

Steuerung von Routenzugsystemen

Morphologische Einordnung statischer und dynamischer Steuerungsansätze

In-plant milkrun control

Morphological classification of static and dynamic approaches

Vorspann*)

Die steigende Variantenvielfalt und die damit zusammenhängenden kurzfristigen Transportbedarfsschwankungen stellen die Produktionslogistik vor komplexe Herausforderungen. Dynamische Ansätze zur Steuerung von Routenverkehren ermöglichen eine flexible Anpassung an schwankende Bedarfe im laufenden Betrieb. Zur Unterstützung der Anwender von Routenzugsystemen wird in diesem Beitrag ausgehend von empirischen Analysen und Fallstudien eine Morphologie für Steuerungsansätze in Routenzugsystemen abgeleitet.

Summary

Increasing product variety and the related demand volatility are major challenges for production logistics. Dynamic approaches for the control of in-plant milkruns allow flexible adaption to varying demands in real time. To support planners in the implementation of dynamic milkrun systems this article presents a morphological classification of approaches for the control of in-plant milkruns based on empirical research and industry case studies.

Motivation

Die zunehmende Individualisierung der Kundennachfrage und die resultierende Zunahme der Variantenvielfalt im Produktspektrum treiben die Komplexität in den Wertschöpfungsketten produzierender Unternehmen. Dies stellt nicht nur die Produktion vor große Herausforderungen. Gerade in der innerbetrieblichen Logistik zur Produktionsversorgung führt die steigende Variantenvielfalt zu einem vermehrten Bedarf an Flexibilisierung. In diesem Zusammenhang bietet die fortschreitende Digitalisierung in Produktion und Logistik aktuellen Studien zufolge großes Potenzial (vgl. [1, 2]).

Die innerbetriebliche Versorgung von Produktionsanlagen aus Puffer- und Lagerbereichen erfolgt in vielen Unternehmen mit Hilfe von Routenzugsystemen. Das Konzept des gebündelten und hochfrequenten Transports durch Routenzüge (Milkrun) basiert auf den Grundsätzen schlanker Produktionssysteme [3]. Zunächst überwiegend in der Automobil- und Zulieferindustrie eingesetzt, ist in den letzten Jahren auch in anderen Branchen eine zunehmende Verbreitung zu erkennen [4].

Vor dem Hintergrund einer steigenden Variantenvielfalt und den damit zusammenhängenden kurzfristigen Bedarfsschwankungen kommen die meist starr getakteten, auf fest definierten Routen verkehrenden Routenzüge an ihre Grenzen. Als Folge der kurzfristigen Bedarfsschwankungen (Bild 1) müssen entlang der Routen Kapazitäten und Bestände vorgehalten oder kostspielige Sondertransporte in Kauf genommen werden. Für den Umgang mit derartigen Schwankungen schlagen Laschinger et al. [5] eine dynamische Anpassung der Behälterfüllmengen vor. Andere Strategien beschäftigen sich mit dem Verschieben von Aufträgen auf frühere oder spätere Touren (vgl. [6, 7]), dem Einsatz zusätzlicher Routenzuganhänger, einem verfrühten Tourenstart oder dem Einsatz von Automatisierungstechnik zur Verkürzung der Handhabungszeiten [8]. Ein weiterer Ansatz zielt auf die dynamische Steuerung von Routenzugsystemen ab, bei der Touren und Routen auf Basis von Echtzeitdaten aus dem Prozess laufend neu festgelegt und auf verschiedene Ressourcen verteilt werden. Von diesem Ansatz versprechen sich Unternehmen große Flexibilitätspotenziale hinsichtlich des Umgangs mit steigenden Variantenzahlen und schwankenden Transportbedarfen [4].

