

Simulationsstudie zur sequentiellen Behälterversorgung in der automatischen Intralogistik

Simulation Study on a Sequential Supply of Small Load Carriers in Automated Intralogistics

Robert Forstner, Stephan Stauber, SimPlan AG, Regensburg (Germany),
robert.forstner@simplan.de, stephan.stauber@simplan.de

Frank Herrmann, Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg,
Innovationszentrum für Produktionslogistik und Fabrikplanung (IPF),
Regensburg (Germany), frank.herrmann@oth-regensburg.de

Abstract: After explaining the necessity of sequential sorting processes within branched conveyor systems and introducing basic sequential controlling principles, this paper analyses with a simulation study different ways of implementing sequential supply processes for small load carriers in an abstracted automated intralogistics system. Simulation results show that a layout with sequencing systems with explicit buffer places can ensure much higher sequential throughput performances than a layout with a loop for sequencing or a layout which implements sequencing processes just with the control of carrier sources. Because of sequential control dependencies in the layout with buffer places, further experiments for sequential supply processes with different layouts forms have to be assessed.

1 Einleitung

Mit dem Anstieg des Internethandels (als Folge der Digitalisierung der Gesellschaft) nahmen auch die logistischen Anforderungen der Unternehmen zu, die für eine Optimierung der Flexibilität und Wirtschaftlichkeit ihrer Logistiklösungen zunehmend sämtliche Bereiche ihrer Intralogistik automatisieren (Barck 2016). Demzufolge werden in Distributionszentren vermehrt automatische Lagerlösungen und Förder-technikanlagen eingesetzt, um die optimale Abwicklung von Kundenaufträgen zu gewährleisten. Ein Anwendungsszenario wäre dazu eine vollautomatische Versorgung mehrerer Kommissionierstationen mit Entnahmebehältern aus einem automatischen Kleinteilelager (AKL).

Die Automatisierung solcher Versorgungsprozesse beinhaltet dabei auch die rechnerunterstützte Verwaltung der Arbeitsschritte in den Zielbereichen. Deshalb benötigen bestimmte Funktionsbereiche (wie etwa die Kommissionierung) eine festgelegte

Reihenfolge an ankommenden Fördergütern (FGs), um die standardisierten Abläufe durchführen zu können.

2 Grundproblematik der sequenziellen Versorgung

Eine sequenzielle Versorgung eines Zielortes stellt bei einem Materialfluss ohne zusammenführenden Knoten keine Herausforderung dar, da die FGs in der richtigen Reihenfolge in einer Quelle gestartet werden können und bei einer linearen Verbindung keine Möglichkeiten zur Veränderung bzw. Verwirbelung einer FG-Sequenz bestehen. Werden die Zielbereiche jedoch nicht nur aus einer, sondern aus mehreren (Teil-)Quellen parallel versorgt, so ergeben sich zusammenführende Materialflussknoten, an denen sich einzelne FGs falsch in eine vorgegebene Sequenz einreihen und damit Sequenz-Verwirbelungen verursachen können.

In Abbildung 1 ist dazu anhand eines prinzipiellen Beispiels verdeutlicht, dass sowohl die Einplanung von FGs auf die Quellen (bzw. die Auswahl einer Quelle für eine Auslagerung eines FGs) als auch die Entfernungen der Quellen zu zusammenführenden Materialflussknoten Einfluss auf die Entstehung von Verwirbelungen haben können. Für die Quellen wird dabei vorausgesetzt, dass diese nur ein FG gleichzeitig starten können (diese Bedingung wird auch für alle weiteren Quellen in dieser Ausarbeitung festgelegt). Zudem unterliegen die Quellen in Abbildung 1 – mit Ausnahme der sequenziellen Reihenfolge innerhalb einer Quelle – keinerlei Restriktionen, d. h. die zugeordneten FGs werden so schnell wie möglich gestartet. So lässt sich in dem Beispiel ausgehend von einer einfachen alternierenden Einplanung der vier FGs erkennen, dass aufgrund von unterschiedlichen Förderdistanzen eine Verwirbelung in der FG-Sequenz entsteht.

