



seit 1558

Friedrich-Schiller-Universität Jena

Jena Research Papers in Business and Economics

Design und Betrieb von Cross Docks

Sinja-Katharina Tiedemann und Nils Boysen

3/2009

Jenaer Schriften zur Wirtschaftswissenschaft

Working and Discussion Paper Series
School of Economics and Business Administration
Friedrich-Schiller-University Jena

ISSN 1864-3108

Publisher:

Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät
Friedrich-Schiller-Universität Jena
Carl-Zeiß-Str. 3, D-07743 Jena
www.jbe.uni-jena.de

Editor:

Prof. Dr. Hans-Walter Lorenz
h.w.lorenz@wiwi.uni-jena.de
Prof. Dr. Armin Scholl
armin.scholl@wiwi.uni-jena.de

www.jbe.uni-jena.de

Design und Betrieb von Cross Docks

Planungsprobleme für einen effizienten Warenumschlag in lagerlosen Umschlagzentren

Sinja-Katharina Tiedemann und Prof. Dr. Nils Boysen, Jena

Die hohen Anforderungen an heutige Wertschöpfungsnetzwerke in Bezug auf Flexibilität und Lieferbereitschaft stellen die Distribution vor die Aufgabe, Güter immer häufiger und in immer kleineren Mengen ausliefern zu müssen. Ein Ansatz, diesen Forderungen auf möglichst wirtschaftliche Art und Weise gerecht zu werden, besteht darin, bestehende Distributionsnetze um sogenannte Cross Docks zu erweitern. In solchen lagerlosen Umschlagzentren können dann kleine Warensendungen mit ähnlicher Destination zu vollständig ausgelasteten Lkw-Transporten konsolidiert werden, um sogenannte „economies in transportation“ realisieren zu können. Neben den strategischen Überlegungen für und wider die Einführung von Cross Docks stehen in diesem Aufsatz insbesondere die Planungsprobleme im Mittelpunkt, die es im Rahmen der Errichtung und der täglichen Prozessabläufe in einem Cross Docking Terminal zu lösen gilt.

Sinja-Katharina Tiedemann ist wissenschaftliche Hilfskraft am Lehrstuhl für ABWL/ Operations Management der Friedrich-Schiller-Universität Jena; Prof. Dr. Nils Boysen ist Inhaber desselben Lehrstuhls. Bevorzugte Forschungsgebiete: Supply Chain Management, Produktion und Logistik, Optimierungsverfahren.

1. Charakterisierung des Cross Docking-Konzeptes

Im Einzelhandel (z.B. Lebensmittel-Discounter und Elektro-Handel) wird immer mehr Umsatz mit wöchentlich variierender, stark beworbener Aktionsware gemacht. Mehr und mehr Bekleidungsketten stellen auf zwölf und mehr Sortimentswechsel pro Jahr um, und schließlich ist in der Automobilindustrie die Variantenvielfalt (und damit auch die anzuliefernde Teilevielfalt) inzwischen so hoch, dass kaum noch zwei identische Fahrzeuge innerhalb eines Jahres die Fließbänder verlassen. Dies sind nur drei Beispiele für die stetig steigenden Anforderungen bezüglich **Flexibilität und Lieferbereitschaft**

an heutige Wertschöpfungsnetzwerke. Dieser Trend stellt eine direkte Herausforderung für die Distributionslogistik dar, da immer mehr Güter in immer kleineren Mengen immer häufiger transportiert werden müssen. Bei unveränderten Prozessabläufen hat dies eine erhebliche Steigerung der Logistikkosten zur Folge.

Die zunehmende Bedeutung der Logistik im Rahmen **global agierender Supply Chains** wird auch dadurch verdeutlicht, dass die Logistikkosten heutzutage im Branchendurchschnitt durchgehend 5 bis 10% der Gesamtkosten ausmachen, die Logistikinvestitionen an den Gesamtinvestitionen aber bis zu 20% (Straube et al., 2005). Eine wichtige Investitionsalternative, um insbesondere dem Problem der häufigen Transporte in geringer Menge zu begegnen, liegt in der Erweiterung bestehender Distributionsnetze um sogenannte Cross Docks. Genauso wie herkömmliche Lagerhäuser sind Cross Docks Zwischenstationen im Distributionsprozess mit dem Unterschied, dass möglichst **kein** (zumindest aber ein sehr geringer) **Lagerbestand** im Cross Docking Terminal gehalten wird. Der Hauptzweck besteht darin, Warensendungen, die für sich genommen nicht groß genug sind, einen Lkw auszulasten, zusammen mit weiteren Gütern ähnlicher Destination zu dann komplett ausgelasteten Lkw zu konsolidieren (vgl. Swoboda/Morschett, 2000). Auf diese Weise können sogenannte „**economies in transportation**“ realisiert werden.

