

Vergleich unterschiedlicher Auslagerungsstrategien eines flächigen Frühgepäckspeichers in der Flughafengepäcklogistik

Comparison of different outsourcing strategies
of a flat early baggage storage in airport baggage logistics

Matthias Pusch
Tobias Wiedemann
André Katterfeld

*Lehrstuhl für Förder- und Materialflusstechnik
Institut für Logistik und Materialflusstechnik (ILM)
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg*

Um Nachfragespitzen an Check-In-Schaltern zu verringern bieten viele Flughäfen zeitige Gepäckaufgabe an. Dazu muss die Gepäckbehandlungsanlage eine Speichermöglichkeit besitzen, den sogenannten Frühgepäckspeicher. In diesem Beitrag werden die unterschiedlichen Ausprägungen und eine neuartige Variante des Frühgepäckspeichers vorgestellt. Mittels ereignisorientierter Simulationen werden sinnvolle Clusterbildungen von Gepäckbehältern und deren Auslagerungsstrategien hinsichtlich ihrer Entnahmegeschwindigkeit untersucht.

[Schlüsselwörter: Frühgepäckspeicher, Flughafengepäcklogistik, ereignisorientierte Simulation]

In order to reduce peaks in demand at check-in counters, many airports offer early baggage check-in. For this purpose, the baggage handling system must have a storage facility, the so-called early baggage storage. In this article, the different versions and a new variant of the early baggage storage are presented. Discrete Event-driven simulations are used to investigate meaningful clusters of luggage containers and their removal strategies with regard to their removal speed.

[Keywords: Early Baggage Storage, Airport Baggage Logistics, Discrete Event driven Simulation]

1 FRÜHGEPÄCKSPEICHER

1.1 DEFINITION UND NOTWENDIGKEIT

Ein Frühgepäckspeicher ist eine technische Lösung zum Lagern von Gepäckstücken am Flughafen. „Die Notwendigkeit, innerhalb der Gepäckförderanlage, Gepäckstücke zu lagern, entsteht, wenn Gepäckstücke noch nicht an ihr endgültiges Sortierziel transportiert werden können.“ ([1] S. 58) Dieser Fall tritt beispielsweise ein, wenn das Gepäck lange vor dem eigentlichen Abflug aufgegeben wird. Ein weiterer Fall ist das Umsteigen zwischen zwei Flügen mit so viel Umsteigezeit, dass das Gepäck noch nicht für den Weiterflug sortiert oder aufgerufen wird.

Nach Selbstauskunft der Hersteller von Frühgepäckspeichern werden Frühgepäckspeicher in sehr unterschiedlichen Größenordnungen realisiert. So wurde beispielsweise der Flughafen Düsseldorf mit einem Frühgepäckspeicher mit 1692 Lagerplätzen in zwei Teilen ausgerüstet [2]. Am Flughafen Istanbul hingegen wurde ein Frühgepäckspeicher mit einer Lagerkapazität bis 10800 Stück installiert [3]. Die Größenunterschiede ergeben sich sowohl aus dem Passagieraufkommen als auch aus der Funktion des Flughafens als lokaler Erschließungsflughafen oder als Umsteigeflughafen.

Die großen Systemausrüster für Flughafengepäcksortier- und -fördertechnik haben dabei verschiedene grundsätzliche Bauformen im Portfolio, die im folgenden Abschnitt vorgestellt werden. Nicht dargestellt werden hier die Möglichkeit des Umladens auf andere Fahrzeuge oder das manuelle Entnehmen aus der Sortieranlage des Flughafens.

Vor der Vorstellung der Bauformen von Frühgepäckspeichern soll noch eine weitere Möglichkeit der Speicherung von Gepäckstücken erwähnt werden. Dabei handelt es sich um keine zusätzliche Anlage, sondern um die Nutzung der vorhandenen Sortieranlage. Wenn aus dieser Anlage einzelne Gepäckstücke nicht entnommen werden bzw. zu keinem Ziel sortiert werden, durchlaufen sie die Sortierung erneut. Die Gepäckstücke bleiben somit im Sortierprozess und durchlaufen ihn wiederholt, bis ein für sie gültiges Sortierziel definiert wurde und die Gepäckstücke entnommen werden. Dieses Vorgehen nutzt zwar vorhandene Anlagen, senkt aber ihre Effizienz, da es das Befördern und Sortieren weiterer Gepäckstücke blockiert. Somit sinkt die Sortierleistung einer Anlage.

1.2 BAUFORMEN

1.2.1 PARALLELE FÖRDERSTRECKEN

Die einfachste Bauform eines Frühgepäckspeichers ist eine lineare Fördertechnikstrecke, in der sich mehrere Gepäckstücke stauen können und die bei Bedarf entleert wird. Die Ausführung kann mit Gurtfördertechnik und mit Behälterfördertechnik geschehen. Bei der Verwendung von Gurtfördertechnik wird ein Gurtförderer mit einem Gepäckstück beladen, bewegt dieses ein Stück vom Aufgabepunkt weg, damit Platz für das nächste Gepäckstück entsteht und füllt somit die maximale Speicherstrecke [4]. Bei der Verwendung von Behältern stauen sich die mit jeweils einem Gepäckstück beladenen Behälter in einer Reihe. Hier muss es von Seiten der Behälterfördertechnik möglich sein, dass ein Behälter individuell bis an seinen stehenden Vorgänger herangeführt werden kann.