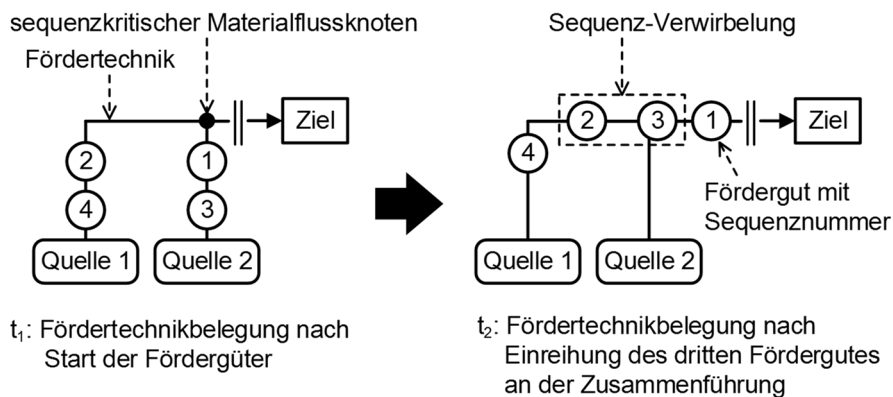


Abbildung 1: Entstehung einer Sequenz-Verwirbelung an einem Materialflussknoten

Ein Anhalten eines FGs direkt vor einem sequenzkritischen Knoten wäre bei größeren Fördertechniklayouts jedoch hinderlich, da mehrere Quellen über solche Knoten verschiedene Ziele mit unterschiedlichen Sequenzrestriktionen versorgen können. Eine Blockierung dieser sequenzkritischen Knoten würde somit Rückstaus verursachen und könnte damit die Quellen in ihrer Durchsatzleistung behindern.

Um trotz der Möglichkeit von Verwirbelungen einen reibungslosen Betrieb von sequenzabhängigen Bereichen zu garantieren, werden in der automatisierten Intralogistik, insbesondere im hochdynamischen Anwendungsbereich der Behälterfördertechnik, spezielle Fördertechnikanlagen eingesetzt, um eventuell verwirbelte FG-Abfolgen im Transit zum Zielbereich wieder in die vorgesehene Reihenfolge zu sortieren. Diese Anlagen werden dabei als Sequenzierungssysteme, die dabei vorkommenden Sortiervorgänge als Sequenzierung bezeichnet.

3 Wissenschaftliche Abgrenzung

Obwohl der Prozess der Sequenzierung in der Praxis häufig Gegenstand von Simulationsuntersuchungen ist, wird die sequenzielle Sortierung in der Literatur nicht ausreichend berücksichtigt. So ist der Begriff des Sortierens in der Intralogistik laut Jodin und ten Hompel (2012, S. 5 f.) vor allem mit der Verteilung von zu sortierenden Gegenständen aus einer ungeordneten Gesamtmenge auf eindeutige Ziele assoziiert. Auch Arnold und Furmans (2009, S. 225) definieren den Begriff als eine Aufteilung einer Menge von Objekten in mehrere Teilmengen. Diese nicht eindeutige Begriffsdefinition verdeutlicht auch die aktuelle VDI 3619 (2015) mit dem Titel „Sortier- und Verteilsysteme für Stückgut“, die die Richtlinie 3312 mit dem weniger präzisen Titel „Sortieren im logistischen Prozess“ ablöste und dabei ebenfalls nur die oben dargelegten Sortiersysteme beschreibt.

Koether (2007, S. 106 ff.) erläutert zwar, dass eine Sortierung von FGs auch die Änderung der Reihenfolge von FGs umfasst, der Fokus seines Kapitels zur Sortierung liegt jedoch wiederum auf der Verteilung von FGs auf verschiedene Zielstellen. Auch ten Hompel et al. (2007, S. 120) nennen in nur einem Satz zu Funktionen von Förder-technikanlagen, dass das „Sortieren [...] das Ordnen einer Anzahl von Gütern in eine vorgegebene Sequenz [beschreibt]“. Analog zu dieser kurzen Übersicht betonen auch Arnold und Furmans (2009, S. 231 f.), dass Literaturquellen zu logistischen Sortiersystemen nur sehr eingeschränkt vorhanden sind. Deshalb soll diese Ausarbeitung einen Beitrag zur wissenschaftlichen Erfassung von Sequenzierungsprozessen in der automatisierten Intralogistik liefern.

