

## **Simulation von Strategien der Hoflogistik in Sortierzentren**

### ***Simulation of Yard Management Strategies in Logistics Terminals***

Ina Goedicke, Simon Deymann  
Lehrstuhl für Verkehrssysteme und -logistik,  
Technische Universität Dortmund, Dortmund (Germany)  
goedicke@vsl.mb.tu-dortmund.de, deymann@vsl.mb.tu-dortmund.de

**Abstract:** It is a main challenge for transportation service providers to increase the handling performance within their network nodes because time slots are restricted due to up- and downstream processes. In this paper, strategies to improve the efficiency at the interface between the external processes on the road and the internal handling processes are developed and afterwards analysed by material flow simulation. The experiments show that efficient organisation of yard management processes has a major impact on the handling performance of a logistics terminal.

### **1 Einleitung und Motivation**

Anbieter von Transportdienstleistungen haben einen hohen Standardisierungsgrad ihrer Prozesse erreicht, außerdem sind sowohl die Netzstrukturen des Transports als auch die Sortierung in den Netzknoten bereits in hohem Maße optimiert. Um das volle Potenzial dieser Möglichkeiten ausschöpfen zu können, ist jedoch im nächsten Schritt die Leistung an der Schnittstelle zwischen den außerbetrieblichen und innerbetrieblichen Prozessen auf dem Hof der Sortierzentren von Bedeutung (CLAUSEN u.a. 2006, S. 30). Die Organisation und die Steuerung der Prozesse der Hoflogistik sind für die Andienung der aus dem Transport kommenden Sendungen an die Sortierung verantwortlich. Um eine optimale Umschlagleistung in der zur Verfügung stehenden Zeit erzielen zu können, muss die Zuführung der Behälter durch spezielle Rangierfahrzeuge besonders effizient und schnell erfolgen. Verstärkt wird diese Herausforderung auf den Hofgeländen durch einerseits immer kürzer werdende Zeitfenster, z.B. durch die veränderten Lenk- und Ruhezeiten für Lkw-Fahrer und andererseits längere Transportzeiten aufgrund von stärkeren Konsolidierungen der Touren. In den heutigen Systemen wird das operative Steuerungspersonal zudem sehr stark durch die Organisation der Hofverkehre belastet, daher werden in diesem Beitrag durch die Effizienzsteigerung auch Automatisierungsmöglichkeiten für die Auftragsgenerierung und -zuweisung für Rangierfahrzeuge untersucht.

## 2 Herausforderung Hoflogistik und Modellierung

Aufgrund der hohen Dynamik und der komplexen Abhängigkeiten der Prozesse der Hoflogistik ist eine umfangreiche Analyse anhand des realen Systems kaum durchführbar. Aus diesem Grund ist es nicht sinnvoll, einzelne Teilbereiche ausschließlich mit Hilfe von Verfahren der mathematischen Optimierung zu verbessern, da nicht im Vorhinein bekannt ist, welche Teilbereiche den größten Einfluss auf die Systemleistung haben. Die Simulation hingegen bietet die Möglichkeit, das System mit seinen komplexen Entscheidungsstrukturen über einen zeitlichen Verlauf abzubilden und sowohl Kennzahlen für die Effizienz des gesamten Prozesses zu ermitteln als auch neue Steuerungsstrategien zu implementieren und deren Auswirkungen zu untersuchen. So kann eine fundierte Aussage über die Effizienz und Engpässe des Ist-Systems getroffen und darauf aufbauend der Effekt von Optimierungsmöglichkeiten der Prozesse quantifiziert werden. Ziel ist es, durch die Modellierung eines bestehenden Systems zunächst eine Möglichkeit zur Analyse der Effizienz des Ressourceneinsatzes zu schaffen, die in den meisten heutigen Systemen nicht gegeben ist. Im Anschluss werden Strategien zur Verbesserung der Ressourcennutzung implementiert und ihre Auswirkungen auf die Umschlagleistung untersucht. Besondere Herausforderungen sind dabei sowohl die weiten Transportwege auf typischen Grundstücken zwischen 30.000 und 100.000 m<sup>2</sup> als auch begrenzte Stellplatzkapazitäten, die optimal genutzt werden müssen. Wegenetzoptimierungen durch ein verändertes Layout, wie sie bei Containerterminals bereits erfolgreich untersucht wurden, sind nicht möglich (DUINKERKEN u.a. 2006).

