

Simulationsbasierte Analyse eines innerbetrieblichen digitalisierten Milk Run Systems

Simulation-based analysis of an in-plant digitized milk run system

Nina Vojdani
Patrick Drechsler

Lehrstuhl für Produktionsorganisation und Logistik
Fakultät für Maschinenbau und Schiffstechnik
Universität Rostock

Im Produktionsprozess benötigte Verbrauchsmaterialien müssen fortwährend in ausreichenden Mengen bereitgestellt werden. Bei der Bereitstellung der Hilfs- und Betriebsstoffe am Arbeitsplatz gilt es, Verschwendungen zu vermeiden und den Fluss so effizient wie möglich zu gestalten. Dementsprechend wird in diesem Beitrag die Einführung eines digitalisierten Milk Run Systems in Kombination mit eKanban untersucht. Mit der Entwicklung eines Simulationsmodells werden das Konzept eines digitalisierten Systems abgebildet sowie Auswirkungen der Einführung eines solchen Systems untersucht und anhand entsprechender KPIs diskutiert.

[Schlüsselwörter: Milk Run, eKanban, Simulation]

Consumables required in the production process must be provided in sufficient quantities at all times. When providing consumables at the workplace, it is important to avoid waste and to make the flow as efficient as possible. Accordingly, this paper examines the introduction of a digitalized milk run system in combination with eKanban. With the development of a simulation model, the concept of the system is illustrated and the effects of the introduction of such a digitalized system are examined and discussed on the basis of corresponding KPIs.

[Keywords: in-plant milk run, ekanban, simulation]

1 EINLEITUNG

Die Eliminierung von nicht wertschöpfenden Tätigkeiten ist ein entscheidender Wettbewerbsfaktor in Unternehmen. Im Bereich der Produktion gilt es unter anderem, das richtige Material in der richtigen Menge und zur richtigen Zeit zur Verfügung zu stellen, um Unterbrechungen und Ausfälle in der Produktion zu vermeiden. In diesem Zusammenhang bietet die Einführung eines Milk Run Systems eine Möglichkeit, um die Versorgung der Arbeitsstationen mit Hilfs- und Betriebsstoffen zu gewährleisten.

Schwankungen in der Nachfrage der Materialien stellen Materialflusssysteme hierbei vor Herausforderungen. Hohe Bestände am Arbeitsplatz können diese Schwankungen zwar ausgleichen, nehmen jedoch wertvolle Fläche in Anspruch. Zu kleine Bestände und eine somit hochfrequente Überwachung dieser durch Personal sollten jedoch vermieden werden, da die Überwachung selbst keine wertschöpfende Tätigkeit darstellt. Zudem gilt es, überflüssige Leerfahrten bei der Versorgung der Arbeitsstationen zu vermeiden. Die Digitalisierung der intralogistischen Transport- und Informationsprozesse bietet hierbei verschiedene Potenziale in Bezug auf Effizienzsteigerung, Vernetzung und Transparenz. [HEK+19]

Demzufolge wird im Rahmen dieses Beitrages ein digitalisiertes, dynamisches, bedarfsgesteuertes Milk Run System untersucht. Bei diesem wird die pull-gesteuerte Auftragsgenerierung über ein Kanban-System umgesetzt. Um die Kombination aus Milk Run und Kanban zu digitalisieren, werden bestehende Systeme miteinander vernetzt. Somit wird es möglich, ideale Abfahrtszeitpunkte und optimale Routen zu berechnen.

2 KANBAN

Kanban ist ein Werkzeug zur Produktionsprozesssteuerung, welches nach dem verbrauchsgesteuerten Pull-Prinzip funktioniert. Es kann in die Arten Lieferanten-, Transport- und Produktions-Kanban unterschieden werden. Traditionell wurde das System mit sogenannten Kanban-Karten betrieben. Diese Karten enthalten Informationen über das Arbeitselement und über die abzuarbeitende Aufgabe. Die fortschreitende Entwicklung der Informations- und Kommunikationstechnologien ermöglicht jedoch auch eine Digitalisierung des Kanban-Ansatzes. Dank des Internets ist es möglich, Informationen automatisiert zu übermitteln. Dies ermöglicht eKanban-Systeme, bei denen die Bestellungen teilweise oder komplett automatisch ausgelöst werden, sodass der Mitarbeiter nur noch teilweise oder gar nicht

mehr einwirken muss. [HAA17] Zudem können Informationen über den Zustand des Behälters in Echtzeit geteilt werden. [PTK+20] Bei der Digitalisierung von Kanban-Systemen können neben den einfachen Barcodes auch eine Vielzahl von Sensoren zum Einsatz kommen. Durch den Einsatz dieser Sensoren wird der manuelle Aufwand beim Handling von Kanban-Karten reduziert. Es kann nicht mehr zum Verlust oder zur Verwechslung von Kanban-Karten kommen. Das digitale System verbessert zudem die Transparenz sowie die Sichtbarkeit von Signalen und vereinfacht die Kommunikation. Die genannten Vorteile führen zu einer Minimierung von Materialengpässen. [HAA17]

Bei der Digitalisierung mittels Barcodes werden die physischen Karten mit diesem ausgestattet. Durch das Einscannen des Barcodes können die Daten der Karte gelesen und der Bedarf elektronisch an das System übermittelt werden. [NRS20] Der Prozessschritt des Einscannens kann jedoch auch durch die Anwendung von Sensoren substituiert werden.

