

Perspektiven vernetzter Systeme für die Intralogistik

Networked systems and their perspectives for intralogistics

Berend Denkena¹
Daniel Arnold¹
Marvin Sperling²

¹ Leibniz Universität Hannover (LUH), Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW)
²Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Fördertechnik und Logistiksysteme (IFL)

Der intralogistische Materialfluss kann durch die Digitalisierung positiv beeinflusst werden. Durch die Vernetzung cyberphysischer Systeme (CPS) können Transportprozesse effizienter gestaltet und automatisiert werden. Im Rahmen des Projektes „Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Hannover“ wurde ein Fahrerloses Transportsystem (FTS) in ein vorhandenes cyber-physikalisches Produktionssystem (CPPS) integriert, dessen Vorgehen in diesem Paper beschrieben wird. Abschließend wird der Nutzen vernetzter Systeme für kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) auf Basis der Ergebnisse des Erweiterungsvorhabens beschrieben und ein Ausblick auf mögliche Umsetzungen in anderen Bereichen vorgestellt.

[Schlüsselwörter: Vernetzung, FTS, Intralogistik, Digitalisierung, CPS]

The intralogistical material flow can be positively influenced by digitalization. By networking cyber-physical systems (CPS), transport processes can be automated and their efficiency increased. As part of the project "Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Hannover", an Automated Guided Vehicle System (AGV) was networked with the cyber-physical production system (CPPS), whose implementation is described in this paper. Finally, the benefits of networked systems for small and medium-sized enterprises (SMEs) are described based on the outcomes of the enhancement project and an outlook on possible implementations in other areas is given.

[Keywords: networked, AGV, intralogistics, digitization, CPS]

1 EINLEITUNG

Angesichts der voranschreitenden Digitalisierung der Industrie werden hohe Ansprüche an kleine und mittlere Unternehmen (KMU) gestellt, um wettbewerbsfähig zu bleiben [NEW15]. Dazu zählt, schnell und flexibel auf Bedarfsänderungen der Kunden eingehen zu können [WES16]. Durch die Vernetzung von Produktion und Intralogistik können z.B. Materialbestände geringgehalten werden. Dies ermöglicht es, schnell auf Veränderungen des

Marktes reagieren zu können. Ebenso können automatisierte Prozesse, wie z.B. der automatische Qualitätsüberprüfung durch den Abgleich von Mess- und Solldaten durchgeführt werden.

In der Produktion finden verschiedenste Systeme und Hilfsmittel Anwendung, wie z. B. Werkzeugmaschinen, Transportsysteme, Produktionsplanungstools oder auch Assistenzsysteme für die Montage und Kommissionierung. Diese agieren in den meisten Fällen jedoch autark voneinander. Produktionsanlagen und -systeme, die mit Kommunikationsschnittstellen ausgestattet sind, werden als cyber-physisches System (CPS) bezeichnet. Diese können in den Fabriken vernetzt werden und es entstehen cyber-physikalische Produktionssysteme (CPPS). Die Potenziale, die CPS durch die Vernetzung untereinander bieten, können die Auslastung der Produktion und Intralogistik der Unternehmen steigern. Insbesondere die Vernetzung des Produktionssystems mit dem FTS enthält ein hohes Potenzial für die Flexibilisierung und Aufgabenvielfalt eines FTS.

Das Projekt „Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Hannover“ wurde durch das Bundeswirtschaftsministerium mit dem Ziel ins Leben gerufen, den Mittelstand für die Digitalisierung zu sensibilisieren. Dazu werden Schulungs- und Demonstrationsveranstaltungen angeboten, in denen dem Mittelstand digitale Technologien vorgeführt werden. Mit der Generalfabrik bietet das Projekt eine Demonstrationsfabrik auf dem Messegelände Hannover, in der den Besuchern eine vollvernetzte, digitale Fabrik präsentiert wird. Die Generalfabrik verfügt über ein FTS, welches Werkstückträger (WT) nach Abschluss der Produktion zum Anfang des Produktionslayouts befördert. Durch die Anbindung an das Produktionssystem können weitere Transportaufgaben durch das FTS übernommen werden und somit die Flexibilität des FTS steigern.

Das in diesem Paper beschriebene Erweiterungsvorhaben des FTS wurde durchgeführt, um die Potenziale für ein vernetztes FTS innerhalb CPPS zu zeigen. Dieses Umsetzungsbeispiel kann Unternehmen als Modell für die eigene Integration eines vernetzten FTS dienen.

2 STAND DER TECHNIK

2.1 FTS

Laut Definition des VDI besteht ein fahrerloses Transportsystem (FTS) aus fahrerlosen Transportfahrzeugen (FTF), einer Leitsteuerung, einem Kommunikationssystem, einer oder mehrerer Navigationstechnologien und aus stationären, peripheren Einrichtungen. Die Leitsteuerung ist für die Auftragsvergabe und die Routenplanung der FTF zuständig. Navigationstechnologien sind für das Bestimmen der Position und Orientierung in Echtzeit verantwortlich. Das Kommunikationssystem bildet die Kommunikationsschnittstelle zwischen der Leitsteuerung und den FTF. Stationäre Einrichtungen sind beispielsweise Aufbauten zur Be- und Entladung von Förderhilfsmitteln, wie auch Ladestationen für die FTF.

Die Leitsteuerung ist abzugrenzen von der Fahrzeugsteuerung. Die Aufgabenverteilung lässt sich der folgenden Abbildung 1 entnehmen.

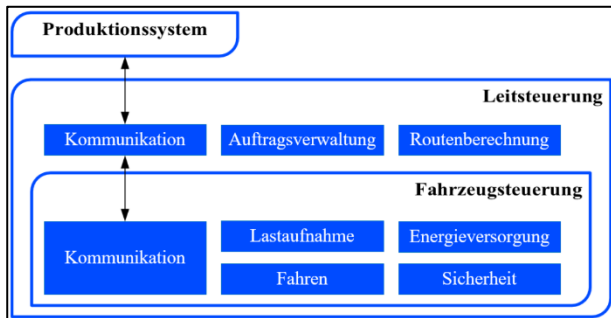


Abbildung 1. Funktionsblöcke eines FTS (angelehnt an: [VDI05])

Die Leitsteuerung ist die zentrale Steuerung des FTS. Sie ist die Schnittstelle zwischen den fahrerlosen Transportfahrzeugen und dem Produktionssystem, verwaltet die Aufträge, erstellt fahrzeugbezogene Aufträge und berechnet deren Routen. Die Fahrzeugsteuerung ist für das Ansteuern der Fahrtriebe und die Spurhaltung zuständig. Neben der Koordination der Transportaufträge und -routen, ist die Fahrzeugsteuerung für die Lastaufnahme, Überwachung und Sicherheit, die Fahrwegberechnung und die mobile Energieversorgung verantwortlich. [ULL14]; [VDI05]; [VDI03]

Übergeordnet wird eine Betriebsart festgelegt, mit der das System betrieben werden soll. Grundsätzlich kann dabei zwischen zwei Betriebsarten unterschieden werden, dem Taxibetrieb und dem Fließlinienbetrieb. Letzteres wird zwischen dem linearen und dem verzweigten Fließlinienbetrieb differenziert (vgl. Abbildung 2). Der lineare Fließlinienbetrieb gleicht der Funktionsweise eines Förderbandes. Eine Leitsteuerung ist nicht zwingend erforderlich, da die Fahrzeuge einer Spur folgen, durch Sensorik Hindernisse erfassen und bei Bedarf anhalten.

