

# Untersuchung von Auftragsfreigabestrategien für mehrzonige Kommissioniersysteme im Online-Lebensmittelhandel

Stefan Galka<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg,  
Galgenbergstr. 30, D-93053 Regensburg, \*[stefan.galka@oth-regensburg.de](mailto:stefan.galka@oth-regensburg.de)

**Abstract.** This paper briefly presents the challenges for order control and release in multi-zone order picking systems. On the one hand, the order control must ensure that all orders are processed on time, and on the other hand, the space requirements (buffer) and the utilisation of the zones must be considered.

Within the framework of a case study, different strategies for order release were developed. The paper shortly describes the ideas of the strategies and presents results of a case-based simulative evaluation of the strategies. The findings of the simulation study are the basis for the development of a digital twin for the operational control of multi-zone picking systems. In addition to the order release, the digital twin should also supervise workforce disposition and the allocation of staging locations for products depending on anticipated sales.

## Einleitung

Die Kommissionierung für den Online-Lebensmittelhandel erfolgt in der Regel in mehrzonigen Kommissioniersystemen, da unterschiedliche Anforderungen an die Lagerung gegeben sind (z.B. Temperatur). Um kurze Durchlaufzeiten zu ermöglichen, ist eine parallele Bearbeitung der Teilaufträge in den einzelnen Zonen notwendig. Dies hat zur Konsequenz, dass die Teilaufträge vor der Auslieferung konsolidiert werden müssen. Um die Konsolidierung und Kommissionierung voneinander zu entkoppeln, werden die Teilaufträge in einem Puffer zusammengeführt. Wenn alle Teilaufträge im Puffer vereinnahmt wurden, kann die Konsolidierung beginnen. Durch unterschiedliche Durchlaufzeiten in den einzelnen Kommissionierzonen kann es sein, dass die Verweilzeit von einzelnen Teilaufträgen im Puffer sehr groß ist, was eine entsprechende Pufferkapazität voraussetzt. In diesem Beitrag wird anhand eines Fallbeispiels aufgezeigt,

welchen Einfluss unterschiedliche Strategien für die Freigabe der Teilaufträge auf die Pufferkapazität und die Termintreue hat. Dazu werden unterschiedliche Strategien kurz vorgestellt und mit Hilfe eines ereignisdiskreten Simulationsmodells untersucht.

## 1 Problemstellung

Kommissioniersysteme bestehen häufig aus verschiedenen Bereichen (Zonen), in denen die Artikel für einen Auftrag kommissioniert werden. Die Gründe hierfür sind vielfältig. Zum einen können unterschiedliche Kommissioniertechniken zum Einsatz kommen, um den Anforderungen an die Auftragsbearbeitung besser gerecht zu werden. Auch können Produktanforderungen wie eine temperierte Lagerung Ursachen für eine Aufteilung sein. Zum anderen kann das Streben nach kurzen Durchlaufzeiten ein Beweggrund für eine Zonierung und die parallele Bearbeitung von Teilaufträgen sein. Die VDI-Richtlinie 3590 beschreibt die Möglichkeiten für die Aufbau- und Ablauforganisation von Kommissioniersystemen [1].

Im stark wachsenden Online-Lebensmittelhandel lassen sich mehrzonige Kommissioniersysteme nicht vermeiden, da das zu handhabende Sortiment unterschiedliche Anforderungen an die Temperatur stellt. Weiterhin ist eine sehr schnelle und termingerechte Bearbeitung der Aufträge notwendig, um die Kunden teilweise am Tag der Bestellung zu beliefern und die kleinen Anlieferzeitfenster beim Kunden einzuhalten. [2,3] Der Grundstein hierfür wird durch eine hohe Termintreue im Distributionszentrum gelegt.

Einer der kritischsten Bereiche in einem Kommissioniersystem für den Online-Lebensmittelhandel ist die Konsolidierung der Teilaufträge aus den unterschiedlichen Kommissionierbereichen. Dabei muss sichergestellt

werden, dass alle Teilaufträge termingerecht für den Verpackprozess (Konsolidierung) im Konsolidierungspuffer bereitstehen. Durch unterschiedliche Durchlaufzeiten in den einzelnen Bereichen können sich die Ankunftszeiten auch bei einer gleichzeitigen Auftragsfreigabe in allen Bereichen unterscheiden. Der Konsolidierungspuffer kann die unterschiedlichen Ankunftszeiten kompensieren. Allerdings ist die Pufferkapazität beschränkt, da dies Auswirkungen auf den Flächenbedarf und die Investitionen (bei automatisierten Puffern) hat.

Um die notwendige Pufferkapazität zu reduzieren, kann die Durchlaufzeit harmonisiert werden. Neben der Auswahl des geeigneten Kommissionierverfahrens in der Planung kann die schwankende Auftragslast in den Zonen und die damit verbundene Variation der Durchlaufzeit durch eine geeignete Personaldisposition während des Betriebes ausgeglichen werden. Ein weiterer Ansatz ist die Entwicklung einer geeigneten Auftragsfreigabestrategie, die die erwartete Ankunftszeit der Teilaufträge im Konsolidierungspuffer angleicht und dabei die aktuelle Auftragssituation in den Zonen beachtet.

