

27. Deutscher Materialfluss-Kongress

mit VDI-Fachkonferenz
Agile Produktions-
versorgungssysteme



VDI-Berichte 2325

VDI-BERICHTE

Herausgeber: VDI Wissensforum GmbH

27. Deutscher Materialfluss-Kongress

mit VDI-Fachkonferenz
Agile Produktions-
versorgungssysteme

TU München, Garching, 1. und 2. März 2018



VDI-Berichte 2325

Bibliographische Information der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliographie; detaillierte bibliographische Daten sind im Internet unter www.dnb.de abrufbar.

Bibliographic information published by the Deutsche Bibliothek
(German National Library)

The Deutsche Bibliothek lists this publication in the Deutsche Nationalbibliographie (German National Bibliography); detailed bibliographic data is available via Internet at www.dnb.de.

© VDI Verlag GmbH · Düsseldorf 2018

Alle Rechte vorbehalten, auch das des Nachdruckes, der Wiedergabe (Photokopie, Mikrokopie), der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, auszugsweise oder vollständig.

Der VDI-Bericht, der die Vorträge der Tagung enthält, erscheint als nichtredigierter Manuskriptdruck. Die einzelnen Beiträge geben die auf persönlichen Erkenntnissen beruhenden Ansichten und Erfahrungen der jeweiligen Vortragenden bzw. Autoren wieder.

Printed in Germany.

ISSN 0083-5560

ISBN 978-3-18-092325-3

Inhalt

Seite

Vorwort

1

Industrie 4.0 in der Praxis

<i>J. Amri, A. Müller, S. Schumacher</i>	Digitalisierung als Treiber für optimierte Intralogistik – Dank Intralogistics Execution zu mehr Transparenz und Effizienz	3
<i>C. Plapp</i>	Deep Machine Learning in der Logistik: Kamerabasierte Objektidentifikation – Scannen und RFID werden überflüssig	13

Best Practice I

<i>G. Luft</i>	European Distribution Center zur Materialfluss- und Netzwerkoptimierung – ein iCHAIN-Baustein – Innovative Materialfluss-Systeme in der Schaeffler Group	19
<i>L.-B. Böttcher</i>	Vernetzte Planung – Technologien zur Entwicklung individueller Logistiklösungen	27
<i>J. Nowack, M. Vogt</i>	Implementierung eines automatischen Kleinteilelagers bei einem weltweit agierenden Handelsunternehmen im Bereich Motorenersatzteile	35

Veränderungen in der Arbeitswelt

<i>V. Claessens, A. Witt</i>	100 Tage Projekte: Innovation und Digitalisierung als Teil der Unternehmensstrategie – Einfach mal machen!	41
<i>R. Kleedörfer</i>	Wer repariert die Systeme von morgen? – Die Heraus- forderungen an das Serviceumfeld von autonomen Logistiksystemen	51
<i>M. Schmauder, K. Klöber</i>	Exoskelette und Ergonomie	63

Virtual/Augmented Reality

<i>B. Gross, M. Dahl, A. Stefan</i>	Monitore vs. Smartglasses – Grundlagenuntersuchung zur Beurteilung kognitiver Aufgabenlasten von digitalen Informationssystemen auf Gabelstaplern	75
<i>T. Preller</i>	Virtual Reality in der Intralogistik erhöht die Wirtschaftlichkeit – Vielseitige Möglichkeiten für Planung, Schulung und Betrieb	83
<i>B. Mättig, T. Kirks, J. Jost, M. Döltgen</i>	Virtual Label – Wie die virtuelle Intelligenz eines Paketes durch Augmented Reality kontextbasiert visualisiert werden kann	87

Kommissioniersysteme

<i>J. Dziedzitz, K. Markert, K. Furmans</i>	Fortschritte bei der automatischen Kommissionierung – Am Beispiel der Amazon Robotics Challenge	97
<i>R. Slusarz, A. Schmaus</i>	Work-by-Inclusion® – Integration und Inklusion durch visuelle Prozessführung	113
<i>D. Mezger, A. Blümel</i>	Optimierung individueller Lernprozesse in der Kommissionierung durch Lernpakete am Beispiel der Pick-by-Voice-Technologie	119

Innovative Materialfluss-Systeme

<i>J. Jost, T. Kirks, B. Mättig</i>	EMILI – Ergonomischer mobiler interaktiver Ladungsträger für die Intralogistik	131
<i>M. Repplinger</i>	Optimierungspotenziale durch stufenweise Fusion und Integration von Sensorik am Beispiel von FTS	139

Best Practice II

<i>N. Dosch,</i> <i>C. Meurer,</i> <i>C. Perner</i>	Israels größte Krankenkasse Clalit errichtet Logistikzentrum mit Lagertechnik von Dematic – Kompakt und effizient – Optimierung Gesundheitsversorgung in Israel	143
<i>C. Graf,</i> <i>S. Schiller</i>	Umstellung der Lagerverwaltungssoftware auf SAP EWM im internationalen Warenverteilzentrum der Viessmann Group bei laufendem 24-Stunden-Betrieb	153

Start-ups: Innovative Ideen

<i>S. Kaczmarek,</i> <i>R. Grzeszick,</i> <i>S. Feldhorst</i>	Von der Forschung ins eigene Start-up – Motion-Mining® in der Praxis – Automatische Prozessanalysen in Produktion und Logistik	157
<i>H. Thamer,</i> <i>C. Uriarte,</i> <i>A. Y. Benggolo</i>	Intelligente Förderzellen für flexible Materialfluss- systeme – Eine Zelle für alle Aufgaben	163
<i>A. Lewandowski,</i> <i>M. Fuchs,</i> <i>A. Mertel</i>	Assistenzsysteme für die Intralogistik – Jetzt interagiert der Gabelstapler mit seiner Umgebung	169

Technologietrends aus F&E

<i>K. Warmulla,</i> <i>S. Weidenhammer</i>	nExtCOMbag® – der ökologische Wandel im E-Commerce – Automatisierte Papiertütenverpackung für volatile Auftragsstrukturen	175
<i>C. Rähitz,</i> <i>T. Haase</i>	Industrie 4.0 im Leichtbau – Vernetzte Intralogistik für die Fertigung von Faserverbundstrukturen	181
<i>R. Winter,</i> <i>M. Teucke,</i> <i>M. Freitag</i>	Erweiterung von Standards zum Austausch von sensor- basierten Qualitätsereignisdaten – Kommunikation qualitätsrelevanter Ereignisse mit Hilfe des EPCIS-Standards	189

		Seite
<i>H. Krenz, J. Kreutzfeldt, J. Hinckeldeyn</i>	Datenbrillen für komplexe Wartungs- und Reparaturdienstleistungen in der Intralogistik – Studie, erstellt in Zusammenarbeit mit einem Intralogistik Hersteller	199
<i>J. Cirullies, Y. Pikus</i>	Fit für die Digitalisierung – Chatbots sichern Anwendern den Zugriff auf die Cyber-Ebene	215
<i>D. Tinello, M. Boley, H. Winkler</i>	Beitrag zum Transfer bionischer Systemdesignmuster auf die Fabriklayout- und Materialflussplanung	223

VDI-Fachkonferenz Agile Produktionsversorgungssysteme

Innovative Versorgungskonzepte

<i>W. Kraus, K. Pfeiffer</i>	Kognitive Roboter in der Intralogistik – Technologien, Trends und Anwendungsbeispiele	239
<i>H. Bayhan, I. Hnida, M. ten Hompel</i>	Herausforderungen und Perspektiven der Materialbereitstellung im Kontext Industrie 4.0	251

Die Rolle von Routenzügen in der Produktionsversorgung von morgen

<i>C. Poss, T. Irrenhauser, D. Göhring</i>	Autonome Routenzugentladung durch intelligente Robotersysteme	265
<i>I. Meinhardt, D. Wustmann, M. Dörnbrack, T. Schmidt</i>	Routenzug – Nach Plan wie die Bahn!	279
<i>M. Richter, A. Siegel, A. Zhakov, S. Hummel</i>	Condition Monitoring von Transportsystemen in der Halbleiterproduktion – am Beispiel Schienensystem	295

Versorgungssysteme in der Praxis

<i>M. Rehm</i>	Intralogistik im Druckmaschinenbau – Theorie und Praxis aus Montagesicht	307
<i>N. Noack, A. Mönk</i>	Materialhandling und Versorgung bei der Endmontage – Vergleich von Transportlösungen – Ein Gemeinschaftsvortrag von agiplan und Linde MH	317
<i>C. Metzler</i>	Effizienzsteigerung einer Montagelinie durch Data Analytics – Wie die Effizienz einer Montagelinie durch maschinelles Lernen um 30% gesteigert werden konnte	325

Shuttle und FTS

<i>G. Ullrich</i>	Erwartungen an die FTS-Branche – Technologie und Innovation	329
<i>R. Müller, M. Vette-Steinkamp L. Hörauf, C. Speicher, D. Burkhard, R. Vierfuß, A. R. Ahmadi</i>	Entwicklung eines Industrie 4.0-Baukastens zur Digitalisierung von Produktionsprozessen am Beispiel eines vernetzten Materialwagens – Intelligente Vernetzung der überbetrieblichen Wertschöpfungskette bei einem kleinen und mittelständischen Unternehmen	339
<i>S. Richter, M. Däumler, K. Hantzschmann, P. Boden</i>	Autonome Versorgungssysteme in der Produktion: Chancen und Herausforderungen beim Einsatz selbstnavigierender Systeme in komplexen Fertigungsumgebungen	353

Silbersponsor



www.linde-mh.de

Vorwort

Sehr geehrte Damen und Herren,

was noch vor wenigen Jahren Begriffe im Bereich der Forschung oder sogar im Science-fiction waren, sind heute Technologien, die immer mehr Einzug in unsere logistischen Anlagen halten: Autonome Systeme in der Produktionsversorgung, neuronale Netze oder Agentengesteuerte Steuerungen, Deep Learning, Computer Vision sind keine Zukunftsprojekte mehr, sondern Teil neuer Anlagen und Systeme.

Der Erfolg oder Misserfolg von Geschäftsmodellen und ganzer Unternehmen wird bestimmt von einer optimal funktionierenden Logistik. Schnelle und effiziente Lager oder Materialflusssysteme sind maßgebliche Faktoren für die Flexibilität, die das volatile Umfeld der Produktion individualisierter Güter benötigt. Vor allem wie man manuelle Prozesse durch den unterstützenden Einsatz intelligenter Technik möglichst sicher, fehlerfrei und effizient darstellt, bewegt viele Unternehmen und Forschungsinstitute.

Diesen Themenkreis und viele andere Bereiche aus dem Spannungsfeld Logistik 4.0 greift Anfang März 2018 der 27. Deutsche Materialfluss-Kongress auf. Es treffen sich dort Experten aus allen Bereichen der Intralogistik, von Herstellern und Anwendern, über Planer und Berater, bis hin zu Forschungsinstituten, um sich über innovative Technologien oder Prozesse und deren erfolgreiche Anwendungen in der Praxis auszutauschen.

Wir freuen uns, Sie auf dem 27. Deutschen Materialfluss-Kongress begrüßen zu dürfen.

Im Namen des Programmausschusses

Prof. Dr.-Ing. Johannes Fottner

Digitalisierung als Treiber für optimierte Intralogistik

Dank Intralogistics Execution zu mehr Transparenz und Effizienz

M.Sc. **Jonas Amri**, Dipl.-Ing. WI **Andreas Müller**,
Dipl.-Ing. **Stephan Schumacher**, Robert Bosch GmbH, Stuttgart

Kurzfassung

Während die Digitalisierung und die damit einhergehenden Prozessverbesserungen in der modernen Fertigung bereits zu erheblichen Optimierungen geführt haben, stellt die Intralogistik Unternehmen vielerorts noch vor große Herausforderungen. Dieser hat sich Bosch in den eigenen Werken jetzt angenommen: Das Unternehmen hat sich zum Ziel gesetzt, die innerbetrieblichen Logistikaufläufe zu digitalisieren und die Mitarbeiter zu entlasten. Möglich macht dies „Intralogistics Execution“, eine Bosch-eigene Softwareentwicklung, die aktuell schrittweise in verschiedenen Werken implementiert wird. Anhand vielfältiger Daten aus Transportfahrzeugen und Materiallogistik optimiert die Anwendung sowohl die Materialbeschaffung und -einlagerung als auch die Transportwege und Fahrzeugauslastung – mit sichtbaren Erfolgen für die Intralogistik und die Fertigung.

1. Ausgangssituation

Im Rahmen der Einführung des B1osch Produktionssystems (BPS) in den Werken der Robert Bosch GmbH ab dem Jahr 2002 wurde konsequent auf eine Verschlinkung der Prozesse und damit einhergehend eine Umstellung von Push- auf Pull-Fertigung gesetzt. Dies bedeutet, dass nicht nur in der Montage/Schlussprüfung, sondern auch in den vorgelagerten Prozessen der Teilefertigung in kleineren Losgrößen und nur noch auf Kundenbedarf gefertigt wird. Die Versorgung der Prozesse wurde dabei so ausgerichtet, dass eine Entkopplung durch Supermärkte erfolgt. Die Regelkreise und damit die Größe der Supermärkte wurden so ausgelegt, dass für jede der Renner-Typnummern der Bedarf des Folgeprozesses für die Zeitdauer der Wiederbeschaffungszeit abgedeckt werden kann.

Die Versorgung der Supermärkte erfolgt in der Regel durch Routenzüge, d.h. manuell gefahrene Schleppzüge mit mehreren Anhängern, auf denen die Materialien auf Regalwagen in

einzelnen Kleinladungsträgern (KLTs) oder bei Verwendung von Adapterwagen auf Bodenrollern mit mehreren zusammengefassten KLTs transportiert werden. Auch das Anhängen von Paletten ist mit entsprechenden Adapterwagen möglich.

Während der Fokus der Optimierungen zunächst auf die Prozesse im Bereich der Fertigung gelegt wurde, rücken nun immer stärker die logistischen Prozesse in den Vordergrund. Im Rahmen von internen Umfragen innerhalb der Bosch-Werke wurden die im Folgenden beschriebenen Ansatzpunkte für Prozessverbesserungen identifiziert:

- Zu hoher Aufwand für Materialbuchungen
- Keine zeitnahe Buchung von Materialien
- Ineffiziente Transporte
- Fehlende Transparenz über Auslastung der Transportflotte
- Fehlende Echtzeitinformation über Position der Materialien
- Fehlendes Abweichungsmanagement

Mit BPS-Einführung und Umstellung auf Pull-Fertigung wurden die Supermärkte durch Kanban-Kreisläufe ausgelegt. Materialien können mit Kanban-Karten aus den Supermärkten entnommen werden, anschließend müssen diese aber im ERP-System nachbestellt werden. Aufgrund des hohen Aufwands für die Buchung (Wegezeit zum Rechner, Anmeldung ins ERP-System, Ausführung der Transaktion mit Eingabe der Typeteilnummer, Anzahl der Teile, Anlieferpunkt etc.) wurden die Kanban-Karten von den Mitarbeitern häufig gesammelt und die Nachbestellung zu einem für sie günstigen Zeitpunkt durchgeführt (meist gegen Schichtende). Dies führt zu einer nicht gleichmäßigen und dem tatsächlichen Verbrauch entsprechenden Nachbestellung von Materialien. Insbesondere die verstärkten Buchungen zum Schichtende führen zu einem Peak in den Transportaufträgen, der von der Logistik zu Beginn der Folgeschicht zunächst abgearbeitet werden muss, während zum Schichtende kaum noch Transportaufträge vorliegen. Eine optimierte Auslegung und Auslastung der Transportfahrzeuge ist auf dieser Basis nicht möglich, da einerseits die Peaks in der Dimensionierung berücksichtigt werden müssen, während andererseits Zeiten mit reduzierten Transportbedarfen zu einer schlechten Auslastung der Flotte führen.

Zudem ist es aktuell schwer, mit geringem Aufwand eine verlässliche Transparenz über die Auslastung der Fahrzeuge zu bekommen. Im Bereich der Fertigung wird der Nutzungsgrad

bzw. der OEE (Overall Equipment Efficiency) der Anlagen im Nachkommastellenbereich verfolgt. Es erfolgt zudem eine detaillierte Aufschlüsselung der Verluste in verschiedene Kategorien, um auf dieser Basis eine systematische Verbesserungsarbeit mit Verfolgung der Wirksamkeit getroffener Maßnahmen (geschlossener PDCA-Zyklus) aufsetzen zu können. Im Bereich Logistik gibt es diese Transparenz für eine heterogene Flotte von Transportfahrzeugen so noch nicht: Vorhandene Systeme sind i.d.R. herstellergebunden und Fahrzeuge von Drittanbietern lassen sich nicht integrieren. Zudem ist die Aufschlüsselung der Verlustgrößen nicht detailliert möglich.

Darüber hinaus kommt es häufig zu Störungen, wenn für einen benötigten Auftrag die Materialien zwar systemtechnisch im ERP-System vor Ort in der Fertigung verfügbar zu sein scheinen, diese aber physisch noch nicht vor Ort im Supermarkt angekommen oder aber in einer falschen Bahn eingelagert worden sind. Dies ist häufig dann der Fall, wenn aus einem Hochregallager ausgelagerte Ware bereits auf die Fertigung umgebucht wird, diese aber in einem mehrstufigen Transportprozess noch angeliefert werden muss. Meistens wird dies erst kurzfristig bei der Entnahme der Materialien aus dem Supermarkt bemerkt, eine automatische Benachrichtigung erfolgt nicht. Als Folge hiervon muss in „Feuerwehraktionen“ ein anderer Auftrag vorgezogen und auf diesen umgerüstet werden. Verluste in der Fertigung in Form von ungeplanten Stillständen/Rüstzeiten sind die Folge.

2. Beschreibung Zielzustand

Bei genauerer Betrachtung der oben beschriebenen Herausforderungen stellt man fest, dass sich diese durch eine Digitalisierung dessen, was in der physischen Welt passiert, lösen lassen. Entsprechend haben wir unsere Vision für die innerbetrieblichen Prozesse der Logistik der Zukunft formuliert:

- Material, das aus einem Supermarkt entfernt wird, löst eigenständig und in Echtzeit eine Nachbestellung aus.
- An Meilensteinen melden sich Materialien automatisch an und können so entlang der innerbetrieblichen Transportkette bis hin zur exakten Position im Supermarkt verfolgt werden.
- Materialfehlbestände werden automatisch und frühzeitig entdeckt, zudem werden die Mitarbeiter informiert, so dass ausreichend Zeit für die Planung von Alternativen besteht.

- Fahrzeuge melden unabhängig vom Hersteller ihre Zustands- und Positionsdaten an ein zentrales Analysetool, auf dessen Basis Prozessverbesserungen erarbeitet und umgesetzt werden können.
- Sämtliche innerbetrieblichen Transportbedarfe liegen in einem zentralen System vor und werden optimiert auf die Transportfahrzeuge verteilt.

I4.0 Intralogistics Vision

Integrated Solutions for Intralogistics

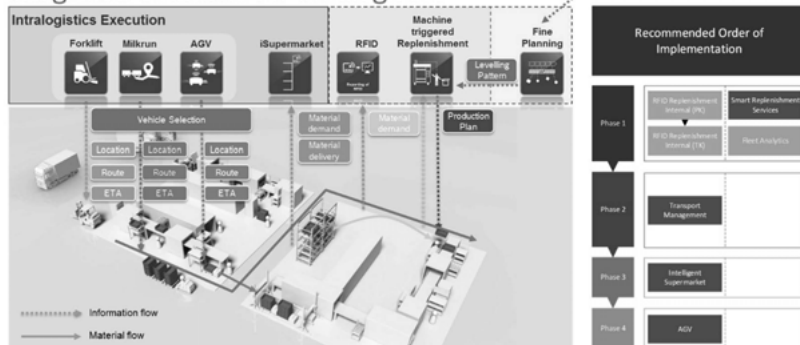


Bild 1: Zukunftsvision für innerbetriebliche Logistikprozesse

Wie aber können die hierfür notwendigen Daten erfasst werden, ohne dass die Mitarbeiter dadurch belastet werden?

