

Dezentrale Auftragserzeugung und -vergabe für FTF

Decentralized Job Creation and Allocation for AGVs

Dominik Colling
Sascha Ibrahimasic
Andreas Trenkle
Kai Furmans

*Institut für Fördertechnik und Logistiksysteme (IFL)
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)*

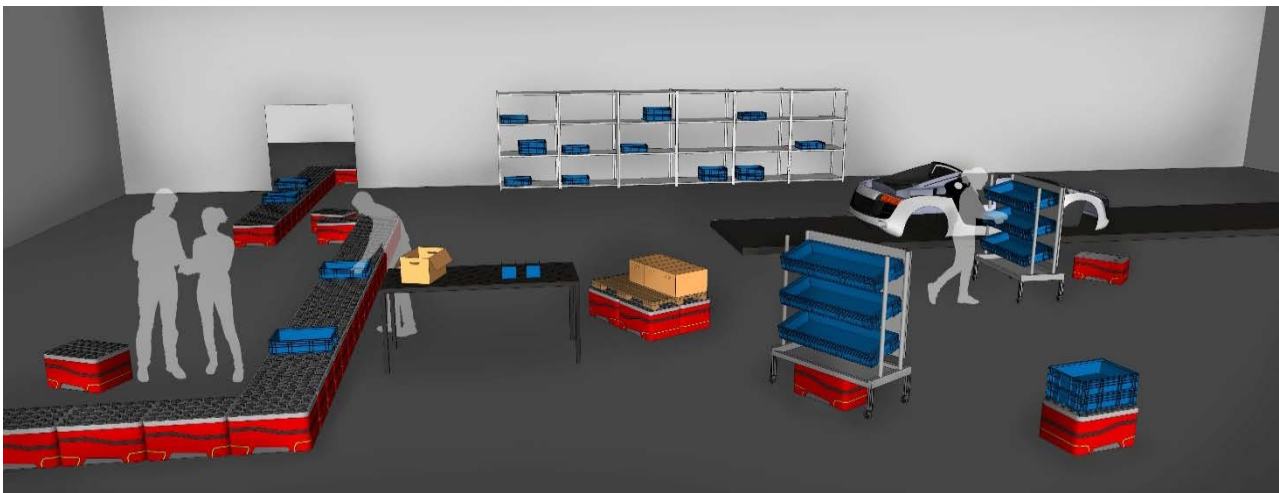


Abbildung 1. Vision des Einsatzes vom KARIS PRO in der Produktion

KARIS PRO ist ein modulares, dezentral gesteuertes fahrerloses Transportsystem. Dadurch dass sowohl die Lagerplatz- als auch die Auftragsverwaltung von den Fahrzeugen übernommen wird, kann auf eine zentrale Leitsteuerung verzichtet werden. In diesem Artikel werden die dafür notwendigen Komponenten, die dezentrale Auftragserzeugung und die dezentrale Auftragsvergabe, beschrieben. Die dezentrale Auftragserzeugung, die Aufträge automatisch aus dem Lagerstand ableitet, ermöglicht es zusätzlich Aufträge zu generieren, ohne dass zuvor Transportbeziehungen zwischen Übergabestellen eingelernt werden müssen. Dies bietet zusätzliche Flexibilität bezüglich Layoutveränderungen, da das Hinzufügen, das Entfernen, das Verändern oder der Ausfall einer Übergabestelle keine Änderungen bei den Transportbeziehungen der mit ihr verbundenen Übergabestellen notwendig macht.

[Schlüsselwörter: Fördertechnik, Fahrerloses Transportsystem, dezentrale Steuerung, Auftragsverwaltung, Auftragsvergabe]

KARIS PRO is a modular, decentralized controlled automated guided vehicle system. There is no need for a central master controller as both the warehouse management and the job management is carried out by the vehicles. In this article, we present two of the required components, a decentralized job creation system

and a decentralized job allocation system. As the vehicles also carry out the warehouse management, the decentralized job creation system is able to derive jobs from the distribution of stock within the warehouse. It can create jobs without a prior teaching of transport connections between transfer points. This provides additional flexibility in layout changes, because adding, removing, altering or loss of a transfer point does not require a change of transport connections of connected transfer points.

[Keywords: conveying system, AGV, decentralized control, job management, job allocation]

1 EINLEITUNG

Unternehmen benötigen zunehmend flexible Produktionsprozesse. Ursachen dafür sind eine steigende Variantenvielfalt, kürzere Produktlebenszyklen, aber auch zunehmend dynamische Wachstumsprozesse. Mit den Produktionsprozessen müssen auch die dahinterliegenden logistischen Prozesse angepasst werden. So kann beispielsweise eine zusätzliche Bearbeitungsstation, die durch eine weitere Produktvariante notwendig wird, auch eine zusätzliche Übergabestelle für das Logistiksystem bedeuten. Eine Erhöhung der Produktion durch eine kür-

zere Taktzeit kann gleichzeitig einen höheren Durchsatz bei der Materialbereitstellung erforderlich machen.

Mit den heutigen zentral gesteuerten Anlagen ist eine Anpassung der Logistikprozesse jedoch meist mit hohen Kosten und viel Zeit verbunden, da jede Änderung neben dem mechanischen Umbau auch eine Anpassung der zentralen Steuerung erfordert. Einen Ausweg bietet modulare, dezentral gesteuerte Fördertechnik.

Deshalb wurde am KIT das kleinskalige autonome redundante Intralogistiksystem in der Produktion (KARIS PRO) entwickelt. Dabei handelt es sich um ein fahrerloses Transportsystem (FTS), das ohne zusätzliche Hardware, wie z.B. einem zentralen Leitreechner auskommt. Für seinen Einsatz wird keine Anbindung an einen Materialflussrechner der Anwender benötigt, d.h. KARIS PRO ist auch für die Lagerverwaltung in seinem Aufgabenbereich zuständig.

Damit das System seine eigentliche Aufgabe, den Materialtransport, ohne Leitreechner durchführen kann, muss es in der Lage sein, Transportaufträge zu erzeugen und diese zu disponieren. Die dafür eingesetzten Verfahren werden in diesem Artikel vorgestellt und anhand von Beispielen erklärt.