In diesem Paper werden Ergebnisse einer Simulationsstudie vorgestellt, mit der unterschiedliche Auftragsfreigabestrategien für ein neues Distributionszentrum eines Lebensmittel-Onlinehändlers untersucht wurden. Diese Untersuchung ist Teil einer Potenzialanalyse für einen digitalen Systemzwilling, der die operative Steuerung des Distributionszentrums unterstützen soll. Neben der Auftragsfreigabe soll dieser Digitale Zwilling auch die kurzfristige Personaleinsatzplanung und die Auswahl geeigneter Bereitstellbereiche für Waren übernehmen.

## 2 Stand der Technik

Zahlreiche wissenschaftliche Publikationen beschäftigen sich mit der Systemauswahl und Optimierung von Kommissioniersystemen [4]. Neben analytischen Modellen wird für die Untersuchung häufig auch die Simulation genutzt. [5,6]

In den Veröffentlichungen von Ulbrich und Venn wird der Einsatz der Simulation bei der Grobplanung von Kommissioniersystemen beschrieben [7,8]. Neben der Grobplanung wird vor allem bei (teil-)automatisierten Kommissioniersystemen vor der Realisierung eine Simulationsstudie zur Absicherung der Planung durchgeführt. [9] Die erstellten Simulationsmodelle werden in der Regel nicht genutzt, um die operative Planung zu unterstützen.

Zellerhoff stellt Ansätze für eine dynamische Anpassung von Kommissionierstrategien und der genutzten Ressourcen vor. Mit diesem Ansatz soll der spätere Betrieb unterstützt werden. [10] Auch Scholl setzt sich mit dem Thema der Personaleinsatzplanung in der Kommissionierung auseinander. [11] Die konzeptionellen Fragestellungen bei der Entwicklung eines Digitalen Zwillinges für die operative Steuerung von Kommissioniersystemen präsentiert Kauke in seinem Beitrag. Allerdings werden keine konkreten Strategien aufgezeigt. [12]

Digitale Zwillinge für Intralogistiksysteme werden in verschiedenen Veröffentlichungen vorgestellt. Die Veröffentlichungen adressieren z.B. einen Auftragszuweisung für Gabelstapler mit einer integrierten Routenplanung. [13] Die operative Freigabe von Aufträgen in einem mehrzonigen Kommissioniersystem wird in keiner Veröffentlichung adressiert.

Die Auftragsfreigabe ist eine elementare Funktion eines Warehousemanagement-Systems (WMS). Die Systemanbieter bieten unterschiedliche Strategien für diese Funktion an. [14] Die dabei herangezogenen Informationen unterscheiden sich beginnend von Planwerten (wie z.B. eine geplante Auslieferzeit) bis hin zu einer Kalkulation der aktuellen Arbeitsbelastung in den einzelnen Bereichen. Die Auswahl einer geeigneten Strategie erfolgt bei der Einführung des WMS meist auf Grundlage von Einschätzungen oder qualitativer Bewertungen durch das Projektteam.

Die vorgestellte Simulationsstudie unterstützt die Entwicklung einer angepassten Auftragsfreigabe-Strategie für den Online-Lebensmittelhandel. Wobei die Erkenntnisse auf mehrzonige Kommissioniersysteme in anderen Anwendungsgebieten übertragen werden können.

Bezeichnung	Kommissionierverfahren	Hinweise
<b>Gemüse</b>	Kommissioniernest	Single-Order-Picking
<b>Kühlbereich</b>	Person-zur-Ware	Multi-Order-Picking
<b>Trockensortiment</b>	Person-zur-Ware	Multi-Order-Picking
<b>Backwaren</b>	Person-zur-Ware	Multi-Order-Picking

**Tabelle 1:** Übersicht der Kommissionierzonen

### 3 Rahmenbedingungen

Im Rahmen der Fallstudie werden unterschiedliche Freigabestrategien entwickelt und mit Hilfe eines geeigneten Simulationsmodells untersucht.

Das untersuchte Distributionszentrum besteht aus vier unterschiedlichen Kommissionierzonen, die in der Tabelle 1 aufgeführt sind. Die Positionen des Kundenauftrags (Artikel) können eindeutig einer dieser vier Zonen zugeordnet werden. Aus dem Kundenauftrag wird für jede Zone ein eigener Kommissionierauftrag abgeleitet. Die einzelnen Kommissionieraufträge werden für dezidierte Zonen zu Batches zusammengefasst und durch den Kommissionierer gemeinsam auf einer Tour durch die Zone abgearbeitet (Multi-Order-Picking). Dabei werden die Artikel direkt dem Auftrag(-sbehälter) zugeordnet. Am Ende stellt der Kommissionierer die Behälter auf eine Fördertechnik, die den Transport zum Konsolidierungspuffer übernimmt. Im Konsolidierungspuffer werden die Behälter eingelagert. Die Auslagerung erfolgt, wenn alle Aufträge einer Auslieferung (Fahrt) vollständig sind. Da an einer Packstation direkt die Rollgestelle für eine Auslieferungsfahrt vorbereitet werden, findet die Bearbeitung aller Aufträge einer Fahrt sukzessive am selben Packplatz statt. Wenn ein Packplatz eine Auslieferung vollständig bearbeitet hat, wird dem Platz eine neue Auslieferung zugewiesen und die Auslagerung der Behälter des ersten Auftrages aus dem Konsolidierungspuffer angestoßen. Der schematische Aufbau des Kommissioniersystems und der grobe Ablauf sind in Abbildung 1 dargestellt.