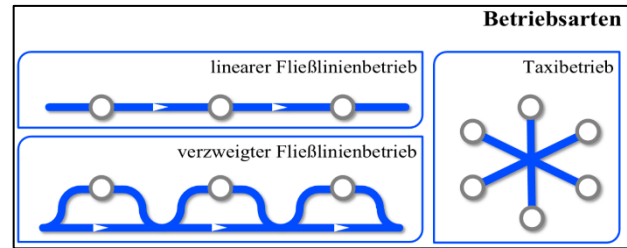


Abbildung 2. Betriebsarten fahrerloser Transportsysteme (angelehnt an: [VDI05])

Bei dem verzweigten Fließlinienbetrieb wird das Layout mit Verzweigungen erweitert. Durch die Verzweigung der Wege kann ein FTF abhängig von den vorgegebenen Leitlinien flexibel unterschiedliche Stationen anfahren. FTF können beispielsweise in eine Haltebucht fahren, in der sie ohne Verzögerung des nachfolgenden Verkehrs be- und entladen werden können. Beim Taxibetrieb hingegen werden FTF bei Bedarf angefordert. Für diese Betriebsart werden frei navigierbare FTF vorausgesetzt, um alle Stationen flexibel miteinander zu verbinden. (vgl. Abbildung 2).

2.2 RTLS

RTLS ist die Kurzschreibweise des englischen Begriffs „Real-Time Locating System“. Dieser beschreibt ein System zur hinreichend schnellen Positionsermittlung [DIN16]. Technische Grundlage für ein RTLS ist die Funktionsweise des GPS. Das GPS besteht aus mindestens drei Satelliten und einem Sensorelement. Das Sensorelement sendet elektrische Signale zu den Satelliten. Über die Laufzeit zwischen Senden und Empfangen können die jeweiligen Entfernungen zwischen Sensorelement und Satellit ermittelt und durch Trilateration die globale, absolute Position des Sensorelements berechnet werden. Da GPS-Signale in sehr hohen Frequenzbereichen gesendet werden, können diese z.B. durch Wände und Decken leicht abgeschirmt werden. GPS ist somit kein geeignetes System für die Lokalisierung in Gebäuden. Um dem entgegenzuwirken, wurden für die Indoor-Lokalisierung Verfahren entwickelt, die funktional mit dem GPS vergleichbar sind. Dafür wird das Gebäude mit einem eigenen Satellitensystem ausgestattet, bestehend aus Empfangsmodulen („Anker“) und akkubetriebenen Sensorelementen („Tags“) (vgl. Abbildung 3).

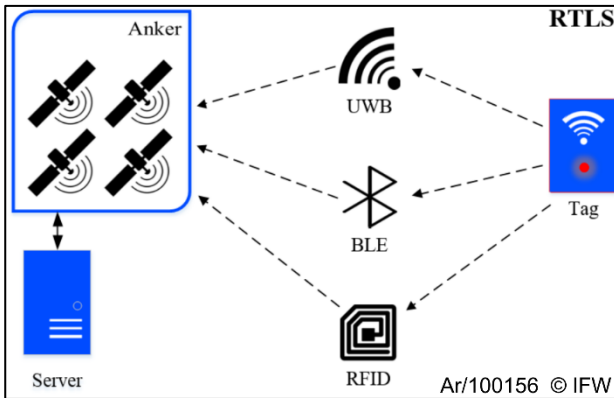


Abbildung 3. Real-Time Locating System

Die Kommunikation zwischen Anker und Tags können durch Funktechnologien wie Ultra-Wideband (UWB), Bluetooth-Low-Energy (BLE), RFID oder andere realisiert werden (vgl. Abbildung 3). Der Server, an denen die Anker angeschlossen sind, übernimmt die Berechnung der Position aus ermittelten Übertragungszeiten und stellt diese über eine Schnittstelle für andere Systeme bereit.

3 AUSGANGSSITUATION

In vielen Unternehmen sind CPS gar nicht oder nur teilweise miteinander vernetzt. An Hand des Projektes „Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Hannover“ wird mit der Generalfabrik demonstriert, wie einfach eine Vernetzung im eigenen Unternehmen umsetzbar ist. Dabei werden die Vorteile der Vernetzung verdeutlicht. Im folgenden Abschnitt wird die Ausgangssituation des Erweiterungsvorhabens beschrieben und auf die Bedarfsanalyse eingegangen.

3.1 AUSGANGSZUSTAND

Die Generalfabrik verfügt über eine Fertigungslinie für individuelle Kugelschreiber mit sieben Bearbeitungsstationen (vgl. Abbildung 4). Zu Beginn wird ein Auftrag durch einen Besucher generiert. Kunden- und Produktdaten werden dabei digital erfasst und in der Produktionsdatenbank als neuer Auftrag angelegt. An der ersten Produktionsstation (vgl. Abbildung 4, Station 1: Auftragseinlastung) der Fabrik wird einem leeren und freien WT aus der WT-Versorgung ein zuvor angelegter Auftrag zugeordnet. Durch einen RFID-Chip im WT können folgend an jeder Bearbeitungsstation die benötigten Auftragsdaten abgerufen werden. In der darauffolgenden Bearbeitungsstation (vgl. Abbildung 4, Station 2: Fertigung) wird ein im Durchmesser variierbares, individuelles Griffstück für den Kugelschreiber gefertigt. Dies geschieht durch eine vollautomatisierte, mit dem Produktionssystem vernetzte CNC-Drehmaschine. Diese generiert auf Basis der Produktkonfiguration des Kundenauftrages automatisch den notwendigen Maschinencode für die gewünschte Produktspezifikation. In den darauffolgenden Bearbeitungsstationen wird

mit Hilfe digitaler Technologien der Prozess des Nachbearbeitens und Kommissionierens durchgeführt (vgl. Abbildung 4, Station 3 und Station 4). Zur Kennzeichnung eines individuellen Schriftzuges auf dem Produkt wird an der Station 5 der Datensatz zur Produktspezifikation ausgelesen und der Kennzeichnungsmaschine bereitgestellt. Anschließend wird (vgl. Abbildung 4, Station 6: Montage) mit Hilfe animierter Montageanleitungen das Produkt montiert. An der siebten und letzten Produktionsstation (vgl. Abbildung 4, Station 7: Qualitätssicherung) wird automatisch mit Hilfe eines Roboterarms und eines Sensorsystems das fertig montierte Produkt überprüft. Dabei werden Messwerte mit den Sollwerten aus dem Auftragsdatensatz verglichen. Bei erfolgreicher Qualitätsprüfung kann das Produkt dem WT entnommen werden. Der frei gewordene WT wird nun in einen dafür bereitgestellten Kleinladungsträger (KLT) gelegt.

