nicht alle Häfen gleich groß bzw. besitzen nicht die gleichen Umschlagszahlen. Um dieser Tatsache nachzukommen, wird bei der Generierung die Hafenumschlagszahl $u_H \in \mathbb{R}_+$ verwendet, die für jeden Hafen $H \subseteq P$ durch

$$u_H := \sum_{r \in R} \left(\sum_{s \in S_r} \kappa_s \cdot W_r \cdot n_r^H \right)$$

definiert wird. Diese setzt sich aus mehreren Indikatoren zusammen, die es ermöglichen, auf den Hafenumschlag zu schließen. Positiv wirken sich auf die Hafenumschlagszahl folgende Tatsachen aus:

- die Anzahl der Routen $r \in R$, in denen der Hafen enthalten ist,
- die Summe aller Schiffskapazitäten κ_s der Schiffe auf der entsprechenden Route r ,
- der Wiederbelegungsfaktor W_r der entsprechenden Route r ,
- die Anzahl n_r^H der Anfahrten des Hafens H auf der entsprechenden Route r während einer Rundreise.

Einem Auftrag $a \in A$ mit Exporthafen H_a^- und Importhafen H_a^+ wird jeweils die Auftragsumschlagszahl

$$u_a := \frac{u_{H_a^-} + u_{H_a^+}}{2}$$

zugewiesen.

Unter Berücksichtigung der vorangegangenen Forderungen ist eine Berechnung der Anteile g_a folgendermaßen möglich: Die Menge S_{Reg_1, Reg_2} beinhalte alle Schiffe, die sowohl Aufträge von Reg_1 nach Reg_2 als auch von Reg_2 nach Reg_1 transportieren und daher ausschließlich für die Ausgleichsbetrachtungen relevant sind. Sei

$n_{A(Reg_2, Reg_1)}$ die zu verringernde Auftragsmenge und sei $\hat{u}_{A(Reg_2, Reg_1)}^s$ die höchste Auftragsumschlagszahl aller Aufträge von Reg_2 zu Reg_1 des Schiffs $s \in S_{Reg_1, Reg_2}$. Die Berechnung des Anteils g_a für das mit dem Auftrag a verbundene Schiff $s \in S_{Reg_1, Reg_2}$ durch

$$g_a = \begin{cases} \frac{u_a}{\sum_{a' \in A_{(Reg_1, Reg_2)}^s} u_{a'}} \cdot g_s & \text{falls } a \in A_{(Reg_1, Reg_2)}^s \\ \frac{\hat{u}_{A(Reg_2, Reg_1)}^s - u_a}{\sum_{a' \in A_{(Reg_2, Reg_1)}^s} (\hat{u}_{A(Reg_2, Reg_1)}^s - u_{a'})} \cdot g_s & \text{falls } a \in A_{(Reg_2, Reg_1)}^s \end{cases}$$

mit

$$g_s = \frac{U_s(Reg_1, Reg_2) \cdot n_{Reg_1, Reg_2}^s}{\sum_{s' \in S_{Reg_1, Reg_2}} U_{s'}(Reg_1, Reg_2) \cdot n_{Reg_1, Reg_2}^{s'}}$$

erfüllt die beschriebenen Forderungen. Folgend lassen sich die Auftragsmengen n_a durch

$$n_a = \begin{cases} \text{rd}(n_a^0 + g_a x), & \text{falls } a \in A_{(Reg_1, Reg_2)} \\ \text{rd}(n_a^0 - g_a x), & \text{falls } a \in A_{(Reg_2, Reg_1)} \end{cases}$$

berechnen, wobei $\text{rd}: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{Z}$ den Rundungsoperator darstellt, der die Ganzzahligkeit gewährleistet. Zu erwähnen ist, dass bei einer derartigen Mengenberechnung auch negative Auftragsmengen entstehen können (falls $n_a^0 < g_a x$). Dieses können jedoch durch simple Umverteilungen vermieden werden, auf deren nähere Erläuterung im Rahmen dieses Beitrags verzichtet wird.