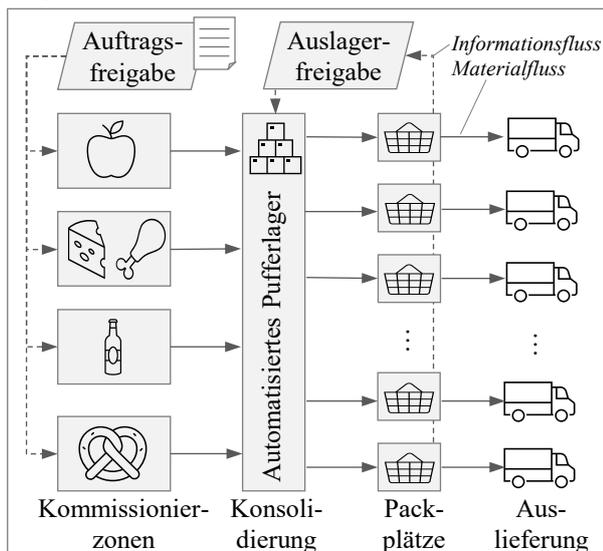


Abbildung 1: Schematischer Aufbau des Systems

Die Auslieferung der Aufträge erfolgt von Montag bis Samstag im Zeitraum von 6:00 bis 22:00 Uhr. Die Kommissionierung beginnt bereits um 3:00 Uhr mit der Bearbeitung der Aufträge und beendet die Arbeit spätestens um 20 Uhr. Die Konsolidierung beendet die Arbeit, wenn alle Aufträge im Puffer abgearbeitet wurden. Die Anzahl der Aufträge variiert zwischen den Wochentagen und den Auslieferzeitfenstern. Die genutzten Auftragsdaten wurden auf der Basis von Vergangenheitsdaten generiert. In der Tabelle 2 sind die Anzahl der Aufträge und deren Verteilung über den Tag aufgeführt.

Wochentag	Anzahl Aufträge	Morgens	Mittags/ Nachmittags	Abends
Mo	1.000	30%	30%	40%
Di	800	30%	30%	40%
Mi	700	30%	30%	40%
Do	900	30%	30%	40%
Fr	1.200	30%	40%	30%
Sa	900	50%	40%	10%

Tabelle 2: Verteilung der mittleren Auftragsanzahl über die Wochentage und Auslieferzeiträume

Die meisten Aufträge umfassen Positionen aus mindestens drei Zonen. Dabei ist die Anzahl der zu kommissionierenden Artikel in den einzelnen Zonen unterschiedlich. Auch die durchschnittlich bestellte Menge eines Artikels unterscheidet sich. Die durchschnittliche Anzahl von Auftragspositionen pro Zonen und die mittlere Entnahmemenge sind in Tabelle 3 zusammengefasst.

Bezeichnung	Aufteilung der Positionen eines Auftrages	Menge pro Position
Obst und Gemüse	35%	2 EE
Kühlbereich	25%	1,5 EE
Trockensortiment	30%	1 EE
Backwaren	10%	1,7 EE

Tabelle 3: Auftragseigenschaften, Verteilung der Auftragspositionen auf die Kommissionierzonen und mittlere Entnahmemenge (EE) pro Position

Der Lebensmittel-Onlinehändler möchte eine Termintreue von 95 Prozent sicherstellen. Mit Hilfe der Untersuchung soll eine sinnvolle Strategie für die

Auftragsfreigabe identifiziert werden. Weiterhin soll ermittelt werden, welche weiteren Aspekte die Termintreue beeinflussen und somit durch ein Steuerungssystem überwacht und hinsichtlich der aktuellen Anforderungen angepasst werden sollten.

## 4 Strategien für die Freigabe

In diesem Abschnitt sollen die untersuchten Freigabestrategien vorgestellt werden. Die Strategien wurden gemeinsam in Workshops ausgearbeitet. Dabei wurde die Umsetzbarkeit im Warehouse-Management-System (WMS) des Lebensmittelhändlers berücksichtigt. Bei allen entwickelten Strategien kann der früheste Freigabezeitpunkt festgelegt werden (z.B. maximal vier Stunden vor der gewünschten Lieferzeit). Zum Zeitpunkt der Freigabe muss bereits die Tourenplanung erfolgt und damit ein Kundenauftrag einer Ausliefertour zugeordnet sein. Um Expresslieferungen in den normalen Ablauf zu integrieren, soll die Tourplanung möglichst spät erfolgen. Für die Untersuchung wurden die folgenden vier Strategien identifiziert.