2.1 Einsatz Auto-ID-Technologie (RFID)

In einem ersten Schritt wurde nach Möglichkeiten zur Reduzierung des Aufwands für Materialbuchungen gesucht. Die Wahl fiel hierbei auf den Einsatz der RFID-Technologie, da diese auch ein Bulk-Reading an Meilensteinen möglich ist. Die bereits verwendeten Kanban-Karten wurden mit einem RFID-Tag versehen. Systemtechnisch wurden die Voraussetzungen dafür geschaffen, dass durch das Lesen eines RFID-Tags eine automatisierte Materialnachbestellung im ERP-System ausgelöst wird. Für die Mitarbeiter reduzierte sich der Aufwand für die Nachbestellung damit auf das Heranhalten der Kanban-Karte an einen RFID-Reader. Weiterhin ist es entlang der Transportkette nun möglich, die Materialien genauer zu verfolgen.

2.2 Optimierung Transport Management

Auf dieser Basis ist es nun möglich, die Auslastung und damit die Effizienz der Routenzüge zu steigern. In der Vergangenheit fuhren die Routenzüge nach dem Busprinzip: fester Terminplan, fest vorgegebene Route sowie Haltestellen entlang der Route. Wie im richtigen Leben führt dies in Einzelfällen zu überfüllten Touren, so dass nicht alle Transportbedarfe bedarfsgerecht abgearbeitet werden können. In den überwiegenden Fällen fährt der Milkrun aber Haltestellen an, an denen kein Handlungsbedarf besteht, d.h. weder Material angeliefert noch abgeholt werden muss. Die Auslastung lag hierbei einerseits bei nur circa 60%, andererseits mussten dringende Notfalltransporte häufig über Sondertransporte abgedeckt werden, sofern durch ein Warten auf den nächsten Routenzug das Material nicht rechtzeitig hätte angeliefert bzw. abgeholt werden können.

Durch die Digitalisierung liegen uns nun die Material-/Transportbedarfe inkl. Informationen zu Quelle/Senke, Zeitpunkten zu frühestmöglicher Abholung bzw. spätestmöglicher Anlieferung sowie ergänzende Informationen zu Maßen und Gewicht der Transporteinheit in Echtzeit vor. Auf dieser Basis wurde eine neue, dynamisierte Planung der Routenzüge eingeführt. Hierin werden die Routen unter Berücksichtigung der folgenden Kriterien geplant:

- Optimierte Routen- und Haltestellenplanung: Es werden nur noch die Haltestellen angefahren, an denen tatsächlich Material an- oder abgeliefert wird.
- Spätestmöglicher Abfahrtszeitpunkt: Um die Auslastung der Routenzüge zu verbessern, wird die Abfahrtszeit so optimiert, dass unter Berücksichtigung der Fahrzeiten und manuellen Tätigkeiten an den Haltestellen die An-/Ablieferung rechtzeitig erfolgt.

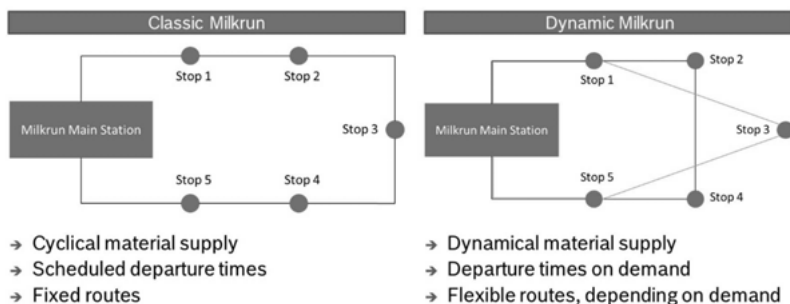


Bild 2: Dynamisierte Planung der Routenzüge

Die Einbindung des Routenzug-Fahrers erfolgt über einen Tablet-Computer, auf dem ihm die benötigten Informationen visualisiert werden. Neben der Abfahrtszeit und der nächsten anzufahrenden Haltestelle erhält er Informationen über die Tätigkeiten an der jeweiligen Haltestelle. Neben Aufgaben wie dem An- bzw. Abkoppeln von Anhängern werden auch die ab- und aufzuladenden Materialien angezeigt. Hierdurch lassen sich die Einlernzeiten neuer Mitarbeiter sowie Kommunikationsaufwand für Prozessänderungen reduzieren.

Mit den oben genannten Maßnahmen konnte nicht nur die Produktivität verbessert werden. Durch Analyse der Transportaufträge und deren Ausführungszeiten können die Wiederbeschaffungszeiten der Materialien deutlich präziser berechnet werden, so dass hierfür hinterlegte Sicherheitsbestände an der Linie reduziert werden können.

2.3 Digitalisierung weiterer Transportbedarfe

Bei der Einführung der dynamisierten Transportsteuerung wurde festgestellt, dass selbst in hoch digitalisierten Werken der Anteil der bereits digital im System vorhandenen Transportaufträge nur bei circa 60% liegt. Viele Materialtransporte, wie etwa das Mitnehmen von leeren Ladungsträgern, Mess- und Einstellteilen oder Umlagerungen zwischen zwei räumlich getrennten Bearbeitungsschritten, werden heute per Go&See durch den Routenzugfahrer abgedeckt. Um die dynamisierte Routenplanung umsetzen zu können, müssen auch diese Transportbedarfe digitalisiert werden, da dem System ansonsten ein vorliegender Transportbedarf nicht bekannt ist und es im ungünstigsten Fall über einen längeren Zeitraum keinen Milkrun zur entsprechenden Station schickt.

Neben Lichtschranken oder anderen geeigneten Sensoren in FIFO-Bahnen, mit denen z.B. abgeliefertes Leergut erkannt und ein automatisches Signal für den Abtransport generiert werden kann, wurden RFID-Meldekarten eingeführt, so dass vorhandene Infrastruktur genutzt und damit die Einführungskosten reduziert werden können. Darüber hinaus wurden Modifikationen im ERP-System vorgenommen, mit dem beim Abmelden eines Auftrags ggf. automatisch ein Transportauftrag zur Weiterleitung des Materials an die nächste Bearbeitungsstation ausgelöst wird.

2.4 Digitalisierung Fahrzeugposition und -status

Um eine ähnliche Transparenz in die Nutzung der Fahrzeugflotte wie bei Fertigungsanlagen zu bekommen, wurde eine Technologie zur Indoor-Lokalisierung von Staplern als Basis genommen. Diese von einem Bosch StartUp erarbeitete Technologie basiert auf einer Kamera,

die ähnlich einer optischen Maus funktioniert und unter Zuhilfenahme von Bodenmarkierungen eine hochpräzise Ortung des Staplers bzw. Routenzugs ermöglicht. Da es sich um ein autarkes Retrofit-System handelt, kann dieses an jedes beliebige Fahrzeug montiert werden und fahrzeugtypunabhängig sowie herstellerübergreifend Daten liefern. Als Ergebnis können hierdurch bereits die Position, Geschwindigkeit und Orientierung eines Staplers ausgewertet und visualisiert werden. Diese Informationen werden durch weitere Sensordaten angereichert wie etwas Ultraschall- oder Drucksensoren, mit denen der Beladungszustand erfasst werden kann. Die Verfahrswege der Gabel können durch einen Hözensensor am Mast erfasst werden und fließen ebenfalls mit in die Analyse ein.

Ergänzt werden kann die Analyse noch durch Einführung von Geofences, d.h. definierten örtlichen Bereichen innerhalb des Betriebs, in denen der Stillstand eines Fahrzeugs einer bestimmten Verlustart zugeordnet werden kann, z.B. im Bereich Batterieladung, Service/ Instandhaltung oder in der Nähe von Bürobereichen bei Systemen mit manuellem Auftragshandling.

Die Aufteilung der Verlustgrößen ist aktuell wie folgt möglich:

- Vollfahrt
- Handlingzeit
- Leerfahrt
- Kurzstillstand/Leerlauf
- Standzeit bei eingeschaltetem Fahrzeug
- Ausgeschaltetes Fahrzeug
- Geofence 1...n

Auf dieser Basis ist noch eine weitere Nutzung der Daten möglich: die Erstellung von Fahrprofilen und Heatmaps des Werks. Analysen der Fahrwege können dazu dienen, Veränderungen in der Produktstruktur und damit die Notwendigkeit zur Überarbeitung der Einlagerungsstrategie zu erkennen. Häufige gefahrene längere Strecken in hintere Bereiche eines Lagers sind ein Indikator hierfür.

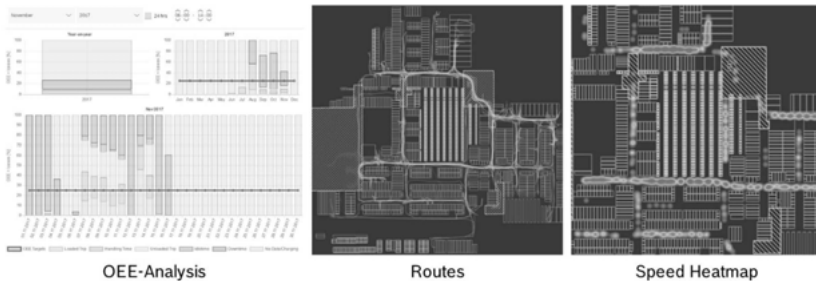


Bild 3: Fleet Analytics basierend auf Fahrzeugposition und -status

Weiterhin können die Heatmaps als Basis zur Gefahrenreduzierung im Werk dienen. Punkte mit hohem Verkehrsaufkommen und/oder hoher Geschwindigkeit der Fahrzeuge können erkannt werden. Neben baulichen Optimierungen des Werks zur Entschärfung der Gefahrenstelle können in Zusammenarbeit mit dem Hersteller der Fahrzeuge auch geschwindigkeitsbegrenzte Zonen eingeführt werden: Das Fahrzeug erhält nur außerhalb der definierten Bereiche durch die Kamera eine Freischaltung, dass schneller als mit der eingestellten reduzierten Geschwindigkeit gefahren werden darf.

3. Ausblick

Die Digitalisierung des Materialflusses durch RFID wird bereits seit 2013 auf viele Werke übertragen und ist aktuell in über 40 Werken im Einsatz. Die Lösungen aus den Kapiteln 2.2 bis 2.4 wurden 2017 in den ersten Werken innerhalb der Robert Bosch GmbH eingeführt. Für das Jahr 2018 befinden wir uns in einem Rollout auf weitere Werke, so dass gegen Ende 2018 über 20 Werke mit diesen Systemen arbeiten.

Entsprechend den agilen Arbeitsmethoden überarbeiten wir unsere Lösung permanent weiter: Optimierungen bestehender oder Erweiterungen von Funktionalitäten werden in dreiwöchigen Sprints erstellt. Den Input hierzu liefern uns die Rückmeldungen der Werke, so dass deren Bedarfe zeitnah in die Optimierungen einfließen können. Vier solcher Sprints fassen wir zu einem neuen Release zusammen, das den Werken damit quartalsweise zur Verfügung steht.

Die aktuellen Erweiterungen befassen sich mit der Digitalisierung von Supermärkten: Nicht zuletzt im Hinblick auf die Integration von autonomen Fahrzeugen wird es immer wichtiger, die

genaue Position einer Ware im Supermarkt inkl. Ebene und Spur zu kennen. Unter Berücksichtigung des FIFO-Prinzips sowie dynamischer Bahnbelegung kann nicht nur dem Mitarbeiter über Put-to-Light bzw. Pick-by-Light die richtige Spur zur Ein- bzw. Auslagerung gezeigt und damit der Suchaufwand reduziert werden. Dieses System bietet auch im Hinblick auf Rückverfolgbarkeit des Materials den Vorteil, dass im Falle eines Qualitätsproblems die betroffene Ware schnell und sicher identifiziert und gefunden werden kann. Und nicht zuletzt ermöglicht dies erst die Ansteuerung von autonomen Transportfahrzeugen zur automatisierten Anlieferung/Entnahme von Waren aus Supermärkten mit mehr als einer Bahn je Typeteilnummer.

Auf Basis der vorliegenden Daten ergeben sich aber immer weitere, neue Anwendungsfelder, mit denen wir die Prozesse weiter optimieren können: Nutzung von Positionsinformationen der Fahrzeuge, um eine Verkehrssteuerung in der Halle aufbauen zu können ist nur eine der Ideen, die in die weitere Entwicklung einfließen wird. Und als weiterer Schritt ist die Umsetzung der konzeptionell schon berücksichtigten, nahtlosen Anbindung an die Track and Trace Lösungen von Bosch für die externe Materialtransportkette vom Zulieferer bis hin zum Kunden vorgesehen.

Deep Machine Learning in der Logistik: Kamerabasierte Objektidentifikation

Scannen und RFID werden überflüssig

Dr. **Christoph Plapp**, Logivations, Gröbenzell

Kurzfassung

Logivations ist ein international agierender Anbieter von Logistikplanung und Cloud-Software mit Sitz in Gröbenzell bei München. Die innovative Softwarelösung W2MO ist weltweit führend in der Gestaltung, 3D- und VR-Visualisierung, Optimierung und Bewertung der Prozesse in Supply Chain, Lager- und Produktionslogistik. Bereits über 30.000 professionelle Anwender nutzen W2MO direkt aus der Cloud oder lokal installiert.

Das neueste Betätigungsfeld von Logivations W2MO ist der Einsatz von Machine Learning für die kamerabasierte Objektidentifikation in Echtzeit. W2MO bietet zudem flexibles Datenmanagement mit parametrisierbaren Interfaces für jeden Anwendungsfall durch manuelle Dateneingabe, Excel Import oder direkte Anbindung an SAP oder andere IT-Systeme.

Abstract

Logivations is an international provider of logistics planning and cloud software based in Munich-Gröbenzell. The innovative software solution W2MO is worldwide leading in design, 3D and VR visualization, optimization and evaluation of logistics processes in supply chain, warehouse and production logistics. More than 30.000 professional users work with W2MO directly in the cloud or installed locally.

The use of machine learning technology for the real-time camera based object identification is the newest field of activity of Logivations W2MO. The software also offers flexible data management with customizable interfaces for each use case through manual data input, Excel import or direct connection to SAP or other IT systems.

1. Ausgangssituation

In der Logistik fällt ein hoher Zeit- und Kostenaufwand für die Identifizierung (z. B. das Scannen) der Produkte, Pakete, Paletten, etc. an, sowie für die Kontrolle von Stückzahlen oder das Austauschen von falsch gepickten Produkten nach einer fehlerhaften manuellen Identifikation. Das Ziel von Logivations ist die Minimierung des Aufwandes für die Objekterkennung und die Reduzierung von Fehlerraten, um signifikante Effizienzsteigerungen zu erreichen. Dafür hat Logivations Deep Machine Learning Technologien in die vielfach prämierte All-In-One Lösung W2MO integriert.

2. Technischer Hintergrund – Machine Learning und neuronale Netzwerke

Eine zentrale Aufgabenstellung der Logistik ist die einfache und sichere Identifikation und Verfolgung jeglicher Objekte. Traditionelle Methoden wie Scanner, RFID, Staplernavigation, Ablesen usw. sorgen für einen hohen Zeit- und Kostenaufwand von typischerweise ca. 20% bis 30% der gesamten Prozesskosten.

Dagegen benötigt Logivations' innovative Lösung lediglich handelsübliche Kameras verbunden mit GPUs (graphical processing units) und erkennt damit die relevanten Objekte zuverlässig dank intelligenter Algorithmen.

Diese basieren auf neuen Verfahren der Computer Vision und des „Deep Machine Learning“. Für den Praxiseinsatz kann ein solcher Algorithmus mit Hilfe weniger Bilder auf jegliche Objekte angelernet werden und leitet strukturelle Regeln und Verknüpfungsmuster der Bilder selbstständig ab. Dabei können sowohl Position als auch Art des Objekts exakt bestimmt werden. Durch die neuesten State-of-the-Art Methoden ist der Algorithmus sehr robust gegenüber Beleuchtung, Bewegungen und teilweiser Abdeckung.

Die Integration in W2MO erlaubt es, die erkannten Objekte direkt zu nutzen. Durch die 3D-Abbildung der Logistik-Infrastruktur in W2MO können die erkannten Objekte auch räumlich exakt lokalisiert werden, an mobile Geräte gesendet oder auch an andere Systeme wie z. B. SAP weitergeleitet werden.

Die Basis der Deep Machine Learning Technologie sind neuronale Netzwerke, die selbstständig die für die Objektidentifikation benötigten Muster „lernen“.

Die bei Logivations verfügbaren Datenbanken mit umfangreichen Trainingsdaten, ergänzt um kundenspezifische Vorlagen, ermöglichen bisher unerreichte Erkennungsraten (übertreffen menschliche Entscheider). Einmal gelernte Muster können auf andere Aufgabenstellungen übertragen werden.

In der Praxis sind bereits wenige Beispielbilder ausreichend und die Verarbeitung kann durch die enormen Weiterentwicklungen der Computerhardware und effizientere Parallelisierung heute in Realtime erfolgen, bei Berechnungen von unter 0,1 Sekunden pro Bild.

Durch die Schnittstellen der Plattform W2MO kann die kamerabasierte Objekterkennung auch mit Lagerverwaltungssystemen oder anderen IT-Systemen integriert werden.

3. Einsatzgebiete von Machine Learning in der Logistik

W2MO Machine Learning wurde von Logivations bereits in zahlreichen Projekten eingesetzt und implementiert. Neben der automatischen Kopferkennung und -verpixelung in videobasierenden Prozessstudien wird die Technologie bereits für Erkennung, Lokalisierung und Zählen verschiedenster Logistikobjekte angewendet.

Die Technologie ermöglicht Realtime Erkennung, Prüfen und Zählen aller Produkte anhand optischer Produkteigenschaften wie Größe, Form, Barcode, Farbe oder Textelementen. Die Einsatzbereiche strecken sich durch das gesamte Lager - von der Kontrolle im Wareneingang bis zum Packvorgang im Warenausgang. Das schnelle Erkennen, Identifizieren und Lesen von Barcodes ersetzt u. a. manuelles Scannen.



Bild 1: Kamerabasierte Objekterkennung mehrerer Objekte

Ein praxisbewährter Anwendungsfall ist die kamerabasierte Erkennung von Produkten oder Labels am Packarbeitsplatz. Neben dem direkten WMS-Abgleich mit Ladelisten und Benachrichtigung bei Abweichungen zeigt die Software auch optimierte 3D Packschemata an und dokumentiert gleichzeitig die in der Sendung verpackte Ware. Jederzeit ist lückenlos nachweisbar, was an den Kunden geschickt wurde und in welchem Zustand sich die Ware zu diesem Zeitpunkt befand.

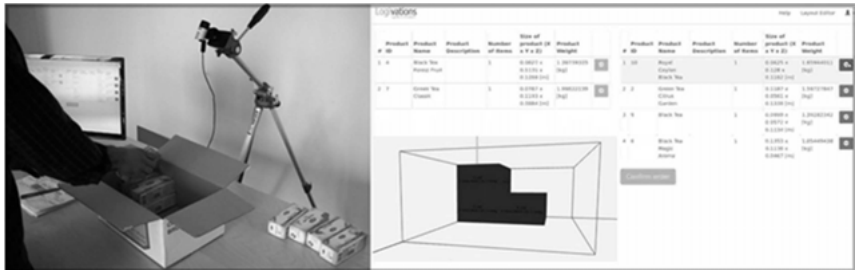


Bild 2: Kamerabasierter Packarbeitsplatz mit 3D Packschemata

Ein weiteres praxiserprobtes Einsatzgebiet ist die Objektidentifikation neuer Waren bzw. Behälter im Wareneingang. Mit herkömmlichen Methoden erweist sich die Identifikation von Objekten mit fehlendem oder falschem Barcode als äußerst schwierig und häufig kommt es zum Scannen des falschen Barcodes. Dank der Lösung von Logivations erkennt eine fest installierte Kamera die eingehende Lieferung komplett automatisch anhand des Aussehens der Objekte und zusätzlich durch effizientes Erkennen und Lesen der Barcodes. Die Positions- und Artikeldaten werden direkt in W2MO übertragen, dort verarbeitet und können somit auch im angeschlossenen WMS genutzt werden.

Bei der automatischen Ladungserkennung können in Sekundenbruchteilen alle Objekte gleichzeitig erkannt werden. Dabei wird eine ein- oder ausgehende LKW-Ladung mithilfe einer schwenkbaren PTZ Kamera automatisch auf Labels durchsucht, die Kamera zoomt selbstständig auf die ideale Distanz und liest die Barcodes.