### 2.1 Modellierung des Systems

Als Grundlage zur Modellierung der relevanten Strukturen ist eine Analyse der entsprechenden Prozesse in einem Sortierzentrum vorgenommen worden. Die Funktionsbereiche lassen sich dabei in statische und dynamische Komponenten unterteilen. Die statischen Komponenten wie z.B. der Pfortner, die Ladestellen und Warteplätze, formen das Anlagenlayout und sind somit die Grundlage des Modells. Ihre wesentlichen Eigenschaften wie z.B. die Größe und die Position auf dem Gelände werden mittels eines objektorientierten Modellierungsansatzes maßstabsgetreu entsprechend des realen Systems in der Simulationsumgebung TransSim Node abgebildet. Diese Simulationssuite welche speziell für Umschlaganlagen entwickelt wurde, basiert auf der Software Enterprise Dynamics der Fa. Incontrol (NEUMANN, DEYMANN 2008, S. 285 f.).

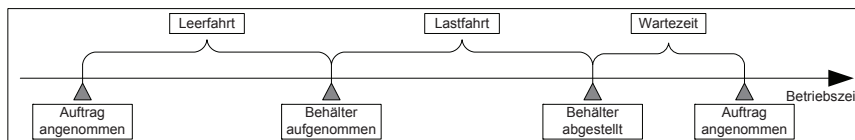
Die ca. 300 Tore, Warteplätze sowie der Pfortner repräsentieren die Quellen und Senken der Transporte und werden mittels eines Wegenetzes miteinander verbunden. Die einzelnen Wegabschnitte können anschließend hinsichtlich ihrer Kapazität und den möglichen Fahrtrichtungen parametrisiert werden. Im betrachteten Modell ist keine Kapazität eingestellt worden, da ausreichend Platz für Begegnungen vorhanden ist und die Fahrzeuge durch Menschen gesteuert werden. Die Fahrzeit resultiert im Modell aus der Distanz sowie den technischen Parametern der Fahrzeuge (Beschleunigung, max. Geschwindigkeit, Bremsen).

Im Gegensatz zu den statischen Komponenten bewegen sich die dynamischen Objekte durch das System (Sendungen, Wechselbehälter, Fahrzeuge). Im vorliegenden System sind die ankommenden Sendungen in Wechselbehältern gebündelt

und werden von Lkw in die Anlage gebracht. Entsprechend des Ladungstyps wird dem Behälter bei Ankunft durch den Pfortner eine geeignete Entladestelle zufällig zugewiesen. Der Lkw fährt dann die entsprechende Ladestelle innerhalb der Anlage an, setzt den Wechselbehälter dort ab und verlässt das Gelände unbeladen. Die dafür notwendige Steuerung der Fahrzeuge (LKW kommt mit zwei Behältern und verlässt die Anlage ohne Behälter) erfolgt über einen zentralen Steuerungsbaustein, das sog. Yard Management, in dem entsprechende Fahrtenketten vordefiniert sind. An der Ladestelle werden dann die Sendungen aus dem Behälter entladen, wobei pro Sendung eine Prozesszeit für den Entladevorgang hinterlegt ist. Befinden sich Sendungen unterschiedlichen Typs im Behälter, bekommt dieser anschließend eine weitere Ladestelle zugewiesen, an der die anderen Sendungstypen entladen werden können. Einem vollständig entladenen Behälter wird ein Warteplatz auf dem Gelände zugewiesen, auf dem dieser bis zu seiner nächsten Nutzung verbleibt. Sollte bei Ankunft kein passendes Tor für die Entladung eines Behälters zur Verfügung stehen, bekommt der voll beladene Behälter ebenfalls einen Warteplatz zugewiesen, auf dem dieser wartet bis eine entsprechende Ladestelle frei wird. Da die konventionellen Fahrzeuge der Transportunternehmer die Anlage direkt nach Abstellen der beladenen Behälter verlassen, ist der Einsatz der speziellen Rangierfahrzeuge notwendig um die Behälter innerhalb der Anlage zwischen den Ladestellen und Warteplätzen transportieren zu können. Die dynamisch im System resultierenden Aufträge werden im Yard Management in einer Tabelle verwaltet. Dabei können sowohl der Zielort eines Behälters als auch die Zuweisung des Auftrages zu einem Rangierfahrzeug mittels Strategien beeinflusst werden.