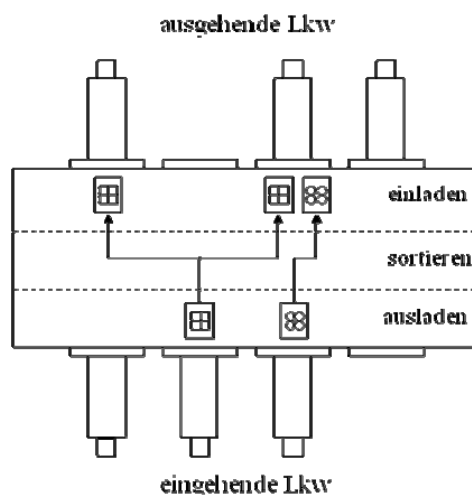


Abb. 1: Schematischer Aufbau eines Cross Docking Terminals

Ein Cross Docking Terminal ist zumeist ein längliches Gebäude in verkehrsgünstiger Lage mit einer Vielzahl an Toren. Die Tore zur Be- und Entladung der Lkw werden in diesem Zusammenhang auch als Docks bezeichnet, was sich auf die Herkunft des Terminus aus der Schifffahrt zurückführen lässt. So verdeutlicht der Terminus die Analogie zur Entladung von Schiffen über den Kai (engl. Dock) im Hafen und dem anschließenden Umladen auf andere Transportmittel (z.B. Binnenschiff, Güterzug,

Lkw). Die Umladeprozesse in Cross Docks sind in Abbildung 1 schematisch festgehalten.

Sobald eingehende Lkw das Areal eines Cross Docks erreichen, wird ihnen nach ihrer Erfassung ein Tor zur Entladung zugewiesen. Dort werden die Lieferungen zumeist innerhalb weniger Stunden abgeladen, neu kommissioniert (sortiert), zu besser ausgelasteten Fahrzeugladungen mit gleichem Ziel konsolidiert und auf ausgehende Lkw geladen. So können Transportkosten durch eine **erhöhte Fahrzeugauslastung** verringert und gleichzeitig Transporte umweltschonender gestaltet werden. Darüber hinaus profitieren auch die Kunden von einer niedrigeren Anlieferfrequenz, da eine gebündelte Lieferung schneller anzunehmen ist und die Stauwahrscheinlichkeit an der Warenannahme reduziert wird.

Diese Vorteile machen Cross Docking zu einem viel beachteten Konzept in der Unternehmenspraxis. So finden sich erfolgreiche Implementierungen in beinahe allen Branchen mit einem hohen Distributionskostenanteil, z.B.:

- Einzelhandelsketten (*Wal Mart; Stalk et al., 1992*)
- Post- und Paketdienstleistungen (*UPS; Forger, 1995*)
- Automobil-Hersteller (*Toyota; Witt, 1998*)
- Transportdienstleister (*Gue, 1999*).

Bei allen Vorteilen stellen Cross Docks aber auch eine zusätzliche Stufe im Distributionsprozess dar und bedeuten trotz des weitgehenden Verzichts auf Lagerung **zusätzliche Kosten und Zeitaufwand**. So fallen etwa zusätzliche Kosten für die Errichtung und den laufenden Betrieb des Terminals an. Weiterhin verlängert der Warenumsatz die Gesamttransportzeit (insbesondere bei entsprechenden Wartezeiten im Terminal) und gefährdet so die rechtzeitige Auslieferung der Güter beim Kunden. Somit sind **Planungsverfahren** erforderlich, die diese Nachteile möglichst begrenzen. Die entsprechenden Planungsprobleme und geeignete Methoden zur Lösung stehen im Mittelpunkt dieses Beitrages. Nach einer Systematisierung von Cross Docks in Abschnitt 2, werden die wichtigsten Planungsschritte entsprechend ihrer Hierarchie getrennt nach strategischer und operativer Planung in den Abschnitten 3 und 4 dargestellt. Abschnitt 5 beschließt den Beitrag mit einer Zusammenfassung.

2. Systematisierung von Cross Docking Terminals

Je nach Einsatzgebiet und Branche haben Cross Docks ganz unterschiedliche Aufgaben und Eigenschaften. Dementsprechend erscheint zunächst eine Systematisierung von

Cross Docks und deren unterschiedlicher Ausprägungen hilfreich. Abbildung 2 fasst drei mögliche Unterscheidungen von Cross Docking Terminals zusammen.