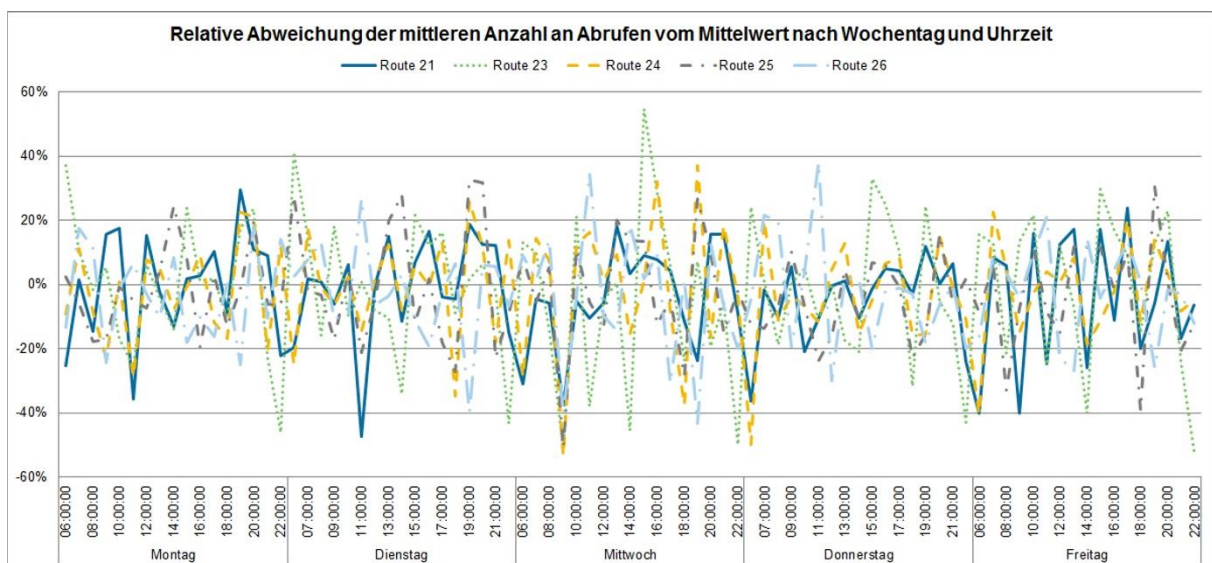


Bild 1. Kurzfristige Abrufschwankungen in der Versorgung einer Montagelinie in der Nutzfahrzeugindustrie

Routenzugsteuerung: Statische und dynamische Ansätze

Der Kern der Steuerung eines Routenzugsystems ist die Zuteilung von gebündelten und nach ihrer Bearbeitungsreihenfolge geordneten Transportaufträgen, der sogenannten Tour, zu einem Routenzug. Durch die zeitliche Berücksichtigung von Bedarfen können zusätzlich Startzeitpunkte der Touren und Bereitstellzeitpunkte der einzelnen Aufträge einer Tour bestimmt werden [9].

Die VDI-Richtlinie 5586 legt fest, dass sich die Touren der Routenzüge entlang einer definierten Route bewegen. Die Route ist dabei eine Gruppierung von Haltepunkten, die durch einen definierten Fahrweg des Routenzugs im Layout verbunden sind [9]. Je nach

Ausprägung des Routenzugsystems ist eine Route langfristig festgelegt oder wird individuell für eine Tour bestimmt [4].

Am weitesten verbreitet ist die statische Festlegung von Routen, auf denen wiederholte Touren in einem festen Takt vom gleichen Routenzugfahrer ausgeführt werden [4]. Die Route wird entweder layoutbasiert aufgrund der Lage der Bereitstellorte oder taktbasiert unter Berücksichtigung durchschnittlicher Transportbedarfe geplant. Die layoutbasierte Routenplanung empfiehlt sich bei Layouts mit geringen Freiheitsgraden hinsichtlich der Wegführung [10]. Durch eine Taktung können „gleichmäßige und vorhersehbare Durchlaufzeiten der Transportgüter“ [3] erreicht werden. Jedoch schwanken die Transportmengen je Tour. Um Aufträge rechtzeitig auszuliefern, müssen daher Kapazitätspuffer vorgesehen werden. Durch einen auslastungsorientierten Tourenstart beim Erreichen der Kapazitätsgrenze eines Routenzugs kann die Auslastung der Routenzüge maximiert werden. Um zu vermeiden, dass Aufträge nicht rechtzeitig bearbeitet werden, wird das Auslastungskriterium mit einer Zeitgrenze gekoppelt, zu welcher die Tour spätestens starten muss [9].