4 Grundlegende Steuerung von Sequenzierungsprozessen

Der Steuerungsablauf sämtlicher Sequenzierungsprozesse folgt immer einem grundlegenden Muster: Zunächst wird eine Sequenzliste mit Einträgen zu FGs erstellt, die einen zugehörigen Sequenzpunkt in einer vorgegebenen Reihenfolge passieren sollen. Als Sequenzpunkt wird dabei beispielsweise ein sequenzkritischer Materialflussknoten definiert. Zudem wird für einen Sequenzpunkt auch mindestens ein Prüfpunkt festgelegt, an dem anhand der Sequenzliste zu ermitteln ist, ob ein FG in den Sequenzpunkt direkt eintreten darf oder alternativ gesteuert werden muss. Bei einer strikten Sequenzierung ist es dabei beispielsweise nur dem FG des ersten Eintrages einer Sequenzliste erlaubt, den Sequenzpunkt als nächstes zu durchqueren. Hat ein FG – nach erfolgreicher Einfahrtsprüfung – den eigentlichen Sequenzpunkt auf der Fördertechnik erreicht, so wird es aus der Sequenzliste ausgebucht. Dadurch kann wiederum einem sequenziellen Nachfolger an einem Prüfpunkt erlaubt werden, als nächstes in den Sequenzpunkt einzufahren.

Der entscheidende Teil für den Ablauf von Sequenzierungsprozessen ist dabei die Definition der alternativen Steuerung an einem Prüfpunkt, falls ein FG nicht direkt zum Sequenzpunkt gefördert werden darf. Hier muss sichergestellt werden, dass alle sequenziellen Vorgänger den Sequenzpunkt vor einem zunächst abgewiesenen FG passieren können. Um die Anzahl an (notwendigen) alternativen Steuerungen in einem lokalen Fördertechnikbereich zu reduzieren, lässt sich die Einfahrtsprüfung für einen Sequenzpunkt mit der Verwendung einer sogenannten *Range* auch weniger restriktiv gestalten. Dieser Wert gibt an, welche numerische Sequenzposition ein FG – relativ in einer Sequenzliste – maximal haben darf, um in einen Sequenzpunkt (von einem Prüfpunkt aus) eintreten zu dürfen. Eine strikte Sequenzierung würde dabei eine Range von 1 bedeuten. Erhöht man jedoch die Range, so können auch nach dem Sequenzpunkt (begrenzte) Sequenzverwirbelungen auftreten, da auch FGs mit höherer numerischer Sequenzposition einfahren dürfen oder – bei mehreren Prüfpunkten für einen Sequenzpunkt – auch mehrere FGs gleichzeitig zu einem Sequenzpunkt unterwegs sein können.

Anhand der Range kann eine Sequenzierung auch aufgeteilt werden, indem in einem Fördertechnikbereich eine *Vorsequenzierung* mit höherer Range durchgeführt wird, um diesen Bereich aufgrund weniger alternativer Steuerungen geringer zu belasten. Dies erfordert jedoch eine abschließende Sequenzierung in einem nachgeschalteten Fördertechnikbereich, um den finalen Ordnungsgrad für ein Ziel herzustellen. Somit gilt es abzuwägen, an welchen Stellen in einem Layout Sequenzpunkte definiert und mit welcher Range diese Punkte gesteuert werden sollten, um eine leistungsstarke Versorgung der Zielbereiche trotz sequenzieller Restriktionen zu gewährleisten.

5 Simulationsstudie zur sequenziellen Behälterversorgung

In der nachfolgend vorgestellten Simulationsstudie werden schrittweise mehrere Groblayouts einer abstrahierten Intralogistikanlage untersucht, in der vier Behälterquellen („Src_1“ bis „Src_4“) zwei Kommissionierstationen („KOMM_1“ und „KOMM_2“) mit Kleinladungsträgern (strikt) sequenziell versorgen sollen. Die verschiedenen Layouts repräsentieren dabei verbreitete Ansätze, die in dieser Studie unter gleichen Rahmenbedingungen auf ihre Leistungsfähigkeit hin miteinander verglichen werden. Untersucht wurden die Layout-Varianten mit Hilfe von *Tecnomatix Plant Simulation 12.0* der *Siemens AG* und einer erweiterten Version des Bausteinkastens *SimSuite* der *SimPlan AG*. Zudem ist zu dieser Studie zu betonen, dass die Planungsüberlegungen an eine reale Anlage angelehnt sind. Die Simulationsreihen wurden jedoch mit angepassten Leistungsdaten und abstrahierten Layouts erstellt, um einen verallgemeinernden Charakter der Studie zu erreichen.