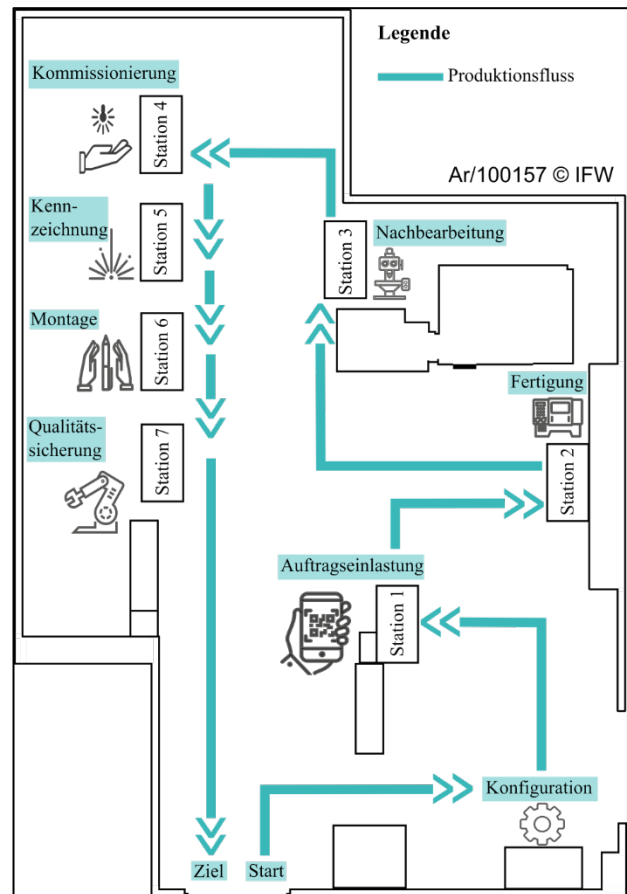


Abbildung 4. Produktionslayout

Neben den beschriebenen Produktionsstationen verfügt die Fabrik zudem über ein fahrerloses Transportsystem (FTS) der Firma Götting. Das FTS beinhaltet ein fahrerloses Transportfahrzeug des Typs „Kate“ und hat die Aufgabe, freie WT (siehe Abbildung 5, rechts) nach der letzten Bearbeitungsstation (vgl. Abbildung 4, Station 7) an den Anfang der Produktionslinie (vgl. Abbildung 4, Station 1) zu transportieren.

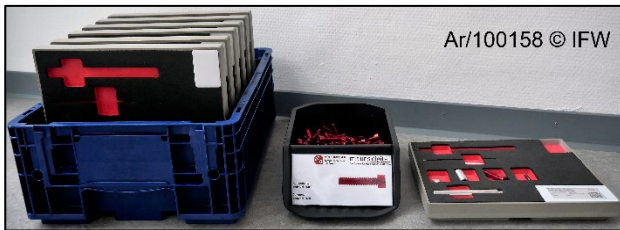


Abbildung 5. Transport- und Lagerhilfsmittel der Generalfabrik

Das genutzte Transporthilfsmittel, mit dem bis zu sechs WT gleichzeitig transportiert werden, ist ein KLT des Typs „VDA-R-KLT 4315“ (siehe Abbildung 5, links). Die Montagmaterialien an der Kommissionierstation werden in Sichtlagerkästen (siehe Abbildung 5, Mitte) gelagert. Die Aufnahme des Transporthilfsmittels ist durch einen im FTF integrierten Hubtisch realisiert. Die Kisten werden durch den Hubtisch von der Lastübergabestation angehoben. Die Lastübergabestationen zur WT-Versorgung (vgl. Abbildung 6) sind an der ersten Bearbeitungsstation (vgl. Abbildung 7, KisteStart) und an der Qualitätssicherung (vgl. Abbildung 7, KisteEnde) baugleich. Insgesamt sind drei KLT des Typs „R-KLT 4315“ im Umlauf.

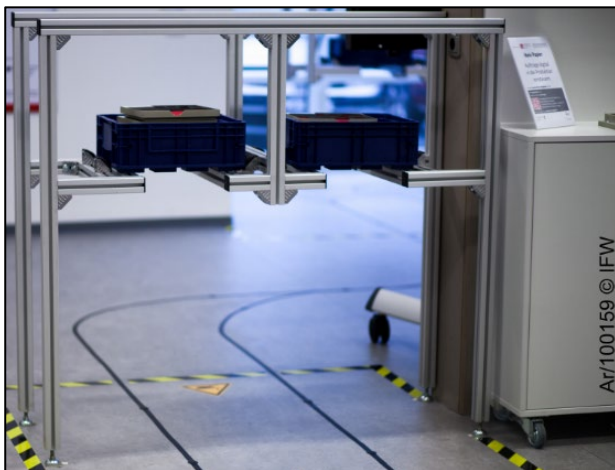


Abbildung 6. Lastübergabestation der WT-Versorgung

Sobald eine Kiste bei der Auftragseinlastungsstation (Station 1) keine WT mehr beinhaltet, kann der Bediener ein FTF anfordern. Nach Anforderung des FTF wird die ausgewählte leere Kiste am Startpunkt abgeholt (vgl. Abbildung 7, „KisteStart“). Danach wird die Kiste an einem unbelegten Stellplatz der WT-Versorgung am Endpunkt (vgl. Abbildung 7, „KisteEnde“) abgeladen. Im Anschluss wird die danebenliegende Kiste mit freien WT aufgeladen und zurück zum Start gebracht.

Das FTF fährt pro Transportauftrag alle Leitlinien des Layouts mindestens einmal ab. Dadurch sinkt die Verfügbarkeit des FTF und kreuzt die Verkehrswege in der Fabrik häufiger als nötig, was den Produktionsablauf nachteilig beeinträchtigen kann. Am Punkt „Laden“ wartet das FTF

auf einen nächsten Transportauftrag bzw. kann dort zum Laden an eine Ladestation manuell angeschlossen werden.

