

Entwicklung situationsabhängiger Lagerstrategien für Hochregallager mit autonomen Fahrzeugen

Development of situation-based storage strategies for autonomous vehicle storage and retrieval systems

Franziska Schloz¹
Thomas Kriehn²
Karl-Heinz Wehking¹
Markus Fittinghoff²

¹ Institut für Fördertechnik und Logistik (IFT)
Fakultät für Konstruktions-, Produktions- und Fahrzeugtechnik
Universität Stuttgart

² Professur Materialfluss und Logistikplanung
Fakultät Technische Prozesse
Hochschule Heilbronn

Die Berücksichtigung von Lagerstrategien, die sich durch eine Veränderung der Lagersituation anpassen, ist in der bisherigen Forschung zu automatisierten Hochregallagern mit autonomen Fahrzeugen, im Folgenden als Shuttle-Systeme bezeichnet, kaum thematisiert. In diesem Beitrag wird deshalb aufgezeigt, wie die verschiedenen Lagerstrategien mit der Situation des Lagers verknüpft werden können und somit flexibel werden. Die dadurch entstehende Möglichkeit, den Durchsatz eines Shuttle-Systems ohne konstruktive Änderungen zu erhöhen, ist ein interessanter Forschungsbereich, der im Rahmen des IGF-Forschungsprojektes SmartShuttle untersucht wird.

[Schlüsselwörter: Lagerstrategien, Hochregallager, Shuttle-Systeme, Durchsatzoptimierung]

The consideration of storage strategies that depend on the current situation has been scarcely investigated in the existing research on automated high-rack warehouses with autonomous vehicles, hereinafter referred to as shuttle systems. The following article shows how different storage strategies can be linked to a given situation within the warehouse and thus become flexible. The implicated ability to increase the throughput of shuttle systems without any constructive changes is an original research area, which is currently being addressed by the IGF project SmartShuttle.

[Keywords: Storage strategies, high-rack, AVS/RS, throughput optimization]

1 MOTIVATION UND ZIELSETZUNG

Shuttle-Systeme sind automatisierte Hochregallager, in denen die Ein-, Aus- und Umlagervorgänge von autonomen Fahrzeugen vorgenommen werden. Sie unterscheiden sich damit von kranbasierten Regalbediengeräten (RBG) durch eine Trennung des vertikalen und horizontalen Transportvorganges [VDI13]. Aufgrund des hohen Durchsatzes, der Flexibilität sowie dem im Vergleich zu RBG niedrigen Energieverbrauch, sind sie in der Praxis inzwischen weit verbreitet [Irr16]. Im Bereich der Forschung existieren dagegen noch deutlich weniger Veröffentlichungen zu Shuttle-Systemen als zu RBG. Erste Forschungsarbeiten zur Durchsatzberechnung gehen auf Malmberg zurück [Mal02].

Grundsätzlich können die Forschungsarbeiten in analytische und materialflusssimulationsbasierte Vorgehen eingeteilt werden. Analytische Berechnungen basieren meist auf der Warteschlangentheorie. Durch die Kombination von offenen und geschlossenen Bediennetzen kann ein Shuttle-System abgebildet werden. Die Validierung erfolgt anschließend über eine Materialflusssimulation des Systems. Mehrere Autoren konnten auf diese Weise für bestimmte Systemausprägungen geeignete analytische Modelle erstellen, die nur sehr geringe Abweichungen zu den Simulationsergebnissen aufweisen, siehe hierzu u. a. [EWF17], [RKH15]. Diese Vorgehensweise stößt allerdings bei Fragestellungen, die viele Einflussparameter für die Beantwortung berücksichtigen müssen, an ihre Grenzen.

Da im Projekt SmartShuttle durch die situationsabhängigen Lagerstrategien sehr viele Parameter berücksichtigt werden, wird ein anderes Vorgehen gewählt: Es wird im ersten Schritt ein ereignisdiskretes Simulationsmodell und

anhand der Ergebnisse der Simulationsläufe über neuronale Netze ein mathematisches Ersatzmodell erstellt.

Der vorliegende Beitrag befasst sich in diesem Kontext mit den Grundbausteinen, die für die Modellerstellung und die spätere Simulation benötigt werden:

- Welche Lagerstrategien oder -kombinationen sind zu berücksichtigen?
- Wie wird eine Lagersituation spezifiziert?
- Wo bestehen Abhängigkeiten zwischen der Lagersituation und der Lagerstrategie?