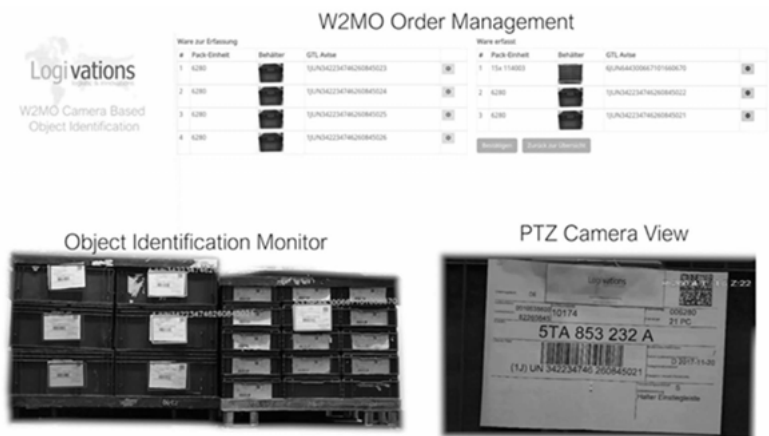


Bild 3: Automatisches Erkennen und Lesen von Barcodes durch PTZ Kameras

Logivations nutzt die Technologie in erfolgreichen Projekten auch für ein Identifikationsportal, welches alle durchfahrenden Fahrzeuge und deren geladenen Produkte automatisch erkennt. Deckenkameras können Fahrzeugpositionen und deren Beladungsstatus ermitteln, diese verfolgen sowie Touren optimieren durch die W2MO Anbindung. Die Mobilität der Hardware erlaubt am „intelligenten Stapler“ auch Kameras an der Gabel zur Identifizierung aller geladenen Produkte.

4. Vorteile gegenüber traditionellen Identifikationsmethoden

Bildverarbeitung ist in der Industrie bereits seit Jahren im Einsatz. Um Objekte zu erkennen, werden hierbei jedoch manuell Muster festgelegt und mit neu aufgenommenen Bildern anhand einer komplexen, für einen Anwendungsfall fest programmierten Logik, verglichen. Dies ist aufwendig und sehr fehleranfällig durch Beleuchtung, Bewegung, Drehung und Abdeckung. Dadurch scheitert der Einsatz für die meisten für die Logistik interessanten Aufgaben.

Mit Hilfe von „Deep Machine Learning“ konnte Logivations die Erkennungsraten wesentlich steigern. Der etablierte ImageNet Benchmark zeigt dies eindrucksvoll: Die besten herkömmlichen Verfahren kommen auf Fehlerraten über 28%, während Deep Machine Learning basierte Methoden seit 2016 auf unter 4% kommen. Im Gegensatz zu konventionellen Methoden (z. B. Scannen) funktioniert unsere Lösung auch bei schlechten Lichtverhältnissen, bei sich bewegendem Objekten und bei gleichzeitigem Erkennen und Zählen.

Die Lösung erfordert durch die beachtlich gesunkenen Kosten von leistungsstarken Computern sowie von hochauflösenden Kameras einen geringen Hardware Aufwand und kann Objekte und Barcodes direkt erkennen. Durch die hohe technologische Performance kommt es zu keinen Scanfehlern und die Zeitersparnis ist enorm. Insbesondere werden keine teuren Industriekameras benötigt. Dadurch kann die Objekterkennung sehr flexibel eingesetzt werden.



Bild 4: Vorteile der kamerabasierten Objekterkennung

Die zahlreichen Benefits sind u. a. der beschleunigte Wareneingangs- und Pack-Prozess, da manuelles Scannen komplett entfällt, die erstmalig ermöglichte Identifikation von Artikeln ohne Barcodes, eine wesentlich höhere Transparenz der Logistikprozesse, sowie eine steigende Prozesssicherheit durch die beliebig häufige Identifizierung von Objekten und Behältern ohne Aufwand. Daneben haben Mitarbeiter beide Hände für den Arbeitsvorgang frei und es gibt keine Probleme mit Frequenzen oder Entfernungen wie bei RFID, optimierte 3D Packschemata steigern die Effektivität und die Videoaufzeichnungen mit verpixelten Mitarbeitern können zu Prozessverbesserungen genutzt werden.

Der wirtschaftliche Vorteil hierdurch ist enorm. Mit einer einzigen technischen Lösung kann jegliche Art von Objektidentifikation, -lokalisierung und -verfolgung in der Logistik erfolgen - vollautomatisch, zuverlässig und in Echtzeit. Eine Reduzierung der Logistikgesamtkosten in der Größenordnung von 15% – 25% ist möglich.

Das enorme Potenzial zur Effizienzsteigerung durch die "Realtime Objekterkennung" hat die Volkswagen Konzernlogistik bereits erkannt und Logivations zum auserwählten Kreis der "Top-Innovatoren" für Logistikinnovationen beim Volkswagenkonzern ernannt.

European Distribution Center zur Materialfluss- und Netzwerkoptimierung – ein iCHAIN-Baustein

Innovative Materialfluss-Systeme in der Schaeffler Group

Gregor Luft, Schaeffler Technologies AG & Co. KG, Herzogenaurach

Kurzfassung

Aus der Betrachtung der komplexen, heterogenen, globalen Logistikstrukturen des Schaeffler-Konzerns erwuchs die Notwendigkeit einer Neugestaltung von Prozessen und Strukturen bei laufendem Betrieb. Im Mittelpunkt stand die Steigerung des Lieferservice gegenüber den Kunden, um aktuellen und künftigen Anforderungen gerecht werden zu können. Als Hauptziel galt es, die Kunden innerhalb von 24/48 Stunden im Standard zu beliefern. Zuverlässigkeit, Flexibilität und Effizienz waren weitere Leitlinien einer umfassenden Neugestaltung, welche alle Aspekte der Logistik berücksichtigt. Einen maßgeblichen Baustein dieser Aktivitäten, die im Projekt iCHAIN gebündelt werden, bildet das Konzept Europäisches Distributionszentrum (EDZ) der Sparte Industrie, welches als Referenzorganisation für die globalen Distributionsstrukturen ein leistungsfähiges, transparentes und kostensenkendes logistisches Netzwerk von der Produktion bis zum Kunden spannt.

1. Ausgangssituation

Als Ergebnis eines langjährigen Wachstums zeigte sich zu Beginn der Optimierungsaktivitäten die Logistik der Schaeffler Group als zwar handlungsfähige, jedoch sehr heterogene und schwerfällige Prozesslandschaft. Getrieben von verschiedenartigen Kundenanforderungen, spezifischen Geschäftsmodellen pro Kundengruppe und über 70 Produktionsstandorten weltweit wurden bis dahin unterschiedliche Supply Chains in einem komplexen, globalen Netzwerk administriert. Besonders kritisch war das nicht optimierte Transportnetzwerk, bei dem Kunden ihre Bestellungen mit erhöhter Durchlaufzeit und einer Liefertreue von +/- zwei Tagen aus den insgesamt 17 verschiedenen, eigenverantwortlich handelnden Versandstellen in Europa erhielten. Der Lieferservicegrad lag vor Projektbeginn bei unter 70%. Ebenfalls das Fehlen der Lieferantenintegration sowie ein fehlendes übergreifendes Lagerkonzept erwiesen sich als nicht ausreichend zukunftsfähig. Des Weiteren entsprachen die Logistiksysteme nicht dem Stand der Technik und waren partiell seit über 20 Jahren nicht erneuert worden. Auch der Einsatz heterogener IT-Systeme mit komplexen Benutzerschnittstellen an den

Arbeitsplätzen wurde als veralteter, ineffizienter Ansatz in der Logistik identifiziert und trug zur Lagerdurchlaufzeit von teilweise mehr als 24 Stunden bei.

Die Notwendigkeit für eine Umstrukturierung wurde erkannt und im Jahr 2012 ein übergreifendes Projekt zur Neuorientierung der Logistik für die Sparte Industrie gestartet mit dem Ziel der Errichtung einer schnellen und effizienten Distributionsstruktur, in dessen Kern ein Verbund Europäischer Distributionszentren (EDZ) steht. Das EDZ-Konzept wird bis zur Jahresmitte 2018 umgesetzt sein und den Mittelpunkt einer zukunftsgerichteten Distributionslogistik darstellen.

2. Motivation und Zielsetzung des EDZ-Konzepts

Aus der Situationsbeschreibung resultierten Erkenntnisse zur Gestaltung einer künftigen Distributionsstruktur:

- Oberstes Gestaltungsziel war die Erfüllung der Kundenanforderungen. Dies bedeutete, dass die Laufzeiten von 4-13 Tagen auf 24-48 Stunden komprimiert werden mussten. Allen Beteiligten war klar, dass sich dies nicht durch kosmetische Optimierungen der vorhandenen Prozesse realisieren ließ, vielmehr war eine grundsätzliche Neubetrachtung des Gesamtsystems erforderlich. Gestaltungsgegenstand war der End-to-End-Prozess von der Produktion bis zum Endkunden.
- Daneben galt es, weitere Veränderungen des Kundenverhaltens zu berücksichtigen. So musste das System in der Lage sein, auch Kleinstmengen effizient zu managen, um auch kleinteiligere Auftragsstrukturen abwickeln zu können. Weitere Anforderungen der Kunden, wie etwa ein steigender Anteil an kundenspezifischen Verpackungen und sich aus Kundenwünschen ableitende Kommissionierprozesse, flossen ebenfalls in das Lastenheft ein.
- Vor dem Hintergrund einer zunehmenden Marktdynamik, steigender Komplexität der Anforderungen sowie sich rasant entwickelnder digitaler Technologien sollten die logistischen Prozesse transparent und einfach gehalten werden. Damit sollte zum einen ein jederzeit aktueller Abgleich der Performance mit den Anforderungen ermöglicht und zum anderen die Steuerbarkeit des Systems gewährleistet werden. Beides stellte angesichts der hohen Komplexität des Netzwerks keine einfache Aufgabe dar.
- Die für das Distributionskonzept festgestellten Anforderungen und daraus abgeleitete Lösungen sollten nicht nur für die Gesamtregion Europa Geltung besitzen, sondern im Sinne einer Referenzstruktur auch für alle weiteren Regionen gelten. Daraus leitete sich auch die Notwendigkeit ab, einheitliche Schnittstellen zwischen den Regionen zu konzipieren.

Das zweite große Gestaltungsziel war die Senkung von Logistikkosten, insbesondere hinsichtlich der Betriebs- und Personalkosten der Logistikzentren sowie der Transportkosten. Dabei wurde auch hier der durchgängigen Perspektive, im Sinne der Betrachtung von Total Costs of Ownership (TCO), der Vorzug vor der isolierten Kostenminimierung gegeben. Der Einsatz von modernster Technik auf dem aktuellen Stand der Erkenntnis sowie die konsequente Standardisierung von Prozessen und Equipment waren daher Leitlinien für die Konzeption.

3. Umsetzung des Konzeptes

Die Zerteilung der Zielfunktion – Gewährleistung einer marktkonformen Lieferperformance bei reduziertem Kostenniveau – prägte auch die Konzeption der neuen Distributionsstruktur: Die Anzahl der Versandstellen sollte zugunsten effizienter Prozesse minimiert werden, eine Distribution aus einem zentralen Logistik-Hub in die gesamte Region Europa innerhalb von 24/48 Stunden erschien dennoch nicht stabil. Im Ergebnis wurde eine zwei- bzw. dreistufige Distributionsstruktur gewählt:

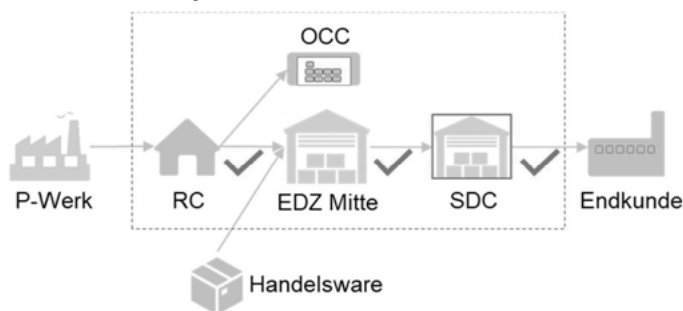


Abb1: Schematische Darstellung des EDZ-Konzeptes

Kundennahe Satellite Distribution Centers (SDC) stellen die kurzfristige Lieferfähigkeit durch kurze Transportwege an den Außenkanten sicher. Lagerhaltig sind hier definierte Artikel mit einer Lieferzeit von 24 Stunden. SDCs wurden in Schweden, Italien und in England positioniert und versorgen damit die Kunden in Nord- und Südeuropa sowie in Großbritannien. Die artikelbezogene Bestandshöhe wird aus dem Bedarf abgeleitet, eine Nachversorgung erfolgt verbrauchsorientiert.

Das Europäische Distributionszentrum Mitte (EDZ Mitte) bildet als Distribution Center (DC) das Zentrum des Distributionssystems. Es dient einerseits dem konsolidierten Nachschub

der SDC und bündelt Bestände zur kurzfristigen Lieferung an die SDC zur Minimierung der dezentralen Lagerhaltung. Zum anderen versorgt es den wichtigen Markt Zentraleuropa und nimmt damit auch die Funktion eines SDC ein. Als Standort für das EDZ Mitte wurde Kitzingen bei Schweinfurt gewählt, wo es im Mai 2018 nach einer Errichtungszeit von gut 1,5 Jahren die Arbeit aufnehmen wird.

Im EDZ Mitte wurden Prinzipien mit Vorbildfunktion für die Warehousing-Strategie des Schaeffler-Konzerns realisiert. Ausgerichtet auf eine hohe Kommissionierleistung und kürzeste Durchlaufzeiten wurden ein vollautomatisches Hochregallager sowie ein hochmodernes AKL-System mit Anbindung an die skalierbaren Pick&Pack-Plätze eingesetzt. 28.000 Paletten- und 96.000 Behälterplätze bilden ein ausreichendes Fundament zur Abwicklung von bis zu 200 LKW-Ladungen am Tag. Generell gilt für das EDZ-Konzept sowie alle Lieferungen die Einführung von Standards im Bereich Produktverpackung und Versandverpackung. Es werden ausschließlich Euro- und halbe Europaletten, KLTs in der Größe 600x400 mm, Zählhilfen in der Größe 300x400 mm sowie ein modular aufgebautes Verpackungssystem verwendet. Auch die Einführung eines GTL (Global Trading Label) und eines ASN (Advance Shipping Notice) bei Anlieferungen sind als Standard gesetzt.

Über das EDZ Mitte in Kitzingen werden alle Ströme von Handelswaren sowie per Cross-Dock-Verfahren Lieferungen kundenspezifischer Artikel (Make-To-Order) geleitet. Die zentrale Vereinnahmung von Handelswaren sowie Konzernwaren aus Übersee erfolgt über die ausschließliche Anlieferung im EDZ Mitte. Dort findet ebenfalls eine konsolidierte Qualitätsprüfung aller Güter statt.

Das Rückgrat der EDZ-Struktur (EDZ Mitte mit den SDC) bildet eine hochmoderne IT-Infrastruktur mit schnellen, ausfallsicheren und benutzerfreundlichen Prozessen, die ohne Papierfluss auskommen. Dazu zählen geführte Prozesse, visualisiert mittels Touchscreen-Monitoren auf Basis von EWM, als Standard für zukünftige Lagersysteme der Schaeffler Group. Ein eigenes EWM-Team kümmert sich um diese Angelegenheit.

Das DC wiederum wird gespeist aus zwei Replenishment-Centern (RC), welche die Waren aus den Produktionswerken aufnehmen und damit einen Puffer (Entkopplungspunkt) zwischen Bedarfs- und Produktionsmengen bilden. Aus dem RC werden dann die neun DC in den Regionen beliefert, sowohl in Europa (EDZ Mitte) als auch die acht DC in der übrigen Welt, wobei eine physische Konsolidierung in einem Overseas-Consolidation Center (OCC)

als logistische Schnittstelle zwischen der Region Europa und den übrigen Regionen, sowohl im In- als auch im Outbound, erfolgt.



Abb.2: Distributionsnetzwerk Europa vor und nach Implementierung des EDZ-Konzepts

Die Planung der Distributionsstruktur wurde begleitet von einer intensiven Überarbeitung der Planungs- und Versorgungsprozesse. So wurden drei Geschäftsmodelle (Make-to-Order, Make-to-Stock und Make-to-Forecast) auf zwei verdichtet (Entfall von Make-to-Forecast), die Nachschublogiken zwischen den Distributionsstufen (InterCompany-Lieferungen) modifiziert, Regelungslücken geschlossen und durch die Erweiterung der Bestands- und Produktionsplanung um logistische Parameter wie Nachschubmengen und -frequenzen sowie den optimalen Bestandshöhen das TCO-Modell umgesetzt. Die Reduktion des Ladehilfsmittelkatalogs sowie die partielle Neukonstruktion von Ladehilfsmittel reduziert Handlingsvorgänge und damit den größten logistischen Kostenfaktor. Kosteneinsparungen ergeben sich zudem durch Bündelungseffekte im Transport sowie durch moderne und energiesparende Technologien, welche die Betriebskosten reduzieren. Auch die Personalkosten werden durch die Neugestaltung positiv beeinflusst. Effiziente Prozesse sowie die Unterstützung eines intelligenten Lagerverwaltungssystems senken die Mitarbeiterkosten.

Auch wenn das EDZ-Konzept erst mit der Inbetriebnahme des EDZ Mitte seine vollständige Wirkung entfalten wird, konnte der Lieferservice an den bereits realisierten Standorten Arlandastadt (Nord) und Carisio (Süd) bereits signifikant über die Zielgröße von 90% gesteigert werden. Parallel dazu wurde auch die „logistische Performance“ der beiden Standorte auf > 99 % erhöht. Ziel ist es, im eingeschwungenen Zustand ab 2020 die vollen Synergien des Gesamtsystems zu realisieren. Für das Jahr 2018/19 ist deshalb eine weitere Steigerung

sowie eine signifikante, parallele Senkung der Logistikkosten geplant. Auch das EDZ Mitte in Kitzingen soll den beiden Satelliten nachziehen und ebenfalls eine „Logistische Performance“ von 99,9 % realisieren.

4. Ausblick

Doch die Umsetzung des EDZ-Konzeptes stellt noch nicht das Ende des Projektes dar. Die Schaeffler Group ist bestrebt, sich kontinuierlich zu verbessern und setzt sich deshalb auch für die nächsten Jahre wichtige, strategische Ziele, um am Markt wettbewerbsfähig zu sein. Mit der Basis, die durch die Europäischen Distributionszentren entstanden ist, können weitere Leistungssteigerungen in der Schaeffler-Logistik durch ein globales Roll-Out erzielt werden. Geplant ist, die gesamte Schaeffler Group sowie die Lieferanten weltweit zur weiterführenden Optimierung sukzessive in das Konzept einzubinden.

Auch das Line-Back-Prinzip ist ein Verfahren, welches in das EDZ-Konzept eingebunden werden soll. Hierbei wird der optimale Einsatz von Ladungsträgern, die von der Produktion bis zur Distribution verwendet werden, analysiert und kann somit bereits beim Lieferanten integriert werden. Dadurch können die Logistikeffizienz und die Prozessqualität noch weiter verbessert werden.

Im Bereich des Wareneingangs sind ebenfalls weiterführende Optimierungsaktivitäten geplant. Robotertechnik kann in der Dekonsolidierung Einsatz finden und so automatisiert eingehende Warenverbunde teilen und weiterleiten. Auch die kundenauftragsspezifische Kommissionierung soll in naher Zukunft ein Roboter übernehmen.

Das EDZ-Konzept ist nur ein Baustein des Projekts iCHAIN, welches den Entwicklungspfad der Schaeffler-Logistik aufzeigt. Mit Hilfe eines umfassenden Change-Managements sollten definierte Ziele erreicht werden und so dem Unternehmen einen entscheidenden Vorteil gegenüber Wettbewerbern verschaffen. iCHAIN steht für eine integrierte Wertschöpfungskette mit flexiblen Standards, welche die Steigerung der Kundenzufriedenheit fokussiert und gleichzeitig die Ressourcen durch optimalen Einsatz ohne Verschwendungen senkt. Schlussendlich wird neben der Distributionslogistik aktuell auch das gesamte Transportmanagement neu gestaltet und durch moderne IT-Systeme durchgängig unterstützt, wodurch Schaeffler weitere Potentiale heben wird.