Die Dynamik der Routenzugsteuerung hängt von den Entscheidungen ab, die die Steuerung treffen kann. Je kurzfristiger dies geschieht, desto flexibler kann auf unvorhergesehene Situationen reagiert werden und desto dynamischer ist die Steuerung. Statisch in der Planung getroffene Entscheidungen können bei volatilen Systemparametern zu Versorgungsfehlern oder zu einer geringen Systemauslastung führen. Dennoch sind vollkommen dynamisch gesteuerte Routenzugsysteme kaum im Einsatz, obwohl ihnen ein hohes Potenzial hinsichtlich einer Effizienzsteigerung zugesprochen wird [4].

Eine Morphologie hilft bei der Gestaltung und Einführung von Routenzugsystemen. Bisherige Ansätze zur morphologischen Beschreibung von Routenzugsystemen betrachten neben den Randbedingungen des Systems vor allem die Technik und die Organisation (vgl. [9, 11, 12]). Steuerungsentscheidungen werden aber oft nur unvollständig berücksichtigt. So beschränken sich die Ansätze im Bereich der Gestaltung der Steuerung meist auf den Tourenstart und die Bedarfsauslösung. Der Dynamisierungsgrad eines Routenzugsystems wird gar nicht berücksichtigt. Um Anwender bei der Einführung und Gestaltung von dynamisch gesteuerten Systemen zu unterstützen und eine eindeutige Klassifizierung von Routenzugsteuerungen zu ermöglichen, wird nachfolgend auf Basis von empirischen Analysen und Fallstudien eine Morphologie für die Steuerungsentscheidungen in Routenzugsystemen entwickelt.

Analyse von Steuerungsansätzen in Routenzugsystemen

Im Rahmen einer Umfrage des Lehrstuhls fml aus dem Jahr 2016 mit 241 Teilnehmern wurde eine breite Datenbasis für die Steuerung von Routenzugsystemen erfasst. Ziel war es, detaillierte Informationen über Steuerungsentscheidungen in Routenzugsystem und den Zeithorizont, in dem diese getroffen werden, zu erheben. Neben der Festlegung des Tourenstarts wurde auch erfasst, mit welchem Zeithorizont Bereitstellorte zu Routen zusammengefasst, die Reihenfolge der Bereitstellorte in der Route angepasst, die konkrete Wegführung im Layout durch das Routing verändert und die Ressourcenzuweisung festgelegt werden [4].

Die Auswertung der Umfragedaten hinsichtlich der Dynamik der Ausprägungen zeigt, dass statische Entscheidungen überwiegen (Bild 2). Lediglich bei der Festlegung des Tourenstarts gab die Mehrheit der Teilnehmer eine dynamische Ausprägung an [4].

Merkmal	Statische Ausprägung	Dynamische Ausprägung	Stichprobe	Keine Angabe
Auftragszusammenfassung	70 %	30 %	129	112
Reihenfolgebildung	68 %	32 %	121	120
Festlegung Tourenstart	46 %	54 %	218	23
Routing	87 %	13 %	114	127
Ressourcenzuweisung	69 %	31 %	154	87

Bild 2. Dynamik der Merkmale der Routenzugsteuerung

Um aufbauend auf den Ergebnissen der Umfrage tiefergehende Erkenntnisse zu Steuerungskonzepten in Routenzugsystemen zu generieren, wurden im Anschluss an die Online-Befragung Interviews und Fallstudien bei ausgewählten Unternehmen vor Ort durchgeführt. Im Folgenden werden drei Routenzugsysteme und deren Steuerungsansätze im Detail vorgestellt (Bild 3).