5.1 Ausgangssituation

Die Aufgabenstellung dieser Studie besteht darin, dass vier Quellen mit einer maximalen Durchsatzleistung von je 270 Behältern pro Stunde zwei Ziele mit einer maximalen Leistung von je 450 Behältern pro Stunde versorgen sollen. Da die maximale Durchsatzleistung der Quellen in Summe höher als die geforderte Leistung der Ziele ist, wird eine kontinuierliche Auslastung der Ziele von 100 % angestrebt. Die Leistung der Quellen bezieht sich dabei nur auf die reine Auslagerungsleistung:

modelliert eine Quelle eine Gasse mit Regalbediengerät (mit einem Lastaufnahme-mittel) in einem AKL, so ist die maximale Durchsatzleistung als eine Anzahl an Doppelspielen pro Stunde zu interpretieren. Die in der Simulation genutzten Behälter haben eine einheitliche Abmessung von 0,6 m x 0,4 m und werden ausschließlich von Einzelförderern und Kreuzungselementen transportiert. Die Förderlänge der Einzelförderer beträgt dabei in Längsrichtung 0,72 m (Behälterlänge von 0,6 m) und in Querrichtung 0,54 m (Behälterlänge von 0,4 m). Kreuzungen und Eckumsetzer sind für eine maximale Eckumsetzleistung von 1.200 Behältern pro Stunde parametrisiert. Die einheitliche Fördergeschwindigkeit beträgt 0,6 m/s. Diese Leistungsdaten entsprechen üblichen Werten von Behälterfördertechnikanlagen, deren Simulation und Optimierung von der *SimPlan AG* betreut wurden.

Jedes Ziel fordert vom Quellbereich kontinuierlich und sequenziell Behälter an, um die eigene maximale Durchsatzleistung zu erreichen. Die Einplanung der angeforderten Behälter auf einzelne Quellen erfolgt gleichverteilt und berücksichtigt dabei keine Auslastung der Quellen. Dies setzt voraus, dass die beauftragten Artikel – in entsprechenden Behältern – zu jedem Zeitpunkt in jeder Quelle vorhanden sind. Aufgrund dieser Einplanungsstrategie und der dargestellten Fördertechnik-Effekte können jedoch Verwirbelungen entstehen, die anhand verschiedener Fördertechnik-Varianten und Sequenzierungsprozesse zu korrigieren sind. Zur Bewertung einer Layout-Variante sind vor allem die Auslastungsgrade der Zielstationen zu untersuchen, denn basierend auf den genannten Leistungsparametern stellen Quellen und Fördertechnik keinen Engpass dar. Demzufolge sind Leistungsabrisse an den Zielen auf Sequenzierungsprozesse zurückzuführen.

In einer Voruntersuchung des Grundlayouts wurden die Auslastungswerte der Ziele über 12 Stunden analysiert. Dabei hat sich ab der zweiten Stunde eine maximale Abweichung von 4 % der stündlichen Auslastungen vom Mittelwert dieser Auslastungswerte ergeben, woraus sich eine statistische Signifikanz ableiten lässt. Zur Erhöhung dieser Signifikanz beträgt der Untersuchungshorizont jedes Simulationslaufes 26 Stunden (mit einer zweistündigen Einschwingphase, die statistisch unberücksichtigt bleibt). Zur Validierung der Ergebnisse wurden die Kennzahlen der durchsatzkritischen Bausteine gesondert überprüft. Dazu gehören die Taktzeiten mit korrelierenden maximalen Durchsätzen von Quellen und Senken. Zudem wurden die maximalen Eckumsetzleistungen der Kreuzungselemente validiert. Neben diesen rein technischen Überprüfungen wurde auf logischer Ebene an jedem Ziel die korrekte sequenzielle Ankunft der FGs überprüft und eventuelle Abweichungen mitprotokolliert. Zudem wurde die Trigger-Logik der sequenziellen Steuerungen validiert, indem die Zeitpunkte der Ausbuchungen an einem Sequenzpunkt mit den Zeitpunkten, an denen die sequenziellen Vorgänger (der ausgebuchten FGs) den jeweiligen Prüfpunkt durchquerten, verglichen wurden.

5.2 Layout 1 ohne Sequenzierungssystem

Als erstes Layout wird nachfolgend ein Fördertechniksystem untersucht, das kein explizites Sequenzierungssystem enthält.