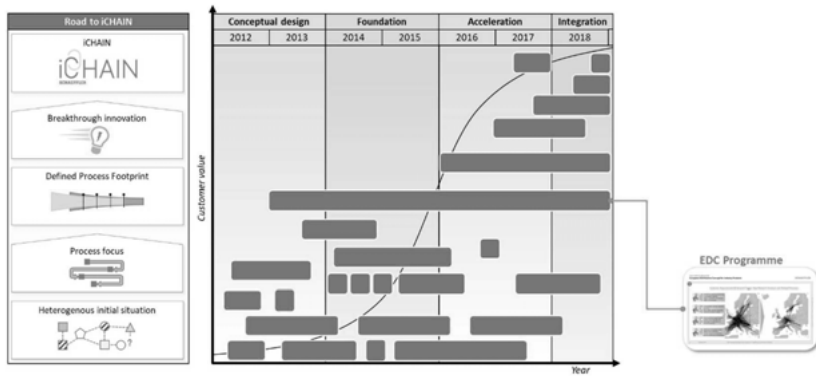


Abb. 3: Einbindung des EDZ-Konzepts in das iCHAIN-Projekt

Vernetzte Planung

Technologien zur Entwicklung individueller Logistiklösungen

M.Sc. **Lars-Boris Böttcher**, SSI Schäfer, Giebelstadt

Kurzfassung

Als Konsequenz der Globalisierung, der Konsolidierung der Märkte und der Notwendigkeit zu automatisieren, werden Logistikzentren immer größer, die Prozesse vielfältiger und die Materialflüsse komplexer.

Wie dem Vorwort des Materialfluss-Kongresses zu entnehmen ist, entscheidet eine funktionierende Logistik über Erfolg oder Misserfolg ganzer Unternehmen. In der Planungsphase werden die Möglichkeiten und Grenzen eines Logistikzentrums festgelegt. Falsche Annahmen und fehlende Informationen führen zu erheblichen Mehrkosten oder Leistungseinbußen.

Maßgeblich für eine aussichtsreiche Planung ist ein ganzheitlicher und transparenter Überblick über alle Prozesse. Dazu müssen große Datenmengen aus unterschiedlichen Quellen kombiniert, analysiert und optisch aufbereitet werden. Der Intralogistikspezialist SSI Schäfer verknüpft nun erstmals Technologien der Business Intelligence (BI) und Visual Analytics und überträgt diese aus dem Kontext der Unternehmenssteuerung in die Projektarbeit und Logistikplanung.

Die Datenstruktur und -qualität sowie die enthaltenen Informationen unterscheiden sich in jedem Projekt, daher muss die Planungsplattform flexibel wie auch einfach zu konfigurieren sein. Hier greift das von SSI Schäfer entwickelte Framework LogiVision, welches Geschäftsdaten der Kunden, Planungsdaten, technische Daten und Simulationsdaten verknüpft, visualisiert und den Anwendern aufbereitet zur Verfügung stellt.

Die Software ist interaktiv, sodass vom Nutzer eigene Filter gesetzt und der Detailgrad der Information frei gewählt werden kann. Dank der Client-Server-Architektur können weltweit alle Projektbeteiligten auf dieselben Informationen zugreifen, eigene Auswertungen generieren und diese teilen. Das Resultat: Objektive Diskussionen und Entscheidungen auf Basis eines ganzheitlichen Bildes führen zu einer erhöhten Planungssicherheit.

1. Anforderungen

Entscheidend für eine erfolgreiche Konzeptplanung ist es, die Vielzahl an Rahmenbedingungen, Prozessen und Materialflüssen übersichtlich darzustellen und im Kontext zu interpretieren. Ohne Datengrundlage können Abläufe nicht dargestellt und die Daten selbst ohne Prozesswissen nicht interpretiert werden. Dieser Beitrag beschäftigt sich ausdrücklich mit logistischen Fragestellungen. Die Rahmenbedingungen zu Gebäudestützen, Statik, Brandschutz und Sicherheitstechnik, Versorgungsräume müssen in der Detailplanung ausgestaltet werden. In der Konzeptplanung werden diese Faktoren auf wenige Parameter, wie die für Logistikanlagen zur Verfügung stehenden Grundflächen und Gebäudehöhen, reduziert.

Die Komplexität der Systeme und folglich ihrer Planung ist in den letzten Jahren stetig gestiegen. Häufig werden in einer Anlage mehr als zehn verschiedene Hauptprozesse parallel bedient. Aus jedem dieser Hauptprozesse ergeben sich Nebenprozesse, zum Beispiel die Leerbehälterver- und entsorgung oder die Pufferung und Sequenzierung. In einer modernen wie flexiblen Logistiklösung existiert nicht mehr nur ein einzelner Lagertyp, sondern verschiedenste Lagertechnologien nebeneinander. Der Austausch zwischen diesen Lagern (Nachschub/ Bestückung, ABC-Verteilung, Auftragsweiterreichung) muss berücksichtigt werden.

Typische Fragestellungen der Konzeptplanung sind:

1. Welche Güter werden gelagert (Paletten, Behälter, Kartons, Sperrgut)?
2. Welche Lagertypen eignen sich (Kanallager, Shuttlelager, manuelle Lager, ...)?
3. Wie viele Stellplätze werden jeweils benötigt?
4. Welche Prozesse gibt es und wie hoch sind die Materialflussanforderungen?
5. Welche Transportsysteme und welche Arbeitsstationen eignen sich?
6. Wie entwickelt sich die Auftragsstruktur des Kunden in der geplanten Laufzeit und welche Auswirkungen hat dies auf die Materialflüsse?

Ist ein erstes Konzept definiert, gilt es, dieses zu analysieren, zu überarbeiten und gegebenenfalls auch wieder zu verwerfen. Die Analyse wächst im Planungsverlauf: Je detaillierter die Prozesse und das Layout werden, desto präzisere Analysen sind möglich.

Vereinfacht lässt sich der Analyseprozess wie folgt darstellen:

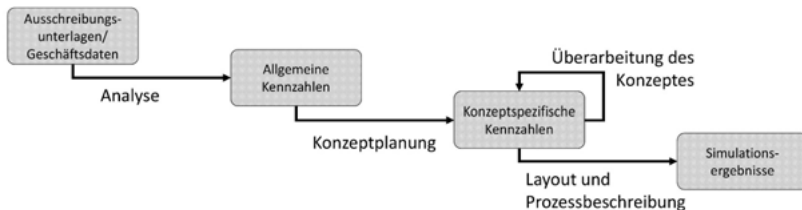


Bild 1: Analyseprozess (vereinfacht)

2. Vernetzte Planung

Wie im vorherigen Abschnitt dargestellt, sind die Anforderungen vielfältig. Dies gilt auch für die Quellen, aus denen die Daten für die Planung stammen:

- Stammdaten der zu lagernden und bewegenden Güter (ERP/ WMS-Export)
- Auftrags- und Bewegungsdaten (ERP/ WMS-Export)
- Planzahlen (z. B. Excel-Auswertungen des Kunden oder Planers)
- Rahmenbedingungen/Prozessbeschreibungen (Ausschreibungsunterlagen)
- Technische Daten (Datenbank Anlagenlieferung)
- Statische Analysen (Datenbank, Excel)
- Dynamische Analysen/Simulation (Datenbank, Excel)

Folgende Grafik veranschaulicht, welche Daten mittelbar (als Regeln) oder unmittelbar in die Analyse eingehen.

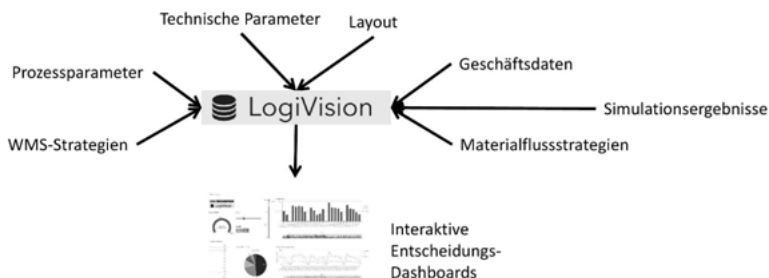


Bild 2: Ein- und Ausgangsdaten LogiVision

Es ist nun die Herausforderung, die Daten in ein einheitliches Format zu überführen und ganzheitlich darzustellen. Dies soll möglichst schnell und effizient (das heißt automatisch und standardisiert) erfolgen.

In der Praxis wird die grundlegende Datenformatierung auf absehbare Zeit ein manueller Prozess bleiben. Für die darauffolgenden Schritte kann jedoch ein Analyseframework genutzt werden, welches die wichtigsten Funktionen standardisiert abdeckt. Folgendes Schaubild bildet den Funktionsumfang des Analyseframeworks LogiVision ab, welches von SSI Schäfer zu diesem Zweck entwickelt wurde:

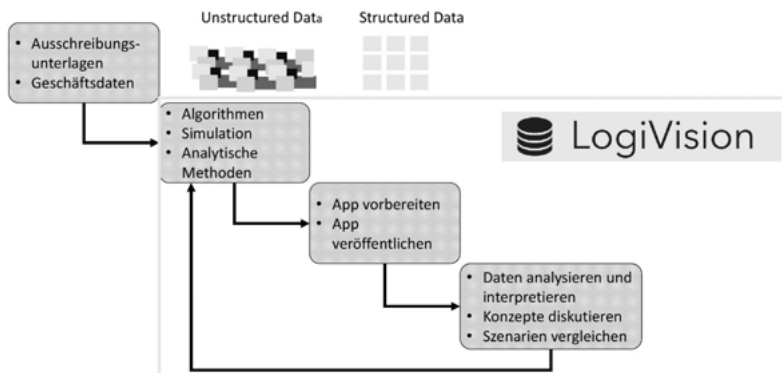


Bild 3: Funktionsumfang LogiVision

Neben der Vernetzung der Daten spielt vor allem die Verbindung aller Planungsbeteiligten eine Rolle. Hier sind zwei Aspekte von LogiVision sehr essentiell: Interaktivität und Client-Server-Architektur. Dank der Interaktivität können sich die einzelnen Nutzergruppen eigene Ansichten und Filter generieren und somit fokussiert auf die für Ihre Thematik wichtigen Ergebnisse zugreifen. Die Client-Server-Architektur verspricht sehr niedrige Einstiegshürden. Es wird keine spezielle Hard- oder Software für die Nutzer benötigt – ein einfacher Webbrowser genügt. Mit der zentralen Plattform arbeiten weltweit alle Nutzer auf demselben Planungsstand und Änderungen sind alle Planungsbeteiligten sofort ersichtlich.

3. Technik

LogiVision ist ein Framework, welches für den Nutzer im Hintergrund läuft. Er ruft alle relevanten Informationen über einen zentralen Zugangspunkt ab. Der einfache Zugang und die intuitive Bedienbarkeit sind wichtige Faktoren für die Softwareakzeptanz bei Anwendern.

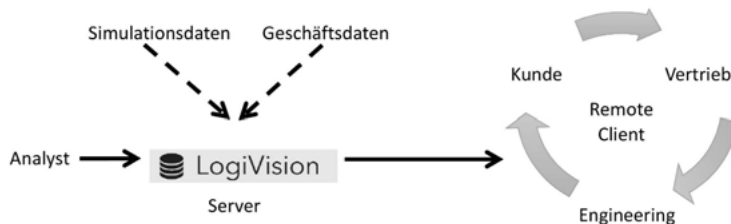


Bild 4: Client-Server Architektur

Die Lösung basiert dabei auf Standardsoftware, im Wesentlichen:

- Datenbanken (MySQL, Oracle)
- Analyseframework (R, SQL)
- BI-Software Plattform (Qlik)
- Simulationstool (Plant Simulation)

Dem Nutzer werden die Daten und Kennzahlen in individuell konfigurierbaren Dashboards präsentiert (siehe Bild 5). Diese Entscheidungs-Dashboards bestehen aus mehreren Elementen:

- Regel- und Filterelemente
- Eingabefelder
- Interaktive Diagramme
- Kennzahlen

Interaktive Diagramme erlauben es dem Nutzer, durch Anwählen von Objekten im Diagramm Filter zu setzen oder sich weitere Details anzeigen zu lassen. Wenn ein Filter oder eine Auswahl getroffen wurde, passen sich automatisch alle Kennzahlen oder Diagramme entsprechend an. So werden logistische Zusammenhänge und Auswirkungen der getroffenen Entscheidungen schnell sichtbar. Der Nutzer hat schließlich die Möglichkeit, Daten in unterschiedlichen Detailtiefen, aus alternativen Blickwinkeln und Zusammenhängen zu untersuchen.



Bild 5: Beispiel Dashboard LogiVision

Die Daten eines Projektes sind mit den Dashboards in einer App verbunden. Das stellt auch die Versionierung sicher. Ergänzend kann ein Analysestand auch in eine PowerPoint-Präsentation oder in ein PDF exportiert und somit dokumentiert werden.

Ein wesentlicher Vorteil ist die Verknüpfung von Daten aus unterschiedlichsten Quellen zu einem ganzheitlichen Bild. Eine App kann mehrere Datenquellen gleichzeitig anbinden und auf Knopfdruck aktualisieren. LogiVision verfügt über einen direkten Zugriff auf ODBC, OLE DB, Excel, diverse native Konnektoren oder auch Web-Daten. In der BI-Plattform werden diese Daten aufbereitet und für Auswertungen in einen mehrdimensionalen Datenwürfel überführt. So können Daten ganzheitlich, effizient und nachvollziehbar als Entscheidungsgrundlage genutzt werden.

4. Bewertung

LogiVision greift die Entwicklungen im BI-Umfeld – weg vom starren Reporting hin zu einem interaktiven Business Discovery – auf und überführt diese ins agile Projektgeschäft. Vergleicht man dies mit der herkömmlichen Planung mit Hilfe von Word-Dokumenten, Excel-Tabellen und PowerPoint-Präsentationen kann man von einer neuen Ära in der Logistikplanung sprechen. Workshops gestalten sich deutlich effizienter, da verschiedene Szenarien ad-hoc dargestellt und diskutiert werden können. Fragestellungen, die bisher vertagt oder in To-do-Listen aufgenommen wurden, können nun sofort beantwortet werden. Das Ergebnis: Entscheidungen werden in wesentlich kürzerer Zeit unter erhöhter Sicherheit getroffen. LogiVision macht

Daten für jeden erlebbar, involviert und stärkt damit das Vertrauen und die Akzeptanz für die Lösung.

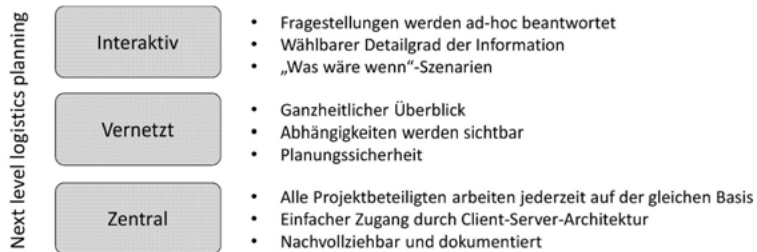


Bild 6: Next level logistics planning

Implementierung eines automatischen Kleinteilelagers bei einem weltweit agierenden Handelsunternehmen im Bereich Motorenersatzteile

Dipl.-Ing. **Jürgen Nowack**, MS Motorservice International GmbH;
Dipl.-Ing. **Mark Vogt**, Aberle GmbH

1. Einleitung

Aufgrund des Wachstums und der angespannten Kapazitätssituation im Zentrallager der MS Motorservice International GmbH bestand die Notwendigkeit, die Lagerkapazitäten bei gleichzeitiger Steigerung der Effizienz beim Kommissionieren der Waren zu erweitern. Hierzu gab es die Möglichkeit, die Lagerkapazität durch einen Neubau zu erweitern oder dieses Ziel durch bessere Ausnutzung des vorhandenen Gebäudes zu erreichen. Nach Gegenüberstellung der Vor- und Nachteile sowie der voraussichtlichen Kosten der unterschiedlichen Varianten fiel die Wahl auf den Ausbau des Bestandsgebäudes durch Implementierung eines automatischen Kleinteilelagers (AKL).

2. Planung des AKL und Auswahl des Anbieters

Die Planung des AKL begann mit der Suche nach einem geeigneten Standort im Bestandsgebäude. Hierzu mussten mehrere Rahmenbedingungen berücksichtigt werden:

- der bestehende Materialfluss sollte möglichst beibehalten werden;
- da der Aufbau des AKL im laufenden Betrieb stattfand, musste untersucht werden, welche Variante welchen Einfluss auf den laufenden Betrieb hat, d.h. wie einfach können Artikel in ein externes Lager verlagert und anschließend die vorhandenen Regale abgebaut werden;
- die vorhandenen brandschutztechnischen Einrichtungen sollten so wenig wie möglich geändert werden müssen.

Nachdem die für die Umsetzung am besten geeignete Variante gefunden war, konnte mit den weiteren Planungen begonnen werden. Die wichtigsten Fragen, die es zu beantworten galt, waren die hinsichtlich der Art der Artikel sowie der jeweiligen Stückzahl, welche im AKL gelagert werden sollen, da hiervon die Dimension und die Anzahl der einzulagernden Behälter abhängt und sich hieraus wiederum die Dimension des AKL und dessen geforderte Leistung ergibt.

Ebenso wichtig war die Entscheidung, welche Technik verwendet werden soll, d.h. ob Regalbediengeräte oder Shuttle zum Einsatz kommen. Aufgrund einer Gegenüberstellung der aktuellen und der prognostizierten Anzahl zu kommissionierender Bestellpositionen und der zu erwartenden Investitionskosten sowie der Gegenüberstellung der Vor- und Nachteile hinsichtlich Verfügbarkeit der Systeme, fiel die Entscheidung zugunsten von Regalbediengeräten aus.

Aufgrund der diversen Schnittstellen (Regalanlage, Regalbediengerät, Fördertechnik in der Regalvorzone inklusive Kommissionierarbeitsplätzen, Steuerungs-software

und Integration der Bestands-Förderanlage) und der zu erwartenden Abstimmungsthemen sollte das Gesamtpaket an einen Systemintegrator vergeben werden. Dies mag gegenüber der Ausschreibung einzelner Komponenten teuer sein, jedoch gibt es für den Auftraggeber bei Problemen nur einen Ansprechpartner, der die Gesamtverantwortung für das Funktionieren des Gesamtsystems trägt und erspart auch eigene Ressourcen sich um die diversen Schnittstellen kümmern zu müssen. Auch für die zukünftige Anlagenbetreuung und den After-Sales-Service ergibt sich somit ein verantwortlicher Partner.



Realisiertes AKL mit RBG

Die Dimensionierung des AKL sowie die Festlegung welches Produkt in welcher Menge einzulagern ist, erfolgte durch eigene Mitarbeiter. Da das Know-how nur eingeschränkt vorhanden war, wurden die Ergebnisse durch eine externe Beratungsfirma verifiziert, welche auch die Ausschreibungsunterlagen vorbereitete und an den Auswahlgesprächen der Anbieter beteiligt war. Ebenso wurde die Abnahme der Anlage nach Fertigstellung durch die externe Beratungsfirma durchgeführt.

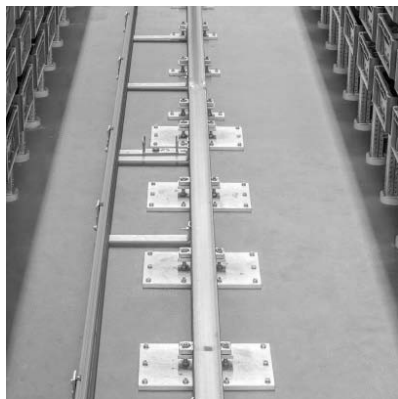
Nach Sichtung der eingegangenen Angebote wurden die Anbieter eingeladen, ihr jeweiliges Konzept vorzustellen, wobei sich hier schon teilweise große Unterschiede zeigten. Ebenso wurde deutlich, dass das Einbinden der externen Beratungsfirma eine gute Entscheidung war, da die Bewertung der vorgestellten Konzepte für einen unbedarften Anwender nur sehr schwer ist. Die endgültige Auswahl wurde dann aufgrund der folgenden Faktoren getroffen:

- vorgestelltes Konzept
- Projekt-Zeitplan
- Investitionskosten
- Auftreten des Anbieters während der Auswahlgespräche

Den Zuschlag erhielt am Ende die Firma Aberle GmbH aus Leingarten.