Der Artikel gliedert sich folgendermaßen:

- In Kapitel 2 werden verwandte Arbeiten präsentiert und die Eigenschaften einer zentralen Leitsteuerung mithilfe der VDI Richtlinie 4451-7 vorgestellt.
- Kapitel 3 beschreibt die Eigenschaften der KARIS PRO-Fahrzeuge, die benötigte Infrastruktur und die dezentrale Steuerung des Systems.
- In Kapitel 4 werden die dezentrale Auftragszeugung und die dezentrale Auftragsvergabe dargestellt.
- In Kapitel 5 folgen schließlich eine Zusammenfassung und ein Ausblick.

2 GRUNDLAGEN

2.1 VERWANDTE ARBEITEN

In Abbildung 2 ist der GridSorter zu sehen. Der GridSorter ist ein dezentral gesteuertes Stetigfördersystem, das aus baugleichen Fördermodulen besteht und nach dem Lego-Prinzip zusammengesteckt wird [SF14]. Ohne eine zentrale Steuerung können die Module das Layout erkennen, Strecken für das Fördergut reservieren und dieses anschließend transportieren. Die dezentrale Steuerung wird dadurch ermöglicht, dass die Fördermodule, klassi-

sche Umsetzer, um eine Steuereinheit, die FlexBox erweitert werden.

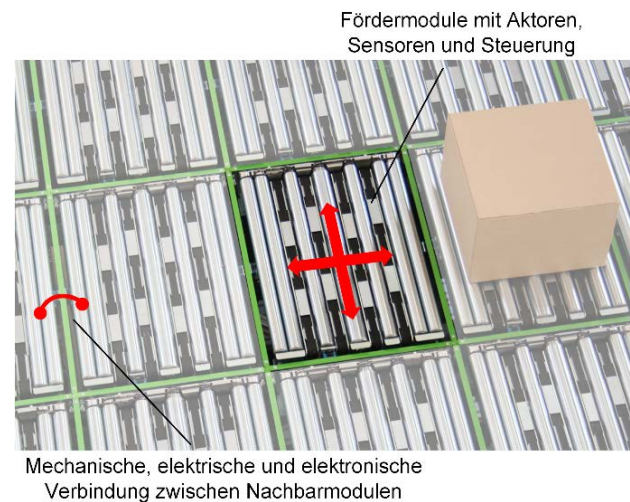


Abbildung 2. Der GridSorter [SF14]

Das Multishuttle Move ist ein am Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik (IML) entwickeltes fahrerloses Transportfahrzeug (FTF) und Shuttle [KSNH11]. Innerhalb der Regalsysteme ist es schienengeführt wie ein Shuttle, außerhalb kann es sich wie fahrerlose Transportsysteme frei bewegen. Jedes Fahrzeug wird von einem Software-Agenten repräsentiert und kann so mit den anderen Fahrzeugen und externen Diensten interagieren. Aufgaben wie die Lokalisierung und Pfadplanung werden dezentral von den einzelnen Fahrzeugen gelöst. Die Auftragsverwaltung und -vergabe wird im Gegensatz zu KARIS PRO von einem externen System übernommen.

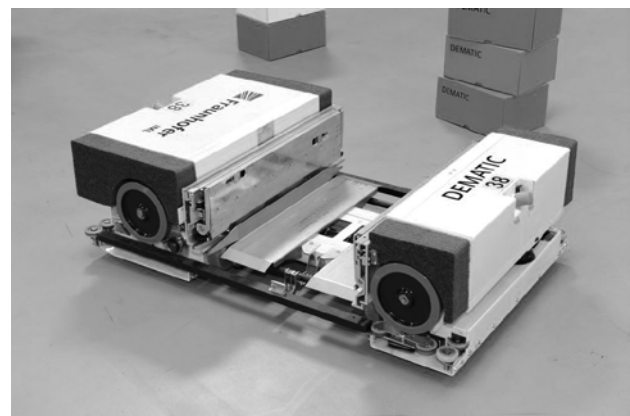


Abbildung 3. Multishuttle Move [KSNH11]

2.2 ZENTRALE STEUERUNG NACH VDI 4451-7

In der VDI-Richtlinie 4451 Blatt 7 [VDI05] wird die Funktionsweise einer zentralen FTS-Leitsteuerung dargestellt. Danach handelt es sich bei der Leitsteuerung um ein Computerprogramm, das auf einem Rechner läuft und zur Koordination der FTF und deren Integration in das Materialflusssystem dient.

Die Leitsteuerung ist über ein Benutzer-Interface mit dem System des Anwenders verbunden und bekommt von diesem Transportaufträge übermittelt (siehe Abbildung 4). Ein Transportauftrag muss mindestens aus einer Quelle, einer Senke und einer ID bestehen. Zusätzlich kann er aber noch weitere Informationen wie Prioritäten oder einen Endzeitpunkt, bis wann der Auftrag abgeschlossen sein muss, enthalten. Übermittelt das System des Anwenders keine vollständigen Aufträge, muss innerhalb des FTS eine interne Materialflusssteuerung existieren, die durch ihr Wissen über interne Materialflüsse die Aufträge vervollständigen kann.

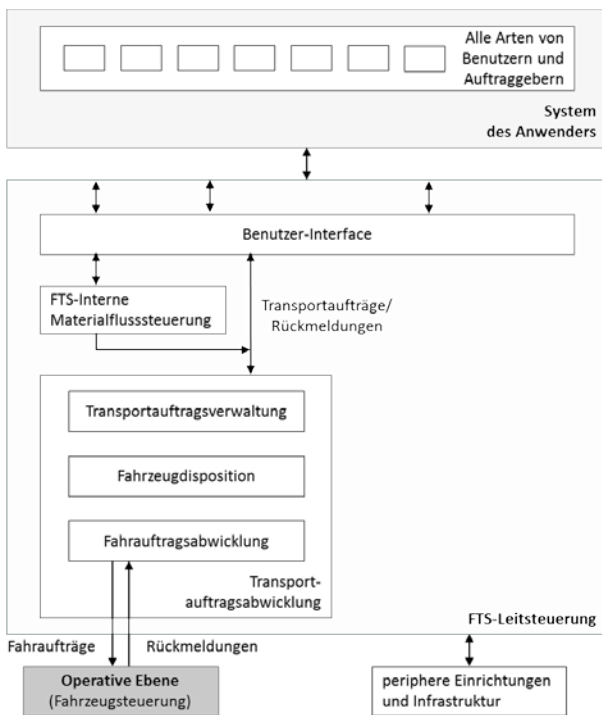


Abbildung 4. FTS-Leitsteuerung ohne Servicefunktionen (nach VDI 4451-7)