Hierbei können Sensoren verwendet werden, welche die Veränderung der Position wahrnehmen. Gotthardt et al. untersuchen in diesem Zusammenhang die Anwendung der RFID-Technologie, um automatisch Aufträge zu generieren. Sofern ein mit einem Tag ausgestatteter Behälter geleert wurde, wird dieser ein Regalfach tiefer einsortiert. Die Positionsänderung wird durch am Regal integrierte RFID-Lesegeräte registriert. Daraufhin wird eine Bestellung ausgelöst. Ein Mitarbeiter, welcher fortwährend die Behälter kontrolliert und die Kanban-Karten einsammelt, ist somit nicht mehr notwendig. Durch dieses System konnte in einer Lernfabrikumgebung die Informationsweitergabe automatisiert werden. [GEHE+19] Anbieter wie WÜRTH bieten in diesem Bereich bereits vielfältige RFID-Kanban-Lösungen für Industrieanwendungen an. Sie offerieren beispielsweise Regalsysteme, welche mit intelligenten Böden ausgestattet sind und Behälter mit RFID-Chips wahrnehmen können. [WÜR21]

Neben RFID-Tags können auch andere Sensoren eingesetzt werden, welche im Gegensatz zu diesen, Auskunft über den Füllstand des Behälters geben. Durch optische Messungen können hierbei die Füllstände der Behälter berechnet werden. Bei Unterschreitung des Meldebestandes kann daraufhin automatisch eine Bestellung ausgelöst werden. In diesem Forschungsbereich befassen sich Kreutz et al. mit der Anwendung kostengünstiger autonomer Füllstandssensoren. Der Schwerpunkt ihrer Arbeit liegt in der Messintervallanpassung der Sensoren. Zur Anpassung wird der Reinforcement Learning Ansatz genutzt. Dadurch können die Intervalle so festgelegt werden, dass einerseits Energie gespart wird und dennoch sichergestellt wird, dass signifikante Änderungen des Füllstandes wahrgenommen werden. [KAL+21] Der Vorteil des Einsatzes von Füllstandssensoren liegt darin, dass die

Erfassung der Positionsänderung der Behälter bei deren Leerung entfällt.

Jagtap et al. nutzen Kraftsensoren, um die Anzahl von Komponenten in einem Regal aufgrund des Gewichtes zu überwachen. Die Sensoren werden verwendet, um den Bestand in einem Store auf Grundlage des Gewichtes zu überwachen. [JBM+15]

Die Digitalisierung der Systeme führt dazu, dass viele Regelkreise einfacher gehandhabt werden können. Das automatische Senden der Bestandsinformationen vermeidet zudem nicht wertschöpfende Tätigkeiten. Durch die Digitalisierung wird die Transparenz des Systems erhöht, was genauere Analysen und eine automatische Berechnung von Kennzahlen ermöglicht.

3 MILK RUN

Die Idee des Milk Runs ist auf die amerikanischen Milchmänner zurückzuführen, welche Häuser mit Milch belieferten. Leere Flaschen einer Vielzahl von Häusern wurden in einem Durchlauf mit gefüllten Flaschen ausgetauscht. [KHZ19] Dieses Prinzip wurde adaptiert und hat in den letzten Jahren immer mehr Einzug in die Intralogistik erhalten. [DGR14] Das Prinzip des Milk Runs basiert auf der Idee, das Material zur Verfügung zu stellen, das verbraucht wurde. Nach dieser Vorgehensweise können sowohl inner- als auch außerbetrieblich Verbrauchswerte genutzt werden, um den Nachschub zu steuern. Diese Steuerung kann in der Intralogistik beispielsweise durch Kanban-Karten oder ein elektronisches Kanban-System realisiert werden. Somit kann ein automatischer Versorgungskreislauf entstehen, welcher die Nachfrage bedient. Sofern Kanban-Systeme genutzt werden, ist der Milk Run Teil eines klassischen Pull-Systems. Leere Boxen an den Arbeitsstationen werden gegen gefüllte Boxen ausgetauscht. Um zeitliche Verzögerungen bei der Nutzung von Kanban-Karten zu vermeiden, kann im Rahmen eines e-Kanban-Systems auf Sensoren zurückgegriffen werden. Durch die Digitalisierung des Milk Run Systems kann dieses somit schneller auf den Bedarf an den Arbeitsstationen reagieren. Weitere zu betrachtende Aspekte auf dem Weg zu einem vollständig digitalisierten und automatisierten Milk Run sind die Routen- und Fahrplanung, die Fahrt selbst sowie die Be- und Entladung des Routenzuges. [GEHE+19], [Tak18]