**Standard-Release Time (SRT).** Bei dieser Strategie werden alle Teilaufträge eines Auftrages zur gleichen Zeit für die Bearbeitung in den relevanten Zonen freigegeben. Der Freigabezeitpunkt kann über Parameter eingeschränkt werden. Hierbei wird für jede Zone eine maximale Anzahl an offenen Aufträgen im Auftragspuffer (freigegeben) festgelegt. Wenn für alle relevanten Zonen der Grenzwert nicht überschritten wird, erfolgt die Freigabe aller Teilaufträge. Andernfalls wird die Freigabe verzögert.

**Fixer Offset (FO).** Dem Betreiber des Kommissioniersystems ist in der Regel bekannt, welche Zone den Engpass bildet. Die Idee dieser Strategie ist es, dass zuerst der Auftrag für die Engpasszone freigegeben wird. In einem für jede Zone fest definierten Zeitabstand erfolgt auch die Freigabe der anderen Teilaufträge. Damit soll die notwendige Pufferkapazität reduziert werden. Im späteren Betrieb können die Offset-Parameter regelmäßig angepasst werden. (In dieser Studie wird keine Anpassung im Simulationszeitraum vorgenommen)

**Process Trigger (PT).** Die im Vorhinein festgelegte zeitliche Staffelung der Auftragsfreigabe kann nur bedingt die aktuelle Belastung des Kommissioniersystems abbilden. Bei dieser Strategie erfolgt zuerst die Freigabe für die Engpasszone. Wenn ein festgelegter

Prozessschritt (in der Studie der Start der Auftragsbearbeitung in der Engpasszone) begonnen wird, werden die anderen Teilaufträge für die Bearbeitung freigegeben. Es wird bei dieser Strategie unterstellt, dass eine der Hauptursachen für die unterschiedlich langen Durchlaufzeiten die Wartezeit (im Auftragspuffer der Zone) bis zum Start der eigentlichen Auftragsbearbeitung ist. Durch die Freigabe zum Bearbeitungsstart soll der Unterschied reduziert werden. In der Untersuchung triggert nur der Engpassprozess die anderen Teilaufträge. Es ist aber auch denkbar, dass mehrere Trigger eingesetzt werden können.

**Estimated Time of Arrival (ETA).** Die Idee für diese Strategie beruht auf der Annahme, dass die aktuelle Belastung der Zonen und damit die erwartete Durchlaufzeit berechnet werden kann. Zuerst wird für die bereits freigegebenen Aufträge die Planbearbeitungszeit bestimmt. Dabei werden die Auftragspositionen und die Entnahmemenge berücksichtigt. Die Planbearbeitungszeiten beruhen dabei auf Vorgabezeiten die mittels Methods-Time-Measurement (MTM) [15,16] analysiert wurden. Für die Zone mit der längsten zu erwartenden Durchlaufzeit erfolgt die Freigabe. Die erwartete Durchlaufzeit für diesen Auftrag bildet die Zielzeit für die anderen Aufträge. Ausgehend von der Zielzeit findet eine Rückwärtsterminierung statt und es wird ein spätester Freigabezeitpunkt für jeden Teilauftrag festgelegt. Die individuelle Freigabe der Teilaufträge erfolgt in einer definierten Zeitspanne vor dem spätesten Freigabezeitpunkt. (In der Untersuchung sind dies 10 Minuten)

Bei der Entwicklung der Strategien müssen verschiedene Zielstellungen beachtet werden. Aus Sicht der Termintreue wäre eine möglichst frühe Auftragsfreigabe für alle Zonen hilfreich. Dies führt unweigerlich zu einem hohen Platzbedarf im Konsolidierungspuffer. Um die notwendige Kapazität zu reduzieren, kann eine dezidierte Freigabe der Teilaufträge helfen. Die gestaffelte Freigabe wirkt sich gegebenenfalls auf die Auslastung der einzelnen Zonen aus. Aus wirtschaftlichen Gründen müssen die Kommissionierer gut ausgelastet werden. Dies spricht wieder für eine möglichst frühe Auftragsfreigabe. Um auch bei einer gestaffelten Freigabe eine gute Auslastung der Kommissionierer zu ermöglichen, sollte auch die Mitarbeiterdisposition berücksichtigt werden. Dieser Aspekt soll in einer späteren Simulationsstudie untersucht werden.