## 2.2 Messung der Systemleistung

Nach der Modellierung des Systems im Ist-Zustand können Untersuchungen zum Einsatz der Rangierfahrzeuge gemacht werden. Für die Effizienzanalyse ist es notwendig den Anteil von Lastfahrten, Leerfahrten und Wartezeiten über die Betriebszeit eines Fahrzeugs oder über alle Fahrzeuge zu ermitteln.



**Abbildung 1:** Unterteilung der Betriebszeit eines Rangierfahrzeugs

Wie in Abbildung 1 zu erkennen, werden als Lastfahrten alle Fahrten eines Rangierfahrzeugs bezeichnet, in denen ein Behälter von einem Quellort zu einem Zielort transportiert wird, um den nächsten Prozess des Sendungsumschlags durchlaufen zu können (z.B. Entladung). Zwischen zwei Lastfahrten muss immer eine Leerfahrt ausgeführt werden, da der nächste zu transportierende Behälter nicht direkt am Zielort des vorherigen Behälters aufgenommen werden kann (Anschlussfahrt). In den Wartezeiten stehen keine Aufträge für ein Fahrzeug zur Verfügung. Neben den in Abbildung 1 dargestellten Zeitanteilen an der Betriebszeit kann die Verteilung der Aufträge auf die Fahrzeuge im Zeitverlauf analysiert werden. Besonders wichtig ist darüber hinaus die Untersuchung des Zusammenhangs zwischen den Hofprozessen und der Umschlagleistung. Dazu wird für jeden Behälter die Andienungszeit ermit-

telt, welche die Wartezeit des Behälters von der Ankunft im System bis zum Beginn der Entladung beschreibt.

Aktuelle Hofsteuerungssysteme bilden diese strenge Differenzierung der Betriebszeit nur ungenügend ab, da insbesondere der Faktor Mensch bei unterschiedlicher Arbeitsweise eine Auswertung erschwert. Zudem können heute die Wechselwirkungen mit dem Sortiersystem nicht untersucht werden. Um die Potenziale von automatisierbaren Strategien zur Stellplatz- und Auftragsvergabe ausweisen zu können, wurde anhand von realen Systemlasten von drei Tagen aus einem Sortierzentrum zuerst die Ist-Situation simuliert. Als Regel für die Vergabe der Rangieraufträge und der Zuweisung von Stellplätzen wurde nach Prozessaufnahmen die FIFO-Strategie gewählt. Die Simulation zeigt, dass die Ausführung eines Auftrags im Schnitt 3,04 Min dauert, was durch Auswertungen der Zeitstempel im Hoflogistiksystem validiert werden konnte. Von der Prozesszeit entfallen im Mittel 38 % auf die Leerfahrt und 62 % auf die Lastfahrt. 16 % der Behälter können in diesem System quasi sofort innerhalb von 5 Min. angedient werden, 38 % der Behälter warten jedoch über 20 Min. auf den Beginn der Entladung.

### **3 Die Auswirkungen von Optimierungsstrategien**

Anhand des Simulationsmodells wird anschließend überprüft, wie sich eine Verbesserung der Rangierfahrzeugnutzung, d.h. die Einflussnahme auf Last- und Leerfahrzeiten, auf die Systemleistung auswirkt. Durch eine Änderung der Fahrzeugsteuerung kann bei dynamisch auftretenden Aufträgen Einfluss auf die Länge der Leerfahrten genommen werden (Auftragsvergabe). Die Länge der Lastfahrten wird durch die Vergabe von Stellplätzen beeinflusst. In diesen Fällen ist der Quellort eines Auftrags bekannt und ein geeigneter Zielort für den Behälter muss gefunden werden.