Werden mehrerer dieser linearen Speicherstrecken parallel betrieben, können Gruppen für unterschiedliche Ziele gebildet werden und separat entladen werden. Diese Form der Frühgepäckspeicher ist typisch für kleine Flughäfen mit wenig benötigter Speicherkapazität und Gepäck für wenige unterschiedliche Ziele, die gleichzeitig vorgehalten werden müssen.

1.2.2 REGALBEDIENGERÄTE

In dieser Bauform ist ein Gepäckstück in einem Behälter abgelegt. Diese Behälter werden in einem Hochregallager mit einem Regalbediengeräte gelagert. Das Regalbediengerät ist dabei ein in einer Gasse verfahrbarer Mast mit Hubeinrichtung. An der Hubeinrichtung ist eine auf die Behälter abgestimmte Entnahmeeinrichtung, die je nach Ausführung einseitig oder beidseitig der Gasse Behälter in die vorgesehenen Stellplätze einlagern oder aus ihnen entnehmen kann. Es gibt auch Ausführungen, bei denen an der Hubeinrichtung mehrere Entnahmegereäte für die Behälter vorhanden sind, so dass gleichzeitig mehrere Behälter verfahren werden können. Das Regalbediengerät holt oder bringt die Behälter von einem festen Ein-/Auslagerungspunkt, von wo die Behälter mit angeschlossener Förder-technik weiterbewegt werden. Als Beispiele seien hier der

„Bagstore“ von Vanderlande [5] und der „CrisStore“ der Beumer Group [6] genannt.

Vorteil der Bauform ist die leichte Skalierbarkeit. Durch die Verwendung mehrerer Gassen kann die Anzahl der Lagerplätze und gleichzeitig die Anzahl der möglichen Ein- und Auslagerungsvorgänge erhöht werden. Weiterhin ist von Vorteil, dass die im restlichen Transportsystem verwendeten Behälter auch hier genutzt werden können, wenn man die Lösung aus der Hand eines Herstellers nimmt. Eine eventuelle Erweiterung durch einen anderen Hersteller bedeutet auch, dass zwischen den Behältersystemen umgeladen werden muss.

1.2.3 LIFT-AND-RUN-SYSTEME

Die Lift-and-Run-Systeme sind eine etwas komplexere Bauform der Frühgepäckspeicher mit Behältern. Hier bewegen sich deutlich mehr angetriebene Einheiten im System. Im Gegensatz zu den Regalbediengeräten stehen hier die Hubeinrichtungen an einer festen Position. Von den Liften werden die mit den Gepäckstücken gefüllten Behälter von einem Shuttle übernommen und zum Lagerplatz befördert. Dieses Shuttle kann je nach Bauform nur in einer Gasse verfahren oder aber, mit einer weiteren Antriebseinheit versehen, die Gasse wechseln und sich somit auf einer Regalebene bewegen. Auch besteht bei den unterschiedlichen Systemen die Möglichkeit der einseitigen oder beidseitigen Be-/Entladung der Shuttle.

Das Heben auf eine Regalebene und das Verfahren innerhalb dieser Regalebene ist bei diesem System entkoppelt. Somit können die Shuttle auf ihren jeweiligen Ebenen parallel Ein- und Auslagerung von Behältern vornehmen, während der Lift nur noch für die Zustellung vom Ein-/Auslagerungspunkt des gesamten Lagers zuständig ist. Bei Shuttlen, die die Gasse wechseln können und einem Einsatz von mehreren Hubeinrichtungen in einer Gesamtanlage kann eine gewisse Redundanz gegen Ausfälle erreicht werden.

Beispiele für Lift-and-Run-Systeme sind die Frühgepäckspeicher „VarioStore“ von Siemens Logistics [7] und „Adapto Bagstore“ von Vanderlande [8].

2 FLÄCHIGER FRÜHGEPÄCKSPEICHER

2.1 ENTWICKLUNGSZIEL DES FLÄCHIGEN FRÜHGEPÄCKSPEICHERS

Alle vorgestellten Frühgepäckspeicherbauarten haben eine Gemeinsamkeit: Sie nehmen sehr viel Raum ein. Die parallelen Förderstrecken benötigen allein dadurch viel Platz, dass für jedes Ziel eine eigene Förder- und Staustrecke vorgesehen werden muss. Sowohl bei Regalbediengeräten als auch bei den Lift-and-Run-Systemen geschieht die Lagerung schon sehr verdichtet, nur sind Verfahrgassen zu jedem Lagerplatz erforderlich. Bei einer beidseitigen

Bedienung aus einer Lagergasse heraus bleiben somit mindestens 33 % des Lagerbauraums den Verfahrenswegen vorbehalten.