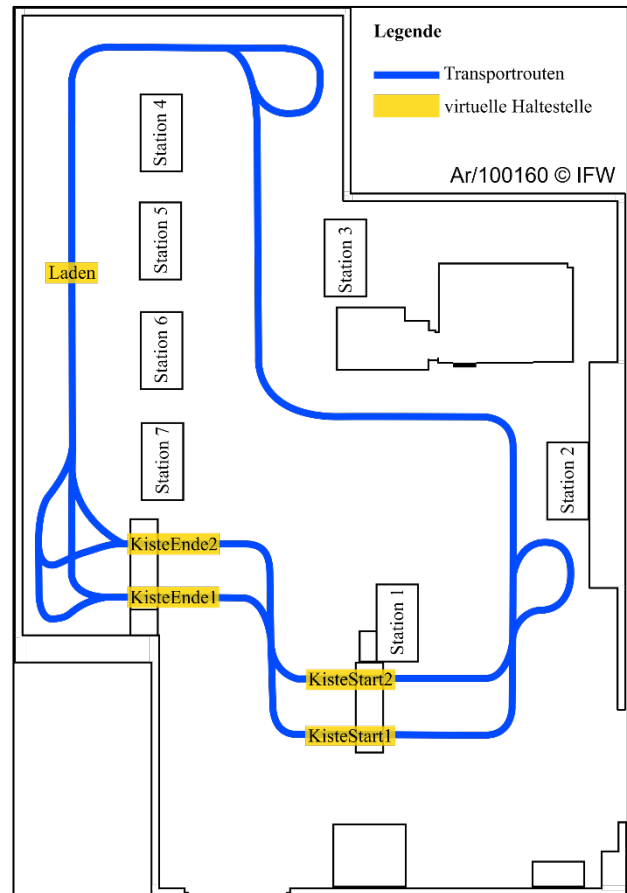


Abbildung 7. Transport- und Produktionslayout Ist-Zustand

Die eingesetzte Navigationstechnologie des FTF ist eine sichtbare Leitlinie am Boden. Änderungen des Fahrwegs sind durch Änderungen der Leitlinien möglich.

Über das FTF hinaus ist ein RTLS der Firma Kinexon [KIN18] in der Generalfabrik integriert, um WT in der Produktion zu lokalisieren. Neben der Hardware des RTLS wird zudem eine Web-Anwendung mitgeliefert, mit der Konfigurationen des Systems vorgenommen werden können. Unter anderem können Bereiche (folgend „Geofences“) definiert werden, die beim Betreten oder Verlassen, Events auslösen können. Events können z.B. über Schnittstellen zu anderen Systemen in der Produktionsumgebung Aktoren ansteuern oder Warnmeldungen in visueller oder akustischer Art auslösen.

3.2 BEDARFSANALYSE / PROBLEMSTELLUNG

Das FTF soll den Besuchern des Kompetenzzentrums nach der Weiterentwicklung zeigen, wie sich die Effizienz der Produktion mit der Vernetzung CPS in einer Produktionsumgebung steigern lässt. Des Weiteren sollen auch Potenziale einer flexiblen Intralogistik in einem bestehenden Produktionsumfeld demonstriert werden können. Das FTF

wird als assistierendes System eingesetzt und agiert daher nicht vollständig autonom. Die Interaktion mit dem Bediener vor und nach einer Bearbeitung an einer Station ist dazu zwingend notwendig. Zudem soll es den Besuchern des Kompetenzzentrums einen Einblick in die digitale Produktionslogistik verleihen, um Anreize für eine Umsetzung solch eines Systems zu schaffen.

Im bisherigen Systemzustand ist das FTS nicht mit dem Produktionssystem vernetzt. Eine Auftragserstellung ist über externe Peripherie möglich und nicht alle Funktionen des installierten RTLS werden aktuell verwendet. Die Fahrzeiten für einen Transportauftrag sind lang und nicht alle Bearbeitungsstationen sind durch Transportrouten miteinander verbunden.

4 SYSTEMINTEGRATION

In diesem Kapitel wird das Gesamtkonzept des Erweiterungsvorhabens FTS vorgestellt. Das Gesamtkonzept gliedert sich in die Konzeptionierung der intralogistischen Abläufe, der organisatorischen Elemente, der Schnittstellen, der Software und der Hardware.

4.1 LOGISTIKKONZEPT

Im ersten Schritt wurden die Transportaufgaben der Demonstrationsfabrik definiert, die mit dem FTS realisiert werden sollen (vgl. Abbildung 8).

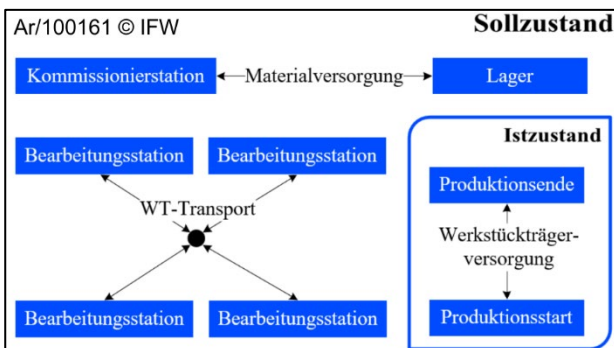


Abbildung 8. Graphische Darstellung der Transportaufgaben, Sollzustand (inkludiert den Ist-Zustand)

Neben der WT-Versorgung zwischen der ersten und letzten Bearbeitungsstation, die durch das FTS im alten Zustand bereits implementiert wurde, kann das FTS nun weitere Transportaufgaben übernehmen. Dazu gehören die automatische Materialversorgung an der Kommissionierstation, der WT-Transport zwischen allen Bearbeitungsstationen und das abtransportieren von Produktionsabfällen. Die Fahrten für den WT-Transport sind auf Transportrouten beschränkt, die die Wertschöpfungskette vorgibt. Die Beschränkungen der Transportrouten in Abhängigkeit der Transportart werden im anschließenden Abschnitt „organisatorisches Konzept“ vorgestellt.

Um die automatische Materialversorgung zu gewährleisten, ist ein Lager für die Montagematerialien notwendig. Dieses wurde basierend auf der Lastübergabestation der WT-Versorgung (vgl. Abbildung 6) mit einem Stellplatz umgesetzt. Dementsprechend wurde als Förderhilfsmittel für den Transport von Montagematerialien ein KLT des gleichen Typs „R-KLT 4315“ ausgewählt. Die Lastübergabestation wurde im Bereich des Ladesystems installiert (vgl. Abbildung 9).