#### **3.1 Leerfahrten - Auftragsvergabe**

Für die Zuweisung der Aufträge zu Rangierfahrzeugen wird im Ist-System die Anwendung des FIFO-Prinzips vorausgesetzt. Einem frei werdenden Fahrzeug wird der älteste Auftrag im System zugeordnet bzw. einem auftretenden Auftrag wird das erste freie Fahrzeug in der internen Verwaltungstabelle zugewiesen.

Die Verkürzung der Leerfahrten ist bereits in vergleichbaren Transportsystemen untersucht worden (z.B. Gabelstaplerleitsysteme, AGV). Grundsätzlich zeigen diese Analysen, dass eine Zuordnung auf Grundlage der kürzesten Entfernungen eine sehr gute Möglichkeit darstellt, die Leerfahrten im System zu verkürzen. Dazu wird beispielhaft ein iteratives Verbesserungsverfahren basierend auf einer Nachbarschaftssuche genutzt (GOEL, GRUHN 2008). Die Anwendung dieser ausschließlich entfernungsbezogenen Entscheidungsregeln hat jedoch den Nachteil, dass in durch das Systemlayout ungünstig gelegenen Bereichen lange Wartezeiten bis zur Auftragsdurchführung entstehen. Die Zuordnungsentscheidung sollte daher auf der Basis mehrerer Kriterien getroffen werden, um diesen Zusammenhang zu berücksichtigen (KLEIN, KIM 1996, S. 109). Es existieren darüber hinaus weitergehende Ansätze, die vorausschauende Informationen über die Aufträge und Fahrzeuge einbeziehen (z.B. ICHOUA u.a. 2006). Die für die Anwendung eines

solchen Verfahrens in der Hoflogistik notwendigen Informationen sind aufgrund der Dynamik des Systems jedoch nur schwierig zu ermitteln bzw. nur mit hohem finanziellen Aufwand bereitstellbar. Andere Verfahren der Auftragsvergabe basieren auf der Annahme, dass bei Zuweisung der Aufträge auch die Änderung bereits bestehender Zuordnungen erlaubt ist. Diese Methoden sind jedoch nicht für fahrergeführte Transportsysteme geeignet (LE-ANH, DE KOSTER 2005, S. 1727). MÖHRING u.a. (2004) präsentieren einen Algorithmus zur Steuerung von AGVs welcher Kollisionen und Blockierungen (deadlocks und livelocks) verhindert. Die Berechnungen der kürzesten Wege unter Berücksichtigung von Zeitfenstern werden in Echtzeit vorgenommen. Die Ergebnisse zeigen bereits deutliche Verbesserungen gegenüber statischen Ansätzen. Da diese Nebenbedingungen im vorliegenden manuell gesteuerten Rangiersystem nicht notwendig sind, bieten diese komplexen Verfahren nur einen geringen Vorteil, weshalb in diesem Stadium der Aufwand einer Abbildung nicht gerechtfertigt ist. Vielmehr sollen die Auswirkungen der Kombination der Last- und Leerfahrtoptimierung untersucht werden.