Hauptziel ist nun, mit einfacher flächiger Fördertechnik einen höheren Nutzungsgrad zu erreichen und trotzdem eine wirtschaftliche Lösung zu erreichen. Weiterhin soll ein flächiger Speicher auch nicht rechteckige Grundrisse besser ausnutzen können und um Einbauten herum modelliert werden können. Vorstellbar sind hier spitz zulaufende Hallengrundrisse, in denen die Grundfläche besser ausgenutzt werden kann, aber auch Einbauten wie Hubsysteme oder schlicht Deckenstützen mitten im Speicherfeld.

Um eine sichere Transportfähigkeit zu erreichen, wird bei diesem flächigen Frühgepäckspeicher mit standardisierten Behältern gearbeitet, in die ein Gepäckstück abgelegt wird. Somit soll der sichere Betrieb garantiert werden, wenn beispielsweise Schlaufen, Bänder oder Taschen sich nicht mehr Verhaken, Aufwickeln oder Verklebmen können. Auch kann unter Umständen der Behälter der vor- und nachgelagerten Fördertechnik weitergenutzt werden. Außerdem kann man somit von einem immer gleichen Kontaktpartner der Antriebe und konstante Verhältnisse bei der Kraftübertragung ausgegangen werden.

Weiterhin soll festinstallierte Fördertechnik genutzt werden, was dazu führt, dass die gesamte Lager- und Verfahrfläche Antriebe besitzen muss. Somit gibt es keine Trennung mehr zwischen Verfahrenswegen und Lagerplätzen. Eine Position wird automatisch zu einem Lagerplatz, wenn ein Behälter mit Gepäckstück darauf abgestellt wird.

Zur einfacheren Steuerung und zum Erreichen eines höheren Flächennutzungsgrades soll es nur geradlinige und rechtwinklig zueinander verlaufende Bewegungen der Behälter im System geben. Auch soll kein Drehen der Behälter um die eigene Gier-Achse stattfinden, da diagonal ausgerichtete Behälter das kartesische Raster stören.

Aufgrund der relativ hohen bewegten Massen und der Forderung, dass sich Personen im System aufhalten dürfen, wird dieses System mit sehr niedrigen Verfahrgeschwindigkeiten von maximal 0,3 m/s ausgelegt. Um die Antriebstechnik klein und preiswert zu gestalten werden zusätzlich niedrige Beschleunigungen projektiert. Ziel ist die Beschleunigung eines Behälters auf die niedrige Verfahrgeschwindigkeit während einer Sekunde.

2.2 ABGRENZUNG ZU BEKANNTER FLÄCHIGER FÖRDERTECHNIK

In Forschung und Industrie wird sich schon seit längerer Zeit mit flächiger Fördertechnik beschäftigt. Dabei sind die zahlreichen neuen Bewegungsmöglichkeiten in der Ebene von Interesse. So wurde im Projekt CogniLog [9] speziell die Steuerung zahlreicher Antriebselemente untersucht, die gemeinsam ein Paket antrieben und über eine Fläche bewegen und ausrichten. Auch der Celluveyor [10]

mit seinen beliebigen Bewegungsrichtungen in der Ebene zeigt ein ähnliches Konzept. Beide Systeme zeichnen sich dadurch aus, dass mehrere einzeln steuerbare Antriebselemente gemeinsam einen größeren Ladungsträger bewegen. Es müssen also wechselnde Antriebselemente gemeinsam gesteuert werden, um nur einen bestimmten Ladungsträger auf der Antriebsebene zu bewegen. Die beiden Projekte zeigen ein hochdynamisches Verhalten, fokussieren sich vor allem auf den Transport und die Sortierung von Paket- und Postsendungen. Die flächigen Förderer dienen auch zur Verbindung zwischen anderen Förderern und der Übergabe auf diese. Die Pakete haben gegenüber Fluggepäck relativ kleine Massen und man kann von einer ebenen Auflagefläche ausgehen.

Der GridSorter der Gebhardt Fördertechnik GmbH [11] kommt dem zu entwickelnden System schon sehr nahe. Hier werden rechteckige Module der maximalen Größe einer Ladeinheit gebildet, die an ihre vier unmittelbaren Nachbarn Ladeeinheiten übergeben kann. Somit ist die Bedingung der rechtwinkligen Bewegungsmöglichkeiten erfüllt, die die Funktion eines Umsetzers erfüllt. Doch ist auch der GridSorter vor allem zum Sortieren von Ladeeinheiten gedacht und verknüpft so mehrere zu- und abführende Förderstrecken. Auch der GridSorter ist vordergründig nicht zum Lagern von Ladeeinheiten gedacht.

3 MÖGLICHKEITEN DER STRUKTURIERTEN EINLAGERUNG

Ist ein flächiger Speicher vorhanden, der frei belegt werden kann, stellt sich die Frage, wie sinnvolle Einlagerungsformen aussehen. Es erscheint zuerst einmal logisch, dass Behälter nach ihrem Ziel zusammengehörig eingelagert werden sollten. Da die gesamte Fläche des Frühgepäckspeichers angetrieben ist, muss die Lagerung auch nicht statisch geschehen. Die gebildeten Pulks oder Cluster von Gepäckstücken in Behältern sollten sich gemeinsam dem Entnahmepunkt zur Entnahmezeit nähern.