Um eine Situation zu charakterisieren, sind zunächst die situationspezifisierenden Parameter zu bestimmen und anschließend die Wechselzeitpunkte festzulegen. Wechselzeitpunkte sind als kritische Parameterausprägungen zu sehen, bei deren Unter- oder Überschreiten ein Wechsel der Strategie oder Strategiekombination zu untersuchen ist.

Liegen die benötigten Informationen vor, kann ein Pseudocode erstellt werden, der das Vorgehen programmenspezifisch abbildet.

Im Folgenden werden die Idee der situationsabhängigen Lagerstrategien und die situationspezifisierenden Parameter erläutert. Hierbei werden auch verschiedene Lagerstrategien und die Kombinationsmöglichkeiten aufgezeigt. Im Anschluss wird das Vorgehen anhand eines Pseudocodes verdeutlicht.

2 SITUATIONSABHÄNGIGE LAGERSTRATEGIEN

2.1 LAGERSTRATEGIEN

Über Lagerstrategien wird bestimmt, welche Ressourcen – bei Shuttle-Systemen Lifte und Shuttle-Fahrzeuge – nach welchen Bedingungen bewegt werden. Lagerstrategien werden mit dem Ziel der Durchführungsoptimierung der logistischen Aufgabe eingesetzt [Som15]. Optimierungskriterien sind typischerweise der Durchsatz des Systems oder der Energiebedarf.

Einer situationsabhängigen Lagerstrategie liegt ein Algorithmus – eine Handlungsvorschrift – zugrunde, der eine Anpassung der Strategie in Abhängigkeit der situationspezifisierenden Parameter ermöglicht. Können Prognosewerte der Parameterausprägungen genutzt werden, kann von einem vorausschauenden adaptiven, bei der reinen Betrachtung von kontinuierlichen Momentaufnahmen von einem nicht-vorausschauenden adaptiven Algorithmus gesprochen werden.

Lagerstrategien für automatische Hochregallager allgemein lassen sich nach [Som15] anhand der folgenden Funktionen einteilen:

- Einlagerung
- Auswahl der Ladeinheit bei Auslagerung
- Umlagerung
- Reihenfolgebildung
- Befehlszyklusbildung

Für die Einlagerung einer Ladeinheit muss der Lagerplatz bestimmt werden. Die Einlagerstrategie bestimmt damit die Lagerordnung. Gängige Strategien sind die feste oder die chaotische Lagerplatzzuordnung. Weiterhin sind noch die durchsatzbasierte, die massenbasierte und die energetische Lagerplatzbelegung sowie die Einlagerung nahe dem Ein- und Auslagerungspunkt (E/A-Punkt) oder nahe der Auslagerung möglich. Für die Durchsatzberechnung von Shuttle-Systemen wird in der Literatur häufig die chaotische Lagerordnung betrachtet. Ausnahmen finden sich beispielsweise bei [KGH14] oder [KRT14].

Bei der Auslagerung ist die auszulagernde Ladeinheit festzulegen, sofern der Artikel mehr als einmal im Lager vorhanden ist. Wie bei den Einlagerungen gibt es auch hier die Möglichkeit der zufälligen Auslagerung und die Auswahl der Ladungseinheit, die dem E/A-Punkt am nächsten liegt. Gängige Auslagerstrategien sind außerdem First In First Out, bei der die zuerst eingelagerte Ladeinheit und Last In First Out, bei der die zuletzt eingelagerte Einheit ausgewählt wird. Bei der Ressourcenausgleichsstrategie wird versucht, die Ressourcen gleichmäßig zu belasten, während bei der Quersammlung die Auslagerung aus der Gasse mit der höchsten Anzahl der betreffenden Artikel erfolgt, um bei einer Störung weiterhin auf andere Gassen zurückgreifen zu können.