System 1 stammt aus der Nutzfahrzeugindustrie. Das betrachtete Routenzugsystem dient zur Versorgung von Supermärkten und Montagearbeitsplätzen an verschiedenen Vormontagezonen sowie drei Endmontagebändern aus insgesamt fünf manuellen und teilweise automatisierten Lagerbereichen (Quellen). Transportbedarfe werden verbrauchsorientiert über ein elektronisches Kanban-Verfahren an das Lagerverwaltungssystem (LVS) gemeldet. Jeder Bereitstellort ist einer bestimmten Route zugeordnet, die in der Planung auf Basis des Montagetakts definiert wurde. Nach der Auslösung der Auslagerung durch das LVS werden die Ladungsträger von Logistikmitarbeitern auf die den Routen zugeordneten Bahnhöfe verteilt. Dabei steht in den Bahnhöfen für jede Route ein leerer Anhängerverbund bereit. Jeder Route sind ein Routenzugfahrer und eine Zugmaschine fest zugeteilt. Der Routenzugfahrer startet seine

Tour im Bahnhof. Danach fährt er seine Route der vorbestimmten Reihenfolge nach ab und hält entweder zur Aufnahme von Leergut oder zum Bereitstellen von Vollgut an den vorgegebenen Haltepunkten an. Nach Beendigung einer Tour beginnt er direkt die nächste Tour auf seiner Route. Die Touren werden somit in einem permanenten Zyklus sowie ohne die Berücksichtigung konkreter Bereitstellfenster oder –zeitpunkte durchgeführt.

		Beispiel 1	Beispiel 2	Beispiel 3
Kategorie		Nutzfahrzeughersteller	Automobilhersteller	Automobilzulieferer
Primäre Transportaufgabe		Produktionsversorgung	Produktionsversorgung	Produktionsversorgung
Ladungsträger		KLT/GLT	KLT/GLT	KLT/GLT
Bedarfsauslösung		Verbrauchsorientiert	Bedarfsorientiert	Bedarfsorientiert
Durchsatz pro Stunde	KLT	> 1000	> 1000	200 - 500
	GLT	> 200	> 200	50 - 100
Anzahl Quellen		5	3	2
Anzahl Bereitstellorte		> 500	> 500	26
Anzahl Routenzüge		20	10	2

Bild 3. Übersicht der betrachteten Routenzugsysteme

In Fallstudie 2 wurde ein Routenzugsystem eines Automobilherstellers untersucht. In dem System werden zwei Montagebänder aus Trailerbahnhöfen mit Kleinladungsträgern (KLT) und aus Pufferlagern mit angeschlossenen Routenbahnhöfen mit Großladungsträgern (GLT) versorgt. Transportbedarfe werden überwiegend bedarfsorientiert über ein Fertigungssteuerungssystem erzeugt und automatisch an ein Transportleitsystem (TLS) gesendet. Dabei ist jeder Auftrag einer festen, in der Planung definierten Route zugeordnet. Im Unterschied zu System 1 existiert jedoch keine feste Zuteilung von Fahrern oder Zügen zu bestimmten Routen. Das TLS sammelt die eingehenden Aufträge je Route, fasst diese nach ihrer zeitlichen Priorität zu einer Tour zusammen und teilt die Tour auf der entsprechenden Route einem verfügbaren Fahrer zu. Dabei sind die Fahrer organisatorisch und die Routenzüge technisch nach GLT und KLT unterteilt. Die Steuerung kann daher je nach Auftrag nur aus einem bestimmten Pool an Fahrern bzw. Routenzügen wählen. Der Fahrer fährt den fest definierten Fahrweg der Route ab und liefert die Aufträge im Tausch gegen Leergut aus. Nach Beendigung der Tour wird ihm vom System eine neue Tour auf einer beliebigen Route zugeteilt. Der Fahrer erhält vom System Informationen über die Tour und den genauen Bereitstelltermin der einzelnen Aufträge. Die Informationen werden ihm über ein an der Zugmaschine angebrachtes Terminal bereitgestellt.