Diese Cluster lassen sich in Spalten anordnen, die links und rechts einer Verfahr- oder Zugangsspalte liegen. Dieses Muster entspricht dem der Regalbediengeräte und verspricht keinen Flächennutzungsvorteil gegenüber den bekannten Frühgepäckspeichern.

Weiterhin lassen sich Spalten anlegen, die nur freie Gassen zwischen zwei unterschiedlichen Clustern belassen. Somit sind Behälter mit Gepäckstücken für eine Zielsortierung klar von denen anderer Zielsortierung abgegrenzt. Auch hier senken die Gassen die Flächennutzung deutlich, besonders dann, wenn die zusammengehörigen Cluster keine großen Flächen belegen. Man nähert sich somit wieder dem Modell der Regalbediengeräte an.

Vorstellbar ist auch eine spaltenfreie Sortierung. Im Extremfall entsteht ein bis auf einen Platz voll belegtes Feld. Dieser einem Verschiebe-Puzzle vergleichbare Fall

dürfte die Sortier- und Auslagerungsvorgänge extrem verlangsamen, da für jedes Bewegen eines Behälters erst andere Behälter verschoben werden müssen. Es würde einen Art Umströmung des zu bewegendes Behälters entstehen, damit vor ihm immer wieder ein freier Platz entsteht, auf den er sich bewegen kann.

Weiterhin gibt es die Möglichkeit, die Behälter eines Clusters in möglichst kurzen Abstand zum Entnahmepunkt zu positionieren. Bei mehreren unterschiedlichen Clustern, die einem Entnahmepunkt zugeordnet werden können, ist es von Vorteil, wenn das Cluster, das als erstes ausgelagert werden soll am nächsten zum Entnahmepunkt positioniert ist. Es entstehen Dreiecke um den Entnahmepunkt, die gegebenenfalls aus mehreren Clustern schalenweise nach außen wachsen. In Abbildung 1 wird dies dargestellt: Jede Farbe entspricht einem Cluster, für den unteren Entnahmepunkt sind zwei Cluster vorgesehen, wobei das innere braune Cluster zeitlich zuerst abgerufen werden kann und das grüne Cluster beim Auslagern des braunen Clusters nach innen auf den Entladepunkt vorrückt.

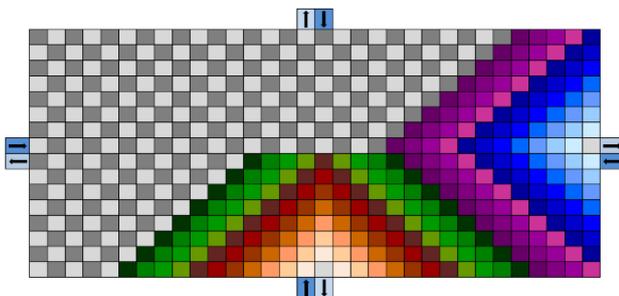


Abbildung 1: Mögliche Strukturbildung um zwei Entnahmepunkte aus dem flächigen Frühgepäckspeicher

Es sind noch viele weitere Clusterformen denkbar, die auch durch das genaue Layout einer Frühgepäckspeicherfläche beeinflusst wird. Welche der vielen Clusteranordnungen gut auszulagern ist, sollen die folgenden Simulationen zeigen.

4 AUFBAU DES SIMULATIONSMODELLS

Für die Simulationen mussten geometrische und dynamische Größen festgelegt werden. Bekannt ist schon die maximale Verfahrensgeschwindigkeit eines Behälters von 0,3 m/s, die während eines Beschleunigungsvorgangs von einer Sekunde aus dem Stillstand erreicht wird. Das Bremsen aus der maximalen Verfahrensgeschwindigkeit in den Stillstand soll auch binnen einer Sekunde erfolgen.

Ein Stellplatz für einen Behälter hat eine quadratische Grundfläche mit einer Kantenlänge von 1,3 m. Der Behälter ist rechteckig mit den Kantenlängen 1220 mm und 975 mm.

Als Simulationswerkzeug wird „Plant Simulation“ verwendet, dem die ereignisdiskrete Simulation zugrunde liegt. Dabei wird angenommen, dass zwischen markanten Zeitpunkten, an denen sich im System Änderungen ergeben, konstante vorhersehbare Verhältnisse herrschen. Somit werden immer nur die Änderungen betrachtet und die nächsten markanten Zeitpunkte vorausberechnet. Durch dieses Vorgehen können Ablauf- und Materialflusssimulationen in hoher Geschwindigkeit ausgeführt werden.

Das Simulationsmodell wird aus vorgegebenen Standardbausteinen zusammengesetzt. Ein Lagerplatz bzw. Antriebsmodul wurde aus mehreren rechtwinklig zueinander liegenden Förderern und einem zentralen Puffer aufgebaut. Die Förderer benachbarter Module können Behälter aneinander übergeben und durch den Puffer kann ein Behälter auf dem Modul gelagert werden. Um die Beschleunigungszeit zu berücksichtigen mussten weitere Puffer und Förderer in jede Bewegungsrichtung integriert werden.