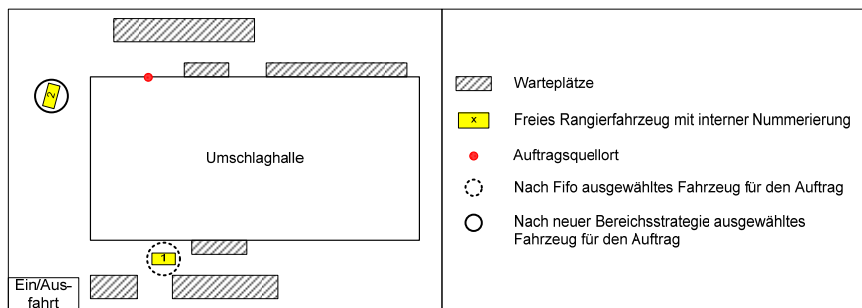


Abbildung 2: Schematische Darstellung der Auftragsvergabe

Vor diesem Hintergrund ist für den vorliegenden Fall eines fahrergeführten Systems ein einfacher Ansatz ohne Einbezug vorausschauender Informationen gewählt worden, welcher auf einer Unterteilung des Anlagengeländes in Bereiche basiert. Wie in Abbildung 2 schematisch dargestellt, wird für jedes frei werdende Fahrzeug überprüft, ob sich ein Auftragsquellort im selben Bereich befindet und der jeweils älteste Auftrag zugeordnet. Dies verkürzt die Leerfahrten und verhindert gleichzeitig, dass Aufträge zu lange Wartezeiten haben. Sollte sich im gleichen Bereich keine Zuordnungsmöglichkeit ergeben, ist jeweils ein nahegelegener Bereich definiert, in dem die Suche durchgeführt wird. Tritt ein Auftrag auf, wird nach dem gleichen Prinzip nach einem freien Fahrzeug gesucht. Sollte nach den verbesserten Strategien keine Zuordnung möglich sein, erfolgt die Anwendung des FIFO-Prinzips, d.h. sofern ein freier Auftrag und ein freies Fahrzeug existieren, werden diese immer verknüpft.

### 3.2 Lastfahrten - Stellplatzvergabe

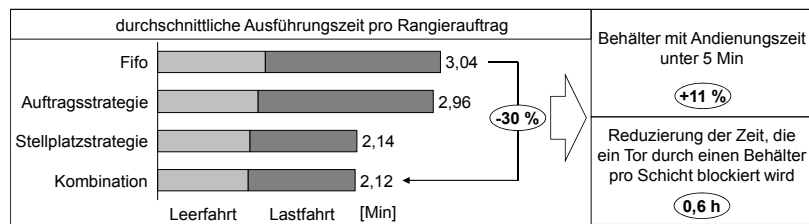
Die Länge der Lastfahrten wird durch die Zuweisung der Behälter zu bestimmten Wartepätzen und Ladestellen festgelegt. Bei einer Anwendung des FIFO-Prinzips, d.h. der Zuweisung des ersten passenden freien Stellplatzes in den internen Verwaltungstabellen, wird die Länge der Lastfahrt relativ willkürlich festgelegt. Eine Verkürzung der mittleren Weglänge für die Lastfahrten kann erreicht werden, indem der

Zielort eines Behälters möglichst nah zu seinem Quellort ausgewählt wird. Dieses Prinzip entspricht der Wahl des nahegelegensten freien Lagerplatzes für einen Artikel in einem Regalsystem (TEN HOMPEL, SCHMIDT 2008, S. 31). Zur Umsetzung dieser Vorgabe bekommen die Behälter nur Stellplätze innerhalb der Bereiche zugewiesen, in denen sie sich befinden. Ein Behälter, der in Bereich A entladen worden ist, bekommt somit auch innerhalb von Bereich A seine weitere Ladestelle bzw. seinen Warteplatz zugewiesen. So wird durch ein einfaches Vorgehen eine Verbesserung gegenüber dem FIFO-Prinzip erreicht und eine Grundlage zur Untersuchung der Auswirkungen auf die Lastfahrt geschaffen.

### 3.3 Durchführung und Auswertung der Experimente

Auf Basis der Kennzahlen des Ist-Systems werden die beiden Strategietypen getrennt voneinander variiert, um die jeweiligen Einflüsse auf das System zu messen. Wird die Vergabe der Rangieraufträge nach der im vorherigen Abschnitt beschriebenen Vorgehensweise ausgeführt, kann die durchschnittliche Ausführungszeit für einen Auftrag auf 2,96 Min verkürzt werden, indem die Länge der Leerfahrten reduziert wird.

Bei einer ausschließlichen Beeinflussung der Platzvergabe an die Behälter reduziert sich die durchschnittliche Ausführungszeit eines Auftrags auf 2,14 Min, also um fast 30 %. Da durch die Platzvergabe innerhalb der Bereiche insgesamt kürzere Strecken für die Aufträge entstehen, wird in diesem Fall sowohl die Länge der Last- als auch der Leerfahrt verringert.



**Abbildung 3:** Auswirkungen der veränderten Strategien

Wird nun zusätzlich zur modifizierten Stellplatzvergabe auch die Auftragsvergabe an die Rangierfahrzeuge verbessert, kann die durchschnittliche Ausführungszeit auf 2,12 Min reduziert werden. Durch die verbesserte Stellplatzzuweisung reduziert sich damit absolut das Potenzial einer bereichsbezogenen Auftragszuweisungsstrategie.

