

Vom Ziel zum Start geroutet

Forschungsprojekt zur systematischen Betrachtung von Shuttle-Systemen

Im Rahmen eines Forschungsprojekts am Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik (fml) der TU München wird ein Simulationsbaustein für die Analyse von Steuerungsstrategien und Layout-Konfigurationen von Shuttle-Systemen entwickelt. Mithilfe einer genauen Beschreibung und Klassifizierung der am Markt verfügbaren Shuttle-Systeme lassen sich dabei auch die system spezifischen Anforderungen an die Steuerungsstrategien identifizieren.



1 Shuttle-Systeme haben sich in relativ kurzer Zeit fest in der Intralogistik etabliert. Nahezu jeder große Intralogistikanbieter hat mittlerweile ein Shuttle-System im Programm.

Nahezu jeder große Anbieter von Intralogistiksystemen hat mittlerweile ein Shuttle-System im Programm [JM-2014]. Ein Shuttle-System (Bild 1) bezeichnet ein System für die Lagerung und den Transport – gegebenenfalls auch außerhalb des eigentlichen Lagerbereichs – von leichten Stückgütern wie Behältern, Schachteln oder Trays [VDI-2692]. Die Frage, ob Regalbediengeräte (RBG) oder Shuttles zum Einsatz kommen sollen, wurde bereits oft thematisiert. Dabei werden als Argumente für ein Shuttle-System u. a. die erhöhten Durchsatzleistungen, die flexible Anpassung an das Bestandsgebäude, die einfache Erweiterbarkeit des Lagers sowie die gute manuelle Erreichbarkeit eines jeden Stellplatzes im Regal aufgeführt [Cie-2015]. Doch die verfügbaren Shuttle-Systeme unterscheiden sich hinsichtlich ihrer technischen Ausprägungen stark voneinander. Daher ist es für den

interessierten Anwender eine echte Herausforderung, sich einen Überblick über alle Systeme zu verschaffen.

Einfacher und vergleichender Überblick über die Alternativen

Die im März 2015 erschienene VDI-Richtlinie „Shuttle-Systeme für Kleinbehälterlagerung“ greift diese Herausforderung erstmals auf und beschreibt die Systemtechnologie. Zudem wird in der Richtlinie ein Ansatz vorgestellt, mit dessen Hilfe sich der mögliche Durchsatz abschätzen lässt. Betrachtet werden in der Richtlinie jedoch nur „klassische“ Shuttle-Systeme, bei denen die Shuttles einzelnen Lagergassen fest zugeordnet sind. Zum Einsatz kommen bei solchen Systemen entweder Behälterlifte, falls die Shuttles

ausschließlich auf einer einzelnen Ebene operieren, oder Lifte, die den Shuttles einen Wechsel der Ebenen ermöglichen. Allerdings existieren mittlerweile auch andere Konzepte, die für den Anwender hinsichtlich der individuellen Anforderungen immer interessanter werden. Das Ziel der entwickelten Klassifizierung ist es daher, allen Ausprägungen gerecht zu werden und dem Anwender einen einfachen und vergleichenden Überblick über die Alternativen zu ermöglichen.

Klassifizierung der Shuttle-Systeme nach Merkmalen

Klassifiziert werden die Systeme nach Merkmalen, die einen Einfluss auf die Durchsatz- und Sequenzleistung haben und die bei der Entwicklung der Steuerungsstrategien von Bedeu-



2 Bei der Auftragsvergabe an ein Shuttle-System wird festgelegt, wann welches Shuttle wohin fahren soll. Diese Information wird zur Erstellung einer konfliktfreien Route an das Routing übergeben. Dann kann der Auftrag ausgeführt werden.

tung sind. Konstruktive Aspekte, wie z. B. die Antriebstechnik der Fahrzeuge, die Kommunikation oder die Energieversorgung, werden in der VDI-Richtlinie behandelt und in der Morphologie daher nicht betrachtet. Die charakteristische Eigenschaft der Shuttle-Systemtechnologie ist die weitgehende Trennung von Horizontal- und Vertikaltransport. Dies wurde bei der Erstellung der Klassifizierung aufgegriffen und die Merkmale entsprechend in ebenen-bezogene und ebenen-übergreifende Merkmale unterteilt. Entstanden ist ein morphologischer Kasten, der die verschiedenen Ausprägungen von Shuttle-Systemen übersichtlich darstellt (Tafel 1).