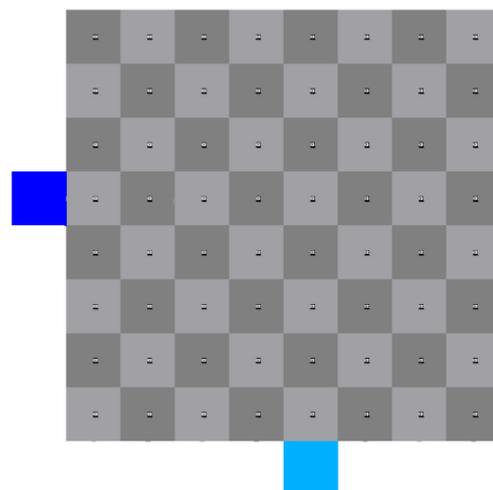


Abbildung 2: Darstellung des Simulationsraums einschließlich der Aufgabestelle (dunkelblau) und der Entnahmestelle (hellblau) für die Gepäckbehälter

Durch die zahlreichen verwendeten Bausteine in einem Modul, wurde ein 8x8-Raster als überschaubare Simulationsgröße gewählt und aufgebaut. Abbildung 2 stellt das Simulationsmodell dar. In der Abbildung links in dunkelblau ist eine Quelle oder Aufgabestelle, durch die die Behälter den flächigen Frühgepäckspeicher zugeführt werden können. In der Abbildung unten in hellblau ist eine Senke bzw. die Entnahmestelle positioniert. Sie ist das Ziel für das Auslagern der vorsortierten Behälter.

5 VERGLEICH MEHRERER SIMULATIONSSZENARIEN

5.1 SIMULATIONSABLAUF

In der zuvor beschriebenen Simulationsumgebung mit 64 Stellflächen in quadratischer Anordnung sind jeweils 10 Behälter positioniert. Diese 10 Behälter sollen möglichst schnell durch eine Entnahmestelle aus dem System

ausgeschleust werden. Dieses Szenario entspricht dem Auslagern von vorsortierten Gepäckstücken für einen aufgerufenen Flug. In jedem Ausgangszustand eines Szenarios kann man eine Mittelgasse zwischen den vorsortierten Behältern erkennen. Diese Verfahrgasse in direkter Linie zum Entnahmepunkt soll freigehalten werden, damit eventuell später eingelagerte Behälter bei sofortigem Abruf ohne große Verzögerungen entnommen werden können.

Für jeden Behälter wird nun vom Abruf des Behälterpulses bis zum Verlassen des Feldes durch den Entnahmepunkt die Zeit gemessen. Eine Simulation endet, wenn alle Behälter den Simulationsraum verlassen haben.

Die folgenden Abbildungen der einzelnen Strategien zeigen die Ausgangssituation vor der Bewegung des ersten Pakets. Die Nummerierungen in den Abbildungen stellen nicht die Benennung eines Behälters dar, sondern sollen aufzeigen, welche Behälter wann zur Entnahme bewegt werden. Behälter, deren Bewegung gleichzeitig beginnt, werden mit der gleichen Nummer markiert. Es ist auch möglich, dass die einzelnen Behälter vor dem eigentlichen Auslagerungsvorgang näher an die Auslagerungsgasse herangeführt werden, vor oder in der Auslagerungsgasse aber noch einmal verweilen bis zum eigentlichen Entnahmepunkt.

5.2 STRATEGIE 1

Die Behälter wurden so eingelagert, dass sie einen möglichst kurzen Abstand zum Entnahmepunkt haben. Diese Regel führt zu einem gleichschenkligen Dreieck um den Entnahmepunkt, das durch die Auslagerungsgasse in zwei Hälften geteilt wird. (Abbildung 3)

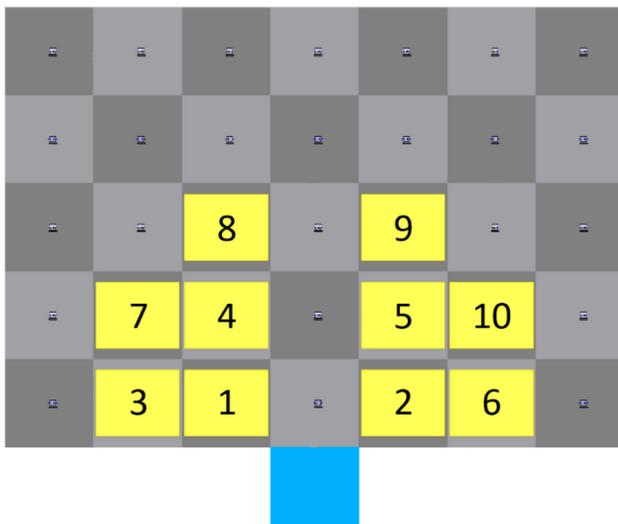


Abbildung 3: Reihenfolge der Auslagerung in Strategie 1

Der Auslagerungsvorgang folgt einer einfachen Regel: Der Behälter, der dem Entnahmepunkt am nächsten ist, wird als erstes in die Auslagerungsgasse verfahren. Hier

ändert er seine Bewegungsrichtung und wird dem Entnahmepunkt zugeführt. Es folgt der Behälter, der nun den kürzesten Abstand zum Entnahmepunkt hat. Begonnen wird auf der linken Seite, so dass beide Hälften des Dreiecks abwechselnd entladen werden. Freiwerdende Positionen werden von Behältern des gleichen Aufrufs besetzt bis alle aufgerufenen Behälter entnommen sind. Diese Strategie führt zu einem häufigen Richtungswechsel eines Behälters direkt vor dem Entnahmepunkt. Insgesamt werden 96,5 s benötigt, um alle zehn Behälter zum Entnahmepunkt zu befördern.