5.2.1 Layout und Steuerung des Systems

Da in dem ersten Layout, wie in Abbildung 2 dargestellt, nach dem letzten sequenzkritischen Materialflussknoten der Quellenvorzone keine Möglichkeit mehr besteht,

eventuell auftretende Verwirbelungen im Transit bis zu den Zielen zu korrigieren, muss durch die Freigabe der FGs in den Quellen sichergestellt werden, dass die FGs diesen Knoten strikt sequenziell passieren. Dazu wurde an dem letzten sequenzkritischen Materialflussknoten für jedes Ziel ein Sequenzpunkt mit zugehöriger Sequenzliste definiert, anhand derer die FG-Starts in den Quellen gesteuert werden. So wird ein angefordertes FG, nachdem es zufällig auf eine der Quellen eingeplant wurde, solange in der Quelle zurückgehalten, bis der (strikt) sequenzielle Vorgänger (desselben Ziels) den Sequenzpunkt am Ende der Vorzone passiert hat.

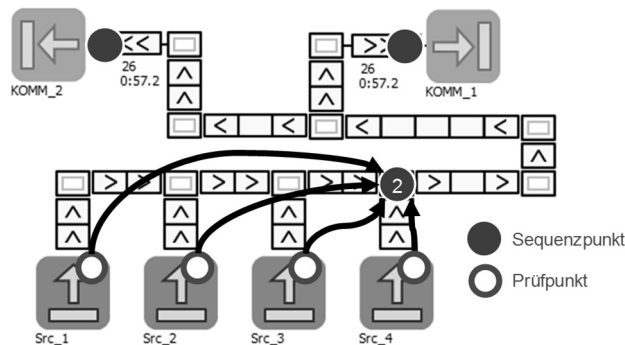


Abbildung 2: Layout ohne Sequenzierungssystem

5.2.2 Simulationsergebnisse und Fazit zu Layout 1

Die Simulation zur Untersuchung des ersten Layouts hat ergeben, dass die Ziele „KOMM_1“ und „KOMM_2“ nur die durchschnittlichen Auslastungsgrade von 36,4 % und 36,3 % (als Mittelwerte der durchschnittlichen Auslastungen pro Stunde) erreichten. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Quellen aufgrund der sequenziellen Freigabesteuerung durchschnittlich nur 81,8 Behälter pro Stunde auslagerten. Die Quellen wurden demnach aufgrund der strikt sequenziellen Auslagerungssteuerung wechselseitig blockiert.

5.3 Layout 2 mit Fördertechnik-Loop

Zur Optimierung des Gesamtsystems im Sinne einer verbesserten Versorgung der Ziele muss somit im Vergleich zum ersten Layout eine sequenziell weniger restriktive Steuerung der Quellen umgesetzt werden. Dies setzt jedoch eine nachgeschaltete Sequenzierung voraus, sodass in diesem Kapitel ein Groblayout mit einem Fördertechnik-Loop zur Sequenzierung untersucht wird.

5.3.1 Layout und Steuerung des Systems

Um die Durchsätze der Quellen im Vergleich zum ersten Layout zu erhöhen, sollen mehr parallele Auslagerungen in den Quellen erlaubt werden, die wiederum entsprechende Sequenzverwirbelungen verursachen können. Um trotzdem eine strikt sequenzielle Versorgung der Zielbereiche sicherzustellen, wurde die Quellenvorzone zu einem Fördertechnik-Kreislauf geschlossen (Abb. 3). An den Loop-Ausschleusungen wurden dabei Sequenzpunkte definiert, anhand derer für ein ankommendes FG geprüft werden kann, ob dieses FG zum Ziel ausgeschleust werden

darf oder weiterhin im Loop kreisen muss. (Der Prüfpunkt fällt an diesen Ausschleusungen direkt mit dem Sequenzpunkt zusammen). Da alle verwirbelten FGs somit vorerst weiter im Loop kreisen müssen, hängt der Loop-Füllgrad direkt von der sequenziellen Steuerung der Quellen bzw. von der dabei zugelassenen Verwirbelung ab. Die Freigabesteuerung der Quellen ist wiederum mit Prüfpunkten an den Quellen umgesetzt. Dabei wird jedoch eine Einfahrt in den – je FG-Ziel – zugehörigen Sequenzpunkt an einem Loop-Output geprüft.