Die Fallstudie 3 untersucht ein Routenzugsystem eines Automobilzulieferers. Das System dient zur Versorgung von Montagebereichen mit KLT und GLT aus einem zentralen Lagerbereich mit zwei Quellen. Auch in System 3 erfolgt die Steuerung des Routenzugsystems durch ein TLS. Im Unterschied zu System 2 existieren jedoch keine fest definierten Routen. Das TLS fasst alle eingehenden Aufträge im laufenden Betrieb dynamisch zu Touren zusammen. Dabei greift das System auf einen kostenbasierten Algorithmus zurück, der eine Wege- und Ressourcenoptimierung ermöglicht. Für jeden Auftrag wird der späteste Bereitstellzeitpunkt berücksichtigt. Die Reihenfolge der Aufträge innerhalb der Touren ist aufgrund des Hallenlayouts in einigen Bereichen bereits vorbestimmt. Die Touren werden im Wechsel zwischen den Fahrern durchgeführt. Es findet keine aktive Zuteilung der Touren zu Fahrern durch das TLS statt. Auch der Fahrweg wird nicht vorgegeben und kann durch den Fahrer frei gewählt werden. Informationen zu Touren, Aufträgen und Bereitstellorten werden nicht digital, sondern ausschließlich über Label an den Ladungsträgern sowie visuelles Management bereitgestellt.

Zusammenfassend verfolgt jedes der drei Systeme einen anderen Steuerungsansatz für die Aufgabe der Produktionsversorgung. Die Ansätze unterscheiden sich vor allem darin, welche Entscheidungen in Bezug auf die Steuerung bereits statisch in der Planung und welche dynamisch durch ein Leitsystem getroffen werden. Sind im System 1 alle Entscheidungen hinsichtlich der Zusammenfassung von Aufträgen zu Touren, des Tourenstartzeitpunkts, des Fahrwegs und der Ressourcenzuteilung bereits durch die Planung getroffen, existieren in System 2 und 3 Freiheitsgrade, die von einem TLS zur Optimierung des Routenzugsystems im laufenden Betrieb genutzt werden können. Der Ansatz von System 2 ermöglicht eine dynamische Ressourcenzuteilung innerhalb von bestimmten Gruppen. Schwankungen auf den verschiedenen Routen können damit auf einen Pool von Fahrern und Transportmitteln verteilt werden, jedoch nicht darüber hinaus. In System 3 ermöglicht die dynamische Zusammenfassung von beliebigen Aufträgen zu Touren eine Anpassung an den aktuellen Transportbedarf. Es fehlt jedoch eine optimierte Steuerung der verfügbaren Ressourcen.

Morphologische Einordnung von Steuerungsansätzen in Routenzugsystemen

Die Ergebnisse der Untersuchungen zeigen, dass neben der zeitlichen Komponente des Tourenstarts für eine ganzheitliche Betrachtung der Steuerung von Routenzugsystemen noch weitere Gestaltungsdimensionen zu berücksichtigen sind, die in ihrer Ausprägung zwischen statisch und dynamisch variieren können. Die Beurteilung der Dynamik einer Routenzugsteuerung muss daher ganzheitlich unter der Berücksichtigung aller entsprechenden Dimensionen erfolgen. Insgesamt können vier Dimensionen unterschieden werden: Zeit, Auftrag, Weg und Ressourcen (Bild 4).