Die schnellere Ausführung der Aufträge führt ebenfalls zu einer Verbesserung der Andienungszeit, es kann nun bei 27 % der Behälter quasi sofort innerhalb von 5 Min. nach Ankunft mit der Entladung begonnen werden. Nur noch 28 % der Behälter müssen länger als 20 Min. auf den Beginn der Entladung warten. Es zeigt sich also insgesamt, dass sich sowohl die Beeinflussung der Last- als auch jene der Leerfahrten positiv auf das System auswirkt. Eine entscheidende Auswirkung hat die kontrollierte Stellplatzvergabe, welche die Lastfahrten bestimmt, da diese maßgeblich die Andienungszeit der Behälter beeinflusst. Die Verbesserung aufgrund der modifizierten Auftragsvergabe an die Rangierfahrzeuge ist weniger signifikant. Im Durchschnitt wird die Zeit, in der ein eigentlich abgefertigter Behälter eine Entlade-

stelle blockiert pro Schicht und Ladestelle um etwa 0,6 h reduziert. So kann die Entladeleistung unter Annahme gängiger Werte um ca. 36 Paletten bzw. 400 Pakete pro Ladestelle gesteigert werden (entspricht je nach transportiertem Sendungsmix 0,5-1 Wechselbehälter).

Im Anschluss an die Analyse der grundsätzlichen Strategievarianten werden weitere Szenarien simuliert. Das Modell bietet u.a. die Möglichkeit, die Auswirkung eingeschränkter Betriebszeiten der Rangierfahrzeuge und höherer eingehender Systemlasten zu untersuchen. Diese Systemänderungen führen zu höheren Auftragslasten für die Rangierfahrzeuge, da generell mehr Rangieraufträge ausgeführt werden müssen bzw. die Aufträge in bestimmten Zeitlagen stärker gestaut werden. Es zeigt sich, dass die Verkürzung der Anschlussstrecken durch die Modifizierung der Auftragsvergabe an die Fahrzeuge dann einen deutlicheren Effekt hat. Je kleiner das Zeitfenster für die Bearbeitung der Aufträge ist und je weniger Fahrzeuge im Einsatz sind, umso größer ist die Möglichkeit die Leerfahrtzeit zu verkürzen. Dies ist darin begründet, dass sich ausführbare freie Aufträge dann umso stärker aufstauen und für das Fahrzeug eine anschlussstreckenoptimalere Auswahl möglich wird. Gegebenenfalls kann also eine verbesserte Strategie zu einer Einsparung von einzusetzender Fahrzeugkapazität im System führen. Im Ist-System werden 58 % der eingesetzten Fahrzeugkapazität in Stunden, welche mit den Personalkosten der Fahrer gleichgesetzt werden kann, zur reinen Ausführung der Aufträge genutzt. Durch die Anwendung der modifizierten Strategien sinkt dieser Zeitanteil auf 40 % ab. Dies bedeutet einerseits, dass variable Kosten für die Fahrzeuge (Kraftstoff und Verschleiß) eingespart werden können, da kürzere Strecken zurückgelegt werden. Zusätzlich kann die insgesamt zur Verfügung gestellte Fahrzeugkapazität reduziert werden und somit eine Einsparung von Personalkosten erfolgen. Dies bedeutet, dass sich ein finanzieller Vorteil durch die Anwendung der modifizierten Strategien ergibt, und gleichzeitig die Andienungszeit der Behälter verkürzt, d.h. eine Steigerung der Systemleistung erreicht wird.

Sollen die Strategien in der Praxis eingesetzt werden, lässt sich die Leerfahrtoptimierung allein durch Ortungssysteme für die Rangierfahrzeuge und ein Verwaltungsprogramm für die Behälter auf dem Hofgelände umsetzen. Die Stellplatzzuweisung, die sich als ein entscheidender Faktor dargestellt hat, ist jedoch deutlich komplexer in ihrer Realisierung. Die Zuweisung von nahen Warteplätzen für leere Behälter ließe sich in einem ersten Schritt im realen System noch recht einfach automatisieren. Die Zuweisung von ankommenden Behältern, die nicht direkt an ein Tor angedient werden können, ist jedoch schon ungleich komplexer und kritischer für einen optimalen Umschlagprozess in der Halle. Für eine optimale Zuweisung müssen für diese Behälter vorausschauende Informationen zu den Entladevorgängen an allen Toren vorliegen. Zusätzliche Komplexität resultiert aus der Kombination der beiden Stellplatzzuweisungstypen, da beide um eine begrenzte Anzahl Stellplätze konkurrieren.