Seitens der Logistik, Produktion und IT werden verschiedene Anforderungen an ein innerbetriebliches Milk Run System gestellt. So ist eine Grundanforderung von digitalisierten Milk Run Systemen die Einbindung in IT-Systeme zur reibungslosen Informationsweitergabe. Das System muss eine Kapazität aufweisen, welche eine durchgängige Versorgung der Arbeitsstationen ermöglicht. Störungen des Milk Run Systems können eine Unterversorgung der Arbeitsstationen zur Folge haben. [Alnahal 14] Dementsprechend gilt es, Störungen zu vermeiden und die Ausfallraten so gering wie möglich zu

halten. Beim Einsatz von automatisierten Routenzügen ist es von Bedeutung, weitere Aspekte zu betrachten. Die eingesetzten fahrerlosen Transportsysteme müssen Geschwindigkeits- sowie Sicherheitsanforderungen erfüllen und dürfen keine Mitarbeiter gefährden. Weiterhin sollte das System in seiner Benutzung möglichst bedienerfreundlich ausgelegt und nachvollziehbar sein. [Gru14], [KK15], [Alnahal 14] Entsprechend dieser Grundanforderungen ergibt sich je nach Versorgungsanforderungen ein Handlungsraum für die Auslegung des Milk Run Systems. Innerhalb dieses Handlungsrahmens existieren verschiedene Entscheidungsprobleme bezüglich der Auslegung der Systeme. Es ist die Art des Förderers sowie deren Anzahl festzulegen. Zudem ist zu entscheiden, ob das System bedarfsorientiert oder verbrauchsgesteuert geregelt wird. Die Bestimmung der zu fahrenden Routen und die Terminierung sind weitere Entscheidungsprobleme bei der Auslegung von Milk Run Systemen. [ARN14] Mit der Routenplanung und der Informationsweitergabe bei der Digitalisierung des Milk Runs befassen sich unter anderem Gotthardt et al. Bei Ihrer Untersuchung wird ein digitalisiertes Milk Run System in einer Lernfabrik eingeführt. Bei diesem System lösen RFID-Tags, welche an Behältern der Arbeitsstationen angebracht sind, automatisch Bestellungen aus. Die Routen- und Fahrplanplanung wird anhand der gemeldeten Bedarfe mittels eines A-star Algorithmus durchgeführt. Dieser Algorithmus findet die kürzeste Route zu den Arbeitsstationen. [GEHE+19]

Takvir befasst sich mit der Digitalisierung des Informationsflusses und der Einbindung eines Milk Run Systems. Dieses System nutzt Barcodes und wird in ein bestehendes Produktionsplanungs- und -steuerungssystem eines Unternehmens integriert. Durch die Digitalisierung wird ein effizienter und flexibler Materialfluss erreicht. [Tak18]

Korytkowski and Karkoszka untersuchen die Effizienz und Wechselwirkungen eines Milk Run Bediener an einer typischen Montagelinie. Zur Analyse und Bewertung nutzen sie ein ereignisdiskretes Simulationsmodell. In diesem sind die Montagelinie sowie die Elemente des Milk Runs enthalten. Mit der Simulation werden die Auswirkungen von Störungen, welche in Produktionsumgebungen auftreten, untersucht. [KK15]

Um Fehler in der Auslegung von Milk Run Systemen zu identifizieren, nutzen Fedorko et al. ein Simulationsmodell. Mithilfe des Simulationsmodells können fehlende Kapazitäten beim Routenzug identifiziert werden. Durch die Erhöhung dieser Kapazitäten konnte eine durchgängige Versorgung der Montagelinien gewährleistet werden. [FMH18]

Die Beladung des Routenzuges selbst kann sowohl manuell als auch automatisiert vollzogen werden. Beim manuellen Beladen können die Behälter entweder vorkommissioniert werden oder erst beim Eintreffen des Routenzugfahrers durch diesen gepackt werden. In einem

simulativen Vergleich zeigten Klenk et al., dass sich die Milk Run Zykluszeit durch das Vorkommissionieren und Puffern der Aufträge deutlich reduzieren lässt. [KGG12]

4 INNERBETRIEBLICHER TRANSPORT

Nachfolgend wird der innerbetriebliche Material- und Informationsfluss betrachtet. Zuerst wird der klassische innerbetriebliche Direkttransport behandelt. Daraufhin wird der Milk Run mit eKanban beleuchtet, welcher den Use Case innerhalb dieses Beitrages darstellt und darauffolgend simulativ genauer untersucht wird.