Die informationstechnische Verarbeitung der Aufträge wird durch die Transportauftragsabwicklung realisiert. Diese besteht aus den drei Komponenten Transportauftragsverwaltung, Fahrzeugdisposition und Fahrauftragsabwicklung. Die Transportauftragsverwaltung sammelt die Transportaufträge und sortiert sie nach ihrer Priorität. Die Fahrzeugdisposition vergibt die Aufträge nach vorgegebenen Kriterien an die Fahrzeuge. Die Fahrauftragsabwicklung leitet aus Aufträgen einzelne Aufgaben ab und sendet diese an die Fahrzeuge weiter. Sie kontrolliert die Auftragsausführung der Fahrzeuge und kontrolliert den Verkehr auf den Strecken.

3 KARIS PRO

3.1 FAHRZEUGE

KARIS PRO wurde für den Einsatz in Produktionsumgebungen konzipiert. Die Fahrzeuge können Trans-

porte in unterschiedlichen Modi durchführen, einzeln, im Unstetigcluster oder im Stetigcluster (siehe Abbildung 1). Dafür können sie, je nach geplantes Einsatzszenario Wechselmodule durch ihren Hub aufnehmen. Für den Einzeltransport sind das z.B. eine Klemme zum Aufnehmen von KLT-Stapeln oder eine Platte zum Andocken an Warenkörben. Als Unstetigcluster nehmen mehrere Fahrzeuge gemeinsam ein Clusterwechselmodul auf, das dann wiederum als Träger für größere Transportgüter wie zum Beispiel Paletten oder Gitterboxen dienen kann. Im Unstetigcluster haben die Fahrzeuge ein Förderband als Wechselmodul aufgesetzt und bilden dadurch, dass sie sich nebeneinander aufreihen, eine gemeinsame Förderstrecke. Beim Fördern auf der Förderstrecke bewegen sich dann nicht mehr die einzelnen Fahrzeuge, sondern die Waren werden durch die Förderbänder fortbewegt.

Jedes Fahrzeug hat vier Topfantriebe, wodurch es flächenbeweglich ist. Die Fahrzeuge verfügen über einen Laserscanner, der eine 270 Grad Sicht nach vorne ermöglicht und zwei Funktionen erfüllt. Einerseits ermöglicht er den einzelnen Fahrzeugen Sicherheitsfunktionen wie Ausweichen und Halten vor Hindernissen, andererseits kann durch ihn die Umgebung gescannt werden, was für die Kartierung und Navigation genutzt wird. Die Energieversorgung wird durch einen NiMH-Akku gewährleistet. Zur Kommunikation besitzen die Fahrzeuge ein WLAN-Modul.

3.2 INFRASTRUKTUR

Damit die Fahrzeuge KLTs übernehmen können, werden Übergabestellen in Form von Konsolen (siehe Abbildung 5) benötigt. Die Fahrzeuge können sie unterfahren, den Hub und somit dann auch die KLTs anheben und dann mit ausgefahrenem Hub aus der Konsole herausfahren. Zur Abgabe wird der gleiche Prozess in umgekehrter Reihenfolge durchgeführt.

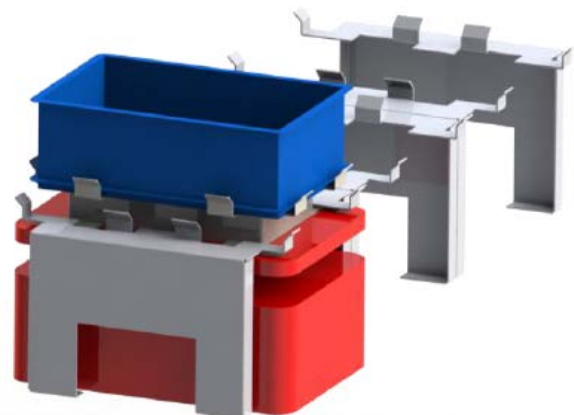


Abbildung 5. Ein KARIS PRO-Fahrzeug mit einem Wechselmodul zur Aufnahme von KLTs an einer Konsole

Zum Aufladen des Akkus werden Energieladestationen benötigt. Auf diese können die Fahrzeuge fahren und dort kontaktlos Energie laden.

Des Weiteren kommt eine Mensch-Maschine-Schnittstelle (HMI) zum Einsatz. Diese kann beispielsweise durch Tabletcomputer umgesetzt werden. Die HMI ist für das Einlernen der Karte, für das Überwachen des Systems und, falls keine automatisierte Belegungsüberwachung der Übergabestellen durch z.B. RFID-Technologie realisiert wird, für das Ein- und Ausbuchen des Bestands in der Lagerverwaltung notwendig [TF16].

Zum Betrieb eines KARIS PRO wird also lediglich folgendes benötigt:

- Fahrzeuge
- Übergabestellen
- Energieladestationen
- HMI
- WLAN-Accesspoints

3.3 STEUERUNG

KARIS PRO besitzt keine zentrale Leitsteuerung. Daher werden die in der VDI-Richtlinie 4451 Blatt 7 (siehe Abschnitt 2.2) beschriebenen Aufgaben der Leitsteuerung durch die Fahrzeuge übernommen (siehe Abb. 6).