#### **4 Zusammenfassung und Ausblick**

Um die Auswirkungen modifizierter Strategien an der Schnittstelle Rampe auf die Prozesseffizienz einer logistischen Anlage analysieren zu können, wurde ein Simulationsmodell auf der Grundlage von Daten aus einem realen System entwickelt. Die

Anwendung einer ereignisgesteuerten Simulation eignet sich aufgrund der komplexen und dynamischen Abhängigkeiten sehr zur Abbildung und Untersuchung der Hoflogistik. Zunächst erfolgte die Modellierung eines bestehenden Systems, anschließend wurden neue Strategien zur Auftrags- und Stellplatzvergabe konzipiert und implementiert. Die Auswertung der Simulationsexperimente zeigt, dass je nach Ausgangssituation eine deutliche Verkürzung der Ausführungszeiten der Rangieraufträge um bis zu 30 % durch die Anwendung der modifizierten Strategien erreicht werden kann. Dadurch lassen sich die Andienungszeiten der Behälter verbessern und somit die Umschlagleistung der Anlage erhöhen. Die verschiedenen Strategien beeinflussen das System jedoch nicht in gleicher Weise. Mit einer kombinierten Anwendung der modifizierten Strategien zur Auftrags- und Stellplatzvergabe lässt sich vor allem in den kritischen Zeitfenstern, in denen eine große Menge an Aufträgen durchgeführt werden muss, eine Effizienzsteigerung erbringen. Aus einer Automatisierung des Rangierdienstes ergibt sich wesentliches zusätzliches Potenzial, wenn Wartezeiten auch zu einem erheblichen Teil durch das Steuerungspersonal verursacht werden. Weitere Optimierungen der Fahrstrecken können ggf. durch die Nutzung vorausschauender Informationen erreicht werden.

## Literatur

- CLAUSEN, U.; CHMIELEWSKI, A.; SCHLÜTER, O.; STEIN, F.: Schnittstellenoptimierung in logistischen Anlagen. In: Software in der Logistik. Hrsg.: TEN HOMPEL, Michael. München: Huss, 2006, S. 30-34.
- DUINKERKEN, M.; OTTJES, J.; LODEWIJKS, G.: Comparison of Routing Strategies for AGV Systems using Simulation. In: Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference. Hrsg.: PERRONE L. u.a.. 2006, S. 1523-1530.
- GOEL, A.; GRUHN, V.: A General Vehicle Routing Problem. European Journal of Operational Research, 191(3): 2008, S. 650-660.
- ICHOUA, S.; GENDREAU, M.; POTVIN, J.-Y.: Exploiting Knowledge About Future Demands for Real-Time Vehicle Dispatching. Transportation Science, 40(2006)2, S.211-225.
- KLEIN, C.; KIM, J.: AGV Dispatching. In: International Journal of Production Research, London, 34(1996)1, S. 95-110.
- MÖHRING, R.; KÖHLER, E.; GAWRILOW, E.; STENZEL, B: Conflict-free Real-time AGV Routing. In: Operations Research Proceedings 2004. Hrsg.: FLEUREN, H. u.a.. Berlin: Springer Verlag, 2005, S. 18-24.
- LE-ANH, T.; DE KOSTER, R.: On-line dispatching rules for vehicle-based internal transport systems. In: International Journal of Production Research, London, 43(2005)8, S. 1711-1728.
- NEUMANN, L.; DEYMANN, S.: TRANSSIM-NODE - a simulation tool for logistics nodes. In: Industrial Simulation Conference. Lyon: The European Simulation Society, 2008, S.283-287.
- TEN HOMPEL, M.; SCHMIDT, T.: Warehouse Management. Berlin: Springer-Verlag, 2008.