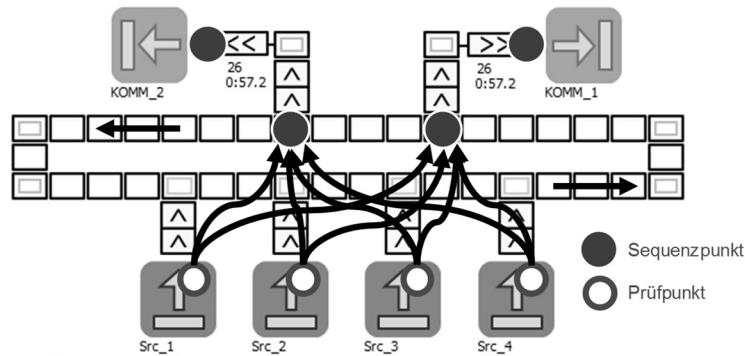


Abbildung 3: Layout mit Fördertechnik-Loop

5.3.2 Simulationsergebnisse und Fazit zu Layout 2

Zur Untersuchung von parallelen FG-Starts und damit entstehenden Verwirbelungen wurden für die sequenzielle Freigabesteuerung der Quellen Range-Werte von 1 bis 15 simuliert. Wie in Tabelle 1 aufgelistet, erhöhen sich mit einer ansteigenden Range der Quellensteuerung zunächst auch die durchschnittlichen Auslastungen der beiden Ziele. Dies lässt sich mit dem höheren durchschnittlichen Durchsatz der Quellen erklären, der wiederum durch die größere Freigabe-Range und der damit weniger restriktiven Quellen-Freigabe ermöglicht wird.

Tabelle 1: Simulationsergebnisse zum zweiten Layout

Freigabe-Range (/Experiment)	Auslastung „KOMM_1“	Auslastung „KOMM_2“	Füllstand Loop	Durchsatz Quellen
1	20,6 %	18,5 %	1,2	44,0
3	35,5 %	33,1 %	4,6	77,1
5	33,9 %	32,9 %	8,6	75,1
7	33,4 %	32,0 %	12,7	73,6
9	29,2 %	29,4 %	16,8	66,0
11	23,3 %	22,9 %	21,0	52,1
13	19,3 %	18,6 %	25,2	42,6
15	11,4 %	11,7 %	29,5	26,0

Nach dem Anstieg verbleiben die Auslastungswerte der Zielbereiche auch bei ansteigenden Range-Werten auf einem konstanten Niveau (Range 3 bis 7). Das Fördertechniksystem befindet sich dabei in einem relativ stabilen Zustand, d. h., es werden Verwirbelungen erfolgreich sequenziert (wenn auch auf sehr geringem Niveau), ohne dass der Füllstand des Loops die Sequenzierungsleistung einschränkt.

Mit der Erhöhung der Freigabe-Range nimmt jedoch – aufgrund des ansteigenden Verwirbelungsgrades – auch der durchschnittliche Loop-Füllstand zu. Ab dem 9. Experiment ist dabei zu erkennen, dass dieser erhöhte Füllgrad den Materialfluss durch den Kreislauf zunehmend einschränkt. Abbildung 4 verdeutlicht dazu anhand von Loop-Durchlaufzeiten, dass der ansteigende Loop-Füllgrad in direkten Zusammenhang mit Mehrfachkreisern steht.