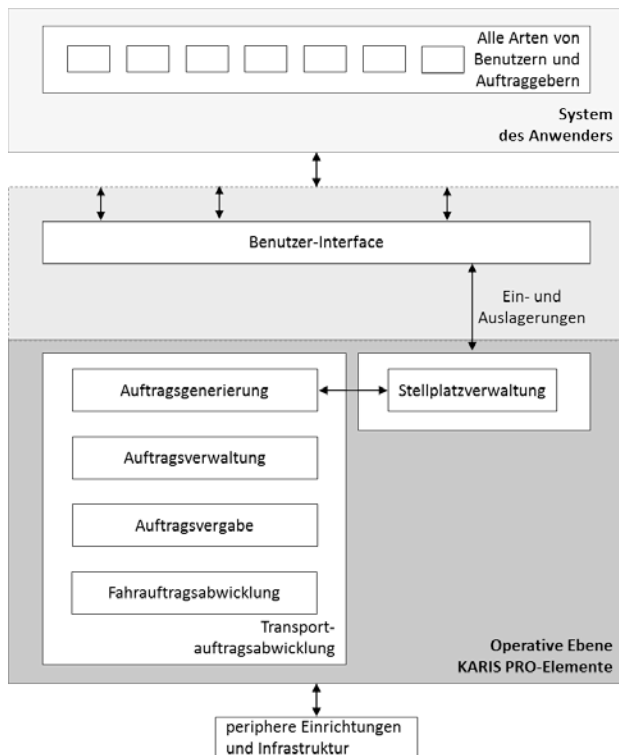


Abbildung 6. Steuerung von KARIS PRO

Zusätzlich zu den Aufgaben der Transportauftragsabwicklung stellt KARIS PRO eine Stellplatzverwaltung für die Übergabestellen zur Verfügung. Darin wird überwacht, ob Übergabestellen belegt sind oder nicht. Sind sie belegt, werden zusätzlich Informationen über das Trans-

portgut wie Sachnummer und Produktionsstatus hinterlegt. Aktuell erfolgen Ein- und Ausbuchen in der Lagerverwaltung über Bestätigungen auf dem Tabletcomputer. Allerdings wäre eine vollständige Automatisierung, z.B. durch das Lesen von RFID-Chips an den Ladungsträgern denkbar.

Damit kein Fahrzeug einen „single point of failure“ darstellt, besitzen alle Fahrzeuge die gleiche Steuerung, können somit alle die gleichen Prozesse bearbeiten und sich gegenseitig ersetzen. Verschiedene Informationen, die das Gesamtsystem betreffen, müssen dennoch aggregiert werden. Diese werden auf den Datenbanken der Fahrzeuge gesammelt. Durch eine ständige Konsistenzprüfung wird sichergestellt, dass alle Fahrzeuge den gleichen Informationsstand haben.

4 TRANSPORTAUFTRAGSABWICKLUNG VON KARIS PRO

Die Algorithmen für die Auftragserzeugung und die Auftragsvergabe werden anhand eines Beispielszenarios erklärt, das im Folgenden vorgestellt wird:

Das Beispielszenario stellt den Einsatz von KARIS PRO in den letzten Produktionsschritten eines Dieselpumpenherstellers dar. Als Eingang in das KARIS PRO dient die Übergabestelle M1, bei der fertig montierte Pumpen in einem Kleinladungsträger (KLT) dem System übergeben werden (siehe Abbildung 7). Von dort müssen die KLTs zu einer der zwei Stationen der Qualitätskontrolle QK1 und QK2 gebracht werden. Diese Übergabestellen werden zum Empfang von ungeprüften, fertig montierten Pumpen genutzt. Während der Kontrolle bleibt die Übergabestelle blockiert, damit sie anschließend zum Versand der nun geprüften Pumpen genutzt werden kann. Die Belieferung des Verpackplatzes mit den Übergabestellen VP1 und VP2 erfolgt erst nach einem manuellen Abruf. Dies geschieht nach abgeschlossener Qualitätskontrolle direkt von dort oder aus einem der drei Übergabestellen ZL1, ZL2 und ZL3 des Zwischenlagers, wo geprüfte Pumpen hin transportiert werden, wenn es für die Pumpe keinen aktuellen Abruf vom Verpackplatz gibt. Erreicht ein KLT eine der Übergabestellen am Verpackplatz, wird er dort entnommen, ausgebucht und verlässt somit das System wieder.

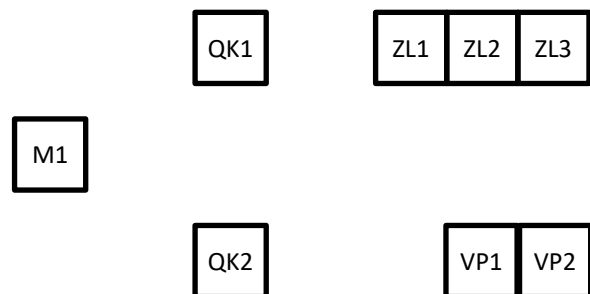


Abbildung 7. Layout des Beispielszenarios

Im Werk werden die Pumpen mit den Sachnummern von 1 bis 10 hergestellt. Wie oben beschrieben, können die Pumpen die Produktionsstatus montiert, geprüft oder verpackt haben. Zusätzlich haben sie entweder den Lagerstatus nicht gelagert oder, wenn sie sich auf den Übergabestellen ZL1, ZL2 oder ZL3 befinden, den Status gelagert. Diese Informationen werden in der Lagerplatzverwaltung der Fahrzeuge mitgespeichert.

Für den KLT-Transport stehen drei KARIS PRO-Fahrzeuge zur Verfügung.

4.1 AUFTRAGSERZEUGUNG

Bei der Entwicklung der dezentralen Auftragsvergabe für KARIS PRO wurde der Industrie 4.0-Ansatz eines Multiagentensystems verfolgt, bei dem nicht nur die Entscheidungen dezentral getroffen werden, sondern auch die Datenhaltung dezentralisiert wird [Roi10]. Daher wurde ein Algorithmus entwickelt, bei dem an den Übergabestationen kein Wissen über andere Übergabestationen im System benötigt wird. Für die Auftragserzeugung müssen im System keine Transportbeziehungen eingelernt werden. Insbesondere müssen die Übergabestationen ihre Transportbeziehungen nicht kennen. Das Hinzufügen, das Entfernen, das Verändern oder der Ausfall von Übergabestellen hat somit keine Auswirkung auf andere Übergabestellen.