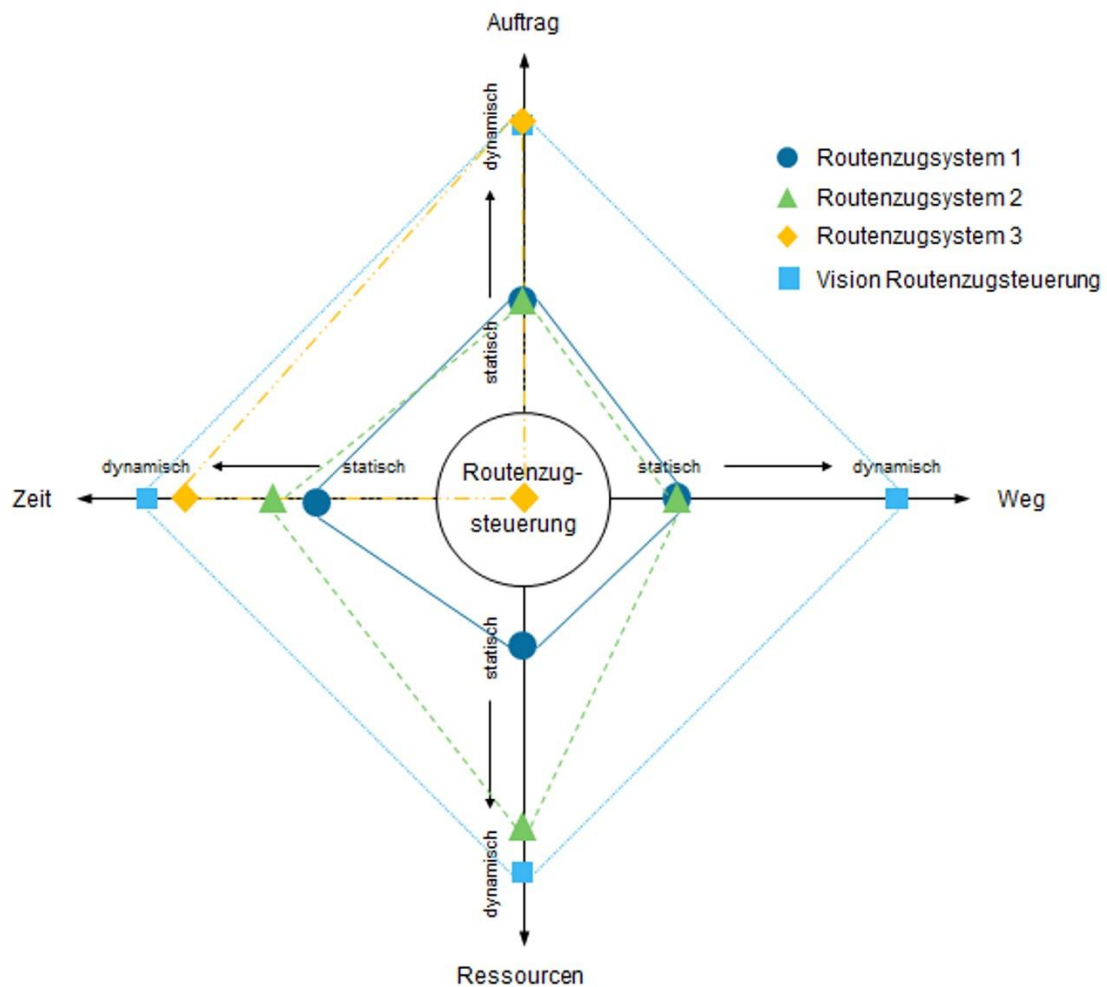


Bild 4. Die vier Dimensionen der Routenzugsteuerung

Die zeitliche Dimension beinhaltet die Festlegung des Tourenstarts sowie die Berücksichtigung der Bereitstelltermine. Die Dimension Auftrag beschreibt die Entscheidungen, die zur Bildung der Tour getroffen werden müssen, also das Zusammenfassen von Transportbedarfen an Bereitstellorten zu Aufträgen und die Festlegung der Reihenfolge. Die Entscheidungen, die hinsichtlich der Definition des Fahrwegs des Routenzugs getroffen werden, berücksichtigt die Dimension Weg. Die Steuerung der Zuteilung von Fahrern und Routenzugequipment zu Touren kann durch die Dimension Ressource zusammengefasst werden.

Bild 5 fasst die verschiedenen Gestaltungsdimensionen mit den zugehörigen Steuerungsentscheidungen zusammen. Zudem werden für die einzelnen Steuerungsentscheidungen Ausprägungen aufgezeigt, die sich aus den Ergebnissen der durchgeführten Studien zu Routenzugsteuerungen ableiten lassen. Aus den verschiedenen Ausprägungen je Steuerungsentscheidung ergibt sich eine Morphologie für Steuerungsansätze von Routenzugsystemen.