Umlagerungen sind anzustreben, wenn Ladeeinheiten nicht am optimalen Platz eingelagert sind. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn der bei der Einlagerung bestimmte, optimale Platz bzw. Bereich keine freie Kapazität hatte oder inzwischen Informationen zur Auslagerung vorhanden sind, die zu einem anderen optimalen Lagerplatz führen. Weiterhin sind Umlagerungen ggf. in mehrschichtigen Lagersystemen notwendig, um die eigentliche Auslagerung durchführen zu können. Umlagerstrategien sind die Umlagerung nahe der Auslagerung oder nahe dem E/A-Punkt sowie die Umlagerungen basierend auf den vorliegenden Aufträgen. Ein weiteres Vorgehen ist es, zuerst die fehlplatzierten Artikel in der Schnelldreherzone auszulagern und dann ggf. die frei gewordenen Lagerplätze durch in den anderen Zonen suboptimal eingelagerten Ladeeinheiten zu füllen. Entscheidungskriterium ist dabei die Umschlagshäufigkeit. Durch Umlagerungen wird eine Reorganisation des Lagers erreicht. Für das Durchführen einzelner Umlagerungen zu Zeiten, in denen keine oder wenige Aufträge vorliegen, werden sog. Healingstrategien verwendet. Die zyklische Neugestaltung eines Lagers, bei der eine größere Anzahl an Umlagerungen durchgeführt

wird, fällt unter den Begriff Re-Warehousing. Strategien hierfür können allerdings nicht im laufenden Betrieb angewendet werden. Für RBG-Systeme liegen hierzu Untersuchungen unter anderem von [HHX03] und [MLP95] vor.

Reihenfolgestrategien lösen das Problem der Sortierung der Aufträge bzw. der Auswahl des nächsten Auftrages anhand einer bestimmten Zielsetzung, wie beispielsweise die Durchsatzoptimierung oder eine gleichmäßige Ressourcenauslastung. Es ist zu unterscheiden, ob zum Planungszeitpunkt alle Aufträge vorliegen oder während der Betrachtungsperiode weitere Aufträge hinzukommen. Shuttle-Systeme unterscheiden sich hierbei von RBG dadurch, dass nicht nur Warteschlangen für die Ein- und Auslagerungen vorliegen, sondern auch jeweils für die Lifte und Shuttle-Fahrzeuge. Ein Beispiel für eine Reihenfolgestrategie bei Shuttle-Systemen lässt sich bei [CV12] finden. Hierbei werden immer die nächsten zwei bzw. die nächsten drei Aufträge berücksichtigt. Weitere Auftragsreihenfolgestrategien sind First Come First Served, bei welcher der zuerst vorliegende Auftrag gewählt wird oder die Wahl des Auftrages mit der kürzesten Bearbeitungszeit. Über Prioritätsregeln ist es möglich, bei zeitkritischen Aufträgen, die Warteschlangen zu umgehen. Hierbei ist allerdings der Zielkonflikt zwischen Durchsatzmaximierung und zeitgerechter Erfüllung des Auftrags zu berücksichtigen.

Der Befehlszyklus bestimmt, wie sich die Ressourcen im System bewegen. Bei einem RBG betreffen die zugehörigen Strategien die Spielbildung und den Verweilpunkt. Bei Shuttle-Systemen kommt zusätzlich noch das Zusammenspiel zwischen den Shuttle-Fahrzeugen und den Liften hinzu.

Weiterhin können Strategien, die die Vorgehensweise bei einem Ausfall einer Ressource vorgeben, zu den Lagerstrategien gezählt werden. Diese werden jedoch nicht weiter betrachtet.

Einige der genannten Strategien besitzen von sich aus dynamische Komponenten. Beispielsweise ist eine Reihenfolgestrategie für die Aufträge von den vorliegenden betrachteten Aufträgen abhängig und damit nicht rein statisch, wie z. B. die feste Lagerplatzzuordnung. Eine durchsatzbasierte Einlagerstrategie legt den Lagerplatz in Abhängigkeit der Umschlagshäufigkeit des Artikels fest. Diese, im Folgenden als dynamische Strategien bezeichnet, können ebenso wie statische Strategien zu einer situationsabhängigen Lagerstrategie entwickelt werden. Die Differenzierung wird vorgenommen, da die Annahme getroffen wird, dass sich ein Lagersystem zu einem Zeitpunkt nur in einer bestimmten Situation befindet. Da in einem Lager durch die unterschiedlichen Ressourcen mehrere Aufträge gleichzeitig bearbeitet werden und somit mehrere Ladeeinheiten gleichzeitig in Bewegung sind, würden bei situationsspezifisierenden Parametern, die sich auf einzelne

Artikel beziehen, in einem Lager mehrere Situationen stattfinden.

Die unterschiedlichen Strategien werden auch in Kombination eingesetzt. Auch diese Kombinationsmöglichkeiten, beispielsweise einer chaotischen Einlagerung mit einer Auslagerung nahe dem E/A-Punkt, sind Gegenstand zukünftiger Analysen im Projektverlauf.