## 5 Modell und Experimente

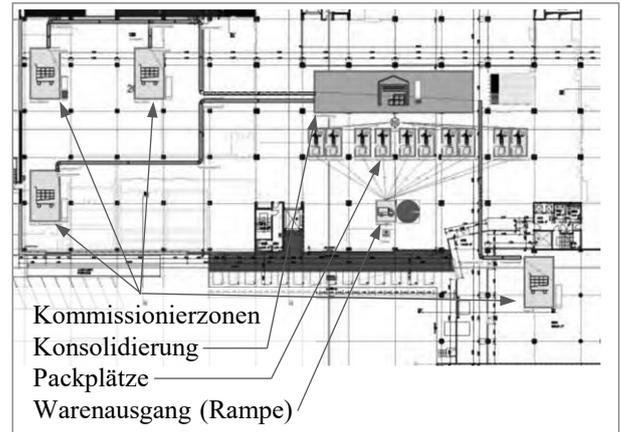
Für die simulative Untersuchung der Auftragsfreigabe werden nur der Kommissionier- und Verpackungsprozess betrachtet. Weitere Prozesse wie der Wareneingang, der Nachschub oder die Auslieferung an den Kunden werden nicht im Simulationsmodell abgebildet. Für die Untersuchung wurden verschiedene Bausteine (Klassen) in PlantSimulation entwickelt. Jede **Kommissionierzone** wird durch ein Netzwerk repräsentiert. Dieses Netzwerk kann über Parametertabellen angepasst werden. Neben der Ressourcenanzahl können auch Prozessparameter für jede Zone individuell festgelegt werden. Der eigentliche Kommissionierprozess ist abstrakt modelliert. Dies bedeutet, dass der Kommissionierprozess in Abhängigkeit der gerade zu bearbeitenden Aufträge und der verfügbaren Ressourcen als Zeitbedarf modelliert wird. Bei diesem Ansatz können keine Blockierungen und Behinderungen zwischen den Kommissionierern auftreten. Diese Aspekte wurden für diese Untersuchung als nicht relevant klassifiziert, da die Gassen ausreichend breit sind und die Anzahl der Mitarbeiter im Verhältnis zur Fläche als gering eingeschätzt wird.

Ein weiterer Baustein bildet den **Konsolidierungspuffer** ab. Neben der Abbildung der Ein- und Auslagervorgänge überwacht dieser Baustein die Vollständigkeit der Aufträge und Auslieferungen. Wenn ein Packplatz eine neue Auslieferung bearbeiten kann, wird diese anhand der Vollständigkeit und der Auslieferzeit ausgewählt sowie die Auslagerung angestoßen.

Die eigentliche Konsolidierung wird durch den **Packplatz**-Baustein dargestellt. Bei diesem Baustein wurde auf eine detaillierte Abbildung des Packprozesses verzichtet. Vielmehr wird der Zeitverbrauch in Abhängigkeit des Auftrages bestimmt und die Ressource für diesen Zeitraum belegt.

Neben den beschriebenen Bausteinen umfasst das Modell noch weitere Funktionen, die für die Auftragssteuerung, die Protokollierung von Kennwerten und die Steuerung der Experimentreihen notwendig sind. In der Abbildung 2 ist das Hauptnetzwerk des Modells zu erkennen. Das Modell besteht aus den vier Kommissionierzonen, einem Konsolidierungspuffer und 10 Packplätzen. Die Bereiche sind über Gebindefördertechnik miteinander verbunden.

Die Simulationsstudie kann in zwei Phasen eingeteilt werden. In der ersten Phase wird der benötigte Ressourceneinsatz in den einzelnen Bereichen des

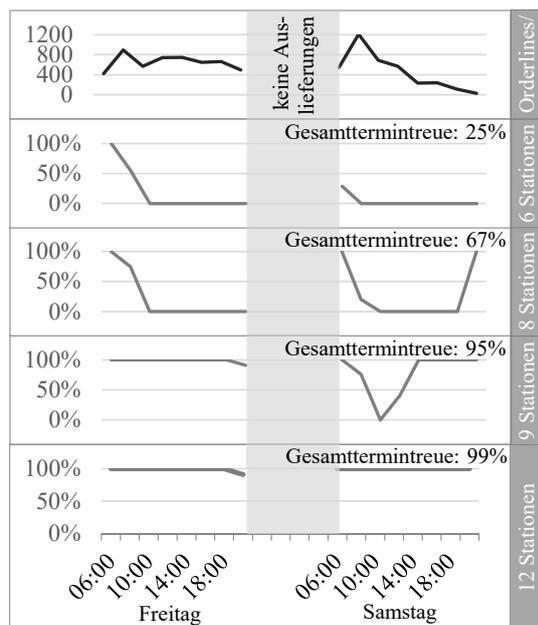


**Abbildung 2:** Hauptnetzwerk des Simulationsmodells in PlantSimulation

Systems untersucht. Die festgelegten Werte finden in allen weiteren Experimenten Anwendung. In der zweiten Phase stehen die vorgestellten Strategien im Mittelpunkt der Untersuchungen. Dazu wurden insgesamt 36 Experimente mit jeweils vier Replikationen durchgeführt, wobei die Replikationen unterschiedliche Auftragslisten nutzen. Für die Strategien „Estimated Time of Arrival“ und „Standard-Release Time“ wurde jeweils nur ein Experiment durchgeführt, da für diese Strategien keine Parameter festgelegt werden müssen. Für die Untersuchung der Strategie „Process Trigger“ wurde jede der vier Kommissionierzonen in einem Experiment als „Engpass“ festgelegt (Annahme) und triggert somit den Prozessstart in den anderen Zonen. Die verbleibenden 30 Experimente entfallen auf die Strategie „Fixer Offset“. Als Werte für den Offset wurden 0, 5, 10, 20 und 30 Minuten eingesetzt. Für die Untersuchung wurden 30 Kombinationen ausgewählt. Bei jeder dieser Kombinationen ist einer Zone der Wert null zugeordnet. Dies bedeutet, dass der entsprechende Teilauftrag in dieser Zone zuerst freigegeben wird (Engpasszone).