Unterschiedliche Systemausprägungen erfordern unterschiedliche Steuerungsstrategien. Zu unterscheiden ist grundsätzlich, ob ein Shuttle einer Lagergasse und -ebene, also einem Lagerkanal, fest zugeordnet ist oder ob es die Lagergasse und/oder die Ebene wechseln kann. Im Falle der festen Zuordnung eines Shuttles zu einer Gasse und einer Ebene verfährt das Fahrzeug lediglich auf einer Achse. Jeder Artikel, der in dem entsprechenden Kanal ein- oder ausgelagert wird, muss durch das Shuttle dieses Kanals transportiert werden, wobei es keine Interaktionen zwischen den einzelnen Shuttles gibt. Im Fall der festen Zuordnung eines Shuttles zu einer Ebene kommen Behälterlifte zum Einsatz, die die Ladungsträger zwischen den Ebenen und dem Ein-/Auslagerpunkt transportieren. Kann ein Shuttle hingegen die Lagergasse und auch die Lagerebene wechseln, z. B.

über einen Shuttle-Lift, kann jedes Gerät jeden Lagerplatz im System anfahren. Dadurch ergeben sich eine Vielzahl von Möglichkeiten für die Beantwortung der Frage, welches Shuttle welchem Auslagerauftrag übernimmt und auf welchem Wege es sein Ziel kollisions- und verklemmungsfrei erreicht. Diese Systemausprägung stellt aufgrund der hohen Anzahl der Freiheitsgrade den komplexesten Fall dar und soll im Folgenden detailliert betrachtet werden.

Die Entscheidungen, die in solch einem System durch die Steuerung getroffen werden müssen, betreffen zum einen die Auftragsvergabe und zum anderen das Routing. Bei der Auftragsvergabe wird zunächst festgelegt, wann welches Shuttle wohin fahren soll, unabhängig davon, ob es sich um einen Einlager-, Auslager- oder Leerfahrtauftrag handelt. Diese Information wird an das Routing übergeben, um eine konfliktfreie Route zu erstellen. Anschließend kann der Auftrag ausgeführt werden (Bild 2). Sämtliche Entscheidungen, die im Rahmen der Auftragsvergabe getroffen werden müssen, sind in Tafel 2 in Form einer Morphologie aufgeführt.

Kriterien für die Auftragsvergabe an ein Shuttle-System

Auftragsvergabe: Der zentrale Aspekt der Auftragsvergabe ist die Disposition: die Zuweisung von Aufträgen zu einzelnen Shuttles. Egbelu und Tanchocho haben bezüglich der Auftrags-

vergabe-strategien für fahrerlose Transportfahrzeuge zwei grundsätzliche Ansätze charakterisiert, die sich auf ein Shuttle-System übertragen lassen [Egb-1984]. Die Zuordnung eines Auftrags zu einem Shuttle kann demnach entweder auftrags- oder Shuttle-induziert erfolgen. Bei der auftragsinduzierten Zuordnung wird für den nächsten Auslagerauftrag ein geeignetes Shuttle gewählt. Dabei können verschiedene Auswahlkriterien zum Zuge gekommen, wie z. B. die Entfernung zum Auslagerfach oder die Auslastung des Shuttles. Bei der Shuttle-induzierten Zuordnung hingegen wird für ein spezifisches Shuttle der nächste Auftrag aus dem Auftragspool gewählt. Kriterien für die Auftragswahl sind z. B. die aktuelle Position des Auftrages im Sequenzstrom oder die Entfernung des Shuttles zum jeweiligen Auslagerfach.

Neben einer Ein- oder Auslagerung kann einem Shuttle auch ein Leerfahrtauftrag zugewiesen werden. Ist einem Shuttle nach erfolgter Ein- oder Auslagerung kein unmittelbarer Folgeauftrag zugewiesen, so kann das Shuttle an seinem aktuellen Standort verbleiben bis es einen neuen Auftrag erhält. Eine andere Möglichkeit besteht darin, freie Shuttles im Lager zu verteilen, damit schneller auf neue Aufträge reagiert werden kann. Dabei muss dies derart erfolgen, dass andere Shuttles möglichst wenig bei der Ausführung ihrer Aufträge behindert werden. Hierzu können Parkpositionen verwendet werden, die in die Lagerebenen integriert sind.

Tafel 1 Bei der Klassifizierung der Shuttle-Systeme wurden die Merkmale in ebenen-bezogene und ebenen-übergreifende unterteilt.