2.2 LAGERSITUATIONEN

Um situationsabhängige Lagerstrategien bilden zu können, muss zunächst der Begriff Lagersituation definiert werden. Als Lagersituation wird die Gesamtheit der Parameterausprägungen verstanden, die das Shuttle-System zu einem bestimmten Zeitpunkt definieren. Die Situationsdauer ist der Zeitabschnitt, in dem sich die Parameterausprägungen nicht bzw. nur zwischen den kritischen Werten bewegen. Werden diese Werte nicht überschritten, befindet sich das System dementsprechend in der gleichen Situation.

Die hier betrachteten situationsabhängigen Parameter, die in die Untersuchung einfließen, entstammen der Literatur und Gesprächen mit verschiedenen Herstellern und Nutzern von Shuttle-Systemen:

- Lagerfüllgrad
- Vorschauhorizont
- Warteschlangenbeschaffenheit
- Beschäftigungslevel
- Prioritäten

Der Lagerfüllgrad ist das Verhältnis von belegten Lagerplätzen zur Gesamtzahl an Lagerplätzen und damit kleiner als eins. Er kann innerhalb einer längeren Zeitspanne, beispielsweise bei vorliegendem Saisonsgeschäft, aber auch innerhalb eines Tages schwanken.

Der Vorschauhorizont gibt an, wie weit im Voraus die Aufträge bekannt sind und er bestimmt somit die mögliche Flexibilität bzw. das Sicherheitslevel der Auftragslage des Systems.

Ähnlich verhält es sich mit der Warteschlangenbeschaffenheit, die sich aus der Beschaffenheit der sich in der Warteschlange befindlichen Aufträgen ergibt. Im Gegensatz zum Vorschauhorizont, der angibt, wann Aufträge bekannt werden, gibt die Beschaffenheit der einzelnen Warteschlangen an, wie viele und welche Aufträge vorliegen.

Das Beschäftigungslevel ist ein Maß für die Auslastung des Systems. Ein typisches Beispiel für ein System mit

einer schwankenden Beschäftigung ist ein Distributionszentrum, bei welchem die Auslagerungen, je nach Zielland der Ware, zu einer bestimmten Uhrzeit das Lager verlassen müssen. Danach finden bis zum nächsten Tag keine Auslagerungen mehr statt. Ein Produktionslager in einem Dreischichtbetrieb hingegen unterliegt keinen bzw. kaum zyklischen Schwankungen des Beschäftigungslevels. Dieser Parameter wird gewählt, da die Länge der Warteschlangen für sich noch keine Aussage zum benötigten Durchsatz zulässt.

Vorliegende Prioritäten können eine komplette Warteschlange betreffen. Beispielsweise haben alle Auslagerungen eine höhere Priorität als die Einlagerungen, oder es betrifft einzelne Eilaufträge. Weiterhin besteht die Möglichkeit den Aufträgen einen Zeitpunkt zuzuordnen, an dem sie bearbeitet sein müssen. Dementsprechend werden diese Aufträge erst ab einer Zeitspanne vor diesem Zeitpunkt zu Prioritätsaufträgen.

2.3 ZUSAMMENFÜHRUNG DER LAGERSTRATEGIEN MIT DEN SITUATIONSSPEZIFIZIERENDEN PARAMETERN

Um die Auswirkungen der situationsspezifisierenden Parameter auf die Lagerstrategien zu untersuchen, werden die erwarteten Abhängigkeiten zunächst aus der Theorie bzw. logisch erarbeitet und darauf aufbauend im weiteren Projektverlauf anhand der Daten der Praxisunternehmen untersucht.

Auswirkungen des Lagerfüllgrades auf die Lagerstrategien sind bekannt. Beispielsweise vergrößert sich mit einem steigenden Lagerfüllgrad die mittlere Distanz zwischen einem Einlager-, bzw. Umlager- und Auslagerfach [Gün11]. Auch steigt mit einem hohen Lagerfüllgrad die Wahrscheinlichkeit, dass sich in der der Einlagereinheit zugeordneten Zone kein freier Lagerplatz befindet. Bei einem geringen Lagerfüllgrad und einer durchsatzbasierten Zonierung mit der kürzesten Fahrzeit als Auswahlkriterium des Platzes innerhalb der Zone bleiben die weniger geeigneten Lagerplätze frei. Dies führt bei einem geringen Lagerfüllgrad zu einem Vorteil der Zonierung mit der kürzesten Fahrzeit gegenüber einer Zonierung mit einer Gleichverteilung innerhalb der Zonen [Gla08].