Bei KARIS PRO ist jeder Auftrag aus zwei hintereinander folgenden Aufgaben zusammengesetzt, der Entnahme und der späteren Abgabe eines Ladungsträgers.

Diese Aufgaben werden automatisch ausgehend vom Lagerstand in Lagerverwaltung erzeugt und später zu einem Auftrag zusammengesetzt.

4.1.1 ALGORITHMUS

Für jede Übergabestelle wird beim Einlernen des Systems eine Schablone erzeugt. Darin wird eine Belegung der Übergabestelle im angestrebten Zustand hinterlegt. Das Ziel kann eine freie, unbelegte Station sein, das Ziel kann die Belegung mit einem gewissen Transportgut sein, es kann aber auch die Belegung mit einem Gut sein, das nur gewisse Eigenschaften erfüllen muss. Die Eigenschaften können beispielsweise Eingrenzungen bei der Sachnummer sein, es können aber auch gewisse Produktionsstatus verlangt werden. Im Szenario ist beispielsweise der angestrebte Zustand einer Übergabestelle an der Qualitätskontrolle die Belegung mit einem KLT mit fertig montierten Pumpen. Die Sachnummer spielt dabei keine Rolle (siehe Tabelle 1). Außerdem kann jeder Station eine Priorität zugeordnet werden. Diese lässt sich auch dynamisch gestalten. So könnte beispielsweise bei einem Lager die Priorität bei sinkender Belegung steigen.

Tabelle 1. Zielzustände der Übergabestellen im Beispielszenario

	M1	QK1+ QK2	ZL1- ZL3	VP1+ VP2
SNR	-	1-10	1- 10	1-10
PS	-	montiert	geprüft	geprüft
LS	-	nicht gelagert	nicht gelagert	gelagert, nicht gelagert
Schablone de- aktiviert?	nein	nein	nein	ja

Wenn es nicht beim Einlernen deaktiviert wird, wird bei einer Änderung des Belegungszustands in der Lagerverwaltung, also bei einer Ein- oder Auslagerung, je nach Schablone eine Aktion ausgelöst. Wird eine Übergabestelle geleert und ist anschließend frei, so wird eine Abgabepflicht zu den in ihrer Schablone hinterlegten Gütern gemeldet. Ist eine Übergabestelle belegt und weicht die Belegung vom Zielzustand ab, so wird automatisch eine Entnahmpflicht zu dem Gut gemeldet. Ist eine Übergabestelle mit dem angestrebten Transportgut belegt, entsteht keine Aufgabe.

Während bei Abgabepflichten immer generische Güter verlangt werden, bei denen pro Eigenschaft mehrere Ausprägungen erlaubt sein können, repräsentieren Entnahmpflichten die tatsächlichen Ausprägungen der Eigenschaften des physisch vorhandenen Transportguts.

Werden Lager genutzt, ist es notwendig die Eigenschaft „Lagerstatus“ einzuführen. Dieser wird bei einer Einlagerung von „nicht gelagert“ zu „gelagert“ geändert. Da Lager nur nicht gelagerte Güter verlangen, wird so ein Zirkulieren der Transportgüter im Lager verhindert.

Die Meldungen von Entnahme- und Abgabepflichten werden jeweils an ein zufälliges KARIS PRO-Fahrzeug im System gemeldet.

Erkennt das Fahrzeug ein passendes Paar von Entnahme und Abgabe, also besitzt das Gut zur Entnahme alle der in einer Abgabepflicht geforderten Eigenschaften, generiert das Fahrzeug daraus einen Auftrag. Kommen auf eine Abgabe mehrere Entnahmen oder auf eine Entnahme mehrere Abgaben wird jeweils die Entnahme bzw. die Abgabe mit der höchsten Priorität ausgewählt. Sind diese gleich, wird die ältere Entnahme bzw. die ältere Abgabe gewählt.

Den neu erzeugten Auftrag schickt das Fahrzeug an die anderen Fahrzeuge. Dadurch wird gewährleistet, dass

jeder Auftrag eine eindeutige ID besitzt. Die Fahrzeuge tragen diese Aufträge dann in ihre Auftragsliste ein, um sie später zu auktionieren.

Außerdem müssen nach der Erstellung eines Auftrags die beiden enthaltenen Aufgaben aus der Liste mit offenen Aufgaben gelöscht werden. So wird garantiert, dass jede Entnahme- und jede Abgabeaufgabe immer nur von einem Auftrag bedient wird.

Kann das Fahrzeug aus einer Entnahme- oder Abgabeaufgabe keinen Auftrag erzeugen, meldet das Fahrzeug die einzelne Entnahme- bzw. Abgabeaufgabe an die anderen Fahrzeuge, die diese dann in ihrer Datenbank speichern.

4.1.2 BEISPIEL

Im Beispielszenario ist zu Beginn ZL3 mit einem geprüften Artikel der Sachnummer 8 belegt. Das heißt mit der Einlagerung bei der Initialisierung des Systems erkennt das System bei ZL3 eine Entnahmeaufgabe (siehe Tabelle 2). Alle anderen Übergabestellen sind frei, daher wird bei QK1 und QK2 jeweils eine Abgabeaufgabe zu montierten, nicht gelagerten Pumpen der Sachnummern 1 bis 10 bemerkt und von den Zwischenlagern ZL1 und ZL2 zwei Abgabeaufgaben zu geprüften, nicht gelagerten Pumpen, der Sachnummern 1 bis 10.

Tabelle 2. Aufgaben zu Beginn des Beispielszenarios

	Typ	SNR	PS	LS	Prio
QK1	Abgabe	1-10	montiert	nicht gelagert	1
QK2	Abgabe	1-10	montiert	nicht gelagert	1
ZL1	Abgabe	1-10	geprüft	nicht gelagert	2
ZL2	Abgabe	1-10	geprüft	nicht gelagert	2
ZL3	Entnahme	8	geprüft	gelagert	2

Nach kurzer Zeit wird M1 ein KLT mit montierten Pumpen der Sachnummer 8 übergeben, woraufhin eine Entnahmeaufgabe vom System erkannt wird. Die gemeldete Aufgabe passt zu den Abgabeaufgaben von QK1 und QK2 (siehe Tabelle 3). Da die Aufgabe von QK1 früher festgestellt wurde, generiert das Fahrzeug, das die Abgabeaufgabe erhalten hat, aus der Entnahme von M1 und der Abgabe von QK1 den Transportauftrag T1 für den Transport des KLTs von M1 zu QK1. Dafür löscht es die Ab-

gabeaufgabe von QK1 und sendet einen Befehl zum Löschen an die anderen Fahrzeuge.