Basierend auf der Problemstellung wurde ein neues Transportlayout entworfen. Es beinhaltet eine neue parallele Spur für die Umfahrung möglicher auf der Fahrbahn befindlichen Hindernisse und zur Demonstration der Kommunikation zwischen RTLS und FTS. Zudem wurde das Layout um neue Haltepunkte an den Stationen erweitert (siehe Abbildung 9), um WT-Transporte zwischen den Stationen gewährleisten zu können.

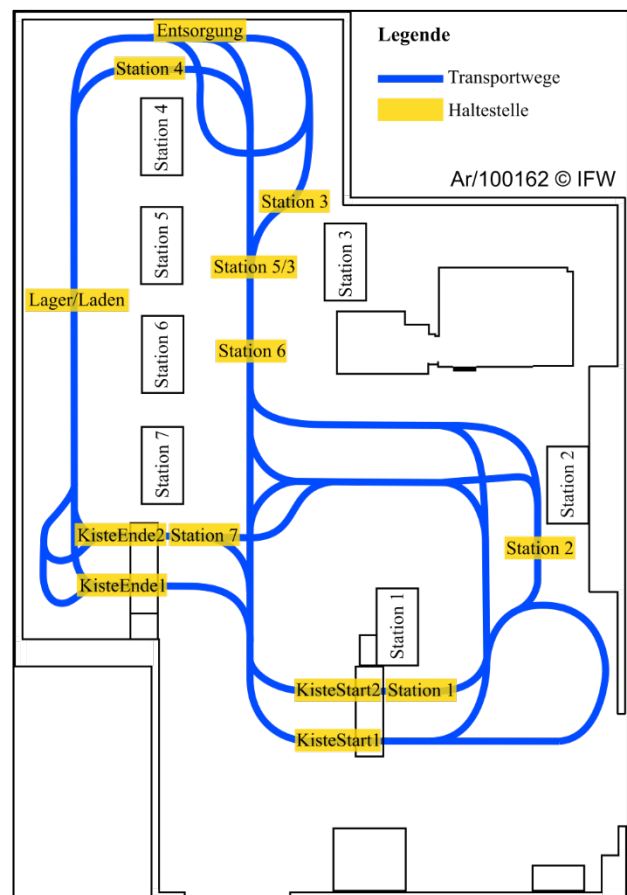


Abbildung 9. Transportlayout neu

Verwendet wird weiterhin der verzweigte Fließlinienbetrieb. Mit weiteren Leitlinien und Abzweigungen werden zusätzlich alle Produktionsstationen miteinander verbunden. Die Flexibilität bei der Routenwahl wird erhöht und das Problem der langen Transportwege kann somit minimiert werden.

Die Kisten für die WT-Versorgung werden wie im Ist-Zustand beschrieben beibehalten. Das Be- und Entladen der Kisten funktioniert weiterhin über das Anheben der Kisten durch den Hubtisch des FTF. Für den WT-Transport zwischen den Stationen ist keine Lastübergabestation nötig. Der WT wird frei auf den Hubtisch des FTF gelegt. Das FTF wartet an der jeweiligen Quelle und Senke auf die Interaktion des Bedieners, welche im folgenden Softwarekonzept genauer erläutert wird.

Der Abfalltransport in der Demonstrationsfabrik wurde vor der Erweiterung manuell und ohne Zuhilfenahme eines Fördermittels bewerkstelligt. Künftig soll das FTF Produktionsabfälle in Kartons unterschiedlicher Größen transportieren. Das Be- und Entladen erfolgt manuell. Um dem Bediener das Be- und Entladen zu erleichtern, fährt der Hubtisch ergonomische Positionen an. Für den Transport von Montagematerialien zur Versorgung der Stationen 4 und 5 wird eine Kiste des Typs „VDA-R-KLT-4315“ verwendet, die Kommissioniermaterialien bereithält. Eine automatische Beauftragung für die Station 5 geschieht durch den Material-Observer (vgl. Kapitel 4.4.1 - „Der Material-Observer“) beim unterschreiten des Mindestbestandes.

4.2 ORGANISATORISCHES KONZEPT

Die folgende Matrix (vgl. Tabelle 1) zeigt die Zuordnung der Auftragsarten verschiedener Auftragserfassungsstationen (Vergabeorte). Jede Station in der Produktion hat unterschiedliche Auftragserstellungsrechte, abhängig von Art und Position der Bearbeitungsstation. Ist ein Schnittpunkt zwischen einer Auftragserfassungsstation und einer Auftragsart grün, besitzt die Station eine Freigabe zur Erstellung eines Transportauftrages jener Auftragsart. Rot bedeutet gegenteiliges.

Wie der nachfolgenden Tabelle zu entnehmen, können an den Stationen 1 und 7 Kisten angefordert werden, um die WT-Versorgung an der Station 1 zu gewährleisten. An den Stationen 2, 4 und 5 kann ein Materialtransportauftrag erstellt werden. Bei den erstellbaren Aufträgen an der Station 2 handelt es sich um den Transport von Produktionsabfällen. Die erstellbaren Aufträge an den Stationen 4 und 5 sind Transportaufträge für die Materialversorgung. Zudem kann an den Stationen 1 bis 6 ein Werkstückträgertransport angefordert werden.

Tabelle 1: Auftragsarten / Auftragserfassungsort, Sollzustand

Vergabeort	Auftragsart		
	WT-Transport	WT-Bereitschubung	Materialver-/Entsorgung
Station 1 (Auftragsidentifikation)	Grün	Grün	Rot
Station 2 (Drehmaschine)	Grün	Rot	Grün
Station 3 (Nachbearbeitung)	Grün	Rot	Rot
Station 4 (Kommissionierung)	Grün	Rot	Grün
Station 5 (Gravur)	Grün	Rot	Grün
Station 6 (Montage)	Grün	Rot	Rot
Station 7 (Qualitätsprüfung)	Rot	Grün	Rot

Unter Berücksichtigung der Materialflussberechtigungsmatrix der WT (vgl. Tabelle 2: Materialflussberechtigungsmatrix des Werkstückträgertransports, Sollzustand) wird der WT an die nächste freie Bearbeitungsstation transportiert. Die Materialberechtigungsmatrix beschreibt die möglichen Transportrouten für den WT-Transport. Die Spalten bilden die Senken, die Zeilen die Quellen für einen WT-Transport. Ein grünes Icon deutet auf eine Berechtigung der jeweilige Quellen-Senken-Transportverbindung hin, ein rotes Icon verbietet diese. Ein WT-Transport von der Station 7 ausgehend ist nicht möglich, da es die letzte Station in der Produktionslinie ist.