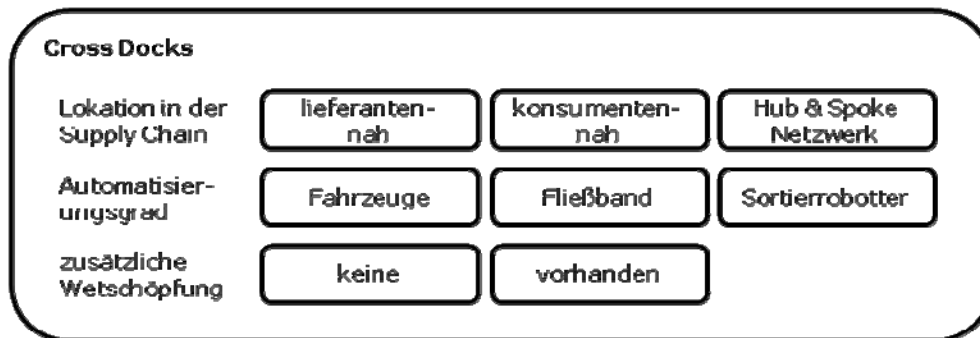


Abb. 2: Morphologischer Kasten zur Systematisierung von Cross Docks

Zunächst können Cross Docks entsprechend ihrer Lokation in Relation zu ihren vorangehenden und nachfolgenden Distributionsstufen in der Wertschöpfungskette unterschieden werden. Sie können räumlich näher bei der liefernden (**lieferantennah**) bzw. empfangenden (**konsumentennah**) Stufe angeordnet sein oder als Teil eines Hub & Spoke-Netztes beide Eigenschaften zugleich ermöglichen.

Bei der Fixierung dieser Eigenschaft gilt es sicherzustellen, dass das Cross Dock so angesiedelt wird, dass insbesondere die längeren Transportrelationen mit vollen Lkw befahren werden. Dementsprechend können sich mehrere Zulieferer innerhalb einer bestimmten Region mit dem gleichem Zielgebiet (z.B. mehrere Automobilzulieferer innerhalb eines Gewerbegebietes), deren jeweilige Warenlieferungen allein keinen Lkw auslasten, einem in der Region angesiedelten Cross Dock anschließen. Dort werden die Güter der Lieferanten gebündelt und mit vollen Lkw zum Zielgebiet (z.B. dem Automobil-Hersteller) transportiert. Ebenso können Cross Docks in der Nähe von mehreren beieinander liegenden Warenempfängern angesiedelt sein. In diesem Fall können alle Lieferungen in das Zielgebiet zunächst beim Lieferanten gebündelt werden. Im Cross Dock können die Sendungen dann entsprechend ihrer Empfänger sortiert und dann auf Auslieferungstouren verteilt werden. Auf diesem Prinzip basiert auch die sogenannte **City-Logistik**, bei der es darum geht, die Warensendungen zunächst in einem stadtnahen Terminal zu sammeln, um dann mittels gemeinsamer Auslieferungstouren den Innenstadtverkehr und die Lieferfrequenz beim Kunden zu reduzieren (vgl. *Fleischmann*, 2008, S. 17).

Die beiden genannten Anordnungen sind nur dann geeignet, wenn die Warenströme gleichmäßig in immer der gleichen Richtung verlaufen. Diese Voraussetzung ist insbesondere bei Post- und Paketdienstleistern und sonstigen Transportdienstleistern

nicht erfüllt. Hier müssen Warensendungen im gesamten Liefergebiet ausgetauscht werden. Dementsprechend bauen diese Dienstleister ein komplettes **Hub & Spoke-Netzwerk** aus mehreren Cross Docks (in diesem Zusammenhang auch Verteilzentren genannt) auf. So bestehen solche Netze in Deutschland mit 24-Stunden-Service zumeist aus etwa 20-40 Terminals (vgl. *Fleischmann*, 2008, S. 16). In diesen Netzwerken fungieren Cross Docks als Konsolidierungsstelle (Hub) sowohl für ein- und ausgehende Warensendungen von und in die entsprechende Region.

Weiterhin lassen sich Cross Docks entsprechend der innerhalb des Terminals verwendeten Automatisierungstechnik systematisieren. Palettierte Ware findet sich insbesondere im Handel sowie bei Transportdienstleistern, welche zumeist mit Hilfe von **Gabelstaplern** innerhalb des Cross Docks befördert wird. Post- und Paketdienstleister transportieren größtenteils viele kleinere kubische Elemente, welche sich in Größe und Gewicht soweit ähneln, dass die Anwendung von **Förderbändern** möglich ist. In der Automobilbranche hingegen kommen häufig **Sortierroboter** zum Einsatz, welche die für die Endmontage benötigten Teile entsprechend ihrer Einbaureihenfolge sortieren (**Just-in-Sequence**). Je höher der Automatisierungsgrad der Kommissionierungstechnik ist, desto höher sind die Investitionskosten für das Equipment; hingegen fallen die laufenden Betriebskosten (insbesondere die Personalkosten) geringer aus. Darüber hinaus können mittels Automatisierung der Durchsatz erhöht und Liefertermine zuverlässiger antizipiert werden, da Durchlaufzeiten aufgrund standardisierter Vorgänge leichter abzuschätzen sind.