4.1 INNERBETRIEBLICHER DIREKTTRANSPORT

Die innerbetriebliche Materialzufuhr an der Produktionslinie ist ein wichtiger Prozess, da nicht gedeckte Bedarfe zu Verzögerungen entlang der gesamten Linie führen können. Um die Nachfrage zu decken, bedarf es einer Strategie bei der Versorgung der Arbeitsstationen. Das traditionelle Kanban-Karten-System stellt hierbei eine einfache und effektive Lösung dar, um den Nachschub nach Lean Prinzipien zu steuern. [HAA17] Es werden somit nur Verbrauchsmaterialien an den Bestimmungsort geliefert, die auch benötigt werden. Um das zu gewährleisten, muss ein Mitarbeiter die Bestände an den Stationen in zeitlich definierten Intervallen kontrollieren und die Kanban-Karten der leeren Behälter einsammeln. Ausgehend von diesen Bedarfen werden Lieferaufträge erstellt, welche ein Staplerfahrer abarbeitet. Die entsprechenden Behälter werden im Lager gepackt. Der Stapler nimmt die Behälter für die jeweilige Arbeitsstation auf und liefert sie auf direktem Weg zu dieser, Abbildung 1. Dabei werden volle gegen leere Behälter ausgetauscht. Danach fährt der Staplerfahrer auf direktem Weg zum Lager zurück, um den nächsten Auftrag entgegenzunehmen. Bei dieser Art des Transportprozesses fallen viele Leerfahrten an. Für die Versorgung mehrerer Arbeitsstationen wäre eine Konsolidierung der Transportaufträge zur Reduzierung der Leerfahrten deutlich effizienter. Zudem sind die Limitierungen des traditionellen Kanban-Karten-Systems zu beachten. Kanban-Karten müssen eingesammelt und gegen neue ausgetauscht werden, was Zeit in Anspruch nimmt. [ML99] Dabei können Fehler passieren, Karten können verloren gehen oder falsch positioniert werden, was zu Problemen bei der Versorgung führen kann. [KP07]

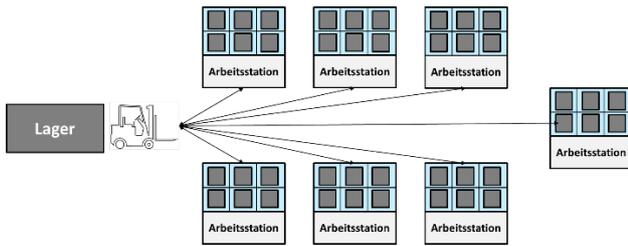


Abbildung 1: Direkttransport

4.2 DIGITALISIERTER MILK RUN UND eKANBAN

Zur Umgehung der Limitationen des klassischen Kanban-Karten-Systems kann im Rahmen der Digitalisierung von Transportsystemen auf ein eKanban-System zurückgegriffen werden. Anders als bei der Nutzung von klassischen Kanban-Karten werden die Informationen bei diesem elektronisch in Echtzeit übermittelt. Abbildung 2 zeigt den Informationsfluss. An den Behältern befinden sich RFID-Tags, welche von einem an der Arbeitsstation angebrachten Lesegerät wahrgenommen werden können. Sofern ein Behälter geleert wird, stellt der Produktionsmitarbeiter den Behälter auf den vorgesehenen Platz für die leeren Behälter. Das Lesegerät registriert die Positionsänderung des spezifischen Behälters und gibt die Information über den Bedarf weiter. Die Informationen werden vom Lagerverwaltungssystem empfangen und weiterverarbeitet. In diesem fließen die Informationen über den Bedarf an allen Arbeitsstationen zusammen. Ausgehend von diesen werden Aufträge für die Lieferungen der Materialien generiert. In Abhängigkeit der Strategie bei der Belieferung wird die Frequenz der Lieferungen angepasst.

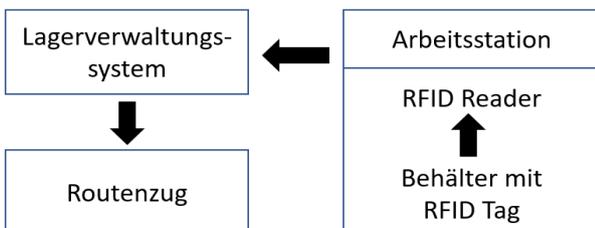


Abbildung 2: Informationsfluss

Durch die Nutzung des eKanban-Systems entfallen manuelle Schritte, für die Personal benötigt wird. Die Sensoren können die Bestandsinformationen der Arbeitsstationen ermitteln und in Echtzeit an das Lagerverwaltungssystem weiterleiten. Durch die schnelle Reaktionszeit sinkt zudem die Wahrscheinlichkeit, dass Materialengpässe aufgrund eines langsamen Informationsflusses entstehen. Die Prinzipien des Pull-gesteuerten Kanban-Systems bleiben die gleichen, jedoch ist das eKanban-System selbst deutlich transparenter und auch historische Bewegungen können jederzeit

nachvollzogen werden. Diese Daten können analysiert und dafür genutzt werden, das gesamte System weiter zu optimieren. [HAA17]

Um Leerfahrten zu reduzieren, wird anstelle des Direkttransportes der Transport über den sogenannten Milk Run vollzogen. Die Aufträge, welche aus den Bedarfen der einzelnen Stationen resultieren, werden zusammengefasst und in einem Kreislauf abgearbeitet. Das Transportmittel wird mit vorkommissionierten Behältern für verschiedene Stationen gleichzeitig beladen und fährt diese nacheinander an, ohne zwischendurch wieder zum Lager zu fahren. Dabei werden die leeren Behälter gegen gefüllte Behälter getauscht.