Tabelle 2: Materialflussberechtigungsmatrix des Werkstückträgertransports, Sollzustand

Quelle	Senke						
	Station 1 (Auftragsidentifikation)	Station 2 (Drehmaschine)	Station 3 (Nachbearbeitung)	Station 4 (Kommissionierung)	Station 5 (Gravur)	Station 6 (Montage)	Station 7 (Qualitätsprüfung)
Station 1 (Auftragsidentifikation)	Grün	Rot	Grün	Grün	Rot	Rot	Rot
Station 2 (Drehmaschine)	Rot	Grün	Grün	Grün	Rot	Rot	Rot
Station 3 (Nachbearbeitung)	Rot	Rot	Grün	Rot	Grün	Rot	Rot
Station 4 (Kommissionierung)	Rot	Grün	Rot	Grün	Grün	Rot	Rot
Station 5 (Gravur)	Rot	Grün	Rot	Grün	Grün	Rot	Rot
Station 6 (Montage)	Rot	Rot	Rot	Rot	Rot	Grün	Rot
Station 7 (Qualitätsprüfung)	Rot	Rot	Rot	Rot	Rot	Rot	Rot

Um den Produktionsablauf verfügbar zu halten, wurden die unterschiedlichen Transportarten in Prioritäten eingeteilt. Dazu wurden die Auftragsarten mit Hilfe der Eisenhower-Methode in Kategorien gegliedert.

Nach Anwendung dieser Methode ergab sich folgende Prioritätsreihenfolge für die Transportarten:

- hoch: die WT-Versorgung
- mittel: die Materialversorgung
- niedrig: einfacher WT-Transport

Aufträge gleicher Transportart werden nach Eingangszeitstempel sortiert und bearbeitet.

4.3 SCHNITTSTELLENKONZEPT

In der Abbildung 10 ist das Schnittstellenkonzept für das aufgebaute fahrerlose Transportsystem dargestellt. Es beinhaltet alle Netzwerkteilnehmer, die für den Betrieb des FTS notwendig sind.

Die Leitsteuerung des FTS ist der Sternpunkt der Kommunikation. Sie kommuniziert mit den Fahrzeugen, den Produktionsstationen und den externen Systemen. Der Material-Observer (vgl. Kapitel 4.4.1 - „Der Material-Observer“) und die Produktionsstationen können Transportaufträge an die Leitsteuerung weitergeben, die diese wiederum nach Prioritäten sortiert und den FTF Aufträge zuweist. Die Anbindung des Material-Observer und der Produktionsstationen an die Produktionsdatenbank dient zur Archivierung von Transportaufträgen, die durch nachfolgende Analysen zur Beurteilung und Optimierung der Systemauslastung und des Materialflussgeschehens beitragen können [VDI05]. Dabei werden Auftrags- und Transport-IDs, Start und Ziel des Transportauftrages, das Auftraggebersystem, die Transportart und der Status des Transportauftrages gespeichert.

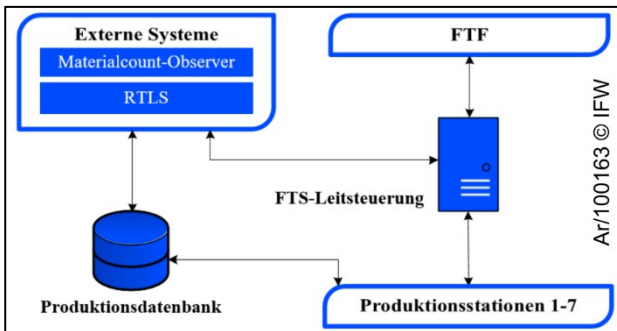


Abbildung 10. FTS-relevante Netzwerkteilnehmer und Schnittstellen

4.4 SOFTWAREKONZEPT

Die Softwarekomponenten gliedern sich in Leitsteuerung, Auftrags erfassungssystem, Material-Observer und das RTLS.

4.4.1 DER MATERIAL-OBSERVER

Der „Material-Observer“ überwacht den in der Produktionsdatenbank stehenden Materialstand der fünften Bearbeitungsstation. Beim Unterschreiten eines vorgegebenen Mindestbestandswertes wird ein Transportauftrag generiert, die Kommissionierstation mit neuem Material aus dem Lager zu versorgen. Der Material-Observer wurde als Konsolenanwendung umgesetzt und auf dem Produktionsserver als dauerhafter Dienst integriert. Für die automatische Bestandsdatenaufnahme an der Station 5 wurde der Sichtlagerkasten (vgl. Abbildung 5, mitte) mit Wägezellen und einem Mikrocontroller ausgestattet und mit dem Produktionsnetz verbunden.

4.4.2 DIE LEITSTEUERUNG

Die Leitsteuerung verwaltet die Transportaufträge und verteilt diese nach Prioritäten an die freien FTF. Zum Austausch von Statusdaten zwischen FTS und externen Systemen, wie der Auftrags erfassungssystem, dem Material-Observer oder dem RTLS wurden global verfügbare Variablen angelegt. Diese können über eine bereitgestellte Schnittstelle der Leitsteuerung, je nach Freigabestufe, gelesen oder überschrieben werden.

Zudem wurde ein Skript für die Leitsteuerung programmiert, welches einen Transportauftrag des jeweiligen FTF zur Ladestation generiert, sollte kein anderer Transportauftrag mehr vorhanden sein oder der Akkustand einen Schwellwert unterschreitet.

4.4.3 DAS AUFTRAGSERFASSUNGSSYSTEM

Die Produktionssteuerungssoftware ist das Bindeglied zwischen den Technologien an den jeweiligen Bearbeitungsstationen und dem Benutzer. Als Schnittstelle zwischen Bediener und FTS wurde die Benutzeroberfläche des Produktionssystems erweitert, um eine flexible Auftragserstellung zu ermöglichen. Auf zusätzliche Peripherie für die Interaktion mit dem FTS konnte somit verzichtet werden. Abhängig von der Berechtigungsmatrix der Auftragsarten (vgl. Tabelle 1) können an jeder Station mehrere Transportaufträge unterschiedlicher Natur aufgegeben werden (vgl. Abbildung 11).



Abbildung 11. Ausschnitt aus Auftragserfassungssystem

Für den Transport von WT für die WT-Versorgung können nur Kisten gewählt werden, die an der Station vorhanden sind. Der Standort der Kisten wird durch das RTLS ermittelt und durch das Auftragserfassungssystem abgerufen. Zudem wird geprüft, ob am Transportziel ein Lagerplatz für eine Kiste frei ist. Sind alle Kistenlagerplätze am Ziel belegt, kann kein Auftrag erstellt werden. Die Prüfung der Status der Lagerplätze wird mit Hilfe des RTLS durchgeführt und im folgenden Abschnitt erläutert.