3. Realisierung

Direkt nach der Vergabe wurden Workshops durchgeführt und das Lastenheft wurde in das Pflichtenheft überführt. Gleichzeitig wurden Vertreter der jeweiligen IT-Bereiche hinzugezogen, da die IT-Schnittstellen sowie der Datenaustausch zwischen dem hauseigenen SAP-System und dem Lagerverwaltungsprogramm der Firma Aberle GmbH definiert werden mussten.



Fahrschiene mit Zusatzblechen am Boden

Parallel hierzu musste geprüft werden, ob durch die Installation des AKL bauseitig Veränderungen notwendig sind. Es stellte sich heraus, dass der Hallenboden hinsichtlich der dynamischen Belastung bei Pufferfahrt eines Regalbediengerätes nicht ausreichend dimensioniert ist, weshalb Lösungsvorschläge seitens der Firma Aberle GmbH erarbeitet werden mussten, welche eine Realisierung trotz dieser Rahmenbedingung ermöglichte.

Des Weiteren musste zur Einbringung der Regalbediengeräte jeweils eine Dachöffnung über der jeweiligen Regalgasse realisiert werden. Dies war notwendig, da die Regalbediengeräte nicht durch die vorhandenen Rolll Tore eingebracht werden konnten, ohne den laufenden Betrieb zu beeinträchtigen, zumal auch noch fest installierte Anlagen den -Zugang blockierten.

Da sich die Installation des AKL auch auf den Brandschutz auswirken kann, wurde ein vor Ort Termin mit dem VdS (Verband der Sachversicherer) vereinbart, welcher Nachbesserungsbedarf aufzeigte. So mussten nicht nur die bereits bei der Planung berücksichtigten

Regalsprinkler installiert, sondern auch die Löschwasserversorgung angepasst werden. Die Fachfirma, die mit der Installation der Sprinkleranlage beauftragt wurde, musste ebenfalls im Projekt-Zeitplan Berücksichtigung finden, da der Einbau der Sprinkleranlage Hand in Hand mit der Errichtung der Regalanlage einhergehen muss.



Kommissionierarbeitsplatz

Das größte Problem bei der Realisierung des AKL war die Lärmbelästigung der Mitarbeiter. Obwohl sehr lärmintensive Arbeiten am Wochenende stattfanden, war dennoch ein permanenter Geräuschpegel vorhanden.

Bei der Planung der Kommissionierarbeitsplätze wurden die Mitarbeiter zu einem sehr frühen Zeitpunkt mit eingebunden, so dass diese den Arbeitsplatz hinsichtlich Ergonomie und persönlicher Präferenzen soweit möglich mitgestalten konnten, was zu einer hohen Akzeptanz des AKL geführt hat.

4. Go-Live

Vor dem eigentlichen „Go-live“ wurde das System AKL zuerst verschiedenen Tests (z.B. Funktions- und Leistungstest) unterzogen und auftretende Fehler beseitigt bzw. erforderliche Optimierungen durchgeführt. Einem ersten Härtetest wurde das AKL unterzogen, als der Inhalt des vorhandenen Fachbodenhochregallagers innerhalb von 5 Arbeitstagen in das AKL umgelagert wurde. Auch hierbei wurden auftretende Fehler direkt beseitigt, und die Mitarbeiter konnten intensiv an den jeweiligen Arbeitsplätzen geschult und in der Fehlerbeseitigung unterwiesen werden.

Trotz der intensiven Tests im Vorfeld kam es beim „Go-live“ zu Problemen, da das Gesamtsystem bis dahin lediglich beim Einlagern seine volle Leistung zeigen musste. Jetzt verlagerte sich die Anforderung an das AKL verstärkt auf die Auslagerungen und es zeigte sich, dass die Mitarbeiter weitaus schneller kommissionierten, als das System Behälter zum Kommissionieren zur Verfügung stellen konnte, obwohl es seine technische Leistungsgrenze bei weitem noch nicht erreicht hatte. Änderungen bei der Auslagerlogik sowie Anpassungen an der Steuerungssoftware der Fördertechnik der Regalvorzone sorgten hier für Abhilfe.

Die Realisierung des Projektes erfolgte in nur rund 8 Monaten von der Auftragserteilung Ende April 2015 bis zum „Go live“ im Dezember 2015. Nach Räumen der Flächen im August 2015 konnte mit der Montage der Regalanlage begonnen werden.

5. Erfahrungen

Das Projekt hat gezeigt, wie wichtig das Lastenheft sowie die zeitliche und umsetzungstechnische Planung waren. Ebenso war der frühzeitige intensive Austausch der jeweiligen IT-Bereiche dem Projekterfolg förderlich.

Auch die frühzeitige Einbindung der Mitarbeiter führte dazu, dass sich diese schnell mit dem AKL identifizierten, so dass heute kleinere Störungen an den RBG oder an der Fördertechnik von den Mitarbeitern selbst ausgeführt werden. Die Stillstandzeiten der Anlage beschränken sich so auf nur wenige Minuten im Monat. Sollten Störungen auftreten, die von den Mitarbeitern nicht behoben werden können, steht eine Hotline zur Verfügung. Die Firma Aberle GmbH kann sich über Fernwartung mit der Anlagensteuerung verbinden und die Ursache für die Störung lokalisieren. Die Störung kann dann entweder direkt über die Fernwartung (Software) oder über unsere Mitarbeiter selbst, ansonsten über den technischen Außendienst der Firma Aberle GmbH behoben werden.

Trotz sehr guter Vorbereitung und intensivem Testen muss mit Anlaufschwierigkeiten gerechnet werden. Eine zeitliche Vorgabe kann hier nicht gegeben werden, da es auf die Komplexität der Anlage ankommt. In unserem Fall waren die Hauptprobleme nach ca. 2 Monaten gelöst.

100 Tage Projekte: Innovation und Digitalisierung als Teil der Unternehmensstrategie

Einfach mal machen!

V. Claessens, Dipl.-Inf. **A. Witt**,
BLG Handelslogistik GmbH & Co. KG, Bremen

1. Kurzfassung

Steigende Komplexität, hoher Individualisierungs- und Spezialisierungsgrad und hoher Kostendruck sind die von extern an das Logistikunternehmen herangetragenen Anforderungen. Dazu kommen unternehmensinterne Herausforderungen, wie der Umgang mit dem zunehmenden Datenvolumen, die Komplexität einer heterogenen IT-Landschaft als auch die Qualifizierung der Mitarbeiter. In diesem Umfeld gilt es den digitalen Wandel zu gestalten. Die Geschwindigkeit mit der sich aktuell die Logistikwelt verändert, hat BLG LOGISTICS dazu veranlasst, ein ganzheitliches Konzept zum Thema Innovationen und Digitalisierung zu suchen und es zu einem wesentlichen Bestandteil des Tuns und Wirkens werden zu lassen.

Drei Aspekte haben dabei besonders zum Erfolg des ganzheitlichen Digitalisierungskonzeptes beigetragen:

1. Räumlichkeit – Einrichten eines Kreativlabors, um kreatives Arbeiten zu fördern und neue Methoden kennenzulernen
2. Geschwindigkeit – in 100 Tage-Projekten testet die BLG marktreife Technologien für ihre Logistikprozesse. Dem interdisziplinären Projektteam stehen maximal 100 Kalendertage zur Verfügung.
3. Das Mitnehmen von Mitarbeitern, Kunden und Partnern als Bestandteil des Gesamtkonzeptes

Mit den 100-Tage-Projekten gelingt es, marktreife Technologien schnell ins Unternehmen zu bringen und ihre Praxistauglichkeit zu untersuchen. Das Kreativlabor der BLG, das DigiLab, im Neustädter Hafen in Bremen ermöglicht eine andere Form des Arbeitens und erfreut sich nach einem Jahr Betrieb mit großer Beliebtheit bei Internen als auch Externen.

Das Prinzip ***"Betroffene zu Beteiligten machen"*** ist nach wie vor einer der entscheidendsten Erfolgsfaktoren in Veränderungsprozessen und so auch in der digitalen Transformation. Denn die digitale Transformation bezeichnet einen fortlaufenden, in digitalen Technologien begründeten Veränderungsprozess, der die gesamte Gesellschaft und insbesondere Unternehmen betrifft [3].

2. Das Unternehmen

Die BLG LOGISTICS GROUP AG & Co. KG hat ihre Kernkompetenzen in der Automobil-, Kontrakt- und Containerlogistik. In diesen drei Geschäftsbereichen bietet die Unternehmensgruppe vollstufige logistische Systemdienstleistungen an. Zu den Kunden zählen die führenden Automobilhersteller ebenso wie starke Marken aus dem Handel. Die Wurzeln der BLG reichen bis in das Jahr 1877 zurück. Heute ist BLG LOGISTICS ein wachsendes Unternehmen, das sich zu einem global agierenden Logistiker mit Aktivitäten an über 100 Standorten in Europa, Amerika, Afrika und Asien entwickelt hat. Einschließlich aller Beteiligungen bietet die Unternehmensgruppe gegenwärtig rund 18.000 Arbeitsplätze weltweit.

3. Einleitung

Dass mit dem Thema Digitalisierung massive Veränderungen einhergehen, ist den meisten Menschen bewusst. Auch ist dabei spürbar, dass sich ein gewisser Druck aufbaut, dass der Mensch sich verändern und anpassen muss. Die Digitalisierung unseres Alltags, unserer Lebens-, Arbeits- und Geschäftsroutinen bedeutet einen epochalen Einschnitt. Fachleute sprechen von „disruptiven Technologien“. Eine disruptive Technologie (engl. disrupt = unterbrechen) ist eine Innovation, die das Potenzial hat, eine bestehende Technologie, Dienstleistung oder ein Produkt vollständig zu verdrängen. So macht downloadbare Musik physische Tonträger wie CDs überflüssig, Wikipedia ersetzt gedruckte Enzyklopädien und das Mobiltelefon hat die klassische Telefonzelle überholt. Anders als früher brauchen Innovationen mittlerweile kein riesiges Startkapital mehr. „Netflix bringt Fernsehsender und Filmproduzenten zum Wanken, Tesla rüttelt an den Thronen der alteingesessenen Automobilbauer und Uber bringt Taxifahrer auf der ganzen Welt zum Schwanken. Das ist Aufbruch, das ist Veränderung. Und meist kommen die Zerstörer des Bestehenden eben nicht aus den eigenen Reihen, sondern aus dem toten Winkel. Hier kämpfen nicht Erzrivalen gegeneinander; sondern der Underdog gegen den

Platzhirsch“, brachte es die Redakteurin Melanie Feldmann im Fachmagazin Business Technology auf den Punkt [1]. Umso wichtiger ist es, nicht Zuschauer zu sein, sondern die vierte industrielle Revolution aktiv mit voranzutreiben. Was ist aber der richtige Ansatz das Thema anzugehen? Was braucht es, um erfolgreich zu sein? Was heißt erfolgreich sein hinsichtlich der digitalen Transformation? In welcher Höhe sind die Investitionskosten und welche Konsequenzen entstehen, wenn nicht gehandelt wird.

4. Herausforderungen für den Logistikdienstleister

Die Anforderungen an ein Unternehmen mit einem breitgefächerten Leistungsportfolio in dem Logistiksektor sind extrem hoch. Mit der Produktvielfalt und Konfigurationsmöglichkeiten für den Verbraucher steigt in den logistischen Prozessen die Komplexität, um die Anforderungen entsprechend umzusetzen. Demgegenüber steht der hohe Kostendruck für den Logistiker, seine Dienstleistung aufgrund des hohen Wettbewerbs günstig auf dem Markt anzubieten. Auf den Punkt gebracht: der Kunde erwartet mehr Leistung, die Kosten müssen reduziert - maximal konstant - bleiben. Darüber hinaus sind unternehmensinterne Herausforderungen wie der Umgang mit zunehmenden Datenvolumen und einer heterogenen IT-Landschaft mit diversen IT-Schnittstellen ebenfalls zu berücksichtigen. Eine wesentliche Rolle hierbei spielt auch die Qualifizierung der Mitarbeiter, denn das Zusammenspiel von Mensch und Maschine sowie ein intuitiver Umgang mit IT wird heute als auch künftig darüber entscheiden, wie erfolgreich ein Unternehmen in der digitalen Transformation sein wird.

Teilweise sind die Anforderungen in der Logistikbranche nichts Neues, ein guter Logistiker optimiert seine Prozesse kontinuierlich, denn der Wettbewerbsdruck war und wird weiter hoch sein. Mit den Themen Digitalisierung und Innovationen beschäftigt sich BLG LOGISTICS bereits seit längerer Zeit an verschiedenen Stellen der Organisation. Doch die Geschwindigkeit mit der sich aktuell die Logistikwelt verändert, hat die BLG dazu veranlasst das Handeln zu reflektieren und auf die Veränderungsgeschwindigkeit der Logistik auszurichten.

5. Einfach mal machen

Zur digitalen Transformation gibt es mittlerweile diverse Vorgehensmodelle auf dem Markt, die versuchen, einem die Entscheidung abzunehmen, wie man sich dem Thema Digitalisierung und Innovationen nähert. Oft werden die besten Ideen und Ansätze im Keim erstickt, bevor sie eine Chance hatten, sich zu beweisen.

Im ersten Schritt hat BLG LOGISTICS Ende 2016 ein interdisziplinäres Innovationsteam gebildet, das für die systematische Planung, Steuerung und Kontrolle von Innovationen innerhalb des Unternehmens verantwortlich ist. Es setzt sich im Kern aus denjenigen zusammen, die sich bereits federführend mit technischen Neuerungen und Themen der Digitalisierung und Automatisierung innerhalb des Unternehmens beschäftigen. Gemeinsam mit den Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Fachbereiche werden unter anderem die Themenfindung und Ideengenerierung rund um Digitalisierung und Industrie 4.0 zentral koordiniert. Eine wesentliche Aufgabe des Teams ist die Schaffung von Transparenz der bereits erfolgreich umgesetzten, als auch laufenden Digitalisierungsaktivitäten im Unternehmen.

Netzwerken und Transparenz

– ein wesentlicher Erfolgsfaktor

In einer Art „Innovation Community“ sollte der Austausch rund um Innovationen untereinander im Unternehmen, als auch mit Partnern und Kunden fokussiert werden. Schwarmintelligenz anstelle einer dedizierten Abteilung. Jeder im Netzwerk soll das „Ohr auf der Schiene haben“: innovative Technologien, smarte Lösungen, interessante Trends in der Logistik als auch spannende (Start-Up)-Unternehmen sollen ins Netzwerk eingebracht werden. Neue Ideen sollen so schnell und effizient diskutiert und auf den Weg gebracht werden.

Moderner Think Tank „DigiLab“

– nah am Unternehmen, kreatives Arbeiten und Üben von neuen Methoden

Das DigiLab der BLG im Neustädter Hafen schafft durch seine freche Raumaustattung mit bunten Wänden, großen Whiteboards, vielen Metaplanwänden und Palettenmöbeln eine Arbeitsatmosphäre, die vergleichbar mit einem Co-Working-Space der Startup-Szene ist. In den Arbeitsbereichen bietet das DigiLab den Digitalisierungsprojekten Platz für ein gemeinsames Arbeiten. In dem Kreativbereich soll die Arbeitsumgebung dazu beitragen, vom Bestehenden loslassen zu können und neuen Gedanken freien Lauf zu lassen.

Im gesamten DigiLab der BLG ist das Mobiliar auf Bewegung ausgerichtet, während eines Workshops kann das Team unterschiedlichste Sitz- und Stehgelegenheiten wahrnehmen: Tische lassen sich schnell verschieben, Stühle haben wackelige Sitzflächen und kleine Gymnastikbälle für die Hände sind perfekt abgestimmt, um durch Bewegung zu stimulieren. Wie Agnes Boos in ihrem Beitrag „Bewegung und Gedächtnis“ in dem Buch „Gedächtnistraining“ beschreibt, ist Bewegung, Lernen und Aktivität direkt miteinander verknüpft. Sie bezieht sich dabei auf die Aussage von Stammzellforscher Kempermann (2008), dass es wichtig ist, dass

körperliche mit geistiger Aktivität einhergehen sollte, um das Gehirn für Neues offen zu halten«[1].



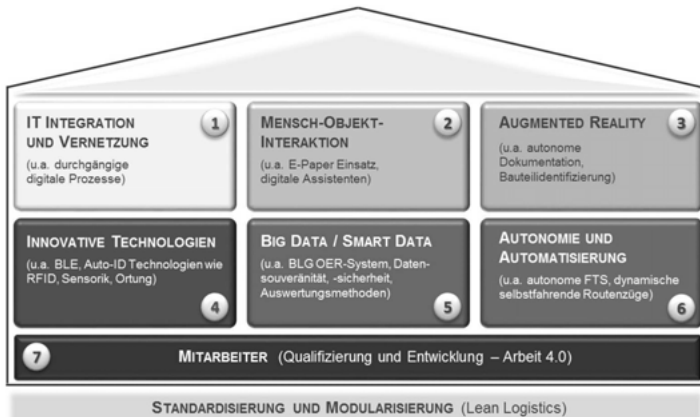
Bild 1: Kreativität braucht Raum: Das Think Tank der BLG, das DigiLab liegt im Neustädter Hafen in Bremen

Leitplanken für die Inhalte

– sieben Bereiche schaffen ein inhaltliches Cluster für Digitalisierungsaktivitäten

Zur Strukturierung der Digitalisierungsaktivitäten dient bei der BLG ein Themencuster mit sieben Schwerpunktbereichen. Neben der Gruppierung der technologiefokussierten Schwerpunkte ist der Bereich „Mitarbeiter“ von besonderer Bedeutung. Hier geht es um Befähigung und Qualifizierung der Mitarbeiter in der sich verändernden Arbeitswelt.

Innovation@BLG: Themencluster Überblick



Das Handeln im Fokus und die permanente Reflexion des Tuns

– ein lernender Prozess mit internen und externen Playern sichert die Innovationskraft und Qualität der Ergebnisse

Der Innovationsprozess bei der BLG lässt sich sehr simpel darstellen: ein Trendradar, der sich aus Markt- und Technologieaspekten zusammensetzt, stellt unterschiedliche Impulse zusammen, die für das Unternehmen relevant sind. In Kreativworkshops werden systematisch diverse Ideen generiert und bewertet, die dann in unterschiedlichen Projekt-Formaten in die Umsetzung gehen.

Die sogenannten 100-Tage-Projekte stellen dabei das „Schnellboot“ dar, um Themen innerhalb von 100 Kalendertagen unter die Lupe zu nehmen. Mit dem Ansatz des „Minimum Viable Product“ (kurz MVP) wird versucht, ein Produkt mit den minimalen Anforderungen und Eigenschaften zu kreieren und damit möglichst schnell Feedback durch den Kunden zu erhalten - wobei ein Kunde durchaus auch intern sein kann. Fokus der 100-Tage-Projekt liegt auf markt-reifen Technologien, die aktuell erwerbbar sind. Bewährt sich eine Technologie oder ein Produkt, wird dies in einem operativen Projekt in den Betrieb überführt. In den 100-Tage-Projekten wird in der Regel mit Partnern zusammengearbeitet. Diese Partner sind häufig junge Unternehmen, die meist die Technologie beisteuern. Zusammen mit Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern aus den jeweiligen Fachabteilungen entsteht so ein interdisziplinäres Projektteam, das die

Einsatzmöglichkeiten neuer Technologien schnell ausloten und umsetzen kann. In den Projekten wird meist auf agile Methoden wie Kanban oder SCRUM zurückgegriffen. Auf einen deutlich längeren Umsetzungszeitraum sind die Forschungsprojekte bei der BLG ausgelegt. Hierbei ist es wichtig, zukunftsweisende Technologien und Entwicklungen aktiv mitzugestalten. So unterschiedlich die Projekte durchgeführt und abgewickelt werden, eins haben sie gemeinsam: Nach dem Projekt ist vor dem Projekt. Denn erfolgreich in der digitalen Transformation mithalten zu können bedeutet sich kontinuierlich zu messen und zu überwachen, um sich zu verbessern.

Mitnehmen von Mitarbeitern, Kunden und Partnern

– als Bestandteil des Gesamtkonzeptes

Digitale Transformation kann nur gelingen, wenn der Veränderungsprozess auch als echter Changeprozess verstanden und entsprechend gesteuert wird. Der Einsatz von Technologie kann lediglich die Voraussetzungen schaffen. Wenn jedoch die Digitalisierung im Unternehmen einen messbaren Mehrwert erzeugen soll, müssen Führungskompetenzen als auch Einstellung und Verhalten der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sich verändern. Und dies gelingt nur, wenn die Menschen an den Veränderungsprozess beteiligt sind.