5.3 STRATEGIE 2

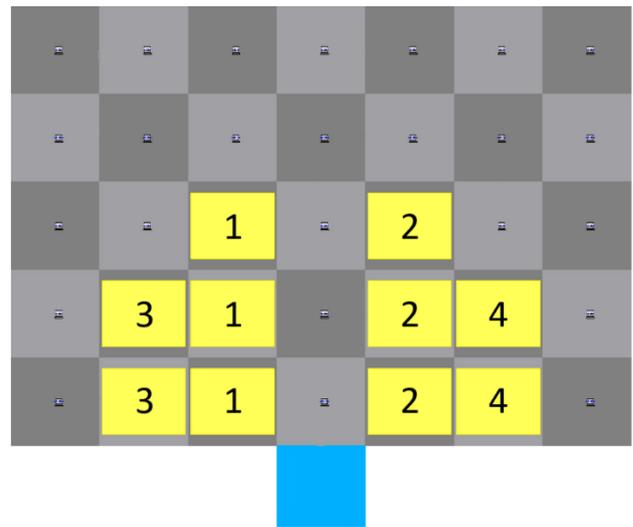


Abbildung 4: Reihenfolge der Auslagerung in Strategie 2

Die Ausgangslage bleibt die gleiche wie in Strategie 1 (siehe Abbildung 4). Es ändert sich nur das Verfahren, welche Behälter bewegt und entnommen werden. Zum Auslagern werden nun ganze Spalten des Auslagerungsdreiecks in die Auslagerungsgasse verfahren. Die Behälter starten dann gleichzeitig ihre Bewegung in Richtung des Entnahmepunktes. So entsteht eine schnelle Folge von Behältern, die das Raster verlassen. Um hier eine effiziente Art der Entnahme zu erreichen, sollte die gesamte Auslagerungsgasse frei sein, wenn eine Spalte von Behältern in die Gasse einrückt. Somit kann die maximale Menge an gleichzeitig zu bewegendem Behältern genutzt werden. Das Auslagern der zehn Behälter dauert hier 66,7 s und konnte somit deutlich beschleunigt werden.

5.4 STRATEGIE 3

In dieser Strategie unterscheidet sich die Ausgangslage von denen der ersten beiden Strategien. Aufgrund der guten Erfahrungen in Strategie 2 mit der spaltenweisen Bewegung der Behälter, wurden hier im Einlagerungsprozess zwei gleichlange Spalten gebildet. Somit sind nun links und rechts der Auslagerungsgasse jeweils fünf Behälter angeordnet (vergleiche Abbildung 5).

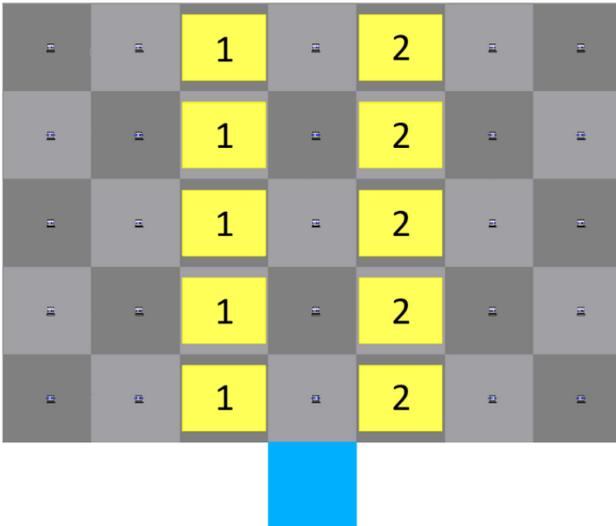


Abbildung 5: Reihenfolge der Auslagerung in Strategie 3

Auch hier wird nun spaltenweise ausgelagert. Als erstes verfahren alle Behälter der linken Spalte in die Auslagerungsgasse und werden anschließend gleichzeitig in Richtung Entnahmepunkt bewegt. Wenn die gesamte erste Spalte aus dem System entnommen wurde, folgt das gleiche Vorgehen mit der rechten Spalte.

Das Auslagern von zehn Behältern dauert insgesamt 55,0 s. Es ist somit eine sehr schnelle Strategie zur Entnahme von vorsortierten Behältern.