Bei der Anwendung des Milk Run-Konzepts müssen beim Transport mittels Stapler die begrenzten Kapazitäten bezüglich der zu transportierenden Behälter beachtet werden. Die begrenzte Aufnahmefähigkeit limitiert hierbei die Anwendung des Milk Run-Konzepts auf eine geringere Anzahl an abzuarbeitenden Arbeitsstationen. Als Alternative zum Stapler kann auch ein Routenzug zur Versorgung der Arbeitsstationen genutzt werden. Der Routenzug selbst besteht aus einem Schleppfahrzeug und mehreren Anhängern. [MSD18] Durch die Nutzung mehrerer Anhänger weist der Routenzug eine höhere Kapazität für Behälter auf als ein einzelner Stapler ohne Anhänger. Ein wesentlicher Vorteil beim Einsatz von Routenzügen ist die Reduzierung der Gesamtzahl an Fahrten. [MSD18] Demzufolge werden Routenzüge bei der Versorgung im innerbetrieblichen Materialfluss über Milk Runs oft eingesetzt.

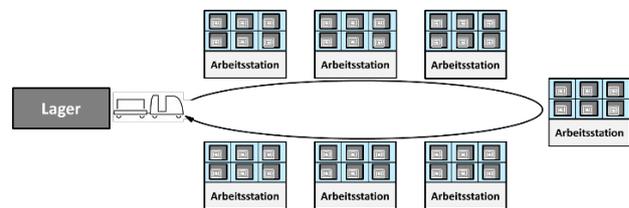


Abbildung 3: digitalisierter Milk Run vgl. [GHE+19]

5 EXPERIMENTELLES DESIGN

Konzeptionell erstellte Systeme können vor ihrer Einführung in einer Produktionsumgebung simuliert werden. In der Simulationsumgebung kann das System getestet, die Parameter variiert und die Auswirkungen der Variation analysiert werden. So können frühzeitig Fehler als auch Optimierungspotenziale im Material- und Informationsfluss entdeckt werden. [FMH18]

In diesem Beitrag sollen mittels Simulation die folgenden Fragen bei der Auslegung eines Milk Run Systems beantwortet werden. Welche Vorteile bietet ein Milk Run System, bei dem die Aufträge über ein eKanban-System generiert werden? Welche Vorteile bieten eine flexible Routenführung und ein bedarfsgesteuerter Algorithmus zur Auftragsfreigabe?

Um die Vorteile als auch die Nachteile zu ermitteln, wird die Performance eines digitalisierte Milk Run-Systems mit flexibler Routenführung mit der eines Milk Run-Systems mit starrer Route verglichen. Bei diesem nicht digitalisierten System wird der Nachschub über ein Kanban-Karten-System geregelt. Ein Mitarbeiter muss dementsprechend in festgelegten zeitlichen Intervallen die Karten einsammeln und auf deren Grundlage die Behälter im Lager kommissionieren. Die beiden Systeme weisen ein identisches Layout und identische Taktzeiten an den Arbeitsstationen auf. Anhand verschiedener Kennzahlen werden die beiden Systeme letztendlich miteinander verglichen.

5.1 AUFBAU DES SIMULATIONSMODELLS

Das Simulationsmodell selbst lässt sich in die Bereiche Lager und Produktion unterteilen. Im Lager werden die Kanban-Behälter in Abhängigkeit der Auftragslage kommissioniert und auf den Routenzug geladen. In der Produktion werden die an die

Arbeitsstationen gelieferten Hilfs- und Betriebsstoffe fortwährend verbraucht.

Der Fokus der Simulation liegt auf der Versorgung der Arbeitsstationen mit dem benötigten Material. Der Transport der Halberzeugnisse zwischen den Arbeitsstationen wird nicht genauer betrachtet. Der Routenzug wird im Lager mit Behältern bestückt, welche er zu den 15 Arbeitsstationen transportiert. Der Verbrauch der Materialien ist von der Auftragslage abhängig. Die Auftragslast und reihenfolge bleiben für den simulativen Vergleich der beiden Systeme gleich. Die Stationen selbst sind, wie in Abbildung 4 zu sehen, drei Arbeitsbereichen in der Produktion zugeordnet. Der Routenzug des digitalisierten Milk Run Systems kann die drei Bereiche sowohl einzeln als auch alle zusammen in einem Durchgang anfahren. Diese Flexibilität bei der Routenplanung erlaubt es, dass Bereiche, in denen zum jeweiligen Zeitpunkt kein Bedarf vorhanden ist, nicht angefahren werden müssen.