3.5.3 GENERIERUNG DEPOTGRÖßEN UND SICHERHEITSBESTÄNDE

Mithilfe der Auftragsdaten und regionalspezifischen Angaben zu den Beständen lassen sich praxisnahe Sicherheits- und Maximalbestände ableiten. Bei Schätzung des optimalen Bestands in einem Depot besteht in der Praxis unter anderem die Heuristik, sich an den wöchentlichen Auftragsaus- und -eingängen zu orientieren und diese mit einem gewissen Faktor zu versehen. Diese Heuristik ist als Generierungsvorschrift für die Depots im Off-Dock-Bereich und im Hinterland verwendbar. Sei $P_d \subseteq P$ die Menge aller Depotstandorte. Für alle Depots $p \in P_d$ können die eingehenden Auftragsmengen

$$n_p^+ := \sum_{\{a \in A | p_a^+ = p\}} n_a$$

sowie die ausgehenden Auftragsmengen

$$n_p^- := \sum_{\{a \in A | p_a^- = p\}} n_a$$

im Planungszeitraum errechnet werden. Weiter sei ein benutzerindividuell festlegbarer Faktor $m_p \in \mathbb{R}_+$ bzw. $M_p \in \mathbb{R}_+$ gegeben, der das Mengenverhältnis zwischen

den ausgehenden bzw. eingehenden Auftragscontainern und dem Sicherheitsbestand λ_p bzw. Maximalbestand κ_p angibt. Somit lassen sich die Bestandsangaben für jeden Standort $p \in P_d$ durch

$$\lambda_p = rd \left(m_p \cdot \frac{n_p^-}{\delta_t \cdot n_T} \right)$$

$$\kappa_p = rd \left(M_p \cdot \frac{n_p^+}{\delta_t \cdot n_T} \right)$$

angeben, wobei δ_t der Dauer einer Planungsperiode entspricht. Sicherheitsbestände und Depotgrößen könnten ebenfalls unter Berücksichtigung stochastischer Einflüsse berechnet werden, statt auf Heuristiken zurückzugreifen. Insbesondere für Container-Terminals sollten andere Vorgehensweisen herangezogen werden, da dort spezielle Regeln der Terminalbetreiber gelten (z.B. Strafkosten nach überschreiten einer erlaubten Lagerzeit). Hier könnten konkrete regionalspezifische Angaben verwendet werden.

3.5.4 GENERIERUNG ANFANGSBESTÄNDE

Die Generierung der Anfangslagerbestände n_p an den einzelnen Standorten $p \in P$ kann auf Basis eines regionalspezifischen Lagerungsfaktors $b \in [0,1]$ durchgeführt werden, der eine Orientierung an Sicherheits- und Maximalbestand ermöglicht. Ein praxisnaher Anfangsbestand lässt sich durch

$$n_p = \lambda_p + b(\kappa_p - \lambda_p)$$

berechnen. Bei einem Wert von $b = 0$ würde der Anfangsbestand dem Sicherheitsbestand entsprechen, wenn $b = 1$ gewählt wird, so entspricht der Anfangsbestand dem Maximalbestand. Der anfängliche Bestand der Leercontainer auf Schiffen kann wiederum mithilfe regional-spezifischer Daten berechnet werden.

4 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Numerische Untersuchungen im Rahmen der maritimen Leercontainerlogistik haben eine große Bedeutung bei der Untersuchung von organisatorischen Verbesserungsansätzen, Optimierungsmodellen und Lösungsalgorithmen mithilfe verschiedener Szenarien. Neben der Forschung sind insbesondere Akteure der maritimen Containerlogistik wie zum Beispiel Reedereien an der Untersuchung potentieller Szenarien (z.B. neue Containerschiffsrouten, neue Depotstandorte, Anpassung des Containerbestands) interessiert. Um die Szenarien durch Simulation und Optimierung zu bewerten, müssen realistische Inputdaten vorliegen. Ist dies nicht der Fall, können keine fundierten numerischen Auswertungen erfolgen. Die Generierung praxisnaher Inputdaten für diese Untersuchungen ist eine komplexe und zeitaufwändige Aufga-

be. Im Rahmen dieses Beitrags wurde ein Vorgehen zur Entwicklung einer Methode für die benutzerindividuelle Datengenerierung vorgestellt und an einem exemplarischen Anwendungsfall verdeutlicht. Das Vorgehen berücksichtigt insbesondere Wirkungszusammenhänge der Inputparameter und Einflüsse auf diese, wodurch eine Generierung vereinfacht und praxisnah gestaltet werden kann. Des Weiteren ist das beschriebene Vorgehen auf andere Teilbereiche der Logistik übertragbar. Weiterer Forschungsbedarf besteht insbesondere im Hinblick auf die Anwendung auf andere Optimierungsmodelle und eine entsprechende Implementierung in einem IT-Tool unter Mitarbeit der Praxis.