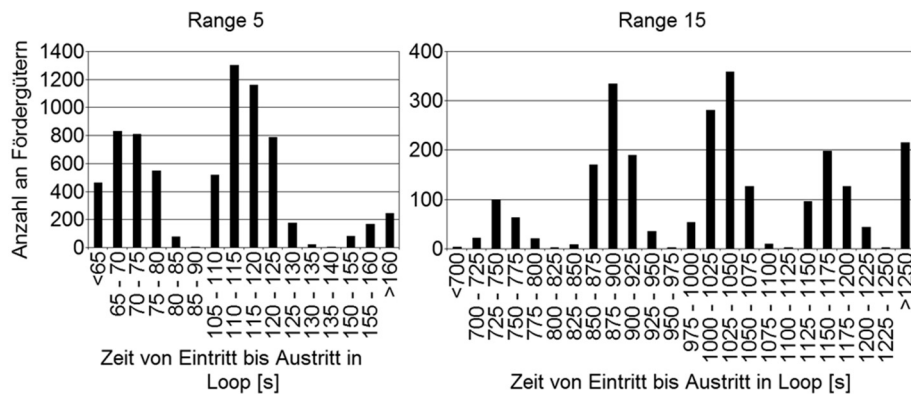


Abbildung 4: Durchlaufzeiten von Fördergütern in Layout 2 mit Range 5 und 15

Aufgrund dieser Ergebnisse ist zu folgern, dass mit einer höheren Freigaberange die Durchsatzleistung der Quellen teilweise erhöht werden konnte, der stetig ansteigende Loop-Füllgrad jedoch einer durchsatzstarken Versorgung der Ziele zunehmend im Weg stand. Der Loop konnte somit nicht die benötigte Sequenzierungsleistung erbringen, um die geforderte Auslastung der Ziele (nahe 100 %) zu erreichen. Aufgrund der positiven Ansätze bei Experimentläufen mit geringen Range-Werten kann ein Loop jedoch für eine Vorsequenzierung eingesetzt werden, wenn mit einer begrenzt zugelassenen Verwirbelung an den Output-Sequenzpunkten die Anzahl an Mehrfachkreisern reduziert und damit die Problematik eines zu hohen Füllgrades vermieden wird.

5.4 Layout 3 mit Sequenzierungssystemen mit Sequenzplätzen

Nachdem die ersten beiden Layouts dieser Studie die Zielbereiche nicht zufriedenstellend sequenziell versorgen konnten, wird nachfolgend ein Layout mit einem weiteren Typ von Sequenzierungssystemen vorgestellt.

5.4.1 Layout und Steuerung des Systems

Wie in Abbildung 5 dargestellt ist, wurde im dritten Layout die Quellenvorzone ebenso wie die Definition der Quellensteuerung analog zum ersten Layout gestaltet.

Die Freigabe-Range der Quellen wird jedoch mit höheren Werten im Vergleich zum ersten Layout gesteuert, um die Durchsätze der Quellen durch parallele FG-Starts zu erhöhen. Die dadurch entstehenden Verwirbelungen werden schließlich von zwei Sequenzierungssystemen („Seq_Buf_1“ und „Seq_Buf_2“) korrigiert. Zur Sequenzierung verwenden diese Systeme dabei seitlich vom Hauptstrom angeordnete Pufferplätze (bzw. Sequenzplätze), die mit verwirbelten FG belegt werden, um sequenziell notwendige Überholvorgänge zu ermöglichen. So kann etwa ein Sequenzierungssystem mit acht Sequenzplätzen auch acht verwirbelte FGs puffern und damit eine Verwirbelung bis zu einer Range von 9 korrigieren. Das Puffern eines FGs auf einem Sequenzplatz wird dabei anhand des Sequenzpunktes am letzten sequenzkritischen Materialflussknoten *innerhalb* dieser Systeme gesteuert; der zugehörige Prüfpunkt befindet sich am Eingang der Systeme.

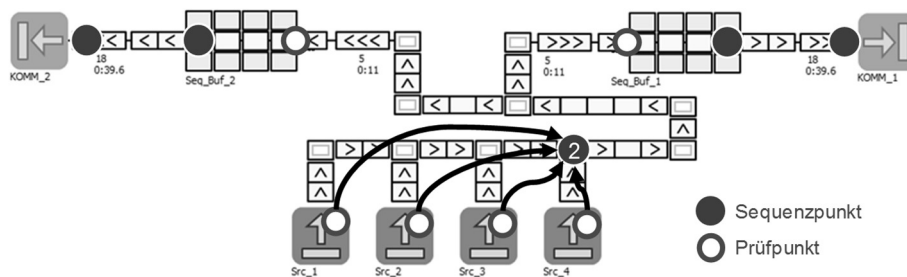


Abbildung 5: Layout mit Sequenzierungssystemen mit Sequenzplätzen

5.4.2 Simulationsergebnisse und Fazit zu Layout 3

Für die Untersuchung dieses Layouts wurden Simulationsläufe für vier, sechs und acht Sequenzplätze je Sequenzierungssystem durchgeführt (die Konfiguration mit acht Sequenzplätzen ist dabei in Abbildung 5 verdeutlicht). Mit der Erhöhung der Sequenzplätze konnte auch die Freigabe-Range der Quellen angepasst werden, um mehr parallele Auslagerungen und damit höhere Quell-Durchsätze zu ermöglichen. Die Ergebnisse der drei Simulationsläufe sind dazu in Tabelle 2 aufgelistet.