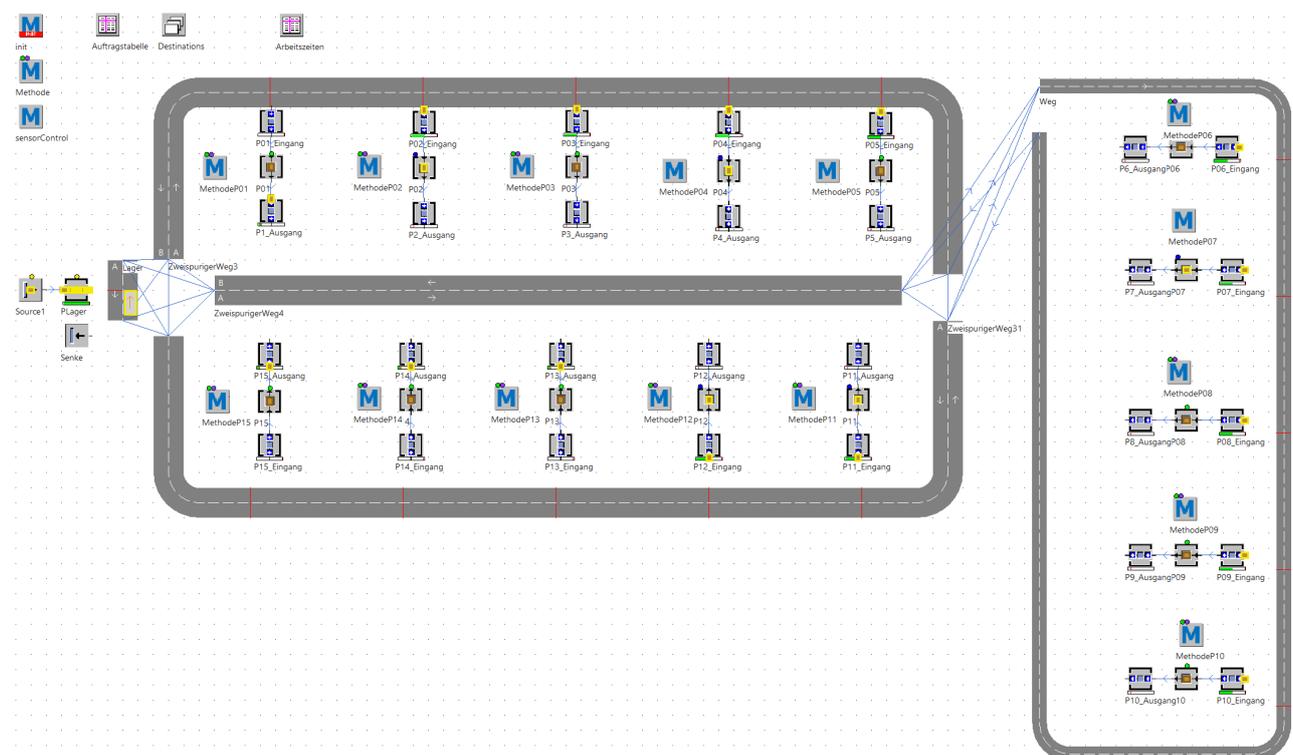


Abbildung 4: Simulationsmodell – Milk Run

Die Versorgung der Stationen wird über ein Zwei-Behälter-Kanban-System gewährleistet. Sobald ein Kanban-Behälter an einer der Arbeitsstationen geleert ist, geht im Falle des digitalisierten Systems eine elektronische Meldung an das Lagerverwaltungssystem. Beim System mit Kanban-Karten muss ein Mitarbeiter stündlich die Stationen kontrollieren und die Karten einsammeln. Die eingehenden Aufträge werden daraufhin im Lagerbereich eingelasdet. Beim digitalisierten System

findet hierbei ein Abgleich statt. Die Aufträge werden zunächst nach ihren Bedarfszeitpunkten an den Arbeitsstationen sortiert. Auf dieser Grundlage werden neue Aufträge eingelasdet. Dabei wird geprüft, ob die bereits eingelasdeten Aufträge auch bei Einlastung des neuen Auftrags noch rechtzeitig am Bedarfsort eintreffen werden. Bei diesem Abgleich wird die mögliche Veränderung der Route und der Reihenfolge, in der die Aufträge abgearbeitet werden können, mit einbezogen.

Für jeden bereits eingelasteten Auftrag müssen die aktualisierten Abfahrtszeiten berechnet werden. Sofern alle Behälter rechtzeitig an ihren Verbrauchsort gelangen, kann der neue Auftrag eingelastet werden. Der Routenzug fährt ab, bevor einer der geladenen Aufträge zu spät am Bedarfsort eintrifft. Ausschlaggebend für die Bestimmung dieses Zeitpunktes ist das Minimum der berechneten Abfahrtszeitpunkte. Bei dem System mit Kanban-Karten werden die Aufträge im Stundentakt abgearbeitet. So fährt der verantwortliche Mitarbeiter in festen zeitlichen Abständen auf einer festen Route, welche an allen Arbeitsstationen entlangführt, die Materialien zu den Bedarfsorten.

6 ERGEBNISSE

Eine Grundvoraussetzung bei der Auslegung des Milk Runs ist die durchgängige Versorgung der Arbeitsstationen. Die abzuarbeitende Auftragsreihenfolge ist bei beiden Systemen gleich. Ausfallzeiten und Störungen der Arbeitsstationen selbst werden nicht betrachtet. Der Algorithmus der Auftragsfreigabe und Bestimmung des Abfahrtszeitpunktes des Routenzuges, des flexiblen digitalisierten Systems, ist so determiniert, dass alle Aufträge rechtzeitig bearbeitet werden. Es entstehen keine Wartezeiten aufgrund von Materialengpässen. Beim nicht digitalisierten System ist der Kontrollrhythmus entsprechend eng getaktet, sodass jede Stunde eine Kontrollfahrt vollzogen wird.