Nachdem der KLT zu QK1 transportiert und dort der Übergabestelle übergeben wurde, wird er dort in der Lagerverwaltung eingebucht. Da der Artikel der Schablone der Übergabestelle entspricht, wird keine Entnahmeaufgabe erzeugt.

Tabelle 3. Transportaufgaben nach der Einlagerung bei M1

	Typ	SNR	PS	LS
M1	Entnahme	8	montiert	nicht gelagert
QK1	Abgabe	1-10	montiert	nicht gelagert
QK2	Abgabe	1-10	montiert	nicht gelagert

In der Zwischenzeit beginnt der Verpackplatz mit der Verpackung von Pumpen der Sachnummer 8. Daher werden von den Mitarbeitern vor Ort durch ein Tablet mit Schnittstelle zum KARIS PRO zwei Abgabeaufgaben für KLTs mit geprüften Pumpen mit beliebigem Lagerstatus für VP1 und VP2 gemeldet (siehe Tabelle 4). Da bereits eine Entnahmeaufgabe bei ZL3 besteht, wird mit der Abgabeaufgabe von VP1 und der Entnahmeaufgabe von ZL3 der Transportauftrag T2 generiert.

Tabelle 4. Transportaufgaben nach der Bedarfsmeldung vom Verpackplatz

	Typ	SNR	PS	LS
ZL3	Entnahme	8	geprüft	gelagert
VP1	Abgabe	1-10	geprüft	nicht gelagert o. gelagert
VP2	Abgabe	1-10	geprüft	nicht gelagert o. gelagert

Nach der Kontrolle der Pumpen bei QK1, wird der Zustand der Pumpen im KLT von „montiert“ zu „geprüft“ umgebucht. Damit entspricht der KLT nicht mehr der Schablone und es wird eine Entnahmeaufgabe erzeugt. Diese Entnahme stimmt nun sowohl mit den Abgabeaufgaben von ZL1 und ZL2 überein als auch mit der Abgabeaufgabe von VP2. Da VP2 eine höhere Priorität hat, wird die Entnahmeaufgabe mit der Abgabe bei VP2 ver-

knüpft und Transportauftrag T3 generiert. Dieser KLT muss so nicht zwischengelagert werden, sondern wird direkt zum Verpackplatz gebracht.

Die im Beispiel erzeugten Transportaufträge sind in Abbildung 8 grafisch dargestellt.

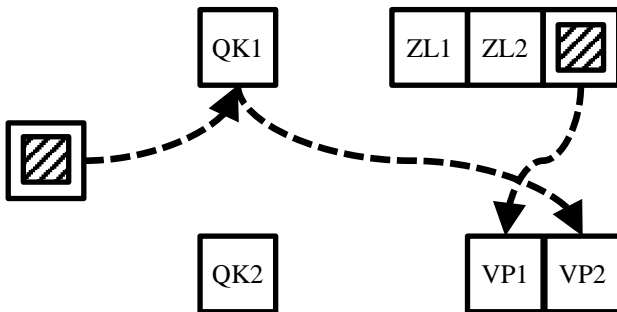


Abbildung 8. Im Beispielszenario erzeugte Transportaufträge

4.1.3 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Das Beispielszenario hat gezeigt, wie es möglich ist ohne das Einlernen von Transportbeziehungen Transportaufträge zu erzeugen. Durch den Algorithmus, der Entnahme- und Abgabeaufgaben kombiniert, ist es möglich auch komplexere Verknüpfungen zwischen Übergabestellen zu erzeugen. So besitzt die Übergabestelle bei QK1 eine eingehende und fünf ausgehende Transportbeziehungen (siehe Abbildung 9).

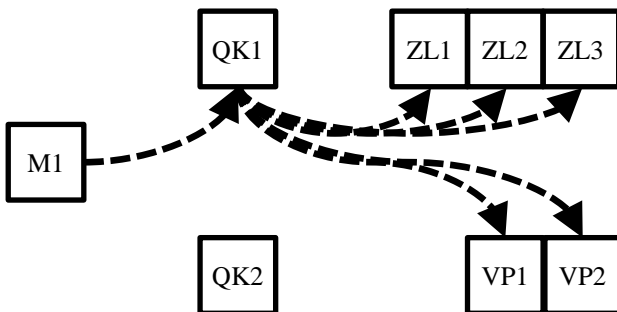


Abbildung 9. Ein- und ausgehende Transportbeziehungen von QK1

Das System ist gleichzeitig aber auch sehr flexibel. So ist es möglich KLTs an beliebige Übergabestellen zu übergeben. Wenn man sie nicht dem vorgesehenen Ziel übergibt, wird automatisch eine Entnahmeaufgabe erzeugt, woraus, wenn eine passende Abgabeaufgabe besteht dann ein Transportauftrag generiert werden kann.

Des Weiteren ist eine Umgestaltung sehr einfach. So könnte man z.B. einfach eine dritte Station an der Qualitätskontrolle einfügen. Es wäre keinerlei Anpassung an den anderen, mit ihr durch Transportaufgaben verbundenen Stationen in der Montage, im Zwischenlager und am Verpackplatz notwendig.

Der Algorithmus wurde mittlerweile sowohl in einer Simulation als auch auf den echten Fahrzeugen getestet und war funktionsfähig.

4.2 AUFTRAGSVERGABE

Die Auftragsvergabe erfolgt wie die Auftragserzeugung ohne zentralen Leitreechner. Alle Fahrzeuge haben die nach dem in Abschnitt 4.1 beschriebenen Verfahren erzeugten Aufträge in einer Datenbank gespeichert. Die Datenbank wird ständig mit den Datenbanken der anderen Fahrzeuge synchronisiert.