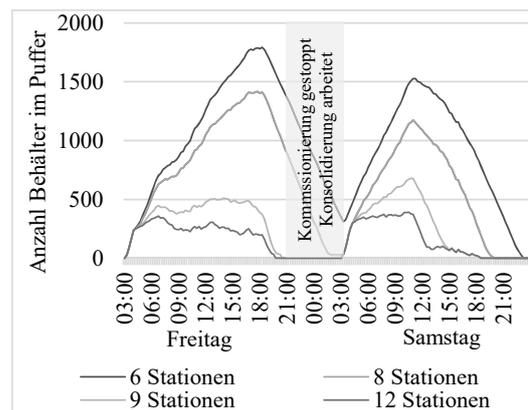
## 6 Ergebnisse

In den ersten Experimenten (1. Phase) wurden die Bearbeitungskapazitäten des Systems an die geforderte Systemlast angepasst. In dieser Fallstudie wird davon ausgegangen, dass die Kapazität während der Simulation konstant bleibt. Exemplarisch ist in der Abbildung 3 die Veränderung der Termintreue in Abhängigkeit der Anzahl an Packstationen dargestellt. Es ist zu erkennen, dass ab neun Packstationen die geforderte Termintreue von 95 Prozent eingehalten werden kann.


**Abbildung 3:** Verlauf der Termintreue

Die Simulationsergebnisse aus der ersten Phase haben gezeigt, dass die Packstationen am schlechtesten Schwankungen der Auftragslast kompensieren können. In Abbildung 3 ist dies durch einen kurzfristigen Einbruch der Termintreue am Samstag erkennbar. Vor allem Lastspitzen am Tagesanfang sind kritisch. Auch wenn die Aufträge bereits am Vortag bekannt sind, kann die Bearbeitung aufgrund der Anforderungen an die Kühlkette nicht vorgezogen werden. Um die Termintreue zu verbessern, muss kurzfristig die Anzahl „offener“ Packstationen erhöht werden.

Die Auswirkungen einer zu geringen Bearbeitungskapazität im Konsolidierungsbereich (Packstationen) wirken sich erwartungsgemäß auf den notwendigen Pufferplatz in der Konsolidierungszone aus. Der Pufferverlauf ist in der Abbildung 4 ersichtlich. Bei neun Stationen müssen maximal 680 Behälter gepuffert werden. Der Bestandsverlauf lässt die Schlussfolgerung zu, dass bei neun Stationen der Zufluss und Abfluss aus dem Konsolidierungspuffer annähernd gleich sind. Der Samstag stellt aus den bereits diskutierten Gründen eine Ausnahme dar. Die Kommissionierbereiche stellen die Arbeit ein, wenn alle Aufträge abgearbeitet wurden, spätestens aber um 20 Uhr. Die Konsolidierung muss aufgrund der bereits erwähnten Kühlkette alle Aufträge abarbeiten und beendet die Arbeit erst, wenn der Puffer leer ist.


**Abbildung 4:** Pufferverlauf für Freitag und Sonntag

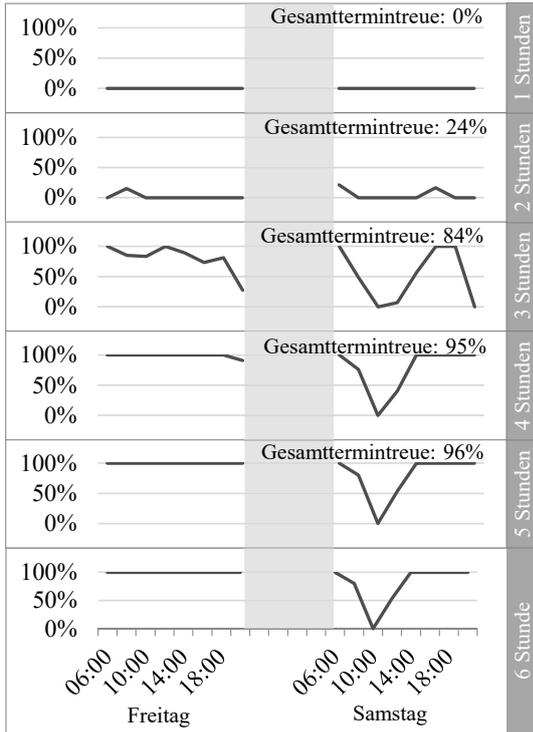
In der ersten Phase der Simulationsstudie wurde für jeden Bereich eine wirtschaftlich sinnvolle Kapazität bestimmt. Im Mittel beträgt die Auslastung der Kommissionierer 72 bis 87 Prozent. Für die weiteren Experimente wird der in Tabelle 5 beschriebene Ressourceneinsatz zugrunde gelegt.

Bezeichnung	Anzahl Mitarbeiter/Stationen
Obst und Gemüse	7
Kühlbereich	5
Trockensortiment	7
Backwaren	3
Konsolidierung	9

**Tabelle 5:** eingesetzte Ressourcen nach Zonen

Die Tourplanung für die Auslieferung soll möglichst spät erfolgen. Die Bearbeitung im Distributionszentrum kann erst gestartet werden, wenn die Tourplanung erfolgt ist. Aus diesem Grund wurde der Einfluss des frühestmöglichen Auftragsfreigabezeitpunkts untersucht. Hierbei wurde der Zeitraum für die Freigabe zwischen einer Stunde und sechs Stunden variiert. Die Ergebnisse, welche in der Abbildung 5 dargestellt sind, zeigen, dass die Freigabe mindestens vier Stunden vor der Auslieferung erfolgen muss. Andernfalls muss die Anzahl der Ressourcen in allen Bereichen erhöht werden.