Schließlich können in Cross Docks neben dem reinen Sortieren und Neuzusammenstellen der Güter auch Zusatzleistungen durchgeführt werden. Besonders das sogenannte **Postponement** lässt diese Möglichkeit besonders vielversprechend erscheinen. Im Zuge des Postponements ist man bestrebt, die Differenzierung der Grundprodukte hin zu einzelnen Varianten und Kundenaufträgen so lang wie möglich hinauszuzögern. Wenn dies gelingt, kann man das Grundprodukt kurzfristig an geänderte Bedarfe anpassen und ist nicht so stark von der Güte der Absatzprognose abhängig. Wenn also letzte Montagetätigkeiten bis zum Cross Dock hinausgezögert werden, kann erst dort im letzten Distributionsschritt die **Variantendifferenzierung** erfolgen. So können in Cross Docks beispielsweise den Produkten länderspezifische Bedienungsanleitungen oder Stromversorgungen beigelegt werden.

Neben den unterschiedlichen Erscheinungsformen von Cross Docks, lassen sich auch die Planungsprobleme, die es im Laufe des gesamten Lebenszyklus zu lösen gilt, einer

Systematisierung unterziehen. Abbildung 3 hält eine mögliche Einteilung entsprechend der Fristigkeit der Planungsprobleme in strategische und operative Problemstellungen fest. Dieser hierarchischen Anordnung folgend, werden die resultierenden Planungsprobleme in den folgenden beiden Abschnitten genauer beschrieben.

3. Strategische Entscheidungsprobleme

Die strategischen Problemstellungen umfassen insbesondere die Festlegung der Lage des Cross Docks (Abschnitt 3.1), welche Gegenstand einer (netzwerkweiten) Standortplanung ist, und die Layoutplanung (Abschnitt 3.2), welche über die äußere Gestalt eines einzelnen Terminals entscheidet.

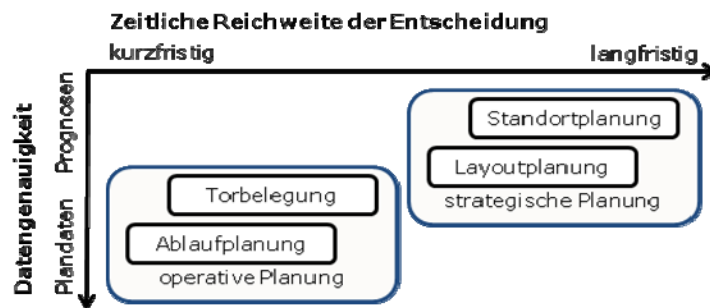


Abb.3: Systematisierung der Planungsprobleme

3.1 Standortplanung

Im Rahmen der Standortplanung muss über den geografischen Ort eines Cross Docks entschieden werden. Vergleichsweise einfach ist diese Entscheidung, sobald feststeht, ob die Ansiedelung lieferanten- oder konsumentennah (siehe Abschnitt 2) erfolgen soll. In diesen Fällen ist die geografische Region bereits soweit eingeschränkt, dass sich die Standortwahl weitestgehend auf die Suche nach einem ausreichend großen Grundstück mit günstiger Verkehrsanbindung reduziert. Wesentlich komplexer wird die Problematik, sofern ein Cross Dock Teil eines **Hub & Spoke-Netzwerkes** werden soll. Dann kann die Entscheidung nicht isoliert, alleine aufgrund der Lage zu den Lieferanten oder Absatzorten getroffen werden. Vielmehr muss die Einbindung in das bestehende Distributionsnetz beachtet werden, so dass die Lage in Relation zu weiteren, simultan geplanten Terminals zu fixieren ist. Entsprechende Planungsunterstützung für eine solche interdependente Netzwerkplanung bieten die sogenannten „**Hub-Location**“- oder auch „Terminal-Location“-Probleme (vgl. *Klose/Drexl, 2005*). Hierbei werden für ein bestehendes Netzwerk diejenigen Hub-Standorte lokalisiert, zwischen denen die zentralen Transportverbindungen (Speichen, engl. Spokes) eingerichtet werden sollen,