Bei einem sehr kurzen Vorschauhorizont bzw. wenn die Aufträge vor dem Zeitpunkt der Ausführung gar nicht bekannt sind, ist der Einsatz einiger Lagerstrategien bedingt möglich. Beispielsweise bietet dann eine Reihenfolgebildung weniger Optimierungspotenzial. Sind die eingehenden Aufträge zudem zeitkritisch, sind ggf. Umlagerstrategien auszuschließen. Liegen die Aufträge mit einem gewissen zeitlichen Abstand zum Ausführzeitpunkt vor, herrscht im System ein hohes Auftragssicherheitslevel, welches das Durchspielen verschiedener Szenarien erlaubt und damit ein größeres Optimierungspotenzial ermöglicht.

Je nach genutzter Strategie ergibt sich für jede Resource eine Ein-, Um- und Auslagerwarteschlange. Bei

sehr kurzen Warteschlangen ist wie beim Vorschauhorizont die Nutzung von Reihenfolgestrategien limitiert. Die Längen der Warteschlangen ergeben unter anderem das Verhältnis der Einlagerungen zu den Auslagerungen, welches die Möglichkeit beeinflusst Lagerspiele zu bilden. Je nach Spielbildungsstrategie kann sich bei einem ausgewogenen Verhältnis ein größeres Optimierungspotenzial einstellen. Da mit dem Wissen über die Warteschlangenbeschaffenheit die Auftragsdaten und damit auch die Zugriffsanzahl der Artikel bekannt sind, sind Sortimentsänderungen oder anderweitige Änderungen der Umschlagshäufigkeit der Artikel erkennbar. Hierdurch kann die Lagerordnung und damit die Einlagerstrategie optimiert werden. Des Weiteren ergeben sich Auswirkungen auf den Verweilpunkt der Lifte und Shuttle-Fahrzeuge. Als Verweilpunkt für das Fahrzeug dienen typischerweise der Liftplatz bzw. der Übergabepuffer oder der Ort der letzten Auftrags erledigung. Für Lifte sind gängige Verweilpunkte der I/O-Punkt, als Punkt, an dem die Ladeeinheiten das Hochregal verlassen bzw. eingehen oder die Ebene, auf der der letzte Auftrag erledigt wurde. Möglich sind auch Verweilpunkte mit Berücksichtigung der Wahrscheinlichkeit des nächsten Auslagerplatzes.

In Situationen mit niedrigem Beschäftigungslevel sind, je nach Optimierungspotenzial, Reorganisationsmaßnahmen durchführbar. Weiterhin können bei einer geringen Auslastung des Systems durch eine Kinematikstrategie die Geschwindigkeiten derart angepasst werden, dass das Fahrzeug und der Lift gleichzeitig am Übergabepunkt eintreffen.

Die Strategien der Reihenfolgebildung haben das Ziel, die Durchlaufzeit oder die benötigte Energie für alle betrachteten Aufträge zu reduzieren. Hierdurch können für einzelne Aufträge sehr lange Wartezeiten entstehen. Liegen Prioritätsaufträge vor, muss diesen über Prioritätsregeln Vorrang gewährt werden.

Folgende Abhängigkeiten der situationsspezifisierenden Parameter und der Lagerstrategien werden somit im weiteren Verlauf untersucht:

Einlagerung: Lagerfüllgrad, Vorschauhorizont, Beschaffenheit der Warteschlangen

Umlagerung: Lagerfüllgrad, Beschäftigungslevel, Vorschauhorizont, Beschaffenheit der Warteschlangen

Auslagerung: Vorschauhorizont, Beschaffenheit der Warteschlangen

Reihenfolgebildung: Vorschauhorizont, Beschaffenheit der Warteschlangen

Befehlszyklus: Beschäftigungslevel, Vorschauhorizont, Beschaffenheit der Warteschlangen

Ggf. wird weiteres Optimierungspotenzial der durch die Datenanalyse gewonnenen Abhängigkeiten ebenfalls analysiert. Aufgrund der großen Anzahl an Kombinationsmöglichkeiten der Lagerstrategien und der möglichen Abhängigkeiten, sind für die Untersuchung für jede Lagerfunktion geeignete Lagerstrategien auszuwählen.