LITERATUR

- [Kob00] Kobylka, A.: Simulationsbasierte Dimensionierung von Produktionssystemen mit definiertem Potential an Leistungsflexibilität, Dissertation TU Chemnitz, Wiss. Schriftreihe des IBF Heft 24, 2000
- [CJC08] Chang, H.; Jula, H.; Chassiakos, A.; Ioannou, P.: *A heuristic solution for the empty container substitution problem*. In: Transportation Research Part E, 44(2), S. 203-216, 2008
- [CC98] Cheung, R. K.; Chen, C. Y.: *A two stage stochastic network model and solution methods for dynamic empty container allocation problem*. In: Transportation Science, 32(2), S. 142-162, 1998
- [DS09] Dong, J.-X.; Song, D.-P.: *Container fleet sizing an empty repositioning in liner shipping systems*. In: Transportation Research Part E, 45(6), S. 860-877, 2009
- [EMS05] Erera, A. L.; Morales J. C.; Savelsbergh, M. W. P.: *Global intermodal tankcontainer management for the chemical industry*. In: Transportation Research Part E, 41(6), S. 551-566, 2005
- [Gao94] Gao, G.: *An operational approach for container control in liner shipping*. In: The logistics and transportation review University of British Columbia, 30(3), S. 267-282, 1994
- [HP01] Hall, N. G.; Posner, M. E.: *Generating experimental data for computational testing with machine scheduling applications*. In: Operations Research, 49(6), S. 854-865, 2001
- [Har04] Hartmann, S.: *Generating scenarios for simulation and optimization of container terminal logistics*. In: OR Spectrum, 26, S. 171-192, 2004
- [LLWL07] Li, J. A.; Leung, S. C. H.; WU, Y.; Liu, K.: *Allocation of empty containers between multi-port*. In: European Journal of Operational Research, 182, S. 400-412, 2007
- [OZDM05] Olivo, A.; Zuddas, P.; Di Francesco, M.; Manca, A.: *An operational model for empty container management*. In: Maritime Economics & Logistics, 7(3), S. 199-222, 2005
- [SINP07] Shintani, K.; Imai, A.; Nishimura, E.; Papadimitriou, S.: *The container shipping network design problem with empty container repositioning*. In: Transportation Research Part E, 43(1), S. 39-59, 2007
- [SC09] Song, D.-P.; Carter, J.: *Empty container repositioning in liner shipping*. In: Maritime Policy and Management, 36(4), S. 291-307, 2009
- [SD10] Song, D.-P.; Dong, J.-X.: *Effectiveness of an empty container repositioning policy with flexible destination ports*. In: Transport Policy, doi:10.1016/j.tranpol.2010.06.004, 2010
- [TB09] Theofanis, S.; Boile, M.: *Empty marine container logistics: facts, issues and management strategies*. In: GeoJournal 74(1), S. 51-65, 2009
- [Unc11] United Nations Conference on Trade and Development: *Review of Maritime Transport*, 2011.
- [VLR13] Vojdani, N.; Lootz, F.; Rösner, R.: *Optimizing empty container logistics based on a collaborative network approach*. In: Maritime Economics & Logistics, 15(4), 2013.
- [VR12] Vojdani, N.; Rösner, R.: *Systematisierung, Bewertung und Modellierung der Unsicherheiten in der Leercontainerlogistik*. In: Zadek, H.: Tagungsband, 8. Fachkolloquium der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Technische Logistik e. V., Magdeburg, 26.-27. September, S. 126-134, 2012

Prof. Dr.-Ing. Nina Vojdani, Inhaberin des Lehrstuhls für Produktionsorganisation und Logistik der Universität Rostock.

Dipl.-Wirtsch.-Math. René Rösner, Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Produktionsorganisation und Logistik der Universität Rostock.

Address: Lehrstuhl für Produktionsorganisation und Logistik, Universität Rostock, Richard-Wagner-Straße 31, Haus 6, 18119 Rostock, Germany,
 Phone: +49 381-4989250, Fax: +49 381-4989252,
 E-Mail: vojdani@uni-rostock.de