Shuttle-Systeme					
Ebenen bezogene Aspekte	Wechsel der Gasse	Shuttle verfährt nur in einer Gasse		Shuttle kann Gassen wechseln	
				über ext. Vorrichtung	selbstständig
	Lagerfachebenen, die ein Shuttle bedienen kann	nur eine Ebene	mehrere Ebenen ohne Abhängigkeiten übereinander fahrender Shuttles	mehrere Ebenen mit Abhängigkeiten übereinander fahrender Shuttles	
	Kapazität eines Shuttles	eine LE	mehrere LE		
	Lagertiefe	einfachtief	mehrfachtief		
Ebenen übergreifende Aspekte	Wechsel der Ebene	Shuttle verfährt nur in einer Ebene		Shuttle kann Ebene wechseln	
				über externe Vorrichtung	selbstständig
					über Shuttlelift
	Lifte	Behälterlift	—		Shuttlelift
	Kapazität eines Liftes	eine LE	mehrere LE	ein Shuttle	mehrere Shuttles
	Interaktion Shuttle/Vorzone	—	verbleibt im Lager	verlässt Lager	verbleibt im Lift
			verlässt Lift		

(QUELLE: VERFASSER)

Tafel 2 Sämtliche Entscheidungen, die im Rahmen der Auftragsvergabe getroffen werden müssen, sind in Form einer Morphologie aufgeführt.

(QUELLE: VERFASSER)

Auftragsvergabe						
Wahl des Auslagerfachs	zufällig	FIFO	in Abhängigkeit der Auslastung Ebene/Gasse/Fach	in Abhängigkeit der Sequenznummern Ebene/Gasse/Fach	kürzeste Anfahrtsdauer eines Shuttles	
Sequenzstrom übergreifende Priorisierung der Aufträge	FIFO			in Abhängigkeit der Auslastung der Lifte und der Sequenznummer		
Disposition	Strategie	Auftrag induzierte Zuordnung		Shuttle induzierte Zuordnung		
	Auswahlmenge	Betrachtung aller freien Shuttles	Betrachtung aller Shuttles	Betrachtung des nächsten Auftrages	Betrachtung mehrerer Aufträge	
	Auswahlkriterium	Nearest Neighbor	Nearest Neighbor (letzter Auftr.)	kürzeste Warteschlange	gemäß Priorisierung	gemäß Priorisierung
	Zuweisungshorizont	nur ein Auftrag	ein oder mehrere Aufträge	nur ein Auftrag	ein oder mehrere Aufträge	
Wahl des Einlagerfachs	feste Lagerplatzvergabe	zufällig	ABC-Zonierung	Einlagerfach nahe Auslagerfach	in Abhängigkeit der Auslastung	gleichmäßige Verteilung
Leerfahrtstrategie	auf der aktuellen Position warten			im Lager verteilen		

Je nach Layout-Variante existieren unterschiedliche Routen zum Ziel

Routing: Ist dem Shuttle ein Fahrauftrag zugewiesen, muss entschieden werden, auf welchem Wege es sein Ziel erreicht. Die zu treffenden Routing-Entscheidungen können in ein ebenenbezogenes sowie ein ebenenübergreifendes Routing eingeteilt werden (vgl. Tafel 3).

Je nach Layout-Variante können unterschiedliche Routen zum Ziel existieren. Grundsätzlich lassen sich zwei Routing-Ansätze unterscheiden: Beim statischen Routing-Ansatz wird für jede mögliche Start-Ziel-Relation auf einer Lageebene eine feste Route bestimmt. Diese Route wird jedes Mal gewählt, wenn ein Fahrauftrag zwischen dem entsprechenden Start- und Zielort auszuführen ist. Beim dynamischen Ansatz hingegen wird die günstigste Route vor jeder Fahrt neu bestimmt, z. B. in Abhängigkeit der aktuellen Verkehrssituation [Vis-2006].

Das Routing soll nicht nur einen schnellen Weg zum Ziel finden, sondern auch sicherstellen, dass es weder zu Kollisionen noch zu Verklemmungen, sog. Deadlocks, zwischen den Shuttles kommt. Ein Deadlock bezeichnet dabei die Situation, in der sich zwei oder mehrere Shuttles in einer zyklischen Wartesituation befinden, bei der die Shuttles darauf warten, dass das jeweils andere Shuttle den aktuell belegten Layout-Abschnitt freigibt. Für den Umgang mit Deadlocks existieren verschiedene Ansätze, wobei der vielversprechendere Ansatz darin besteht, Deadlocks nicht zuzulassen. Dies kann entweder durch das zugrundeliegende Layout (Deadlock-Prävention), eine angepasste Auftragsvergabe oder den Routing-Algorithmus (Deadlock-Vermeidung) erreicht werden. Einen solchen Algorithmus stellt Adriaan ter Mors vor. Dieser basiert darauf, dass einzelne Layout-Abschnitte zeitweise für einzelne

Shuttles reserviert werden [ter-2010]. Der große Vorteil bei dieser Methode besteht darin, dass für ein Shuttle immer der schnellstmögliche Weg zu seinem Zielort gefunden wird.