3 BEISPIEL EINER SITUATIONSABHÄNGIGEN LAGERSTRATEGIE

Als Beispiel einer situationsabhängigen Lagerstrategie wird eine durchsatzbasierte Zonierung mit flexiblen Zonengrenzen vorgestellt. Zunächst wird die Grundidee der Strategie in einem Pseudocode beschrieben. Dieser programmunabhängige Code ist leichter in eine spezielle Programmiersprache zu übertragen als ein Flussdiagramm und einfacher zu modifizieren [ATG10].

Step 1:

```
set stop to 0
set tier to 1
set counter to 1
set counter_zone to 1
set shuttle_failure to 0
read number_of_zones
read number_of_tiers
read number_of_bays
set zone to 1
  while zone <= number_of_zones
    read bays(zone)
    read propability(zone)
    read tiers_allowed(zone)
    read bays_allowed(zone)
    inc zone by 1
set zone to 1
```

Step 2:

```
while stop = 0
  subfunction:
    generate zones in variable zoning, with 'tiers_allowed' tiers
    and 'bays_allowed' bays, starting at the I/O-Point (start generating
    above and under I/O-Point, stop if zoned bays = bays(zone))
  while tier < number_of_tiers
    subfunction:
      evaluate throughput_lift(tier) evaluate throughput_shuttle_carriers(tier)
    inc tier by 1
  set tier to 1
  subfunction:
    evaluate throughput_lift_total evaluate throughput_shuttle_carrier_total
```

(2a)

```
while tier <= number_of_tiers
  if throughput_shuttle_carrier(tier) < throughput_lift(tier)
    set shuttle_failure to 1
    inc tier by 1
```

(2b)

```
if shuttle_failure = 0 //Aktuelle Zonierungsvariante erlaubt
```

```
if throughput_total_lift(counter - 1) < throughput_lift_total(counter)
and counter > 0
  throughput_lift_total_best = throughput_total_lift
  throughput_shuttle_carrier_best =
    throughput_shuttle_carrier_total
  throughput_lift_best = throughput_lift(tier)
  throughput_shuttle_carrier_best =
    throughput_shuttle_carrier(tier)
  zoning_best = zoning
```

Step 3:

```
if zone = number_of_zones
  set stop to 1
else
  while (zone + counter_zone) <= number_of_zones
    set tiers_allowed(zone + counter) to number_of_tiers
    set bays_allowed(zone + counter) to number_of_bays
    inc counter_zone by 1
  set counter_zone to 1
  set bays_allowed(zone) to bays_allowed(zone) + 1
  if bays_allowed(zone) > number_of_bays
    set tiers_allowed(zone) to tiers_allowed(zone) + 1
    set bays_allowed(zone) to 1
  if tiers_allowed(zone) > number_of_tiers
    set tiers_allowed(zone) to tiers_allowed_best(zone)
    set bays_allowed(zone) to bays_allowed_best(zone)
    inc zone by 1
  set tiers_allowed(zone) to 1
  set bays_allowed(zone) to 1
```

Das im Code dargestellte Vorgehen entwickelt Zonierungsgrenzen in Abhängigkeit der Anzahl an Zonen, der Plätze pro Zone und der Wahrscheinlichkeit der Ein- und Auslagerungen pro Zone. Das Verfahren ist auf eine Lagergasse beschränkt. Hierfür wird der dem E/A-Punkt am nächsten liegende Platz derjenigen Zone zugeordnet, die den höchsten Durchsatz hat (Zone A). Die übrigen Zonen werden durchsatzbasiert anhand der zur Verfügung stehenden Lagerplätze pro Zone reihenbezogen aufgefüllt. Das Bewertungskriterium der Zonierungsvarianten ist der Durchsatz des Liftes, bzw. bei Behälterliften, beider Lifte. In einer Schleife wird nun die Zone A jeweils um einen Lagerplatz erweitert. Sofern die Zonierungsvariante einen höheren Durchsatz erlaubt als die zuvor durchgespielten Varianten, wird sie als derzeit beste Variante festgehalten, anderenfalls wird die Variante verworfen. Dies wird solange durchgeführt, bis alle Zonierungsmöglichkeiten durchgespielt wurden, d. h. so oft wie für die Zone A und Zone B erlaubte Möglichkeiten vorhanden sind.