4.2.1 ALGORITHMUS

Die Auftragsvergabe erfolgt in einer Form des Dispatchings [Kuh08]. D.h. Aufträge werden erst unmittelbar vor der Ausführung einem Fahrzeug zugeteilt. Im Umkehrschluss bedeutet das, dass jedem Fahrzeug nur ein Auftrag zugewiesen ist. Es gibt zwei Ereignisse, die ein Fahrzeug den Auftragsvergabeprozess in Form einer Auktion auslösen lassen. Entweder ein Fahrzeug schließt einen vorherigen Auftrag ab und es existieren offene Aufträge oder ein Fahrzeug wartet und es wird ein neuer Auftrag erzeugt.

Vor dem Beginn der Auktion wählt ein Fahrzeug zunächst den am höchsten bewerteten Auftrag aus. Kriterien für die Bewertung können z.B. sein:

- Von außen vorgegebene „Wichtigkeit“ des Auftrags, wie z.B. Vollgut vor Leergut.
- Wichtigkeit, die durch die Anbindung an äußere Prozesse bestimmt wird, mit denen die Auftragsabarbeitung synchronisiert werden soll. Beispiele sind die Befüllung mehrerer Übergabestellen in einem Lager durch einen Picker. Dort kann eine Priorisierung anhand der Befüllungsreihenfolge des Pickers sinnvoll sein.
- Entstehungszeitpunkt eines Auftrags, z.B. wenn das FIFO-Prinzip verfolgt werden soll.
- Entfernung des Fahrzeugs zum Auftrag, um lange Wege zu vermeiden. Dabei muss allerdings darauf geachtet werden, dass dadurch weiter entfernte Quellen immer noch bedient werden.

Diese Kriterien können entweder additiv oder multiplikativ verbunden werden oder können nach einander betrachtet werden, wie z.B. „betrachte zunächst nur Vollguttransporte und wähle davon den ältesten Auftrag“.

Nach Auswahl des Auftrags berechnet das Fahrzeug sein Gebot. Ein Gebot bemisst sich in Sekunden und besteht aus der Summe der folgenden beiden Komponenten:

- Erwartete Restbearbeitungszeit des aktuellen Auftrags

- Erwartete Anfahrtszeit bis zur physischen Übernahme des Transportguts

Beim auktionierenden Fahrzeug ist die erwartete Restbearbeitungszeit immer 0 Sekunden, da es per Definition keinen anderen Auftrag besitzt.

Anschließend fordert das auktionierende Fahrzeug von den anderen Fahrzeugen ein Gebot. Nach Erhalt der Gebote bestimmt es den Gewinner. Ist es selbst der Gewinner beginnt es mit der Bearbeitung des Auftrags und teilt dies den anderen Fahrzeugen mit. Gewinnt ein anderes Fahrzeug, wählt es den nächst höchst bewerteten Auftrag und beginnt die nächste Auktion, wobei der Gewinner der ersten Auktion an dieser Auktion nicht mehr teilnimmt. Das geschieht solange bis entweder das Fahrzeug eine Auktion gewinnt, es keine anderen Auktionsteilnehmer mehr gibt, sodass der Auftrag nicht mehr auktioniert werden muss und das Fahrzeug den Auftrag einfach auswählt oder bis keine nicht auktionierten Aufträge mehr übrig sind.

Es ist zu beachten, dass wenn ein anderes Fahrzeug die Auktion gewinnt, dieses den Auftrag nicht zugeteilt bekommt. Es beginnt ihn erst, wenn es dann selbst diesen Auftrag auswählt und die dazugehörige Auktion gewinnt. Das ist darin begründet, dass, bis das andere Fahrzeug den Auftrag beginnen kann, schon wieder neue, wichtigere Aufträge entstanden sein können. Allerdings nimmt das gewinnende Fahrzeug nicht mehr an den weiteren Auktionen des auktionierenden Fahrzeugs für diese Runde teil. So soll verhindert werden, dass ein Fahrzeug, das in der Nähe der Quellen von mehreren Aufträgen steht, alle Auktionen gewinnt, aber anschließend nur einen dieser Aufträge bearbeiten kann.

4.2.2 BEISPIEL

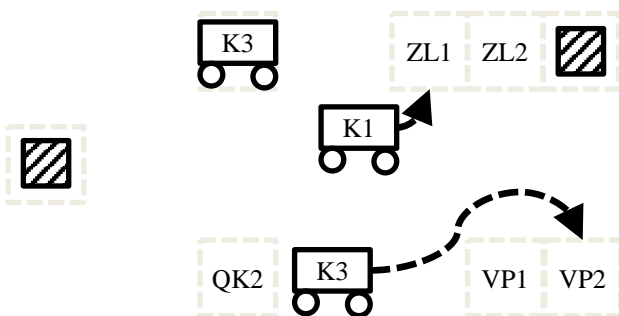


Abbildung 10. Verteilung der Fahrzeuge in der Halle

Im Beispielszenario sind die Fahrzeuge wie in Abbildung 10 in der Halle verteilt. Die Liste der offenen Aufträge ist in Tabelle 5 abzulesen.

Das KARIS PRO-Fahrzeug K1 ist gerade dabei einen KLT mit geprüften Pumpen von QK1 zu ZL1 zu bringen. Die Restbearbeitungsdauer für diesen Auftrag beträgt 20 Sekunden. Das Fahrzeug K3 bringt geprüfte Pumpen von

QK2 zu VP2. Den Auftrag wird es in 120 Sekunden abschließen. Das Fahrzeug K2 hat gerade einen KLT bei QK1 abgestellt und möchte nun den nächsten Auftrag beginnen.

Tabelle 5. Offene Auftragsliste

	Quelle	Ziel
T37	ZL3	VP1
T38	M1	QK2

Daher wählt es den älteren der beiden Aufträge, Auftrag T37, aus und berechnet sein Gebot. Die Anfahrzeit zu ZL2 beträgt 150 Sekunden. Nach der Aufforderung von K2 berechnen K1 und K3 ebenfalls ihre Gebote und senden diese an K2. K1 hat eine Restbearbeitungszeit von 20 Sekunden und eine Anfahrzeit von 60 Sekunden. K3 hat eine Restbearbeitungszeit von 120 Sekunden und eine Anfahrzeit von 80 Sekunden. K1 gewinnt somit die Auktion.