und über eine Hub-Zuordnung von Sendern und Empfängern innerhalb einzelner Regionen entschieden. Insbesondere gilt es im Rahmen dieser Modelle, den **Trade-Off** zwischen den einmaligen Errichtungskosten für jedes zusätzliche Cross Dock und den „economies of transportation“ entlang der zentralen Transportverbindungen zu erfassen. Die Bündelungseffekte in Form besser ausgelasteter Lkw entlang der Spokes werden dabei (meist pauschalisiert) über einen **Abschlagfaktor** $0 \leq \alpha \leq 1$ auf den normalen Transportkostensatz abgebildet, welcher entlang der „ungebündelten“ Strecken gilt.

3.2 Innerbetriebliche Layoutplanung

Nach der netzwerkweiten Standortplanung gilt es, für jedes einzelne Terminal die innerbetriebliche Layoutplanung durchzuführen. Diese Planungsaufgabe umfasst vor allem die Festlegung der **Toranzahl** und des Gebäudegrundrisses. Das Layout muss so festgelegt werden, dass die operativen Abläufe möglichst effizient abgewickelt werden können. Daher müssen für die Planung repräsentative, operative Daten (etwa über die Anzahl der abzufertigenden Fahrzeuge und die Verteilung der Sendungen auf die Fahrzeuge) antizipiert werden. Anhand dieser Prognosen wird auf die Anzahl benötigter Tore zurück geschlossen. Aufgrund der Leichtbauweise eines Terminals und der kompakten Anordnung der Tore steigen die Investitionskosten unterproportional mit der Anzahl der Tore. Dementsprechend sollte als Kapazitätsreserve die Anzahl der Tore großzügig bemessen werden.

Wichtiger erscheint hingegen die Frage nach einem **geeigneten Grundriss**. Die Standardform eines Terminals ist die eines länglichen Schlauches in Form eines „I“. Allerdings steigt mit jedem zusätzlich einzuplanenden Tor die zurückzulegende Entfernung zwischen dem linken und dem rechten Ende des Terminals und damit auch die Umschlagzeit. Daher ist es ab einer bestimmten Größe besser, nicht das „I“ weiter auszudehnen, sondern einen zusätzlichen Flügel vorzusehen, so dass auch **L-, T-, H- und X-Formen** mögliche Grundrisse darstellen (siehe Abbildung 4).



Abb. 4: Mögliche Grundrisse von Cross Docks

Zusätzliche Flügel verringern die **durchschnittliche Distanz** zwischen den Toren und beschleunigen damit den Güterumschlag. Allerdings entstehen mit jedem zusätzlichen Flügel auch Ecken, die bei einem Cross Dock problematisch sind. Man unterscheidet zwischen Innen- und Außenecken. Innere Ecken schränken die Anzahl der Tore ein, da bei Belegung der Nachbartore angedockte Fahrzeuge durch angrenzende Fahrzeuge eingeschlossen würden (siehe Abbildung 5 links). Das Problem äußerer Ecken hingegen liegt in der Knappheit des den Toren zugewiesenen Verladeplatzes. Dieser überschneidet sich, wie in Abbildung 5 (rechts) verdeutlicht ist, was neben **Platzmangel** insbesondere auch **Stauungen** der Fahrzeuge innerhalb des Terminals zur Folge haben kann.

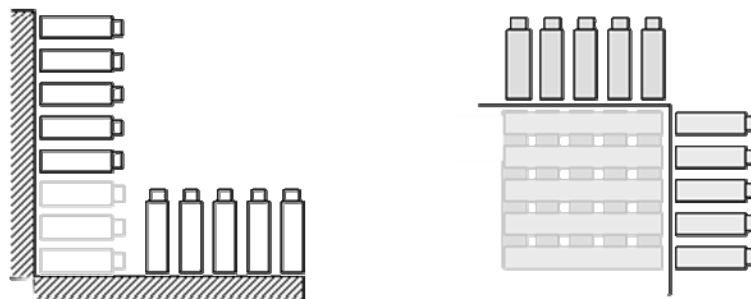


Abb. 5: Platzeinschränkung durch Innen- und Außenecken

Somit besteht bei der Frage nach der richtigen Anzahl der Flügel des Gebäudes ein **Trade-Off** zwischen der durchschnittlich zurückzulegenden Distanz innerhalb des Cross Docks und durch zusätzliche Ecken begründete Stauungen. Dementsprechend lohnen sich zusätzliche Flügel erst ab einer bestimmten Anzahl an zusätzlichen Toren. Umfangreiche Simulationsstudien von *Bartholdi* und *Gue* (2004) mit unterschiedlichen Terminallayouts legen die in Tabelle 1 zusammengefasste Designentscheidung in Abhängigkeit von der Anzahl der benötigten Tore nahe.