Abbildung 1 stellt den ersten Schritt, ein Zwischenergebnis und das optimale Ergebnis der Strategie dar. Es wird dabei eine Regalwand mit 5 x 15 Lagerplätzen betrachtet, die sich in 15 Lagerplätze der A-Zone (Schnelldreher), 20 Lagerplätze der B-Zone und 40 Lagerplätze der C-Zone (Langsamdreher) aufteilen.

1. Schritt	B	B	B	B	C	C	C	C	C	C	C	0	0	0
	B	B	B	B	C	C	C	C	C	C	C	0	0	0
	B	B	B	B	C	C	C	C	C	C	C	0	0	0
	B	B	B	B	C	C	C	C	C	C	C	0	0	0
E/A-Punkt	A	B	B	B	B	C	C	C	C	C	C	0	0	0
Zwischen- ergebnis	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
	B	B	B	B	B	C	C	C	C	C	C	C	C	C
	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
E/A-Punkt	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Optimales Ergebnis	B	B	B	B	B	B	B	C	C	C	C	C	C	C
	A	A	A	B	B	B	B	C	C	C	C	C	C	C
	A	A	A	A	B	B	B	C	C	C	C	C	C	C
	A	A	A	A	B	B	B	C	C	C	C	C	C	C
E/A-Punkt	A	A	A	A	B	B	B	C	C	C	C	C	C	C

Abbildung 1: Berechnung der optimalen Zonierungsgrenzen

Eine auf dieser Zonierung basierende Einlagerung wird, wie alle durchsatzbasierten Einlagerungen, auf Basis der diesem Artikel zugrunde gelegten Definitionen einer dynamischen Strategie zugeordnet. Die Situationsabhängigkeit entsteht durch die Abhängigkeit der drei eingelesenen Parameter Anzahl der Zonen, Anzahl der Plätze und Wahrscheinlichkeit der Zonen von den situationsspezifisierenden Parametern. Diese werden auf Basis des Lagerfüllgrades und des Vorschauhorizontes bzw. der Warteschlangenlängen gebildet. Bei einer Änderung dieser situationsspezifisierenden Parameter soll der Algorithmus automatisch gestartet und damit eine erneute Berechnung vorgenommen werden. Bei einem errechneten höheren Durchsatz des Lifes sollte eine Änderung der Strategieparameter vorgenommen werden. Das Ziel ist es herauszufinden, wann der Algorithmus neu durchgeführt werden soll.

4 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Situationsabhängige Lagerstrategien stellen Potenzial dar, den Durchsatz eines Hochregallagers mit autonomen Fahrzeugen zu erhöhen, ohne konstruktive Veränderungen vorzunehmen. Das Projekt SmartShuttle, das vom Institut für Fördertechnik und Logistik der Universität Stuttgart sowie der Professur Materialfluss und Logistikplanung der Hochschule Heilbronn gemeinsam bearbeitet wird, soll dazu beitragen, die in diesem Bereich bestehende Forschungslücke zu schließen. Im Beitrag wurden verschiedene Lagerstrategien mit den spezifizierenden operativen Systemparametern sowie verschiedene Situationen mit den

betreffenden situationsspezifisierenden Parametern vorgestellt. Es wurde exemplarisch ein Pseudocode beschrieben. Dies ist ein erster Schritt, Planern und Anwenden eines solchen automatisierten Lagers ein Modell zur Verfügung zu stellen, das nach Eingabe der notwendigen Parameter die optimalen Strategiekombinationen für verschiedene Situationen ausgibt und damit einen Performancevergleich des bestehenden Systems gegenüber einem optimal eingestellten System zulässt.

5 FÖRDERHINWEIS

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Dieser Beitrag entstand im Rahmen des Projektes *SmartShuttle – Entwicklung situationsabhängiger Lagerstrategien für Shuttle-Systeme und Erforschung des Durchsatzes unter Berücksichtigung der Energieeffizienz.*

Das IGF-Vorhaben 19508 N der Forschungsvereinigung Bundesvereinigung Logistik (BVL) e.V. wird über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