Scheitern-Erlaubt-Kultur

– „Fast Failure-Kultur“

Um mit der Digitalisierungsgeschwindigkeit mithalten zu können, ist die Implementierung einer Innovations- und Fehlerkultur von großem Vorteil, die Test und Lern-Mentalität mit schnellem aber kosteneffizientem Scheitern fördert.

6. Ein Auszug aus den Ergebnissen der Digitalisierungsaktivitäten bei der BLG

Eine bereits auf dem Markt verfügbare und für die Logistik attraktive Technologie stellen Drohnen dar. Die unbemannten Kleinfluggeräte stellen für die Logistik ein großes Potential in der Zukunft dar.



Bild 2: Das „Auge aus der Luft“ unterstützt bei der Inventur im Blocklager am BLG-Standort Emmerich in Emmerich

Drohnen unterstützen bei der Inventur im Blocklager am BLG-Standort Emmerich. Der Blick auf die Ware von oben beschleunigt den Zählvorgang, erleichtert Suchvorgänge und lässt die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter ihre Arbeit vom Boden aus erledigen. Für diese Anwendung wurde BLG LOGISTICS im Frühjahr 2017 der „elogistics Tool Award“ vom AKJ Automotive verliehen. Vehikel für die Umsetzung war hier ein 100-Tage-Projekt. Neben der Hardware-Auswahl wurden neue Prozesse definiert, Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter zu Drohnenpiloten zertifiziert als auch im Zuge des Drohneneinsatzes arbeitssicherheitsrelevanten Maßnahmen umgesetzt. Das Projektteam hatte genau 100 Kalendertage Zeit, diese Aktivitäten erfolgreich durchzuführen. Neben dem Indoor-Einsatz erprobte die BLG mit den Drohnen die Perimeter-sicherung bundesweit, erstmals in Deutschland im Hafenbereich.

Dass die BLG als Logistikunternehmen mit langer Tradition immer wieder etwas Neues wagt, hat das Unternehmen in Frankfurt eindrucksvoll unter Beweis gestellt. Gemeinsam mit dem Kunden engelbert strauss hat die BLG, als erstes Unternehmen in Europa, ein robotergestütztes Lager- und Kommissioniersystem an den Start gebracht – ein Beispiel für die erfolgreiche Umsetzung von Industrie 4.0. Für diesen Mut gab es 2015 den Deutschen Logistik-Preis und

im April 2016 den Europäischen Logistikpreis, verliehen von der European Logistics Association (ELA).

Eine weitere innovative Technologie, der Scannerhandschuh, kommt an verschiedenen Standorten der BLG zum Einsatz. Ziel ist es, mithilfe eines in den Handschuh integrierten Scanners eine Kommissionierung zu erreichen, bei der beide Hände frei sind. Die Vorteile: Schnelleres Arbeiten und hoher Tragekomfort.

Auch die Verwendung von Exoskeletten ist ein wichtiges Thema, dem sich die BLG annimmt. Trotz der Verbreitung von fest installierter Fördertechnik und Flurförderzeugen, sind anstrengende manuelle Tätigkeiten immer noch ein großer Teil der Leistungserbringung in der Logistik. Um Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter zu entlasten, hat es sich die BLG gemeinsam mit dem Deutschen Institut für künstliche Intelligenz und der YOUSE GmbH zur Aufgabe gemacht, ein praxistaugliches, kraftunterstützendes System für die Logistik zu konzipieren. Aktuell testet die BLG die derzeit schon verfügbaren passiven Exoskelette auf ihre Einsatzmöglichkeiten.

Diese und viele andere innovative Themen werden im Rahmen der Digitalisierungsmaßnahmen bei der BLG angegangen, aber auf dem Weg zur digitalen Transformation ist noch viel zu tun. Daher stehen die Türen offen für innovative Ideen und kreative Köpfe, die die Digitalisierung in der Logistik beschleunigen wollen.

<https://www.blg-logistics.com/de/unternehmen/digitalisierung>

- [1] Bewegung und Gedächtnis, Agnes Boos
- [2] Fachmagazin Business Technology, Melanie Feldmann
- [3] https://de.wikipedia.org/wiki/Digitale_Transformation

Wer repariert die Systeme von morgen?

Die Herausforderungen an das Serviceumfeld von autonomen Logistiksystemen

Dr.-Ing. **Ralf Kleedörfer**,
LINDIG Fördertechnik GmbH, Krauthausen/Eisenach

1 Kurzfassung

In Zukunft werden aufgrund der demographischen Entwicklung und des verstärkten (internen) Warenverkehrs vermehrt Fahrerlose Transport Systeme (FTS) in der Industrie eingesetzt. Für das erfolgreiche Betreiben dieser komplexen, autonomen Systeme ist ein effektiver Service unabdingbar. Aufgrund der eingesetzten, innovativen Technologien verändern sich die Anforderungen an den Service dramatisch, da die heute eingesetzten Stapler und Lagertechnikfahrzeuge eine andere Komplexität aufweisen. FTS und mobile Roboter sind mit Technologien (Navigation, Sicherheitssysteme, Kommunikationsmodule, etc.) ausgerüstet, die im Servicefall einen komplett veränderten Diagnose- und Reparaturprozess nach sich ziehen. Dadurch verändern sich auch die fachlichen und methodischen Anforderungen an das Servicepersonal, das bis heute eine stark mechanisch geprägte Ausbildung durchlaufen hat. Vorgestellt und diskutiert wird der Unterschied zwischen den herkömmlichen Flurförderzeugen und autonomen Systemen und das daraus resultierende Spannungsfeld zwischen dem Profil des Personals heute und die erforderlichen Fähigkeiten für den Service morgen. Hieraus lassen sich Anforderungen an die FTS und die modernen Werkzeuge im Service ableiten.

2 Vergleich der herkömmlichen Systeme mit den FTS

Die Entwicklungen im E-Commerce und die Veränderungen im Produktionsumfeld hin zur Losgröße 1 bedingen eine Zunahme der Warenbewegungen und dem Trend zu kleineren Traglasten. Dies ist insbesondere auch bei der Stückzahlentwicklung der Mitgänger-Fahrzeuge zu erkennen. (s. Bild 1). Hier ist ein über mehrere Jahre höhere Steigerung gegenüber dem Gesamtmarkt zu verzeichnen. Verbunden mit dem Arbeitskräftemangel (s. auch BVL 2017) ergibt sich daraus ein Spannungsfeld, das die Entwicklung der FTS beschleunigt. Aus diesem Grund wird für die kommenden Jahre ein deutlicher Anstieg bei den autonomen Systemen zu verzeichnen sein (s. auch ULLRICH 2016).

2.1 Die Unterschiede der Produktstruktur

Betrachtet man die Baustruktur der verschiedenen Systeme, so wird deutlich, dass bei einem FTS neben den klassischen Strukturen eines Flurfördergerätes zusätzliche Subsysteme und Bereiche erforderlich sind. Neben den mechanischen bzw. elektromechanischen Modulen Motor, Antrieb, Lenkung, etc. sind beim FTS weitere Einheiten und auch Ebenen vorhanden (s. Bild 2). Neben der für die Navigation erforderlichen Hard- und Software, die auch die Sicherheitssysteme mit beinhalten, werden Systeme für die Warenerkennung, Kommunikationsmodule und ein übergeordnetes Steuermodul für den autonomen Betrieb des FTS benötigt. Bei Systemen mit zusätzlichen Navigationshilfen (Reflektoren, Induktive Spurführungen o. ä.) besteht ein fahrzeugexternes System, das in den Service mit integriert werden muss. Darüber hinaus läuft auf einer weiteren Ebene die Auftragsvergabe bzw. Überwachung durch eine externe Software. Die zuletzt genannten Systeme müssen mit serviciert und im Fehlerfall ggf. mit in die Diagnose einbezogen werden. Durch die zusätzlich eingesetzten Technologien entstehen für den Servicetechniker neue Anforderungen an seine Tätigkeiten bzw. seinen Kenntnissen.

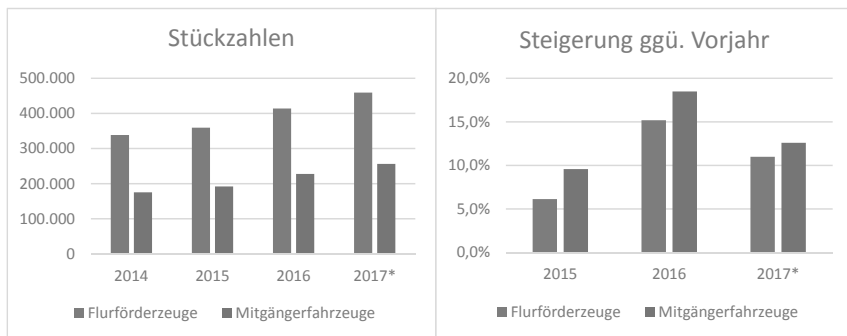


Bild 1: Die Stückzahlentwicklung für alle Flurförderzeuge bzw. Mittgängerfahrzeuge (Abgesetzte Fahrzeuge nach FEM 2017; * Hochrechnung für 2017)

Bei genauerer Betrachtung erkennt man, dass in den zusätzlichen Modulen Technologien verbaut sind, die bei herkömmlichen Flurförderzeugen nicht oder nur sehr selten vorkommen. 2D und 3D Laserscanner, Ultraschall-Module, WLAN-Kommunikation, Datenbank- und PC-Installationen sind Felder, in denen das Servicepersonal weder über Erfahrungen noch eine adäquate Ausbildung verfügen.

2.2 Die Unterschiede im Serviceaufwand

Analysiert man die Serviceeinsätze an FTS in der Praxis, so erkennt man eine Veränderung bei der Verteilung der einzelnen Serviceeinsätze der Reparaturen (s. Bild 3). Die Veränderungen sind u. a. darauf zurück zu führen, dass Ausfälle im FTS seltener auftreten bzw. durch die übergeordnete FTS-Steuerung verursacht werden.

Eine Ursache dafür ist der deutlich „sanftere“ Einsatz des FTS. Die Fahrzeuge werden aufgrund der gesetzlichen Bestimmungen in einem geringeren Geschwindigkeitsbereich eingesetzt. Darüber hinaus sind die Fahrzeuge so programmiert, dass der Betrieb in den Grenzbereichen (Beschleunigung, Bremsen, etc.) vermieden wird. Hinzu kommt, dass der Missbrauch des FTS nahezu ausgeschlossen ist und deshalb verstärkter Verschleiß bzw. Gewaltschäden nur im geringen Umfang auftreten.

Relativ gesehen nehmen allerdings Gewaltschäden zu. Die Ursache dafür liegt in der Navigationseinrichtung, die primär für die Erkennung von Menschen ausgelegt ist. Dazu wird durch einen Laserscanner der umliegende Bereich auf der Höhe eines Unterschenkels überwacht. Gegenständen, die nicht in dieser Höhe liegen, werden „übersehen“ und können demnach mit dem FTS kollidieren. Dieser Effekt kann auch bei überstehenden Gegenständen auf dem Warenträger auftreten. Schließlich sind auch Schäden durch Unfälle mit anderen Flurförderzeugen, zu verzeichnen. Dabei wird i. d. R. das FTS durch andere Flurförderzeuge angefahren.

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Herkömmliches Flurförderzeug <ul style="list-style-type: none"> • Motor • Antrieb • Lenkung • Rahmen • Arbeitsplatz / Bedienelemente • Hubvorrichtung • Hydraulik • Energieversorgung • Elektrik • Steuerung (Fahren/Heben) | <ul style="list-style-type: none"> • FTS <ul style="list-style-type: none"> • Motor • Antrieb • Lenkung • Rahmen • Arbeitsplatz / Bedienelemente • Hubvorrichtung • Hydraulik • Energieversorgung • Elektrik • Steuerung (Fahren/Heben) • Autonome Steuerung • Sicherheitseinrichtung • Lokalisierung/Navigation • Warenerkennung • Kommunikation extern • Auftragssteuerungseinheit (Software) • (Externe Navigationshilfen) |
|---|---|

Bild 2: Die Unterschiede in den Strukturen am Beispiel eines Flurförderzeugs und FTS¹

2.3 Die Unterschiede im Serviceprozess

Ein Unterschied in den Serviceprozessen liegt in der Inbetriebnahme beim Kunden. Während bei einem herkömmlichen Flurförderzeug in der Regel nur eine kurze Einweisung bzw. Sicherheitsunterweisung erforderlich ist, gestaltet sich die Inbetriebnahme der FTS deutlich komplexer. Sieht man vom zusätzlichen Aufwand für die Installation spurgeführter FTS und Systeme mit Reflektoren oder Magneten in den Hallen ab, teilt sich die Inbetriebnahme in zwei Bereiche auf: in die technische Installation und Einweisung.

Entscheidend für eine spätere hohe Leistung und Verfügbarkeit des Systems ist die Aufnahme der Ist-Situation und Routenplanung bei der Installation. Aufgrund der Komplexitäten beim Mapping, der Einrichtung der einzelnen Übergabestationen und ggf. die Festlegung von Regeln (für Prioritätenvergabe etc.) wird dieser Schritt heute von Technikern mit einer Ausbildung im IT Bereich übernommen.

Für die Einweisung des Personals sind je nach Ausprägung des FTS neben der klassischen Bedienung eines Flurförderzeugs, auch die Bedienung der Schnittstellenfunktionen (Absen-

¹ Das FTS ist hier als Kombination aus einem Basisgerät (Standard-Mitgängerfahrzeug) mit entsprechenden Erweiterung für das autonome Fahren, zu verstehen.

den eines Fahrzeugs, manuelle Aufnahme und Abgabe der Ware, Fehler auslesen und quittieren, etc.) zu vermitteln. Schließlich ist es zielführend den Kunden so einzuweisen, dass ein einfacher Fehler quitiert und das FTS wieder neu gestartet werden kann. Diese Wissensvermittlung kann insbesondere bei Benutzern, die in der Bildschirmarbeit ungeübt sind, bzw. nur geringe Deutschkenntnisse haben, ein

Ein Großteil der FTS sind in einem Zwei- bzw. Drei-Schichtbetrieb eingesetzt. So kommen in Verbindung mit deren Verwendung als Schlüsselgerät zusätzliche Herausforderungen auf den Servicegeber zu: eine schnelle Reaktionszeit im Rahmen eines 24/7-Supports. Diese Anforderung zieht in der Serviceorganisation Veränderungen nach sich und führt gleichzeitig zu einem Zielkonflikt. Die Bereitstellung von Servicetechnikern in mehreren Schichten bedingt einen höheren Personalbedarf, dem aufgrund der Verfügbarkeit und der Kosten entsprechend entgegnet werden muss. Technisch geschieht dies mit Hilfe von zentralen Remote Systemen (s. Kapitel 3.3.).

kompliziertes, sich wiederholendes, längerfristiges Unterfangen darstellen.

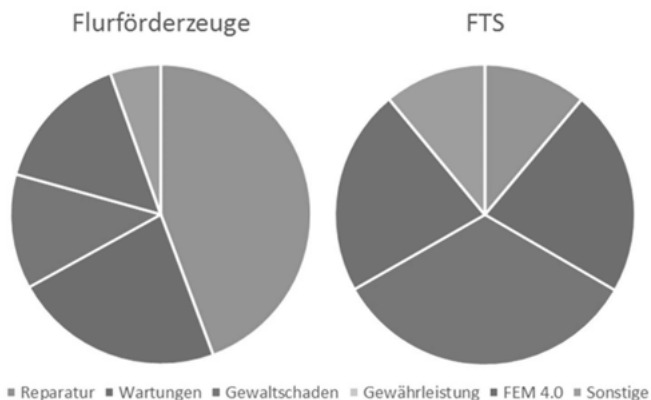


Bild 3: Verteilung der Serviceeinsätze bei herkömmlichen Flurförderzeugen und FTS².

² Der Vergleich beruht auf der Beobachtung der ersten eingesetzten Systeme in der Praxis mit einer Laufzeit von derzeit ca. 7500 Bh.

3 Die neuen Anforderungen und Ansätze im Service

3.1 Die Veränderungen in der Arbeitsmethodik, Aus- und Weiterbildung

Die Module für das autonome Navigieren und Befördern von Waren (i. d.R. Lasernavigation, automatische Fahrauftragsabwicklung und Vergabe via WLAN) beinhalten für das Servicepersonal weitgehende unbekannte Technologien. Diese sind zwar technologisch gesehen nicht neu, stellen jedoch für den Servicetechniker eine Innovation und somit eine neue Herausforderung dar.

Für einen effektiven Service ist es unabdingbar, dass diese Technologien beherrscht werden. Insbesondere ist für eine schnelle Behebung von Fehlern notwendig, Symptome zu definieren, Ursachen zu finden, bzw. beide voneinander zu unterscheiden. Dazu müssen zwingend die (Haupt-) Funktionen der betroffenen Module bekannt und verstanden sein. Dazu gehört auch das Wissen über die physikalischen Wirkprinzipien der Hauptfunktionen und deren technische Ausführungen. Hinzu kommt, dass auch über die Software und deren hauptsächlichen Zusammenhang ein ausreichender Kenntnisstand vorliegen muss. Hier stößt allerdings der klassische Servicetechniker an seine Grenzen. Er verfügt über eine stark mechanisch geprägte Ausbildung. Elektronische bzw. Softwarekenntnisse wurden und werden in diesen Ausbildungen nicht vermittelt. Auch wurden in den letzten Jahren die vorgegebenen Ausbildungsinhalte in diesen Technologien nicht erweitert. So haben sich seit 2008 die Vorgaben aus den Bundesministerien bzgl. der Inhalte zur Ausbildung von Mechanikern für Land- und Baumaschinen nicht inhaltlich, dafür aber im Namen geändert (s. JURIS 2008 und WBV 2014). Somit können nur in den Ausbildungsbetrieben an modernen Maschinen diese Inhalte vermittelt werden. Allerdings fehlt i. d. R. auch den betrieblichen Ausbildern der erforderliche Background in den (opto-) elektronischen und Software-Bereichen.

Somit bekommen die produktspezifischen Schulungen der Hersteller eine große Bedeutung für die Aus- und Weiterbildung. Hier bestehen heute die besten Möglichkeiten, die Funktionsweise der neuen Technologien zu vermitteln. Nicht zuletzt sind jedoch auch aufgrund der Vorbildung der Trainees und der Dauer der Ausbildung Grenzen gesetzt.

Eine kurz- bis mittelfristig Lösung des Problems ist der Rückgriff auf Mitarbeiter mit einer entsprechenden Ausbildung, wie sie z.B. bei Industrie-Mechatronikern oder Elektronikern vorliegt. Allerdings fehlen hier die spezifischen Bereiche wie Ölhydraulik, Antriebstechnik, etc, die in den Flurförderzeugen ebenfalls erforderlich sind. Zusätzlich ist neben den fachlichen Kennt-

nissen noch zu beachten, dass der erfolgreiche Servicetechniker psychologisch geschickt vorgehen muss, um komplizierte Situationen vor Ort zu meistern. Diese Kombination von breiten technischen und persönlichen Fähigkeiten ist jedoch nicht sehr häufig zu finden. Eine weitere Möglichkeit ist der Rückgriff auf eigenmotivierte Mitarbeiter, die aufgrund ihrer technischen Neugierde sich (autodidaktisch) weiterbilden. Dieses „Self-training on the job“ ist ein aufwendiges, iteratives Vorgehen, das bei erster Anwendung seltener sofort zu einem Erfolg führt. Doch kann der geeignete Mitarbeiter sich so über mehrere Problemlösungen hinweg zu einem Experten entwickeln, der dringend in der betrieblichen Praxis benötigt wird.

Langfristig gesehen besteht die Möglichkeit, geeignete Mitarbeiter auf Basis Ihrer beruflichen, mechanischen Ausbildung mit einer Zusatzqualifikation auszustatten, die sich an den Inhalten der neuen autonomen Systeme orientiert. Eine weitere Option ist die Erweiterung der beruflichen Ausbildung. Hier ist allerdings zu bedenken, dass die Möglichkeiten vieler Auszubildenden bereits durch die heutigen Inhalte ausgeschöpft werden. Zusätzliche, komplexere Inhalte können hier nur grundsätzlich vermittelt werden.