	Innere Ecken	Äußere Ecken	Optimal bei folgender Toranzahl
I-Form	0	4	<150
L-Form	1	5	nicht empfohlen
T-Form	2	6	150-200
H-Form	4	8	nicht empfohlen
X-Form	4	8	>200

Tab. 1: Charakterisierung empfohlener Cross Dock-Formen

Wichtiges Ergebnis ist dabei, dass die L-Form niemals einen sinnvollen Grundriss darstellt, da sie gegenüber dem „I“ keinerlei Verringerung der durchschnittlichen Distanz bewirkt, aber zusätzliche Ecken erfordert. Das gleiche Ergebnis besteht für die H-Form im Vergleich zum „X“.

4. Operative Problemstellungen

Wenn ein Cross Dock errichtet ist, gilt es im Rahmen der operativen Planung, die **täglichen Warenumschlagsprozesse** zu koordinieren. Das zentrale Problem stellt in diesem Zusammenhang die Abfertigung der ein- und ausgehenden Lkw an den Toren dar. Hierfür ist jedem Lkw ein Tor zur Be- bzw. Entladung zuzuweisen und über die Abfolge der einem Tor zugeordneten Fahrzeuge zu entscheiden. Die zeitliche Verfügbarkeit der gelieferten Güter zur Verladung auf ausgehende Lkw variiert also je nach **Zuordnung und Abfolge**. Dementsprechend hat die Lösung dieser Problemstellung entscheidenden Einfluss darauf, ob eine Warensendung auf einem ausgehenden Lkw rechtzeitig den Terminal verlassen kann, um zum vereinbarten Liefertermin den Empfänger zu erreichen. Bei diesem Problem nimmt die Zuordnung der Lkw zu Toren noch einen weiteren Einfluss. So braucht es deutlich mehr Zeit, Güter zwischen zwei weit entfernten Toren zu transportieren als zwischen direkt benachbarten, so dass die Torzuordnung zusätzlich die Umschlaggeschwindigkeit beeinflusst.

Theoretisch kann man nun mit der Torzuweisung bis zum spätesten Zeitpunkt warten und erst dann, wenn aktuell ein Tor frei wird, über die Auswahl des nächsten ein- oder ausgehenden Lkw entscheiden. Dieses Vorgehen hat den Vorteil, dass man kurzfristig auf unvorhergesehene Ereignisse, wie z.B. auf **Verspätungen** oder ein **großes Sendungsaufkommen** für eine einzelne Destination, reagieren kann. Allerdings birgt es speziell bei ausgehenden Fahrzeugen auch Probleme. Da im Rahmen der kurzfristigen Zuordnung ausgehende Fahrzeuge mit derselben Destination immer unterschiedlichen Toren zugewiesen würden, wird den Werkern (z.B. Staplerfahrer) die Orientierung innerhalb des Terminals erschwert. Zumindest ist ein **Informationssystem** erforderlich, um die Werker kurzfristig zu informieren, welchem Tor eine bestimmte Destination aktuell zugeordnet ist. Um die Investitionskosten für ein solches Informationssystem zu sparen und stattdessen den Werkern die Möglichkeit einzuräumen, die Topologie des Terminals leichter zu erlernen, werden die einzelnen Ziel-Destinationen zumeist über einen längeren Zeitraum (z.B. einen Monat) festen Toren zugeordnet. So kann etwa

festgelegt werden, dass alle Warensendungen mit dem Ziel „Hamburg“ über das Tor Nummer 15 abgewickelt werden.

Dementsprechend ist es in vielen Terminals gängige Praxis, den Ziel-Destinationen mittelfristig im Rahmen der Torbelegung feste Tore zuzuweisen (Abschnitt 4.1). Da sich eingehende Fahrzeuge laufend aufgrund unvorhergesehener Ereignisse (z.B. Verspätungen durch Stau oder Defekt) verspäten, zögert man deren Torzuordnung bis zum letzten Moment hinaus. Eingehende Fahrzeuge werden somit zumeist erst kurzfristig im Rahmen der Torzuweisung einem freien Tor zugewiesen (Abschnitt 4.2).