Forschungsbedarf in Fragen der Steuerung von Shuttle-Systemen

Im Beitrag wurde zunächst eine Klassifizierung für Shuttle-Systeme präsentiert, mit der sich alle am Markt verfügbaren Shuttle-Systeme einordnen lassen. Dann wurde für eine ausgewählte Systemausprägung auf die Steuerungsstrategien eingegangen, die sich in Auftragsvergabe und Routing unterteilen lassen. Dafür wurden verschiedene Handlungsalternativen in Form von morphologischen Kästen aufgezeigt, die es jedoch noch detaillierter zu untersuchen gilt. Während zur Steuerung von Lagern, in denen RBG zum Einsatz kommen, bereits umfangreiche Forschungsarbeiten geleistet wurden, z. B. hinsichtlich gassenübergreifender und gassenbezogener Lagerstrategien, finden sich in der Literatur nur wenige Veröffentlichungen zur Steuerung von Shuttle-Systemen. Dabei existieren eine Reihe interessanter Forschungsfragen, die sowohl das Layout, die Auftragsvergabe und das Routing betreffen. Im weiteren Verlauf des Forschungsprojektes, das vom zentralen Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM), Förderkennzeichen KF2063706WD3, unterstützt wird, sollen daher verschiedene Ausprägungen der Steuerungsstrategien implementiert und deren Auswirkung auf den Durchsatz analysiert werden. Zudem soll ein Routing-Algorithmus entwickelt werden, der die sequenzierte Bereitstellung der Artikel direkt aus dem Lager heraus ermöglicht. Kern dieses Algorithmus ist ein inverses Routing, bei dem nicht vom Start zum Zielort geroutet

wird, sondern eine Rückwärtsterminierung vom Zielort zum Startort erfolgt. Damit kann exakt die Sequenz garantiert werden, die am Zielort, beispielsweise am Lift, benötigt wird.

Literaturverzeichnis

[Cie-2015] Cieplik, W.: Regalbediengerät oder Shuttle? In: Materialfluss, Jg. 46 (2015), Nr. 5, S. 30-31.
 [Egb-1984] Egbelu, P. J.; Tanchoco, J. M. A.: Characterization of automatic guided vehicle dispatching rules. In: International Journal of Production Research, Jg. 22 (1984), Nr. 3, S. 359-374.
 [JM-2014] JM Fachmedien GmbH: Materialfluss Markt 2015, 2014.
 [ter-2010] ter Mors, A. W.: The world according to MARP. Dissertation; SIKS, Technische Universiteit Delft, Delft, 2010.
 [VDI-2692] VDI Verband Deutscher Ingenieure: Shuttle-Systeme für kleine Ladeeinheiten. VDI-Richtlinie Nr. 2692 Blatt 1, 2015.
 [Vis-2006] Vis, I. F.: Survey of research in the design and control of automated guided vehicle systems. In: European Journal of Operational Research, Jg. 170 (2006), Nr. 3, S. 677-709.

M.Sc. Thomas Lienert
 ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl Fördertechnik Materialfluss Logistik (fml) der TU München.



Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wi.-Ing. Willibald A. Günthner
 ist Inhaber des Lehrstuhls Fördertechnik Materialfluss Logistik (fml) der TU München.



(QUELLE: VERFASSER)

Tafel 3 Routingentscheidungen können in ebenen-bezogenes sowie ebenen-übergreifendes Routing eingeteilt werden.

Routing				
Ebenenbezogenes Routing	Ansatz	statisches Routing		dynamisches Routing
	Planungshorizont	vollständige Planung		vollständige Planung inkrementelle Planung
	Wegfindung	kürzester Weg	Hauptstraßen/Weggewichtung	lastabhängig schnellster Weg
	Verkehrregeln	FCFS	Vorfahrtstraßen	Vorfahrt nach Prioritäten (Sequenznummern) gemäß Planung
Deadlock-handling	Erkennung und Auflösung		Vermeidung	Prävention
	Wahl des Liftes	durch das Layout vorgegeben	zufällig	lastabhängig sequenzabhängig
Ebenenübergreifendes Routing	Auftragsreihenfolge Lift	FCFS	sequenzabhängig	gemäß Planung hinsichtlich gewählter Zielfunktion
	Deadlock-handling	Erkennung und Auflösung		Vermeidung Prävention

Beste Marke 2015.
 Linde. Die Nummer 1.

Anwender und Logistiker wählen Linde Material Handling erneut auf Platz 1. Linde Stapler setzen neue Maßstäbe in puncto Wirtschaftlichkeit, Sicherheit und Energieeffizienz.



www.linde-mh.de



IMAGE-RANKING 2015

Beste Marke

Gabelstapler/
 Lagertechnikgeräte

verkehrs RUNDschau

6/2015

www.verkehrsrundschau.de