3.2 Die Gestaltung Software-Systeme eines FTS

Bei den derzeit eingesetzten FTS steht nach wie vor die eigentliche Funktionserfüllung der autonomen Warenbewegung im Vordergrund. Die zusätzlichen Funktionen wie Error-Handling, Diagnosesysteme und einfache Bedienung stehen im Vergleich zu etablierten Flurförderzeugen noch am Anfang. Deshalb findet der Servicetechniker bei den neuen Systemen nicht die gewohnte Führung des Diagnosesystems durch das Ursachen-Wirkungs-Netz vor und müsste hier auf seine Erfahrungen und grundsätzliches Wissen über die Gesamt-Maschine zurückgreifen. Dieses liegt in der Regel jedoch nicht umfassend vor (s. Kapitel 3.1). Hinzu kommt, dass FTS nicht in ausreichender Stückzahl im Markt vorhanden sind, dass ein kontinuierliches „Training on the job“ zum Erfolg führt. Für einen erfolgreichen Einsatz der FTS müssen zukünftig deren Servicefunktionalitäten entsprechend erweitert und an die heutigen Standards angepasst werden.

3.3 Der Remote Einsatz

Remotesysteme können helfen, das fehlende Wissen und Erfahrung des Servicepersonals auszugleichen. Derzeit werden bei herkömmlichen Flurförderzeuge diese Verfahren nur im geringen Maße eingesetzt und stellen daher eine Innovation in der Branche dar. Der Vorteil des Remote-Zugriffs liegt in der Konzentration des Wissens in der Zentrale, die bereits im Vorfeld des Einsatzes des Servicetechnikers tätig oder erst bei komplexen Problemen mit dazu

gezogen werden. Der Experte kann ohne lange Rüstzeiten schnell auf Probleme des FTS reagieren. Die dazu erforderlichen technischen Rahmenbedingungen werden mit Einzug der FTS geschaffen. Die Systeme verfügen i. d. R. über Kommunikationsmodule, so dass via VPN ein Zugriff möglich ist. Damit kann der Experte auf die Maschine in Echtzeit zugreifen, und anhand des Verhaltens der Maschine die entsprechenden Schlüsse ziehen. Teilweise können so Probleme ohne den Techniker vor Ort gelöst werden. Bei einem Einsatz des Servicetechnikers beim Kunden kann der Experte zusätzlich die Führung bei der Diagnose übernehmen. Durch die meist telefonische Kopplung werden die weiteren wichtigen Informationen ausgetauscht. Vorteil ist hier der Wissenszuwachs auf Seiten des Servicetechnikers und der effiziente Einsatz des (meist raren) Experten. So sind auch die unter Kapitel 3.1 beschriebenen Probleme zu lösen.

3.4 Die Unterstützung der Mitarbeiter durch SmartDevices

Liegen komplexere Probleme insbesondere in der Diagnose vor, fehlen dem Experten entscheidende reale Eindrücke, die eine intuitive Problemlösung behindern. KLEEDÖRFER 2017 beschreibt dazu die Problemstellung der Kooperation des Servicetechnikers vor Ort und des Experten aus der Zentrale bzw. Helpdesk. So fehlen dem Experten für die Lösung des Problems entscheidende Informationen aus dem Geschehen an der Maschine (Bilder, Geräusche, Verhalten der Maschine, etc.). Aus diesem Grund können heuristischen Kompetenzen (nach EHRENSPIEL UND MEERKAM 2013) aufgrund der unvollständigen Informationsversorgung nicht eingesetzt werden. Der Problemlösungsprozess beschränkt sich so auf die Ebene des Fach- und Methodenwissens und kann nicht durch die intuitive Vorgehensweise ergänzt werden. Moderne Devices wie Smartglasses oder Smartphones stellen für diese Probleme eine sinnvolle Erweiterung des Serviceeinsatzes und des Remote-Zugriffs dar. KLEEDÖRFER 2017 beschreibt dazu eine stufenweise Methode zur besseren Informationsversorgung beider Protagonisten in ihrer virtuellen Kooperation. Die mehrdimensionale Informationsversorgung des Experten erzeugt eine „virtuelle Arbeitswelt“, in der er intuitiv handelt. Die Praxis zeigt, dass diese Vorgehensweise den Problemlösungsprozess beschleunigt und gleichzeitig die First-Time-Fix-Rate erhöht.

3.5 Condition Monitoring und Predictive Maintenance

Die Anforderung nach einer besseren Verfügbarkeit der Maschinen erzwingt unweigerlich eine Erhöhung der First-Time-Fix-Rate. Des Weiteren können die Ausfallzeiten durch eine zeitliche Planung der Reparatur gesenkt und ihre negativen Auswirkungen eingeschränkt werden. Dar-

über hinaus können durch eine Vorhersage des Ausfalls Folgeschäden und zusätzliche Aufwendungen im Umfeld des FTS vermieden werden. Insbesondere bei mehrschichtig genutzten Maschinen sind diese Mechanismen wichtig, da Einsätze außerhalb der regulären Arbeitszeiten aufwendig sind. Bei einer effizienten Anwendung dieser Methodik, können so die Gesamtkosten des FTS und des Einsatzes geringgehalten werden.

Die Verknüpfung des Condition Monitoring mit dem Ansatz des Predictive Maintenance (s. auch VDMA 2017) führt zu einem besseren, stets aktuellen Wissen über den Zustand der Maschine. Das Wissen über den Zeitpunkt des Ausfalls, ermöglicht dem Servicegeber den Eingriff vorausschauend zu planen und so auch die Belange der Produktion bzw. Logistik des Kunden zu integrieren. Die Vorbereitung des Einsatzes incl. der Versorgung des Servicetechnikers mit den erforderlichen Daten, Ersatzteilen und Software kann punktgenau erfolgen. Somit erzielt man insgesamt eine geringere Ausfallszeit, die Auswirkung der Störung wird begrenzt und die Ressourcen des Service effizient genutzt.

3.6 Einsatz und effiziente Nutzung verschiedener Service- und Ausbildungslevel

Die Nachfrage nach einer sehr hohen Verfügbarkeit des FTS und damit die Anforderung nach einem agilen Einsatz des Servicepersonals, kann durch den Rückgriff auf eine breite Personalstruktur entgegnet werden. So können z. B. ausgewählte, eingewiesene Mitarbeiter des Kunden einfache Tätigkeiten übernehmen. Diese im engeren Sinne Wartungs- oder Pflēgetätigkeiten verhindern oft den Ausfall der Maschine. Teilweise können auch einfach zu behebbende Probleme (ggf. in Abstimmung mit dem Remote Service) selbst gelöst werden. So ereignen sich z. B. in der Opto-Elektronik häufig Ausfälle durch Verschmutzung. Hier kann der Kunde selbst den Ausfall beheben, bzw. vorbeugend die Reinigung übernehmen. So führen diese einfachen Maßnahmen zu einer Erhöhung der Zuverlässigkeit und gleichzeitig werden die knappen Ressourcen im Service eingespart.

Eine weitere Möglichkeit auf die oben beschriebene Situation zu reagieren, ist der Einsatz von Servicekräften ohne Expertenwissen. Einfache Tätigkeiten wie Wartungen oder den Tausch von Komponenten kann dieser Mitarbeiter selbständig erledigen. Sind komplexere Arbeiten erforderlich, können Remote Service bzw. Smart Devices den Mitarbeiter unterstützen.

4 Fazit und Ausblick

Die Entwicklung der FTS stellt die Serviceorganisationen herkömmlicher Flurförderzeuge vor neue Herausforderungen. Veränderungen in Zusammensetzung des Personals, Organisation,

Aus- und Weiterbildung und den Einsatz neuer Techniken wie Remote Services, Smart Devices und Predictive Maintenance sind die Folge. Neuartige Technologien wie z.B. Multimodale Sprachsteuerungen (RODSZUS & OVERMAYER 2015) und mobile Kommissionierroboter (BRANTER 2017) zeichnen sich ab und führen zu weiter erhöhten Komplexitäten und damit Bedarf an erneuertem Wissen im Service. Inwieweit diese Systeme noch durch den klassischen Servicetechniker beherrscht werden können, wird sich zeigen.

Eine neuartige Möglichkeit für einen effektiven Service für die heute bekannten FTS ist die klare Fokussierung einer Serviceorganisation auf diese Produktparte. Hier wird der Service als Dienstleistung für den FTS-Hersteller angeboten. Basis ist das Personal, das eine dezidierte Aus- und Weiterbildung in den oben beschriebenen Technologien vorweisen kann. Flankiert wird diese Vorgehensweise durch Kommunikationstechnologien und zukünftig auch Verfahren wie das Condition Monitoring und Predictive Maintenance. Diese kombinierte Dienstleistung wird markenübergreifend angeboten und kann aufgrund der Fokussierung auf die entscheidenden Technologien einen qualitativ hochwertigen Service erzeugen. Die ständige Auseinandersetzung des Personals mit den typischen Problemen und Umfeld der FTS verknüpft mit einer hohen Auslastung des Personals führt zu einem kostengünstigen Einsatz der Servicetechniker. Somit werden die Voraussetzungen für das effiziente Betreiben von FTS auch in der Zukunft geschaffen.

5 Literatur

Brantner, F.: Mobile Kommissionierroboter

In 26. Deutscher Materialfluss-Kongress - VDI-Berichte 2305.

Düsseldorf: VDI 2017.

BVL: Fachkräftemangel in der Logistik deutlich spürbar

<https://www.bvl.de/presse/meldungen/umfragefkmangel>; Gesichtet am 15/12/2017.

Ehrlenspiel, K., Meerkamm, H.: Integrierte Produktentwicklung

München: Carl Hanser 2013.

FEM: World Industrial Truck Statistics

European Materials Handling Federation.

Frankfurt: 2017

Juris: Verordnung über die Berufsausbildung zum Land- und Baumaschinenmechatroniker und zur Land- und Baumaschinenmechatronikerin.

Berlin: Juris GmbH 2008.

Kleedörfer, R.: SmartGlasses als Baustein eines modernen Servicekonzeptes

In 26. Deutscher Materialfluss-Kongress - VDI-Berichte 2305.

Düsseldorf: VDI 2017.

Podszus, F.; Overmeyer, L.: Kognitive multimodale Sprachsteuerung für FTS

In 24. Deutscher Materialfluss-Kongress - VDI-Berichte 2234.

Düsseldorf: VDI 2015.

Ullrich, G.: Was unterscheidet die Entwicklung der Technik und der Märkte von FTS und Staplern? In: Bruns, R. Ulrich, S. (Hrsg.): 11. Hamburger Staplertagung 2016

Hamburg: Helmut-Schmidt-Universität Hamburg 2016.

VDMA: Predictive Maintenance - Service der Zukunft (und wo er wirklich steht)

Frankfurt a.M.: VDMA 2017.

wbv: Land- und Baumaschinenmechatroniker/Land- und Baumaschinenmechatronikerin

Bielefeld: W. Bertelsmann 2014.

Exoskelette und Ergonomie

Prof. Dr.-Ing. **M. Schmauder**, Dipl.-Ing. **K. Klöber**,
Technische Universität Dresden

Kurzfassung

In den vergangenen Jahren kann eine fortschreitende Entwicklung im Bereich der Exoskelett-Anwendung beobachtet werden. Der Einsatz beschränkt sich dabei nicht allein auf die medizinische Unterstützung (z. B. bei Rehabilitationsmaßnahmen), sondern umfasst auch die Verwendung im Militär und in der Industrie. In letzteren sollen sie zu einer ergonomischen Arbeitsgestaltung beitragen und im Hinblick auf die begrenzte menschliche Leistungsfähigkeit als Assistenzsysteme dienen. In Zukunft gilt es offene Fragestellungen zu berücksichtigen und u. a. Aspekte zum Thema Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz, Einfluss auf die Biomechanik des Menschen sowie soziale, ethische und rechtliche Gesichtspunkte zu beachten.

1. Ergonomische Arbeitsgestaltung

Ergonomie ist ein Kunstwort, das sich aus dem griechischen

ergon (εργον) = Arbeit und

nomos (νομος) = Gesetz; Gesetzmäßigkeit

zusammensetzt. Ergonomie kann damit als die Lehre von der menschlichen Arbeit bezeichnet werden. Ergonomie umfasst die Gebiete

- Mensch-Maschine-Interaktion,
- Arbeitsmittelgestaltung,
- Arbeitsumgebungsgestaltung und
- Arbeitsaufgabengestaltung inkl. Arbeitsorganisation.

und berücksichtigt hier immer die körperlichen und geistigen Voraussetzungen des Menschen. Die Anpassung der Technik bzw. Arbeit an den Menschen kann, kurz gefasst, als Ziel der Ergonomie gesehen werden. Es geht also darum, dass die arbeitenden Menschen in produktiven und effizienten Arbeitsprozessen:

- schädigungslose, ausführbare, erträgliche und beeinträchtigungsfreie Arbeitsbedingungen vorfinden,
- Standards sozialer Angemessenheit nach Arbeitsinhalt, Arbeitsaufgabe, Arbeitsumgebung sowie Entlohnung und Kooperation erfüllt sehen,

- Handlungsspielräume entfalten, Fähigkeiten erwerben und in Kooperation mit anderen Persönlichkeiten erhalten und entwickeln können.

Ergonomie/Arbeitswissenschaft ist zum einen die wissenschaftliche Disziplin, die sich mit dem Verständnis der Wechselwirkungen zwischen menschlichen und anderen Elementen eines Systems befasst. Zum anderen ist sie der Berufszweig, der Theorie, Grundsätze, Daten und Verfahren auf die Gestaltung von Arbeitssystemen anwendet, mit dem Ziel, das Wohlbefinden des Menschen und die Leistung des Gesamtsystems zu optimieren [1].

Durch ein Gleichgewicht zwischen wirtschaftlichen, gesellschaftlichen und umgebungsbedingten Gestaltungszielen können die Ziele der Ergonomie erreicht werden.

- Wirtschaftlich:
Die Anpassung des Gestaltungsobjekts an die Bedürfnisse und Fähigkeiten der Menschen erhöht die Verwendungsfähigkeit und die Qualität, optimiert die Effizienz, stellt preisgünstige Lösungen bereit und verringert die Wahrscheinlichkeit der Ablehnung des Systems, des Produkts oder der Dienstleistung durch den Benutzer.
- Gesellschaftlich:
Die Anwendung der Ergonomie führt zu Aufgaben, Tätigkeiten, Produkten, Werkzeugen, Arbeitsmitteln, Systemen, Organisationen, Dienstleistungen, Einrichtungen und Umgebungen, die für die Gesundheit und das Wohlbefinden von Menschen, einschließlich der Bedürfnisse älterer Menschen und solcher mit Behinderungen vorteilhafter sind. Die sich daraus ergebende Verbesserung der Effektivität und Effizienz sowie der Zufriedenheit haben auch Auswirkungen auf akzeptable Beschäftigungsverhältnisse.
- Umweltbezogen:
Die Anwendung der Ergonomie bei der Gestaltung verringert das Risiko, dass Menschen Aufgaben, berufliche Tätigkeiten, Produkte, Werkzeuge, Arbeitsmittel, Systeme, Organisationen, Dienstleistungen und Einrichtungen ablehnen oder die Gestaltung zu Fehlern führt, die eine Schädigung der natürlichen Umgebung oder die Verschwendung natürlicher Ressourcen verursachen. Dadurch wird dazu beigetragen, die gesamten Umweltauswirkungen eines jeden Gestaltungsobjekts zu minimieren. Der Prozess unterstützt außerdem jene, die an einer langfristigen/ lebenszyklusorientierten Gestaltung interessiert sind.

Der Begriff der Ergonomie ist heutzutage aus der Beschreibung von Produkten (z. B. in der Werbung) nicht mehr wegzudenken und hat in den letzten Jahrzehnten enorm an Bedeutung gewonnen.

2. Produktions- und Produktergonomie

In der Ergonomie geht es um die umfassende menschengerechte Gestaltung von Arbeit. Diese wird u. a. in § 2 Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG) und in der Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) als Maßnahme des Arbeitsschutzes aufgeführt. Die Ergonomie liefert damit einen wichtigen Beitrag zur Verbesserung von Sicherheit und Gesundheitsschutz der Beschäftigten. Dieser Aspekt wird oft als Produktionsergonomie (makro ergonomics) bezeichnet.

Die Anwendung der Erkenntnisse der Ergonomie bei der Produktgestaltung bildet die Produktergonomie (micro ergonomics). Auch hier gibt es einen Bezug zum Regelwerk. Ergonomische Gestaltungsanforderungen zum Schutz der Nutzer sind durch Vorgaben im Produktsicherheitsgesetz (ProdSG) bzw. der Maschinenrichtlinie (9. Verordnung zum Produktsicherheitsgesetz - ProdSV) festgeschrieben. Bei der Beschreibung der grundlegenden Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen im Anhang der Maschinenrichtlinie wird explizit die Ergonomie folgendermaßen genannt [2]:

Bei bestimmungsgemäßer Verwendung müssen Belästigung, Ermüdung sowie körperliche und psychische Fehlbeanspruchung des Bedienungspersonals auf das mögliche Mindestmaß reduziert sein unter Berücksichtigung ergonomischer Prinzipien wie:

- Möglichkeit der Anpassung an die Unterschiede in den Körpermaßen, der Körperkraft und der Ausdauer des Bedienungspersonals;
- ausreichender Bewegungsfreiraum für die Körperteile des Bedienungspersonals;
- Vermeidung eines von der Maschine vorgegebenen Arbeitsrhythmus;
- Vermeidung von Überwachungstätigkeiten, die dauernde Aufmerksamkeit erfordern;
- Anpassung der Schnittstelle Mensch-Maschine an die voraussehbaren Eigenschaften des Bedienungspersonals.

Grundlegend für die Auslösung der Vermutungswirkung bei der Maschinenkonstruktion ist die DIN EN ISO 12100 „Sicherheit von Maschinen“. Hier werden in Abschnitt 6.2.8 explizit ergonomische Grundsätze aufgeführt.

Oft werden Produkte (Maschinen, Werkzeuge usw.) mit dem Hinweis auf ihre ergonomische Gestaltung beworben. Hersteller nutzen die Ergonomie als Werbefaktor, da sich insbesondere der effiziente Umgang mit dem Leistungsangebot der Mitarbeiter und die Effizienz von Arbeitsprozessen als eindeutiger Mehrwert darstellen lassen. Die Produktergonomie ist eng mit dem Design verbunden. Wenn der Grundsatz „form follows function“ berücksichtigt wird, dann ist gutes Design mit guter Ergonomie gepaart.

3. Prinzipien und Konzepte der Ergonomie

Die Bild 1 zeigt die in der DIN EN ISO 26800 als Gegenstand der Ergonomie aufgenommenen Konzepte und Prinzipien. Im Mittelpunkt der ergonomischen Gestaltung steht der Mensch mit seinen individuellen Leistungsvoraussetzungen (z. B. Körpergröße, Körperkraft, Fertigkeiten aber auch Sehvermögen, Lese- und Schreibvermögen, Fachwissen). Im Rahmen der Gestaltungsarbeit muss deshalb die Zielpopulation in den Blick genommen werden. Weiterhin muss die Beschaffenheit der Aufgabe und deren Auswirkung auf den Menschen berücksichtigt werden. Die aufgabenorientierte Gestaltung der Arbeit stellt sicher, dass die Arbeitsaufgaben dem Menschen angemessen sind. Die Berücksichtigung des Umgebungskontextes, d. h. die physischen, organisationsbezogenen, sozialen und rechtlichen Umgebungen müssen identifiziert und beschrieben sein. Die jeweiligen Anforderungen müssen berücksichtigt werden.