Tabelle 2: Simulationsergebnisse zum dritten Layout

Anzahl Sequenzplätze	Range (Quellen)	Auslastung „KOMM_1“	Auslastung „KOMM_2“	Durchsatz Quellen
4	5	90,7 %	91,7 %	205,2
6	7	97,4 %	98,2 %	220,2
8	9	99,5 %	99,9 %	224,7

Aus diesen Ergebnissen lässt sich schließen, dass Sequenzierungssysteme mit Sequenzplätzen im Vergleich zu Loops oder einer ausschließlichen Quellensteuerung eine viel höhere Sequenzierungsleistung erbringen können und damit primär für Sequenzierungen zu empfehlen sind. Als Nachteil muss jedoch die direkte Abhängigkeit der Freigabe-Range der Quellen von nachgeschalteten Sequenzplätzen genannt

werden. Sind etwa im Zuge einer Systemerweiterung zusätzliche Quellen oder auch zusätzliche Ziele einer Intralogistikanlage hinzuzufügen, so kann es notwendig sein, die Freigabe-Range der Quellen zu erhöhen, um auch die (Gesamt-)Inputleistung entsprechend zu steigern. Dadurch würden je Ziel mehr Sequenzplätze benötigt, was wiederum zu höheren Folgekosten führen kann.

6 Fazit und Ausblick

Neben grundlegenden Einführungen in die intralogistische Sequenzierung hat dieser Beitrag verbreitete Lösungskonzepte anhand abstrahierter Layouts in einer Simulationsstudie vorgestellt und ihre Leistungsfähigkeit unter Verwendung von Simulationsergebnissen miteinander verglichen. So wurde für ein abstrahiertes und verallgemeinertes Anlagenbeispiel nachgewiesen, dass eine sequenzielle Behälterversorgung ausschließlich durch eine sequenzielle Freigabesteuerung der Quellen oder durch das Einplanen eines Loops als Sequenzierungssystem zu deutlichen Leistungseinbußen an den zu versorgenden Zielbereichen führt. Das untersuchte Layout mit Sequenzierungssystemen mit Sequenzplätzen konnte schließlich hohe Auslastungsgrade der Ziele (nahe 100 %) erreichen. Aufgrund der direkten Abhängigkeit des zulässigen Verwirbelungsgrades von der Anzahl an nachgeschalteten Sequenzplätzen muss jedoch gefolgert werden, dass zur Abschwächung dieser Abhängigkeit zwischen Quellen und Sequenzierungssystemen mit Sequenzplätzen ein zusätzlicher Fördertechnikbereich mit der Möglichkeit zur Vorsequenzierung integriert werden sollte. Zur weiteren Erfassung der sequenziellen Versorgung soll dazu ein zusätzliches Groblayout mit einer Kombination aus einem Fördertechnik-Loop und je Ziel ein Sequenzierungssystem mit Sequenzplätzen untersucht werden. Der Loop würde dabei (begrenzte) Vorsequenzierungen ermöglichen und die genannte Erweiterung einer Anlage um weitere Quellen und Ziele erleichtern. Zu dieser Kombinationslösung sollen Steuerungsmöglichkeiten und die resultierende Sequenzierungsleistung analysiert werden. Ferner soll herausgearbeitet werden, wie stark sich die Steuerungsmöglichkeiten von Sequenzierungssystemen mit Sequenzplätzen durch zusätzliche Sequenzpunkte innerhalb dieser Systeme verbessern lassen.

Literatur

- Arnold, D.; Furmans, K.: Materialfluss in Logistiksystemen. 6. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer 2009.
- Barck, R.: Flexible Automation. Logistik heute (2016) 1-2, S. 60-61.
- Jodin, D.; ten Hompel, M.: Sortier- und Verteilsysteme – Grundlagen, Aufbau, Berechnung und Realisierung. 2. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer 2012.
- Koether, R.: Technische Logistik. 3. Aufl. München: Carl Hanser 2007.
- ten Hompel, M.; Schmidt, T.; Nagel, L.: Materialflusssysteme – Förder- und Lagertechnik. 3. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer 2007.
- VDI 3619: Sortier- und Verteilsysteme für Stückgut. Berlin: Beuth 2015.