5.5 STRATEGIE 4

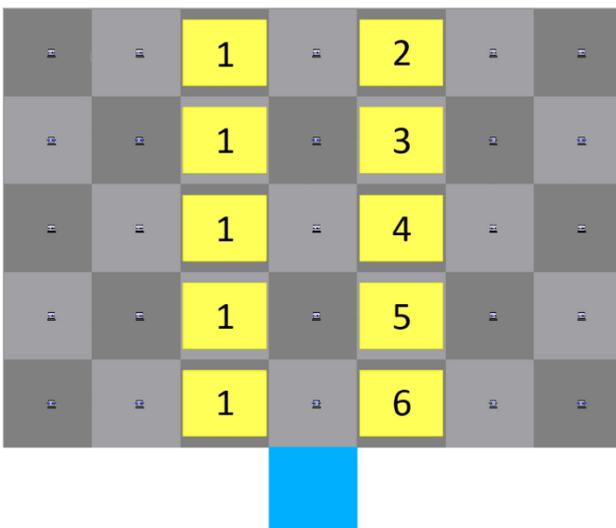


Abbildung 6: Reihenfolge der Auslagerung in Strategie 4

Die letzte hier vorgestellte Strategie ist aus einer Beobachtung in Strategie 3 entstanden. Beim Auslagern der ersten Spalte müssen alle Behälter der zweiten Spalte warten, bis sie komplett in die Auslagerungsgasse vorrücken können. Während dieser Zeit findet keine Bewegung der Behälter aus der rechten Spalte statt. Die Idee ist nun, diese

Zeit bereits zu nutzen und somit einen Geschwindigkeitsvorteil zu erreichen.

Abbildung 6 zeigt die gleiche Ausgangslage wie in Strategie 3. Die Behälter sind wieder in zwei Spalten, links und rechts der Auslagerungsgasse angeordnet. Auch hier wird zunächst die erste Spalte in die Auslagerungsgasse verschoben und dann gleichzeitig in Richtung Entnahmepunkt bewegt. Noch während die Behälter der ersten Spalte sich auf den Entnahmepunkt zu bewegen, werden am oberen Ende der Auslagerungsgasse Positionen frei, die einzelne Behälter der rechten Spalte nutzen können. Somit wird der oberste Behälter zu erst in die Auslagerungsgasse bewegt und schließt sich dann den Behältern der ersten Spalte an. So werden die einzelnen Behälter der rechten Spalte in die Auslagerungsgasse verschoben und dem Entnahmepunkt zugeführt.

Das Auslagern aller Behälter dauert insgesamt 77,7 s. Somit konnte keine Beschleunigung gegenüber Strategie 3 erreicht werden.

5.6 VERGLEICH ALLER STRATEGIEN

Das Diagramm (Abbildung 7) zeigt nun die einzelnen Verläufe der Auslagerungsvorgänge. Die Auslagerungszeit von jedem Objekt bzw. Behälter wurde gemessen und ist im Diagramm als Verlauf für eine Strategie aufgezeichnet.

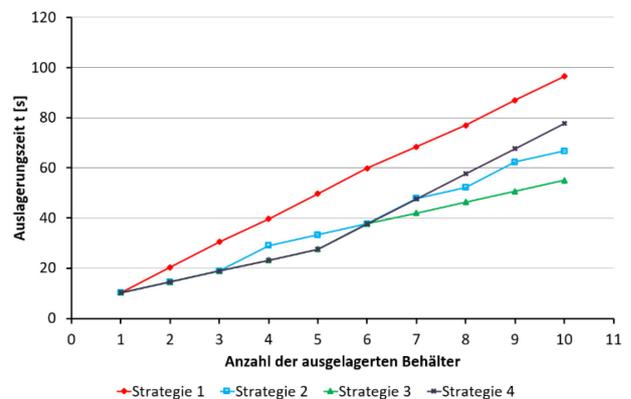


Abbildung 7: Verläufe der Auslagerungszeiten der unterschiedlichen Strategien im Vergleich

Der Anstieg der Kurven entspricht dem aktuellen Stückgutstrom am Entnahmepunkt. Je flacher die Kurve verläuft, desto mehr Behälter werden in der gleichen Zeit aus dem System ausgelagert. Bei gleicher Verfahrensgeschwindigkeit der Behälter am Entnahmepunkt bedeutet es aber auch, dass bei einer flachen Kurve die Abstände zwischen den Behältern kleiner sind. Anstiegswechsel deuten auf eine nicht konstante Auslagerungsstrategie hin.

Strategie 1 ist während des gesamten Verlaufs die langsamste Methode der Auslagerung von Behältern aus den flächigen Frühgepäckspeicher. Im Vergleich zeigt Strategie 2 schon deutliche Geschwindigkeitsvorteile, da hier der Richtungswechsel nahezu jeden Behälters direkt

vor dem Entnahmepunkt entfällt. Auch kann man im Verlauf von Strategie 2 die kleinen Gruppen von Behältern erkennen, die eine Spalte gebildet haben und im Pulk dem Entnahmepunkt zugeführt wurden. Hier bleibt der Anstieg für wenige Behälterentnahmen gleich.

Strategie 3 und Strategie 4 haben für die ersten fünf Behälter den gleichen Zeitverlauf. Die Entnahme der linken Spalte verläuft bei beiden Strategie nach dem gleichen Schema. Danach trennen sich die Verläufe. Während in Strategie 3 nach einer kurzen Pause für das Verschieben der gesamten rechten Spalte wieder mit dem gleichen Stückgutstrom ausgelagert wird, entstehen in Strategie 4 durch das einzelne Umsetzen der Behälter größere Abstände und Wartezeiten. So entwickelt sich die gesamte Auslagerungszeit deutlich auseinander und wird für Strategie 4 sogar noch schlechter als Strategie 2.