LITERATUR

- [ATG10] Agarwal, B.B.; Tayal, S.P.; Gupta, M. (2010): Software Engineering and Testing – An Introduction. Sudbury: Jones and Bartlett Publishers.
- [CV12] Carlo, H.; Vis, I. (2012): Sequencing dynamic storage systems with multiple lifts and shuttles. In: International Journal of Production Economics, Jg. 140, Nr. 2, S. 844-853.
- [EWF17] Epp, M.; Wiedemann, S.; Furmans, K. (2017): A discrete-time queueing network approach to performance evaluation of autonomous vehicle storage and retrieval systems. In: International Journal of Production Research, Jg. 55, Nr. 4, S. 960-978.
- [Gla08] Glass, M. (2008): Schnellläuferstrategien in Lagern und Dynamische Zonierung. Dissertation, Dresden.
- [Gün11] Günthner, W.A.; Atz, T.; Ulbrich, A. (2011): Forschungsbericht – Integrierte Lagersystemplanung. Online: <http://www.fml.mw.tum.de/fml/images/>

Publikationen/2011.05.31_Forschungsbericht_Integrierte_Lagersystemplanung.pdf – Abrufdatum: 27.07.2017.

- [HHX03] Hu, Y.; Xu, X.; Hsu, W.-J.; Tho, A. C.; Loh, C. K.; Song, T. (2003): Efficient algorithms for load shuffling in automated storage/retrieval systems. In: Proceedings of the 2003 IEEE International Symposium on Computational Intelligence in Robotics and Automation, 16.-20.07.2003 in Japan, S. 1156-1161.
- [Irr16] Irrgang, R. (2016): Skalierbar und vielseitig: Shuttles erobern alle Branchen. Online: <http://www.materialfluss.de/forder-und-hebetechnik/regalbediengerate/skalierbar-und-vielseitig-shuttles-erobern-alle-branchen/> – Abrufdatum: 01.08.2017.
- [KGH14] Kaczmarek, S.; Goldenstein, J.; ten Hompel, M. (2014): Performance analysis of autonomous vehicle storage and retrieval systems depending on storage management policies. Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, 9.-12.12.2014 in Malaysia, S. 1424-1428.
- [KRT14] Kumar, A.; Roy, D.; Tiware, M. K. (2014): Optimal partitioning of vertical zones in vehicle-based warehouse systems. In: International Journal of Production Research, Jg. 52, Nr. 5, S. 1285-1305.
- [Mal02] Malmberg, C. (2002): Conceptualizing tools for autonomous vehicle storage and retrieval systems. In: International Journal of Production Research, Jg. 40, Nr. 8, S. 1807-1822.
- [MLP95] Muralidharan, B.; Linn, R.J.; Pantid, R. (1995): Shuffling heuristics for the storage location assignment in an AS/RS. In: International Journal of Production Research, Jg. 33, Nr. 6, S. 1661-1672.
- [RKH15] Roy, D.; Krishnamurthy, A.; Heragu, S.; Malmberg, C. (2015): Queuing models to analyze dwell-point and cross-aisle location in autonomous vehicle-based warehouse systems. In: European Journal of Operational Research, Jg. 242, Nr. 1, S. 72-87.

- [Som15] Sommer T. (2015): Entwicklung und Bewertung von Lagerstrategien zur Steigerung der Energieeffizienz in automatischen Hochregallagern unter Beachtung des Umschlags. Dissertation, Stuttgart.
- [VDI13] VDI 2692 (2013): Shuttle-Systeme für Kleinbehälterlagerung. Verein Deutscher Ingenieure, Beuth-Verlag, Berlin.

Franziska Schloz, M. Sc., Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Fördertechnik und Logistik der Universität Stuttgart.
Tel.: +49 (0)711 685 83698
E-Mail: franziska.schloz@ift.uni-stuttgart.de

Thomas Kriehn, M. Eng., Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Professur Materialfluss und Logistikplanung der Hochschule Heilbronn.
Tel.: +49 (0)7131 504 510
E-Mail: thomas.kriehn@hs-heilbronn.de

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Karl-Heinz Wehking, Institutsleiter des Instituts für Fördertechnik und Logistik der Universität Stuttgart.
Tel.: +49 (0)711 685 83770
E-Mail: karl-heinz.wehking@ift.uni-stuttgart.de

Prof. Dr.-Ing. Markus Fittinghoff, Inhaber der Professur Materialfluss und Logistikplanung an der Hochschule Heilbronn.
Tel.: +49 (0)7131 504 6802
E-Mail: markus.fittinghoff@hs-heilbronn.de

Adressen:

Institut für Fördertechnik und Logistik
Universität Stuttgart
Holzgartenstraße 15 B
D-70174 Stuttgart

Institut für angewandte Forschung
Hochschule Heilbronn
Max-Planck-Str. 39
D-74081 Heilbronn