4.4.4 DAS REAL-TIME LOCATING SYSTEM

Das RTLS ist ein System, um Objekte in einem bestimmten Bereich zu lokalisieren. Zur Anwendung kommt das im Kapitel 3.1– „Ausgangszustand“ beschriebene, bereits in der Produktion installierte System.

Damit die Leitsteuerung des FTS hindernisfreie Routen für das FTF berechnen kann, ist das Sperren bzw. Freigeben von Streckensegmenten durch die Leitsteuerung in Echtzeit notwendig. Die maximale Dauer für diesen Anwendungsfall zwischen Ereignis und Systembeeinflussung wurde auf eine Sekunde festgelegt.

Beim Betreten bzw. Verlassen eines vordefinierten Bereiches (vgl. Abbildung 12, „Geofence“ 5 und 6) durch ein Hindernis (ausgestattet mit einem Tag), werden Streckenabschnitte in der Leitsteuerung des FTS gesperrt bzw. freigegeben. Zudem ermittelt die Software die Positionen der Kisten für die WT-Versorgung und beeinflusst die Benutzeroberfläche zur Beauftragung des Kistentransports (vgl. Abbildung 12, „Geofence“ 1 bis 4). Wie bereits im vorherigen Abschnitt beschrieben, wird dadurch die Erstellung eines Transportauftrages zur WT-Versorgung nutzbringend beeinflusst.

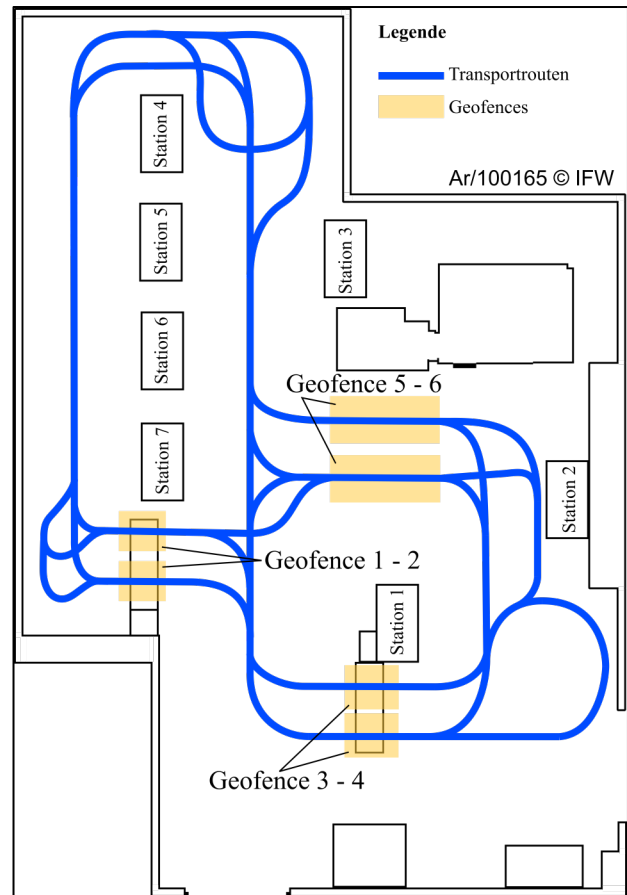


Abbildung 12. Produktionslayout mit definierten "Geofences" des RTLS

5 PERSPEKTIVEN FÜR KMU

Eingangs wurde die These aufgestellt, dass die Vernetzung von CPS die Flexibilität von unternehmensinternen Produktions- und Transportprozessen positiv beeinflussen kann. Im Rahmen der Vernetzung des FTS in der Generalfabrik mit weiteren CPS wurde beispielhaft gezeigt, dass Unternehmen durch Vernetzung von vorhandenen Systemen die Flexibilität in der Intralogistik steigern können.

Ein CPPS ermöglicht die einfache Erfassung von Produktions- und Transportdaten. Durch eine Analyse der erfassten Daten können beispielsweise Transportaufträge parallel zum Produktionsablauf erstellt und frühzeitig auf FTF verteilt werden. Dadurch werden Wartezeiten der FTF minimiert, die eine höhere Auslastung des gesamten FTS zufolge hat. Folglich kann sich dies einsparend auf die benötigte Anzahl FTF in einem FTS auswirken.

Die Vernetzung verschiedener automatischer Transport- und Lagersysteme bieten den Unternehmen weitere Perspektiven. Durch die Kommunikation der Systeme und dem einhergehenden Austausch von Transportdaten, können Fördergüter beispielsweise über mehrere Transport- und Lagersysteme hinaus priorisiert transportiert werden.

Wie in der Beschreibung des Erweiterungsvorhabens des FTS in der Generalfabrik des Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Hannover deutlich wurde, können mit Hilfe vernetzter CPS, Systeme zur automatischen Generierung von Transportaufträgen entwickelt werden. Für KMU, bei denen regelmäßig wiederkehrende, innerbetriebliche Transportaufgaben anfallen, können mit der automatischen Beauftragung eines FTS Mitarbeiter entlastet und Transportfehler minimiert werden.

Die Analyse von Produktions- und Transportdaten entfalten weitere Potenziale für KMU. Aus der Analyse abgefahrener Transportrouten können Rückschlüsse auf die Auslastung der Verkehrswege gezogen werden. Um dies möglich zu machen, kann z.B. durch die Verwendung eines RTLS der tatsächliche Transportweg in Echtzeit protokolliert werden.

6 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Im Rahmen des Erweiterungsvorhabens des FTS der Demonstrationsfabrik konnte mit geringem Aufwand die Flexibilität eines liniengebundenen FTF durch die Vernetzung vorhandener CPS erhöht werden. Hinzugekommen ist die Möglichkeit des Erstellens unterschiedlicher Transportaufträge sowie die Anbindung aller Bearbeitungsstationen an das FTS. Zuvor konnten ausschließlich Kisten mit freien Werkstückträgern vom Ende zum Start der Produktionslinie transportiert werden. Nach Abschluss des Erweiterungsvorhabens des FTS mit dem CPPS können neben den Kisten zur WT-Versorgung, einzelne WT zwischen den Produktionsstationen transportiert, Produktionsabfälle abtransportiert und die automatische Materialversorgung an der Kommissionierstation gewährleistet werden. Durch die Vernetzung des FTS mit einem RTLS können vor Fahrtantritt des FTF hindernisfreie Transportrouten ermittelt werden und somit die Effektivität des Systems erhöhen. Zudem bietet die Vernetzung die Möglichkeit, die Auftragserfassungssysteme zielgerichtet zu beeinflussen, um fehlerhaft aufgegebene Transportaufträge auszuschließen.