Merkmal		Merkmalsausprägungen			
		Ungesteuert	Routenbasiert	Typ- bzw. bereichsbasiert	Dynamisch
Tourenbildung 	Zusammenfassung Aufträge zu Touren	Ungesteuert	Routenbasiert	Typ- bzw. bereichsbasiert	Dynamisch
	Bestimmung Reihenfolge auf einer Tour	Unbestimmt	Vorbestimmt	Bereichsweise vorbestimmt	Dynamisch
Scheduling 	Festlegung Tourenstart	Nicht festgelegt	Getaktet	Fester Fahrplan	Permanent
	Berücksichtigung Bereitstellzeitpunkt	Nicht berücksichtigt	Zeitfensterbasiert		Zeitpunktbasiert (Spätester Zeitpunkt)
Routing 	Definition Fahrweg	Undefiniert	Vordefiniert	Bereichsweise vordefiniert	Dynamisch
Ressourcenzuteilung 	Zuteilung Touren zu Fahrer	Ungesteuert	Fest zugeteilt	Organisations- bzw. bereichsbasiert (Fahrer-Pool)	Dynamisch
	Zuteilung Touren zu Routenzug	Ungesteuert	Fest zugeteilt	Typ- bzw. bereichsbasiert (Routenzug-Pool)	Dynamisch

Bild 5. Morphologie von Steuerungsentscheidungen in Routenzugsystemen

Vision: Dynamische Steuerung von Routenzugsystemen auf Basis von Echtzeitdaten

Aus den untersuchten Steuerungsansätzen lässt sich eine Vision für eine dynamische Routenzugsteuerung ableiten (Bild 5), die eine flexible Anpassung von Transportkapazitäten an kurzfristige Schwankungen der Transportbedarfe ermöglicht. Hierdurch können vorgehaltene Kapazitätsreserven, die sich in der Auslastung des Systems und in Form zusätzlicher Bestände bemerkbar machen, erschlossen werden. In der Vision einer komplett dynamischen Steuerung werden die anfallenden Transportaufträge im laufenden Betrieb wege- und auslastungsoptimiert immer wieder neu zu Touren zusammengefasst. Dabei kann die Steuerung die Reihenfolge der Aufträge innerhalb der Tour frei festlegen. Der Tourenstart erfolgt je nach Optimierungsziel, wenn die physische Auslastung des Zugs oder eine kritische Zeitgrenze erreicht wird. Für jeden Auftrag wird dabei der späteste Bereitstellzeitpunkt möglichst genau berücksichtigt. Der Fahrweg der Tour wird durch die Steuerung dynamisch festgelegt und kann idealerweise permanent aufgrund der aktuellen Verkehrssituation angepasst werden. Zusätzlich können allen verfügbaren Fahrern und Routenzügen je nach aktuellem Status ohne Restriktionen Touren durch die Steuerung zugeteilt werden.

Zusammenfassung und Ausblick

Zur Unterstützung von Anwendern und Betreibern von Routenzugsystemen wurde in diesem Beitrag eine Morphologie für Routenzugsteuerungen entwickelt. Sie ermöglicht eine ganzheitliche Betrachtung von Steuerungsansätzen von Routenzugsystemen unter Berücksichtigung aller steuerungsrelevanten Entscheidungen. Zudem können mit Hilfe der

Morphologie statische und dynamische Ansätze unterschieden werden. Dynamische Steuerungsansätze auf Basis der aktuellen Bedarfe und des aktuellen Systemzustands bieten Flexibilität und ermöglichen eine Anpassung an kurzfristige Schwankungen, benötigen jedoch eine hohe Informationsverfügbarkeit und einen grundsätzlich höheren Digitalisierungsgrad. Neben der Entwicklung recheneffizienter Algorithmen für die dynamische Steuerung gilt es, besonders auch die damit einhergehende Komplexität in der Informationsverarbeitung zu beherrschen. Dann kann in dynamisch gesteuerten Systemen ein effizienter und transparenter Prozessablauf gewährleistet werden.