4.1 Torbelegung für Ziel-Destinationen

Bei der Torbelegung geht es darum, den Ziel-Destinationen über einen längeren Zeitraum feste Tore zuzuweisen, über die dann sämtliche Warensendungen ins jeweilige Zielgebiet abgewickelt werden. Dabei ist insbesondere darauf zu achten, dass solche Destinationen, die besonders viele Waren aus vielen Quellen empfangen, zentralen Toren zugewiesen werden, damit der Warenumschlag über kurze Strecken erfolgen und möglichst schnell abgewickelt werden kann. Problematisch an diesem Vorgehen ist allerdings, dass mittelfristig das Sendungsaufkommen in die einzelnen Zielgebiete und dessen Verteilung auf die eingehenden Lkw nicht mit Sicherheit bekannt sind. Dementsprechend müssen repräsentative Lkw-Ladungen von Herkunftsdestinationen prognostiziert werden. Die antizipierten Warenströme können dann durch eine entsprechende Torzuordnung der Destinationen so gelenkt werden, dass der Aufwand für den Warenumschlag (gemessen als zurückzulegende Entfernung gewichtet mit der zu transportierenden Menge) minimiert wird. Diese Problemstellung kann als **quadratisches Zuordnungsproblem** (QZP) formuliert werden (vgl. *Tsui/Chang*, 1990):

$$(QZP) \text{ Minimiere } Z(X) = \sum_{h=1}^n \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq h}}^n \sum_{j=1}^n \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq j}}^n t_{hi} d_{jk} x_{hj} x_{ik} \quad (1)$$

unter Beachtung der Nebenbedingungen:

$$\sum_{h=1}^n x_{hj} = 1 \quad \forall j = 1, \dots, n \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{hj} = 1 \quad \forall h = 1, \dots, n \quad (3)$$

$$x_{hj} \in \{0, 1\} \quad \forall h, j = 1, \dots, n \quad (4)$$

Warenmengen zwischen zwei Destinationen h und i (t_{hj}) und der Distanz zwischen den Toren j und k (d_{jk}) als Aufwand für den Warenumschatz angesetzt, sofern die Destinationen h und i den Toren j und k zugeordnet sind ($x_{hj} = x_{ik} = 1$). Weiterhin stellt die Nebenbedingung (2) sicher, dass jedem Tor genau eine Destination zugewiesen wird. Ebenso wird durch (3) gewährleistet, dass jede Destination genau ein Tor zugewiesen bekommt. Schließlich werden durch (4) die Binärvariablen definiert.

Hat man dieses Modell mit einem der vielen verfügbaren Algorithmen (vgl. *Cela*, 1998) gelöst, so fixiert man aus der Menge aller Destinationen diejenigen, die Ziel-Destinationen darstellen, und reserviert die entsprechenden Tore. Herkunftsdestinationen werden hingegen nicht fixiert. Alle verbleibenden Tore stehen für den Wareneingang zur Verfügung und werden lediglich kurzfristig im Rahmen der Torzuweisung den eingehenden Lkw zugeordnet.

4.2 Torzuweisung für eingehende Lkw

Schließlich muss kurzfristig über die Abfertigung der eingehenden Lkw entschieden werden. Dabei handelt es sich um ein recht komplexes Ablaufplanungsproblem, welches unter dem Namen **Truck Scheduling** in den letzten Jahren vielfältige Beachtung in der Literatur gefunden hat (z.B. *Yu/Egbelu*, 2006; *Boysen* 2009; *Boysen et al.*, 2009; *Chen/Lee*, 2009). Allerdings gehen diese Ansätze stets von einer **deterministischen Entscheidungssituation** aus, bei der alle benötigten Daten mit Sicherheit bekannt sind. In der Realität ist diese Prämisse jedoch häufig nicht gegeben. Insbesondere die Ankunftszeiten lassen sich zumeist nicht zuverlässig antizipieren, da sich Lkw regelmäßig durch Staus verspäten oder bei einer günstigen Verkehrslage auch verfrüht ankommen können. Dementsprechend besteht in der Praxis ein **Online-Problem**, bei dem kurzfristig auf eine veränderte Situation reagiert werden muss. Immer dann, wenn ein veränderndes Ereignis eintritt, wird ausschließlich mit den aktuell wartenden Lkw und den tatsächlich verfügbaren Toren eine Torzuweisung anhand einer **Prioritätsregel** vorgenommen. Dabei werden zwei Arten von Ereignissen unterschieden:

- Wenn das Cross Dock **wenig ausgelastet** ist, dann sind Tore frei. Als Ereignis kommt ein neuer Lkw an, für den nun eines der freien Tore ausgewählt werden muss. Als Prioritätsregel zur Auswahl kann dabei das Tor gewählt werden, welches für den aktuellen Lkw den geringsten Aufwand für den Warenumschatz

(gemessen als zurückzulegende Entfernung zu den Toren der jeweiligen Ziel-Destinationen gewichtet mit den zu transportierenden Mengen) aufweist.