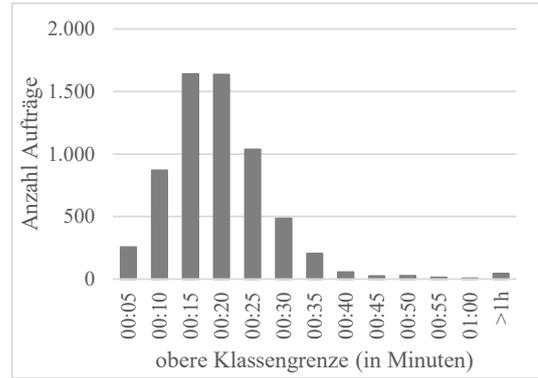
Eine frühere Freigabe der Aufträge erlaubt eine bessere Kompensation von Lastspitzen. Der Lastspitze am Samstag kann aber auch nicht mit einer Freigabe von 6 Stunden vor Auslieferung begegnet werden, da die Spitze am Tagesanfang auftritt und eine Bearbeitung am Vortag einen noch größeren Vorlauf nötig macht.



**Abbildung 5:** Verlauf der Termintreue in Abhängigkeit des frühesten Freigabezeitpunktes

Für die weiteren Untersuchungen wird der früheste Freigabezeitpunkt auf 4 Stunden vor Auslieferung festgelegt. Neben der erreichbaren Termintreue sind die Anforderungen an die Kühlkette und Tourplanung dafür entscheidend.

Die ersten Experimente haben gezeigt, dass die Packstationen einen Engpass darstellen. Permanent mehr als neun Stationen mit Mitarbeitern zu besetzen, ist nicht wirtschaftlich. In diesem Bereich muss der Kapazitätsbedarf dynamisch angepasst werden. Da in dieser Studie die Auswirkungen der Freigabestrategie untersucht werden sollen, wird das Potenzial der Strategien anhand der Ankunftszeit im Konsolidierungspuffer bewertet. Dadurch werden die Ergebnisse nicht durch zeitweilige Engpässe im Packbereich beeinflusst. Als Vergleichswert wird die Zeitspanne zwischen der Ankunft des ersten und des letzten Teilauftrages im Puffer herangezogen. Exemplarisch ist für die Strategie ETA in der Abbildung 6 ein Histogramm abgebildet, welches die Verteilung der Zeitspannen zwischen der Ankunft des ersten und letzten Teilauftrages darstellt.



**Abbildung 6:** Verlauf der Termintreue in Abhängigkeit des frühesten Freigabezeitpunktes.

Für eine bessere Vergleichbarkeit der Experimentergebnisse wird für jedes Experiment die mittlere Zeitspanne und Standardabweichung bestimmt. Die Ergebnisse der relevanten Experimente sind in der Tabelle 6 aufgeführt. In den Spalten „Obst“, „Kühlung“, „Trocken“ und „Bäckerei“ sind die eingesetzten Parameter für die jeweilige Zone ersichtlich. Die Tabelle zeigt nur die relevanten Experimente.

Strategie	Obst	Kühlung	Trocken	Bäckerei	Mittlere Zeitspanne	Standardabweichung	max. Pufferbestand
SRT					0:35:18	0:04:11	1183
FO	E	10	10	10	0:38:11	0:03:15	1078
FO	E	20	5	20	0:32:41	0:03:05	988
FO	E	30	5	30	0:32:18	0:03:01	976
FO	10	10	E	10	0:24:25	0:02:28	799
FO	10	20	E	20	0:24:48	0:02:14	805
FO	10	30	E	30	0:24:51	0:02:19	827
FO	20	20	E	20	0:23:01	0:02:04	764
FO	20	30	E	30	0:22:51	0:01:48	735
PT	T				0:24:42	0:01:59	812
PT			T		0:20:02	0:01:35	720
ETA					0:19:48	0:01:07	674

**Tabelle 6:** Ergebnisse der relevanten Experimente zur Untersuchung der Strategien. (E-Engpasszone, T: Triggerzone, Angabe des Offsets in Minuten)

Die Ergebnisse der Studie haben gezeigt, dass die Strategie ETA am besten auf die aktuelle Systemlast reagiert. Ähnlich gute Ergebnisse zeigt die Strategie PT.

Größere Unterschiede in den Zeitspannen konnten bei der Strategie FO beobachtet werden. Die mittlere Zeitspanne ist bei gut gewählten Parametern ähnlich zu den vorher genannten Strategien. Wenn alle Teilaufträge zur gleichen Zeit freigegeben werden (SRT), führt dies zu höheren Zeitspannen zwischen der Ankunft des ersten und des letzten Teilauftrages und somit zu einem höheren maximalen Pufferbestand.