6 ZUSAMMENFASSUNG

Durch unterschiedliche Clusterformen lassen sich unterschiedlich hohe Auslagerungszeiten erzielen, somit sollte während der Einlagerung bzw. Clusterbildung schon auf eine gut zu entnehmende Clusterform geachtet werden oder aber mindestens kurz vor der Auslagerung eine Sortierung dahin gehend geschehen, dass eine möglichst zügige Auslagerung und somit effiziente Nutzung der weiteren Fördertechnik gelingt. Ziel sollte somit zukünftig bei der Pulk- oder Clusterbildung von Gepäckbehältern sein, dass sie wenigstens spaltenweise vorsortiert werden. Das Ideal ist die Sortierung in eine lange Spalte, allerdings wird hier schnell die Ausdehnung der Gesamtfläche begrenzend wirken. Die endgültige Auslagerungssortierung kann auch unmittelbar vor dem Aufruf zur Entnahme geschehen, da meist der Aufruf eines Fluges kein komplett zufälliges Ereignis ist und zumindest häufig gut geplant werden kann.

7 FÖRDERHINWEIS

Das Projekt „NekoS – CSS“ wird durch das Zentrale Innovationprogramm Mittelstand (ZIM) des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) gefördert.

LITERATUR

- [1] RICHTER, A.: *Gepäcklogistik auf Flughäfen*. Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg, 2013
- [2] BEUMERGROUP: *Referenzen: Düsseldorf Airport : Erweitertes Terminal-Upgrade während des Live-Betriebs*. URL <https://www.beumergroup.com/de/i/duesseldorf-airport-55814/> – Überprüfungsdatum 2021-07-27

- [3] VANDERLANDE: *Referenzen: Flughafen Istanbul*. URL <https://www.vanderlande.com/de/referenzen/flughafen-istanbul/> – Überprüfungsdatum 2021-07-28
- [4] VANDERLANDE: *Gepäcklagerung: Lagerung auf Wartestrecken*. URL <https://www.vanderlande.com/de/systems/gepaecklagerung/lagerung-auf-wartestrecken/> – Überprüfungsdatum 2021-07-27
- [5] VANDERLANDE: *Gepäcklagerung: BAGSTORE*. URL <https://www.vanderlande.com/de/systems/gepaecklagerung/bagstore/> – Überprüfungsdatum 2021-07-27
- [6] BEUMERGROUP: *CrisStore® Rack-basiertes Lager-system*. URL <https://www.beumergroup.com/de/pd/gepaeckfoerderungstechnik/crisstore-dynamic-racking-lagersystem/> – Überprüfungsdatum 2021-07-27
- [7] SIEMENS LOGSTICS: *Gepäckförderanlagen*. URL <https://www.siemens-logistics.com/de/flughafenlogistik/gepaeckfoerderanlagen> – Überprüfungsdatum 2021-07-27
- [8] VANDERLANDE: *Gepäcklagerung: ADAPTO BAGSTORE*. URL <https://www.vanderlande.com/de/systems/gepaecklagerung/adapto-bagstore/> – Überprüfungsdatum 2021-07-27
- [9] VENTZ, K. ; HACHICHA, M. B. ; RADOSAVAC, M. ; KRÜHN, T. ; OVERMEYER, L.: *Aufbau hochfunktionaler Intralogistik-Knoten mittels kleinskaliger Module als Cognitive Conveyor*. In: *Logistics Journal Proceedings* (2012)
- [10] URIARTE, C. ; ROHDE, A.-K. ; KUNASCHK, S.: *Cellveyor - Ein hochflexibles und modulares Förder- und Positioniersystem auf Basis omnidirektionaler Antriebstechnik*. In: SCHENK, M.; ZADEK, H.; MÜLLER, G.; RICHTER, K.; SEIDEL, H. (Hrsg.): *Tagungsband: 18. Magdeburger Logistiktage : Sichere und nachhaltige Logistik*, 2013, S. 237–247
- [11] SEIBOLD, Z. ; FURMANS, K.: *GridSorter – Logische Zeit in dezentral gesteuerten Materialflusssystemen*. In: *Logistics Journal Proceedings* (2014)

Prof. Dr.-Ing. André Katterfeld, Lehrstuhlleiter Lehrstuhl für Förder- und Materialflusstechnik an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

M.Sc. Matthias Pusch, Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Förder- und Materialflusstechnik an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

B.Sc. Tobias Wiedemann, Hilfwissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Förder- und Materialflusstechnik an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Adresse: Lehrstuhl für Förder- und Materialflusstechnik, Institut für Logistik und Materialflusstechnik (ILM), Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Universitätsplatz 2, 39106 Magdeburg, Deutschland, Tel: +49 (0) 391/67-52690, Fax: +49 (0) 391/67-42646, E-Mail: matthias.pusch@ovgu.de