- Andernfalls kann ein Cross Dock auch **voll ausgelastet** sein, so dass alle Tore belegt sind und mehrere Lkw bereits auf dem Hof auf ihre Abfertigung warten. In diesem Fall macht als Ereignis ein fertig entladener Lkw ein Tor frei, so dass per Prioritätsregel eines der wartenden Fahrzeuge zur Entladung am nun freien Tor ausgewählt werden muss. Hier kommen unterschiedliche Maßzahlen in Frage, wie etwa die längste Wartezeit seit der Ankunft, den (gewichteten) frühesten Liefertermin der geladenen Sendungen oder die meisten Sendungen für den am längsten wartenden ausgehenden Lkw.

Anhand dieser Prioritätsregeln kann die Zuweisung der eingehenden Lkw zu freien Toren getroffen werden. Im konkreten Praxisfall sollten für die Auswahl geeigneter Regeln **Simulationsversuche** mit repräsentativen Lkw-Ladungen und Verteilungen der Ankunftszeiten durchgeführt werden.

5. Zusammenfassung

Der vorliegende Beitrag befasst sich mit den Gründen für die Einführung von Cross Docks und den Entscheidungsproblemen, die es im Laufe der Errichtung und des Betriebs eines solchen lagerlosen Umschlagzentrums zu lösen gilt. Während auf strategischer Ebene die Standort- und Layoutplanung durchzuführen ist, erfordert die operative Planung eine Zuweisung der Lkw zu Toren und die Sequenzierung aller einem Tor zugewiesenen Lkw. Insbesondere im Rahmen der operativen Planung behandelt die wissenschaftliche Literatur bis dato lediglich stilisierte Problemstellungen, in denen etwa das Cross Dock auf lediglich zwei Tore reduziert wird (z.B. *Yu/Egbelu*, 2006; *Boysen et al.*, 2009; *Chen/Lee*, 2009). Solche reduzierten Modelle lassen häufig eine sehr elegante mathematische Lösung zu und sind geeignet die Grundstruktur der Probleme zu untersuchen. Allerdings stellen sie damit nur Zwischenschritte in Bezug auf die eigentlichen Praxisprobleme dar. Weitere Forschung ist hier dringend nötig, um zukünftig praxisrelevante Entscheidungsunterstützung für die in diesem Beitrag beschriebenen Probleme liefern zu können.

Literatur

- Bartholdi, J.J., K.R. Gue*, The best shape for a Crossdock, in: *Transportation Science*, Vol. 38 (2004), S. 235-244.
- Boysen, N.*, Truck Scheduling at zero-inventory cross docking terminals, erscheint in: *Computers & Operations Research* (2009).

- Boysen, N., M. Fliedner, A. Scholl*, Scheduling inbound and outbound trucks at cross docking terminals, erscheint in: OR Spectrum (2009).
- Straube, F., H.-C. Pfohl, W. A. Günthner, W. Dangelmaier*, Trends und Strategien in der Logistik, Hamburg 2005.
- Cela, E.*, The quadratic assignment problem: theory and algorithms, Dordrecht 1998.
- Chen, F., C.-Y. Lee*, Minimizing the makespan in a two-machine cross-docking flow shop problem, in: European Journal of Operational Research, Vol. 193 (2009), S. 59-72.
- Fleischmann, B.*, Systeme der Transportlogistik, in: *Arnold, D. et al.* (Hrsg.), Handbuch Logistik, 3. Aufl., Berlin 2008, S. 12-18.
- Forger, G.*, UPS starts world's premiere cross-docking operation, in: Modern Material Handling, Vol. 50 (1995), S. 36-38.
- Gue, K.R.*, The effect of trailer scheduling on the layout of freight terminals, in: Transportation Science, Vol. 33 (1999), S. 419-428.
- Klose, A., A. Drexl*, Facility location models for distribution system design, in: European Journal of Operational Research, Vol. 162 (2005), S. 4-29.
- Swoboda, B., D. Morschett*, Cross Docking in der Konsumgüterdistribution, in: Wirtschaftswissenschaftliches Studium (WiSt), Vol. 29 (2000), S. 331-334.
- Tsui, L.Y., C.-H Chang*, A microcomputer based decision support tool for assigning dock doors in freight yards, in: Computers & Industrial Engineering, Vol. 19 (1990), S. 309-312.
- Witt, C.E.*, Crossdocking: Concepts demand choice, in: Material Handling Engineering, Vol. 53 (1998), S. 44-49.
- Yu, W., P.J. Egbelu*, Scheduling of inbound and outbound trucks in cross docking systems with temporary storage, in: European Journal of Operational Research, Vol. 184 (2006), S. 377-396.