Daher wählt K2 den nächsten Auftrag, Auftrag T38. Seine Anfahrtszeit zu M1 beträgt wie sein Gebot 120 Sekunden. Die Aufforderung zur Auktion sendet es nur noch an K3. K3 hat eine Restbearbeitungszeit von 120 Sekunden und eine Anfahrzeit von 240 Sekunden und gibt daher ein Gebot von 360 Sekunden ab. K2 hat das niedrigste Gebot, gewinnt die Auktion und beginnt mit der Bearbeitung von Auftrag T38.

4.2.3 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Wie die dezentrale Auftragszerzeugung wurde auch die dezentrale Auftragsvergabe sowohl in einer Simulation als auch auf den echten Fahrzeugen getestet und war funktionsfähig.

Die dezentrale Auftragsvergabe ist eine Grundlage, um auf einen zentralen Leitreechner zu verzichten. Das grundlegende Prinzip der Auktion mit einer Gebotserstellung mithilfe der Restbearbeitungszeit und Anfahrtszeit lässt sich auf beliebige Einsatzszenarien übertragen. Lediglich für die Priorisierung der Aufträge sollte eine szenariospezifische Lösung gefunden werden.

5 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Nach Vorstellung von verwandten Arbeiten und der VDI Richtlinie 4451-7, die die zentralen Leitsteuerungen der meisten heutigen Systeme beschreibt, wurden die technischen Rahmenbedingungen von KARIS PRO beschrieben. Darauf aufbauend wurde die dezentrale Auftragszerzeugung, die Aufträge automatisch aus dem Lagerstand ableitet, präsentiert. Sie ermöglicht die Auftragszerzeugung, ohne dass zuvor Transportbeziehungen zwischen den Stationen eingelernt wurden. Dadurch

kann das Layout leicht verändert werden, da das Hinzufügen, das Entfernen, das Verändern und auch der Ausfall einer Übergabestelle keine Änderungen bei den Transportbeziehungen der mit ihr verbundenen Übergabestellen notwendig macht. Anschließend wurde die dezentrale Auftragsvergabe vorgestellt. Basierend auf Auktionen können sich die Fahrzeuge Aufträge zuteilen. Auch hier hat das Hinzufügen, das Entfernen oder der Ausfall von Fahrzeugen keine Auswirkungen auf das Vergabeverfahren und somit auf die anderen Fahrzeuge.

Die dezentrale Auftragserzeugung und die dezentrale Auftragsvergabe sind funktionsfähig, allerdings wurde die Güte der Ergebnisse im Vergleich zum Optimum noch nicht getestet. Außerdem muss untersucht werden, wie sich die Systeme bei teilweise fehlgeschlagener Kommunikation oder beim vorübergehenden Kommunikationsausfall mit einem Fahrzeug verhält. Die Implementierung bei einem System mit einer großen Anzahl von Fahrzeugen sollte ebenfalls untersucht werden.

6 FÖRDERHINWEIS

Diese Veröffentlichung entstand im Rahmen des Projekts „Kleinskaliges Autonomes Redundantes Intralogistik-System in der Produktion (KARIS PRO)“ innerhalb des BMBF-geförderten Programms „Forschung für die Produktion von morgen“.

LITERATUR

- [Kuh08] Kuhn, Axel et al. „Logistikprozesse in Industrie und Handel.“ In *Handbuch Logistik*, hrsg. Arnold, Dieter, Furmans, Kai, Heinz Isermann, Axel Kuhn, und Horst Tempelmeier. Vol. 3. Berlin, Heidelberg: Springer, 2008.
- [KSNH14] Kamagaew, Andreas, Jonas Stenzel, Andreas Nettsträter, und Michael ten Hompel. "Concept of cellular transport systems in facility logistics." In *Automation, Robotics and Applications (ICARA)*, 2011 5th International Conference on, 40-45. IEEE, 2011.
- [Roi10] Roidl, Moritz. "Kooperation und Autonomie in selbststeuernden Systemen." In *Internet der Dinge in der Intralogistik*, hrsg. von Günthner, Willibald und Michael ten Hompel, 65-78. Berlin, Heidelberg: Springer, 2010.
- [SF14] Seibold, Zázilia und Kai Furmans. "GridSorter – Logische Zeit in dezentral gesteuerten Materialflusssystemen." *Logistics Journal: Proceedings*, Vol. 2014.
- [TF16] Trenkle, Andreas und Kai Furmans. "Der Mensch als Teil von Industrie 4.0." In *Handbuch Industrie 4.0: Produktion, Automatisierung und Logistik*, hrsg. von Vogel-Heuser, Birgit, Bauernhansl, Thomas & Michael ten Hompel, 1-15. Berlin, Heidelberg: Springer, 2016.
- [VDI05] VDI 4451 Blatt 7 (2005). Kompatibilität von Fahrerlosen Transportsystemen (FTS) -Leitsteuerung für FTS. Verein Deutscher Ingenieure, Beuth-Verlag, Berlin.

M.Sc. Dominik Colling, Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Fördertechnik und Logistiksysteme (IFL) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT).

B.Sc. Sascha Ibrahimasic, Studentische Hilfskraft am Institut für Fördertechnik und Logistiksysteme (IFL) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT).

Dipl.-Inf. Andreas Trenkle, Wissenschaftlicher Mitarbeiter und Abteilungsleiter am Institut für Fördertechnik und Logistiksysteme (IFL) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT).

Prof. Dr.-Ing. Kai Furmans, Institutsleiter am Institut für Fördertechnik und Logistiksysteme (IFL) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT).

Adresse:

Institut für Fördertechnik und Logistiksysteme (IFL).
Karlsruher Institut für Technologie (KIT),
Gotthard-Franz-Str. 8, 76131 Karlsruhe, Germany

E-Mail:

colling@kit.edu
sascha.ibrahimasic@kit.edu
trenkle@kit.edu
furmans@kit.edu