Wie in der Abbildung 5 ersichtlich, schwankt die Anzahl je Fahrt transportierter Behälter stark. Das digitalisierte System weist jedoch eine geringere Varianz auf. Diese ist darauf zurückzuführen, dass nicht stündlich ein Milk Run initiiert wird, sondern nur in Abhängigkeit der Bedarfe an den Arbeitsstationen. Dadurch werden durchschnittlich, ohne Betrachtung der Kontrollfahrten zum einsammeln der Kanban-Karten, 27 % weniger Fahrten zur Versorgung der Arbeitsstationen durchgeführt.

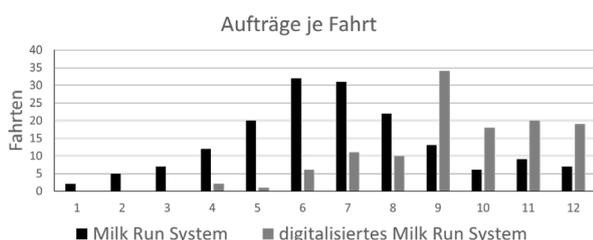


Abbildung 5: Aufträge je Fahrt

Weiterhin kann der Fahrtweg durch die variable Routenführung verkürzt werden. Aufgrund der Reduzierung der Anzahl an Fahrten und der Verringerung der Wegstrecke durch die flexible Routenführung konnten im Betrachtungszeitraum von sieben Tagen 29,39% Fahrtweg bei den Versorgungsfahrten eingespart werden. Sofern man die

stündlichen Kontrollfahrten zum Sammeln der Kanban-Karten in den Vergleich mit einbezieht, legt der Routenzug des nicht digitalisierten Milk Run Systems das 2,8-fache an Weg zurück. Diese Reduzierung der Strecke geht mit sinkenden Energiekosten für den Betrieb des Routenzuges einher. Aufgrund der geringeren Laufleistung verringert sich zudem der Wartungsaufwand für eingesetzte Routenzüge.

Die durchschnittliche Zykluszeit der Versorgungsfahrten ist beim nicht digitalisierten System mit 8 min und 55 s geringer als die des digitalisierten Systems, welches eine Zykluszeit von 11 min und 29 s aufweist. Dies ist darauf zurückzuführen, dass beim digitalisierten System nicht fest nach Takt gefahren wird. Aufgrund des Algorithmus werden durchschnittlich mehr Behälter je Fahrt transportiert. Entsprechend dieser Vorgehensweise kann die Anzahl an Fahrten deutlich reduziert werden, ohne die Versorgung der Arbeitsstationen zu beeinträchtigen. Die Fahrzeit der beiden Systeme im Betrachtungszeitraum von sieben Tagen ist in Abbildung 6 zu sehen. Insgesamt können durch die Digitalisierung des Systems 38,5 % der Zeit bei den Versorgungsfahrten eingespart werden.

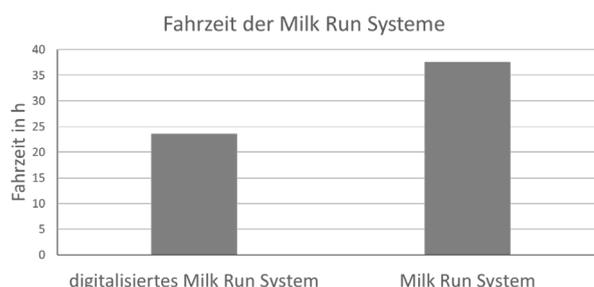


Abbildung 6: Fahrzeiten der Routenzüge

Da Bereiche, in denen kein Bedarf besteht, nicht angefahren und Kontrollfahrten vermieden werden, lassen sich Leerfahrten deutlich reduzieren. Demzufolge ist der Routenzug schneller wieder am Lager und kann neue Aufträge entgegennehmen. Durch die höhere Verfügbarkeit des Routenzuges können Engpässe mit höherer Wahrscheinlichkeit vermieden werden. Infolge dieser gesteigerten Verfügbarkeit können mehr Arbeitsstationen in der gleichen Zeitspanne versorgt werden.

7 ZUSAMMENFASSUNG

In diesem Beitrag wurde mittels Simulation ein digitalisiertes Milk Run System untersucht. Bei diesem werden Aufträge automatisch über das eKanban-System generiert. Durch die Messung der Performance konnten die Vorteile, welche eine flexible Routenführung und ein bedarfsgesteuerter Algorithmus zur Auftragsfreigabe mit sich bringen, aufgezeigt werden. Durch die Sortierung der Aufträge und Wahl der kürzesten Route konnte die

Fahrzeit um 38,5 % reduziert werden. Durch die Reduzierung der Fahrzeit und Strecke sinken zudem die Transportkosten. Die Kombination dieser Eigenschaften mit einem eKanban-System führt zu mehr Flexibilität und einer höheren Reaktionsfähigkeit. Zukünftig können die

erhobenen Daten genutzt werden, um auf deren Grundlage Prognosen über Lasten und Aufträge zu treffen. Dies ermöglicht es einem Leitstand, Aufträge zu bearbeiten, bevor der Bedarf an der Arbeitsstation auftritt.