Die fallbasierte Simulationsstudie hat gezeigt, dass die Kapazität der einzelnen Kommissionierbereiche und vor allem die Leistungsfähigkeit der Konsolidierung wesentlich die Termintreue und auch die Puffergröße beeinflussen. In einem Kommissioniersystem können sich Engpassbereiche verschieben, da die Arbeitslast in den Bereichen variiert. Aus diesem Grund ist es notwendig, dass neben der Wahl der richtigen Auftragsfreigabestrategie auch die Bearbeitungskapazität der Zonen überwacht und bedarfsgerecht angepasst werden kann. Wie zu Beginn des Beitrages aufgezeigt, sollen Strategien für die dynamische Personaleinsatzplanung in weiterführenden Untersuchungen analysiert werden.

## 7 Zusammenfassung

Die Untersuchung der Freigabestrategien für die Teilaufträge in einem mehrzonigen Kommissioniersystem hat gezeigt, dass die sogenannte „Estimated time of arrival“-Strategie für das Fallbeispiel die besten Kennwerte lieferte und hinsichtlich einer Umsetzung weiter detailliert werden soll. Durch die Simulationsstudie kristallisierte sich heraus, dass die Freigabestrategie nicht autark betrachtet werden kann. Vielmehr muss auch die Einsatzplanung für die Mitarbeiter durch die Steuerungsstrategien erfolgen. Durch diese ganzheitliche Betrachtung kann das System ausballanciert werden. Aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten ist der Einsatz der Ressourcen beschränkt. Vor allem bei Lastspitzen müssen Strategien Anwendung finden, die die Last nivellieren. Da die Einhaltung der Kühlkette kein uneingeschränktes Vorziehen der Auftragsbearbeitung ermöglicht, müssen andere Maßnahmen ergriffen werden. Zum Beispiel kann über das Marketing der Kunde bei der Wahl des Liefertermins beeinflusst werden.

In weiterführenden Untersuchungen sollen das Thema Personaldisposition untersucht und die Strategien für die Umsetzung eines Steuerungssystems mit integrierter Prozesssimulation (Digitaler Zwilling) identifiziert werden.

## References

- [1] VDI Richtlinie 3590. Kommissionierung. Berlin: Beuth Verlag; 1994.
- [2] Thoma K. Akzeptanz des Online-Lebensmittelhandels. Hof: HSH; 2019.
- [3] Warschun, M., Limper-Menapace, A., Neumann, F., Pins, A. Online-Handel mit Lebensmitteln: Fokus als Schlüssel zum Erfolg. AT Kearney. Internet ohne Orstange. Aufruf 20.03.2022.
- [4] De Koster, R., Le-Duc, T., Roodbergen, K.J. Design and control of warehouse order picking: A literature review. *European journal of operational research* 182.2; 2007.
- [5] Bučková, M., Krajčovič, M., Edl, M. Computer simulation and optimization of transport distances of order picking processes. *Procedia engineering* 192 (2017).
- [6] Klodawski, M., et al. Simulation analysis of order picking efficiency with congestion situations. *International Journal of Simulation Modelling* 17.3, 2018: 431-443.
- [7] Ulbrich, A. S.: Simulationsgestützte Grobplanung von Kommissioniersystemen. München: fml; 2010.
- [8] Venn, E.: Beitrag zur simulationsgestützten Konzeptplanung von heterogen strukturierten Kommissioniersystemen. Dortmund: Verl. Praxiswissen, 2011.
- [9] Jaghbeer, Y., Hanson, R., Johansson, M.I. Automated order picking systems and the links between design and performance: a systematic literature review. *International Journal of Production Research* 58.15 2020: 4489-4505.
- [10] Ten Hompel, M.; Zellerhoff, J. Simulation zur Bestimmung des Leistungsgewinns bei kombiniertem Einsatz mehrerer Kommissionierstrategien – in Abhängigkeit von Layout und Auftragslast. In *Integrationsaspekte der Simulation: Technik, Organisation und Personal*. Karlsruhe: KIT Scientific Publishing, 2010
- [11] Scholl, P.; Deuse, J.: Optimale Personalstrategie in der Kommissionierung-Dynamische Entscheidungsmodell zur kostenoptimalen Kommissionierung bei hohen Absatzschwankungen. In: *wt online*, 2010.
- [12] Kauke, D., Galka, S., Fottner, J. Digital Twins in Order Picking Systems for Operational Decision Support. 54th Hawaii International Conference on System Sciences, 2021 Hawaii, USA, 1655 – 1664
- [13] Braglia, R., Gabbrielli, M., Frosolini, L., Marrazzini Paddellini. Using rfid technology and discrete-events, agent-based simulation tools to build digital-twins of large warehouses. *IEEE International Conference on RFID Technology and Applications*. 2019; 464-469
- [14] Ten Hompel, M., Schmidt, T. *Warehouse management*. Springer Berlin, 2008.
- [15] MTM -Institut: *Schulungsunterlagen Standardvorgänge Logistik*, Zeuthen, 2009.
- [16] Galka, S., Günthner, W.A. Planung und Auswahl von Kommissioniersystemen. In *MTM in einer globalisierten Wirtschaft*. Berlin: mi-Verlag. 2013; 201-220