Literatur

1. Lichtblau, K.; Stich, V.; Bertenrath, R.; Blum, M.; Bleider, M.; Millack, A.; Schmitt, K.; Schmitz, E.; Schröter, M.: IMPULS - Industrie 4.0-Readiness. Impuls-Stiftung des VDMA, Aachen-Köln, 2015
2. Bauernhansl, T. (Hrsg.): Industrie 4.0: Entwicklungsfelder für den Mittelstand. Stuttgart, 2016.
3. Ōno, T.: Toyota production system - Beyond large-scale production. Productivity Press, Cambridge, 1988
4. Lieb, C.; Klenk, E.; Galka, S.; Keuntje, C.: Einsatz von Routenzugsystemen zur Produktionsversorgung – Studie zu Planung, Steuerung und Betrieb. Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik, Garching 2017
5. Laschinger, K.; Maas, C.; Günthner, W. A.: Flexible Container Filling Quantities. A Measure for Logistics Flexibility in the Automotive Industry. 27th Annual NOFOMA Conference, Molde, Norwegen, 2015
6. Bozer, Y.A.; Ciemnoczowski, D. D.: Performance evaluation of small-batch container delivery systems used in lean manufacturing – Part 1: system stability and distribution of container starts, In: International Journal of Production Research, 51 (2013) 2, S. 555–567
7. Emde, S.; Fliedner, M.; Boysen, N.: Optimally loading tow trains for just-in-time supply of mixed-model assembly lines, In: IIE Transactions (2012), 44:2, S. 121-135
8. Alnahhal, M.; Noche, B.: Capacity planning in in-plant milk run system, In: International Journal of Service and Computing Oriented Manufacturing, 1 (2014) 3, S. 197–210
9. VDI (Hrsg.): VDI-Richtlinie: VDI 5586 Blatt 1 Routenzugsysteme – Grundlagen, Gestaltung und Praxisbeispiele. Beuth Verlag, Düsseldorf 2016
10. Günthner, W. A.; Durchholz, J.; Klenk, E.; Boppert, J.: Schlanke Logistikprozesse – Handbuch für den Planer. Schlanke Logistik – Handbuch für den Planer. Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg, 2013

11. Brungs, F.: Der Milkrun in der Produktionslogistik, Dissertation TU Darmstadt, 2012
12. Droste, M.: Parametrisierte Modellierung innerbetrieblicher Milkrun-Systeme zur Planung der Materialbereitstellung in der Montage, Dissertation TU Dortmund, 2013

***) Förderhinweis**

Gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) – GU 427/30-1

Autorenbiographie

M. Sc., Fabian Hormes, geb. 1989, studierte Wirtschaftsingenieurwesen mit den Schwerpunkten Logistik und Produktionsmanagement am Karlsruher Institut für Technologie (KIT). Seit Abschluss seines Studiums ist er als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik (fml) der Technischen Universität München beschäftigt.

M. Sc., Christian Lieb, geb. 1990, studierte Maschinenbau und Management an der Technischen Universität München. Seit Abschluss seines Studiums ist er als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik (fml) der Technischen Universität München beschäftigt.

Prof. Dr.-Ing. Johannes Fottner ist Leiter des Lehrstuhls für Fördertechnik Materialfluss Logistik (fml) der Technischen Universität München.

Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wi.-Ing. Willibald A. Günthner war bis September 2017 Leiter des Lehrstuhls für Fördertechnik Materialfluss Logistik (fml) der Technischen Universität München.

Stichworte

Steuerung, Routenzug, Produktionsversorgung, Flexibilität, Dynamik

Bildunterschriften

Bild 1. Kurzfristige Abrufschwankungen in der Versorgung einer Montagelinie in der Nutzfahrzeugindustrie

Figure 1. Short-term call-off variability in the assembly-line feeding of the commercial vehicle industry

Bild 2. Dynamik der Merkmale der Routenzugsteuerung

Figure 2. Dynamics of the characteristics of an in-plant milkrun control

Bild 3. Übersicht der betrachteten Routenzugsysteme

Figure 3. Observed in-plant milkrun systems overview

Bild 4. Die vier Dimensionen der Routenzugsteuerung

Figure 4. The four dimensions of an in-plant milkrun control

Bild 5. Morphologie von Steuerungsentscheidungen in Routenzugsystemen

Figure 5. Morphology of control decisions in in-plant milkrun systems