LITERATUR

- [ARN14] Alnahhal, M.; Ridwan, A.; Noche, B.: *In-plant milk run decision problems*. Proceedings of 2nd IEEE International Conference on Logistics Operations Management, GOL 2014.
- [DGR14] Dewitz, M.; Günthner, W.; Arlt, T.: *Timetable Optimization for In-Plant Milk-Run Systems*, München: Technische Universität München, 2014.
- [FMH18] Fedorko, G.; Molnar, V.; Honus, S. Neradilova, H; Kampf, R.: *The Application Of Simulation Model Of A Milk Run To Identify The Occurrence Of Failures*. Technical University of Kosice, 2018.
- [GHE+19] Gotthardt, S.; Hulla, M.; Eder, M.; Karre, H.; Ramsauer, C.: *Digitalized milk-run system for a learning factory assembly line*. University of Technology Graz, 2019.
- [Gru14] Grunewald, M.: *Planung von Milkruns in der Beschaffungslogistik der Automobilindustrie*. Springer Gabler, 2014.
- [HAA17] Houti, M.; Abbadl, L.; Abouabdellah, A.: *E-Kanban the new generation of traditional Kanban systems, and the impact of its implementation in the enterprise*. Universite Ibn Tofall, 2017.
- [HEK+19] Hulla, M.; Eder, M.; Karre, H.; Ramsauer, C.: *Digitalized milk-run system for a learning factory*. Graz University of Technology, 2019.
- [JBM+15] Jagtap, K.; Bhavsar, N; Mewal, P.; Shejwal, S.: *Electronic Store Using e-Kanban Technology*. International Journal of Advanced Research in Electronics and Communication Engineering, Volume 4, Issue 1, 2015.
- [KGG12] Klenk, E.; Galka, S.; Günthner, W.: *analysis of parameters influencing in-plant milk run design for production supply*. 12th IMHRC Proceedings, Gardanne, France, 2012.
- [KHZ19] Kluska, K.; Hoffa-Dabrowska, P.; Zwolankiewicz, A.: *Simulation Modeling of Milk-Run Internal Logistics System – Case Study*, Poznan: Poznan University of Technology, 2019.
- [KK15] Korytkowski, P.; Karkoszka, R.: *Simulation-based efficiency analysis of an in-plant milk-run operator under disturbances*. Springer, 2015.
- [KAL+21] Kreutz, M.; Alla, A.; Lütjen, M.; Freitag, M.: *Energy-efficient eKanban system with autonomous sensor modules for level measurement and reinforcement learning for measurement interval adaptation*. Universität Bremen, 2021.
- [KP 07] Kumar, s.; Panneerselvam, R.: *Literature review of JIT-KANBAN system*. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, vol. 32, pp.393-408, 2007.
- [MSD18] Meinhardt, I.; Schmidt, T.; Doernbrack, M.: *Routenzug – Nach Plan wie die Bahn!* Technische Universität Dresden. 2018.
- [ML99] Mertins, K.; Lewandrowski, U.: *Inventary safety stocks of Kanban control systems*, *Production Planning & Control: The Management Operations*. Vol.10 no. 6, pp. 520-529, 1999.
- [NRS20] Niemann, J.; Reich, B.; Stöhr, C.: *Lean Six Sigma Methoden zur Produktionsoptimierung*. Springer Verlag, 2020.
- [PTK+20] Pekarcikova, M.; Trebuna, P.; Kliment, M.; Rosocha, L.: *Material Flow Optimization Through E-Kanban System Simulation*. Int j simul model 19 (2020) 2: 243-254, 2020.

- [Tak18] Takvir, A.: *Milkrun 4.0 for Smart Manufacturing. International Research Journal of Advanced Engineering and Science*, Volume 3, Issue 2, pp. 125-127, 2018.
- [WÜR21] WÜRTH Industry Service CPS RFID:
https://media.witglobal.net/bkmedia/wuerth/1543/de/BroschuereCPSRFIDde/#page_1.n
.Abrufdatum: 24.05.2022.

Prof. Dr.-Ing. Nina Vojdani ist Lehrstuhlinhaberin des Lehrstuhls für Produktionsorganisation und Logistik an der Universität Rostock.

Patrick Drechsler, M. Sc. ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Produktionsorganisation und Logistik an der Universität Rostock.

Adresse: Lehrstuhl Produktionsorganisation und Logistik,
Universität Rostock, Richard-Wagner-Str. 31, 18119
Rostock, Deutschland, Tel: +49 381 498-9250, Fax: +49
381 498-9252, E-Mail: lpl@uni-rostock.de