Aktuell ermittelt das RTLS die Position der WT in der Fabrik. Basierend auf den Positionsdaten der WT kann eine Software entwickelt werden, die innerhalb einer Kiste der WT-Bereitstellung WT zählt und bei Erreichen eines festzulegenden Grenzwertes automatisch ein Transportauftrag in der Leitsteuerung anlegt. Durch den daraus resultierenden Transportauftrag kann eine mit WT gefüllten Kiste automatisch an den Start der Produktionskette transportiert werden.

Zudem kann das Warten des FTF ohne Auftrag zum Laden der Akkumulatoren genutzt werden. Dazu wäre eine automatische Ladeeinrichtung notwendig. Realisierbar ist dies unter anderem mit induktiver Energieübertragung oder mit einer Steckverbindung. Das Abstellen eines Mitarbeiters zum manuellen Anschließen des FTF an eine Ladevor-

richtung wäre hiermit nicht mehr nötig. Durch das regelmäßige Laden zwischen den Fahraufträgen können Investitions- und Instandhaltungskosten der Akkumulatoren minimiert werden. Zudem ist eine höhere Verfügbarkeit des Fahrzeugs gegeben, da bei entsprechender Kapazität der Akkumulatoren keine Zwangspausen zum Laden notwendig sind. Daraus resultieren Forschungsfragen zu den Themen der Auslegung von FTS und Kapazitätsberechnungen von Akkumulatoren in FTF, die in nachfolgenden Untersuchungen genauer betrachtet werden.

Die Weiterentwicklung von RTLS hält neue Möglichkeiten für die Intralogistik bereit. Bei einer höheren Lokalisierungsgenauigkeit und -sicherheit wäre mit einem RTLS eine freie Navigation von FTF möglich. Dadurch werden beispielsweise Wendemanöver, als auch das Anfahren von Haltestellen unabhängig von Leitlinien am Boden möglich. Wie die Lokalisierungsgenauigkeit und -sicherheit von RTLS erhöht werden kann und wie die daraus resultierenden Möglichkeiten in der Intralogistik gewinnbringend genutzt werden können, sind weitere Themen nachfolgender Untersuchungen.

7 FÖRDERHINWEIS

Das Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Hannover wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie gefördert. Das Zentrum ist Teil der Förderinitiative „Mittelstand 4.0 – Digitale Produktions- und Arbeitsprozesse“ im Rahmen des Förderschwerpunkts „Mittelstand-Digital – Strategien zur digitalen Transformation der Unternehmensprozesse“.

8 LITERATUR

- [DIN16] DIN - Deutsches Institut für Normung; *ISO/IEC 19762 - Informationstechnik - Automatische Identifikation und Datenerfassungsverfahren (AIDC) - Harmonisiertes Vokabular*, Berlin, Februar 2016, <https://www.beuth.de/de/norm/iso-iec-19762/250504140>. Abgerufen am 24.04.2019.
- [KIN18] Kinexon GmbH; *REAL-TIME LOCALIZATION & MOTION SENSING: Precise. Simple. Smart.*, München, 2018, www.Kinexon.com. Abgerufen am 24.04.2019.
- [NEW15] New Business Verlag GmbH & Co. KG; *Industrie 4.0: Unternehmen fühlen sich schlecht vorbereitet*, Hamburg, 2015, http://www.markenartikel-magazin.de/no_cache/unternehmen-marken/artikel/details/10011086-industrie-

40-unternehmen-fuehlen-sich-schlecht-vorbereitet/. Abgerufen am 24.04.2019.

- [ULL14] Ullrich, Günter; *Fahrerlose Transportsysteme: Eine Fibel - mit Praxisanwendungen - zur Technik - für die Planung*, 2. Auflage, 2014.
- [VDI03] VDI; *VDI 4451 Blatt 6 - Kompatibilität von Fahrerlosen Transportsystemen (FTS) - Sensorik für Navigation und Steuerung*, Berlin, Januar 2003, <https://www.beuth.de/de/technische-regel/vdi-4451-blatt-6/58917855>. Abgerufen am 24.04.2019.
- [VDI05] VDI-Gesellschaft Produktion und Logistik; *VDI 2510 - Fahrerlose Transportsysteme (FTS)*, Berlin, 53.060, Oktober 2005, https://m.vdi.de/nc/richtlinie/vdi_2510-fahrerlose_transportsysteme_fts/. Abgerufen am 24.04.2019.
- [WES16] Westkämper, Engelbert; Löffler, Carina; *Strategien der Produktion: Technologien, Konzepte und Wege in die Praxis*, Berlin, Heidelberg. Springer Berlin Heidelberg, 2016

Marvin Sperling*, M.Eng. ist Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Fördertechnik und Logistiksysteme (IFL) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT).

Zwischen 2014 und 2019 studierte Marvin Sperling Elektrotechnik an der Hochschule Hannover. Das Paper beschreibt die Ergebnisse seiner Masterarbeit am Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW) der Leibniz Universität Hannover. Seit März 2019 arbeitet Marvin Sperling als wissenschaftlicher Mitarbeiter am IFL und forscht im Bereich der Fördertechnik.

Adresse: Institut für Fördertechnik und Logistiksysteme, Karlsruher Institut für Technologie, Gotthard-Franz-Str. 8, Gebäude 50.38, 76131 Karlsruhe, Deutschland, Phone: +49 721 608-48651, Fax: +49 721 608-48629, E-Mail: marvin.sperling@kit.edu

* der gekennzeichnete Autor hat maßgeblich zur Entstehung dieser Veröffentlichung beigetragen.

Prof. Dr.-Ing. Berend Denkena leitet seit 2001 das Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW) am Produktionstechnischen Zentrum der Leibniz Universität Hannover; dort forschen rund 90 wissenschaftliche Mitarbeiter in den Bereichen Fertigungsverfahren, Mechatronische Komponenten sowie Fertigungsplanung und -organisation.

Daniel Arnold, M.Sc. ist Mitarbeiter im Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Hannover „Mit uns digital!“. Als Koordinator Fabrikbetrieb ist er für die technischen Komponenten in der Generalfabrik verantwortlich. Daniel Arnold studierte Mechatronik im Grundstudium und Maschinenbau im Master an der Leibniz Universität Hannover. Seit 2017 ist er Doktorand am Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen und forscht im Bereich Digitalisierung.

Adresse: Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW), Produktionstechnisches Zentrum Hannover, Leibniz Universität Hannover, An der Universität 2, 30823 Garbsen, Phone: +49 511 762-18298, Fax: +49 511 762-5115, E-Mail: arnold@ifw.uni-hannover.de