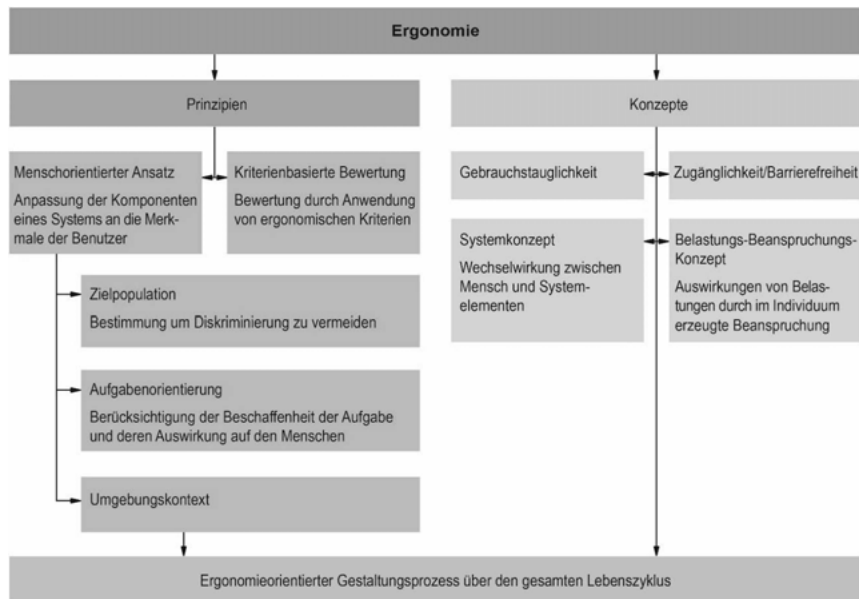


Bild 1: Prinzipien und Konzepte der Ergonomie

Grundsätzlich denkbar ist es, dass durch gezielte Personalauswahl oder durch Qualifizierungs- bzw. Trainingsmaßnahmen der arbeitende Mensch an die vorhandenen Bedingungen angepasst wird. Aus Sicht der Ergonomie ist diese Strategie nachrangig, wenngleich es notwendig sein kann, dass z. B. bei der Gestaltung von abwechslungsreichen Arbeitsaufgaben neue Fertigkeiten erlernt werden müssen oder dass auch gesundheitsgerechte Arbeitsweisen

wie z. B. das rückschonende Heben und Tragen eingeübt werden muss. Für akzeptierte Gestaltungslösungen ist es unabdingbar, dass die von der Gestaltung Betroffenen (Benutzer, Operatoren, Beschäftigte, Arbeitende) in den Gestaltungsprozess eingebunden werden. Wesentliche Konzepte der Ergonomie sind das Systemkonzept und das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept. Durch die Modellbildung wie z. B. das Arbeitssystemmodell oder Mensch-Maschine-Modelle wird versucht, komplexe Sachverhalte zu gliedern und darin enthaltene Wechselwirkungen deutlich zu machen. Das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept ist ein grundlegendes Konzept, das kurz- und langfristige Auswirkungen von Arbeit auf den Menschen beschreibt und erklärt.

4. Exoskelette - neue Möglichkeiten der Unterstützung von Arbeitstätigkeiten

Eine Möglichkeit, der begrenzten Leistungsfähigkeit des Menschen zu begegnen, ist der Einsatz von Exoskeletten. Mit ihnen können Menschen u. a. darin unterstützt werden, erforderliche physische Kräfte für manuelle Tätigkeiten aufzubringen [3]. Gerade für Tätigkeiten in der Industrie und speziell in der Logistik, die häufig durch das Handhaben schwerer Lasten gekennzeichnet sind, wird sich durch ihre Verwendung eine Produktivitätssteigerung und Verringerung der körperlichen Belastung erhofft [4]

Die Entwicklung von Exoskeletten wird seit den 1990er Jahren zunehmend durch Forschungsarbeiten in den USA, Japan und Europa vorangetrieben, sodass gegenwärtig eine Reihe von Umsetzungen für die Einsatzbereiche Medizin/ Rehabilitation, Militär sowie Industrie existieren [5].

In der Medizin, als derzeitiges Hauptanwendungsgebiet, wird der Fokus darauf gerichtet, physisch schwachen, verletzten oder behinderten Personen wieder das Ausführen einer Vielzahl an Bewegungen zu ermöglichen, um das alltägliche Leben bewältigen zu können. Dazu zählen u. a. das Gehen, Treppensteigen, aufrechte Sitzen oder Greifen [6].

Eine geringe Anzahl an Exoskeletten steht für militärische Anwendungen zur Verfügung. Mit ihnen soll vor allem die körpereigene Kraft und die damit verbundene Leistungsfähigkeit der Soldaten erhöht werden [7, 8].

Zuletzt werden in der Industrie vermehrt Exoskelette erprobt und eingesetzt. Entwicklungspotential gibt es nach Kraus [9] u. a. in der Logistik, in der es bisher keine zufriedenstellende Alternative zur manuellen Arbeit bei der Kommissionierung und Gepäckhandhabung gibt. So müssen in der Fertigung und Montage von Kleinserien oder Prototypen weiterhin viele körperlich belastende Tätigkeiten von Menschen ausgeführt werden [10].

Grundsätzlich kann die Verwendung von Exoskeletten dann sinnvoll sein, wenn entweder andere präventive Maßnahmen nicht realisierbar, anwendbar und effektiv sind oder wenn die Automatisierung von Aufgaben aufgrund der ständigen Tätigkeitswechsel nicht umsetzbar ist [3].

Zum allgemeinen Verständnis lassen sich Exoskelette in aktive und passive Exoskelette unterteilen.

Aktive Exoskelette beinhalten einen oder mehrere Aktoren (bspw. elektrische Servomotoren, pneumatische Aktoren) an zentralen Stellen oder Gelenken, um die menschliche Kraft zu vergrößern und menschliche Gelenke zu bewegen [9, 11]. Hauptsächlich Hintergrund der Entwicklungen aktiver Exoskelette war die mögliche Unterstützung bei der Rehabilitation verletzter und behinderter Menschen. So entwickelt etwa die japanische Firma Cyberdyne Inc. und die Tsukuba Universität (Japan) den Hybrid Assistive Limb (HAL) Anzug, welcher Muskeln gezielt durch Erfassung und Verarbeitung von Nervensignalen über elektrische Motoren steuert [8].

Darüber hinaus gibt es inzwischen auch aktive Exoskelette für industrielle Anwendungen, allerdings noch zu großen Teilen in Entwicklungs- und Versuchsstadien [3]. Als Beispiel kann die Stuttgarter Exo-Jacket, eine motorisierte Jacke für Logistik- und Montagearbeit, des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA) angeführt werden [12]. Ebenso soll der industrielle Anwender durch das aktive Armmodul des im Rahmen des EU-Projekts Robo-Mate entwickelten modular aufgebauten Exoskeletts unterstützt werden können [10]. Für militärische Zwecke entwickelt die US-amerikanische Firma Lockheed Martin Corporation den Human Universal Load Carrier (HULC) [13].

Im Gegensatz zu den aktiven Exoskeletten benötigen passive Systeme keine zusätzlichen Energiequellen. Sie machen von Materialien, Federn oder Dämpfern Gebrauch, welche die Energie menschlicher Bewegungen speichern und bei Bedarf freigeben können [3]. Dadurch wird es möglich, Personen in ihrer Haltung oder Bewegung zu unterstützen, bspw. beim mit der Lastenhandhabung verbundenen vorwärts Beugen und wieder Aufrichten [7, 14]. Zudem kann eine Stützstruktur dazu beitragen, auftretende Kräfte und Belastungen in weniger gefährdete Körperregionen oder direkt in den Boden umzuleiten [9]. Als Beispiel sei an dieser Stelle das Ekso Works Industrial Exoskeleton der US-amerikanischen Firma Ekso Bionics genannt, welches zur Entlastung der unteren Extremitäten entwickelt wurde [15]

Neben der Art der Unterstützung ist der zu unterstützende Teil des Körpers ein weiteres Unterscheidungsmerkmal. Neben Exoskeletten für einzelne Gelenke gibt es vor allem Unterkörper- und Oberkörper- wie auch Ganzkörper-Exoskelette, welche sowohl die unteren als auch die oberen Extremitäten unterstützen [7].

Zuletzt kann anhand der Übereinstimmung mit der menschlichen Anthropometrie eine Klassifizierung vorgenommen werden. Bei anthropometrischen Exoskeletten stimmt bspw. die Gelenkbewegung des Exoskeletts mit der des menschlichen Gelenks überein. Generell bieten diese wesentlich mehr Freiheiten in der Bewegung als nicht-anthropometrische Systeme. Sie sind allerdings wesentlich aufwendiger und komplexer in ihrer Entwicklung, da sie den unterschiedlichen Nutzergrößen gerecht werden müssen. Nicht-anthropometrische Exoskelette können dafür einfacher für spezifische Aufgaben ausgelegt und entspricht effektiver gestaltet werden [5].

5. Exoskelette - Chancen und Risiken

In der Literatur finden sich verschiedene Berichte über die mit der Anwendung von Exoskeletten verbundenen Chancen und Risiken.

Anhand des vorherigen Kapitels wird bereits ersichtlich, dass das Forschungs- und Anwendungsspektrum weitreichend ist. So gibt es u. a. Untersuchungen zum Einsatz von Exoskeletten bei übergewichtigen Personen [16], zur Steuerung mittels Brain Machine Interface (BMI) [17], zum Energieverbrauch von älteren Personen bei der Verwendung von Exoskeletten [18] sowie zum Nutzen exoskelett-basierter Rehabilitationen bei Personen, welche einen Herzinfarkt erlitten haben [19]. Die Ergebnisse zeigen sowohl Entlastungseffekte in den Knien als auch weniger Komplikationen mit der Stromversorgung und Wartung seitens passiver Exoskelette [16]. Des Weiteren besteht eine Notwendigkeit nach medizinischen Standards und der Herausarbeitung potentieller Risikoquellen, welche physische Schäden hervorrufen könnten (z. B. bei Überstreckung der Arme über einen tolerierbaren Winkel, Bewegung mit Kollision, zu hohen Greifkräften) [17] sowie eine erforderliche Optimierung und Anpassung der Exoskelette an spezifische Nutzergruppen [18].

Die größte Chance der Exoskelett-Nutzung kann nach De Looze darin gesehen werden, dass im Gegensatz zu voll automatisierten Robotersystemen der Mensch weiterhin der Handelnde ist. Eine Anpassung an wechselnde Umgebungen ist damit ohne aufwendiges Umprogrammieren des Systems möglich [7]. Weiterhin wird von positiven Effekten bezüglich physischer

Belastung auf Rücken, Schulter und Armen berichtet, die auf das Potential hinweisen, die Muskelaktivitäten in den Extremitäten (z. B. beim Laufen und Treppensteigen), im Rücken (bei statischem Beugen) und in den Schultern mittels Exoskelett-Einsatzes senken zu können [7]

Demgegenüber stehen Risiken und offene Fragestellungen hinsichtlich des technischen Einsatzes und rechtlicher Regelungen.

Bisher ist nicht bekannt, wie der Körper nach langem Tragen eines Exoskeletts reagiert. Bereits 1996 merkten Eisinger, Kumar und Woodrow an, dass eine länger andauernde Verwendung von Lendenorthesen (eng anliegende starre Lendenstützen) mit einer Dekonditionierung der Rumpfmuskulatur einhergehen kann und deshalb die zeitliche Begrenzung der Anwendung oder Kräftigungsübungen empfohlen wird [20]. Weitere Untersuchungen deuten darauf hin, dass eine reduzierte Aktivität der Rückenmuskeln mit einer erhöhten Aktivität anderer Muskeln (bspw. in den Unterschenkeln) einhergehen kann. Die durch die Ausrüstung verursachten äußeren Kräfte bedingen ein Entgegenwirken, um das Gleichgewicht sowohl im statischen Halten als auch im dynamischen Heben aufrechtzuerhalten [7].

Beachtenswert im Hinblick auf die Gebrauchstauglichkeit und Nutzerakzeptanz sind weiterhin subjektive Erfahrungsberichte über lokalen Diskomfort bspw. in den Schultern oder Knien, hervorgerufen durch den vom Exoskelett aufgebrachten Druck [7]. Mit steigender Anzahl an Gelenken erhöht sich das Gewicht eines aktiven Exoskeletts. Die passende Gestaltung und Anpassung an die menschliche Anatomie (vor allem anthropometrischer aktiver Exoskelette) stellt eine große Herausforderung für die Entwickler dar. Dies wird daran deutlich, dass sich viele Anwendungen derzeit noch im Entwicklungsstadium befinden bzw. erst in einer Labormgebung evaluiert wurden [7].

Bezüglich einer Anwendung in der Industrie gilt es zunächst Sicherheitsstandards für einen industriellen Einsatz festzulegen [7]. Außerdem muss die Eignung eines Arbeitsplatzes gewährleistet sein, um mögliche Kollisionen während der Tätigkeitsausübung zu vermeiden [4].

Im Folgenden sollen einige Fragestellungen zusammengefasst werden, die sich aus arbeitswissenschaftlicher Perspektive zu verschiedenen Themenschwerpunkten ergeben.

Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz:

- Welchen neuen Gefahrenquellen sieht sich der Anwender durch einen Exoskelett-Einsatz ausgesetzt (Verhaken von Systemelementen, Erwärmung des Körpers, elektrostatische Aufladungen etc.)?
- Wirken sich Stolper- oder Sturzunfälle noch gravierender aus (erhöhtes Unfallrisiko)?

- Wie kann einem Unfall durch Verschleiß und Fehlfunktionen der Motoren oder Ihrer Steuerung zuvorgekommen werden?
- Kann die individuelle Standsicherheit und Stabilität der Nutzer unabhängig von Körpermasse, Extremerkörperhaltungen, plötzlichen Bewegungswechseln etc. gewährleistet werden?

Einfluss auf die Biomechanik des Menschen:

- Wie verändert sich das natürliche Bewegungsverhalten des Nutzers nach Tragen eines Exoskeletts über eine gesamte Schicht/ über mehrere Berufsjahre?
- Welche Langzeitwirkungen sind mit dem Tragen der Skelette verbunden (Druckstellen auf Haut und u. U. auf Gelenke, Sehnen, Muskeln; Schweißbildung)?
- Wird durch Überentlastung eine Rückbildung der Muskulatur verursacht?
- Wie wird die Durchblutung von Gliedmaßen beeinflusst (u. a. bei Überkopfarbeit)?
- Wie wirken sich die gehandhabten Lasten auf nicht unterstützte Körperbereiche aus und wie werden die auftretenden Kräfte bspw. bei einem Exoskelett für die oberen Extremitäten über den Körper verteilt (Belastung der Beinmuskulatur, Kniegelenke, Füße etc.)? Wirken Muskelgruppen anders, die hierzu aktiv eine Gegenkraft aufbringen? Ist die axiale Druckkraft auf die Bandscheibe eine andere?
- Welche Standards und Kenngrößen existieren bzw. müssen definiert werden, um das richtige Maß der Entlastung zu finden (Ermittlung der Dosis bzw. kumulierten Entlastung über die Zeit)?

Soziale, ethische und rechtliche Aspekte:

- Besteht die Gefahr, dass Unternehmer durch die mögliche Kraftunterstützung des Exoskeletts ihre Mitarbeiter weiter an der Belastungsgrenze arbeiten lassen, indem sie die Belastung und konkret das zu handhabende Lastgewicht erhöhen?
- Besteht ein Bewusstsein dafür, dass Exoskelette aus Sicht der Prävention den personenbezogenen bzw. -gebundenen Arbeitssicherheits- und Gesundheitsschutzmaßnahmen zugeordnet werden und damit erst nach Berücksichtigung möglicher technischer und organisatorischer Maßnahmen relevant sind?
- Sind Anreize zur Investition in die vom Gesetzgeber verpflichteten Primärmaßnahmen weiter gegeben?
- Welchen Anreiz hat es vor allem für kleine und mittlere Unternehmen in diese teuren Hilfsmittel zu investieren, für welche laufende Wartungen etc. vorgenommen werden müssen?

- Kann der Arbeitnehmer das Tragen von Hilfsmitteln verweigern (keine gesetzliche Pflicht wie bspw. beim Gehörschutz)?

Zuletzt sei darauf hingewiesen, dass bisher in keinen der aktuellen Bewertungsverfahren und -methoden der Einfluss von Exoskeletten in Form von Kenngrößen und Daten berücksichtigt werden kann (bspw. in der Leitmerkalmethode). Eine Weiterentwicklung entsprechender Methoden wird durch mangelndes Grundlagenwissen erschwert. Es ist demnach weitere Grundlagenforschung erforderlich, um eine Methodenentwicklung zu ermöglichen und Hypothesen wie bspw. eine Entlastung und damit verbunden Verringerung des Krankenstandes durch Tragen von Exoskeletten mit Fakten stützen zu können.

6. Handlungsempfehlungen

Die erwähnten Forschungsansätze und -fragen sowie Chancen und Risiken zeigen den Innovationscharakter der Exoskelett-Anwendung. Vor allem als Unterstützungsmöglichkeit bei der Rehabilitation wird deren Einsatz als sinnvoll erachtet.

Zugleich wird deutlich, dass noch viel Entwicklungsarbeit auf diesem Gebiet geleistet werden muss. Dabei gilt es neben der technischen Weiterentwicklung gerade auch arbeitsbezogene Sachverhalte zu berücksichtigen und Handlungsempfehlungen zu erarbeiten, die einen sicheren und ergonomischen Umgang mit Exoskeletten gewährleisten.

Grundsätzlich sind gesetzliche Belange einzuhalten (u. a. ArbSchG, BetrSichV, ProdSG). Auf den europäischen Märkten eingeführte Exoskelette müssen den Sicherheits- und Gesundheitsanforderungen der Europäischen Union entsprechen und mit einer CE-Kennzeichnung versehen sein.

Des Weiteren ist bei der Gestaltung auf die Gebrauchstauglichkeit und damit auf eine effektive, effiziente und zufriedenstellende Handhabung zu achten.

Zuletzt sollte der Nutzer nicht zusätzlich belastet und die menschliche Leistungsfähigkeit überreizt werden. In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage der Tragedauer. Vorstellbar ist eine temporäre Unterstützung bei Arbeiten in ungünstigen Körperhaltungen (z. B. bei Servicetechnikern in der Produktion).

- [1] Deutsches Institut für Normung e. V. [DIN]: DIN EN ISO 26800 (2011): Ergonomie – Genereller Ansatz, Prinzipien und Konzepte. Berlin: Beuth
- [2] Richtlinie 2006/42/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Mai 2006 über Maschinen und zur Änderung der Richtlinie 95/16/EG (Neufassung)
- [3] Bosch, T.; v. Eck, J.; Knitel, K.; de Looze, M.: The effects of a passive exoskeleton on muscle activity, discomfort and endurance time in forward bending work. *Applied Ergonomics* (2016), Vol. 54, S. 212-217
- [4] Constantinescu, C.; Todorovic, O.; Bauer, W.: Exoskelettbasierte Arbeitsplatzgestaltung. *wt Werkstatttechnik online*, 2017, Jahrgang 107, H. 6, S. 387-391
- [5] Lee, H.; Kim, W.; Han, J.; Han, C.: The Technical Trend of the Exoskeleton Robot System for Human Power Assistance. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 2012, Vol. 13 (8), S. 1491-1497
- [6] Viteckova, S.; Kutilek, P.; Jirina, M.: Wearable Lower Limb Robotics: A Review. *Biocybernetics and Biomedical Engineering*, 2013, Vol. 33 (2), S. 96-105
- [7] De Looze, M.; Bosch, T.; Krause, F.; Stadler, K. S.; O'Sullivan, Leonard W.: Exoskeletons for industrial application and their potential effect on physical work load. *Ergonomics*, 2016, Vol. 59 (5); S. 671-681
- [8] Hölzel, C.; Knott, V.; Schmidler, J.; Bengler, K. (2014): Unterstützung des Menschen in der Arbeitswelt der Zukunft – Human Centered Assistance Applications. Erste transdisziplinäre Konferenz zum Thema „Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen“, 2014
- [9] Horn, M.: Interview: Exoskelett: Wenn Mensch und Maschine verschmelzen, 2017
- [10] Beste, D.: Exoskelett auf dem Weg zur Industriereife. Springer Professional Online, 2015
- [11] Gopura, R. A. R. C.; Kiguchi, K.: Mechanical Designs of Active Upper-limb Exoskeleton Robots. *IEEE 11th International Conference on Rehabilitation Robotics*, Kyoto 2009
- [12] Ebrahimi, Amir: Stuttgart Exo-Jacket: An exoskeleton for industrial upper body applications. *Institute of Electrical and Electronics Engineers -IEEE-; IEEE Industrial Electronics Society -IES-: 10th International Conference on Human System Interaction, HSI 2017. Proceedings: 2017, Ulsan, Korea*
- [13] Human Universal Load Carrier (HULC), Internetauftritt, Lockheed Martin Corporation, Bethesda, MD, USA, 2017 <https://www.lockheedmartin.com/us/products/exoskeleton/military.html>

- [14] Whitfield, B. H.; Costigan, P. A.; Stevenson, J. M.; Smallman, C. L.: Effect of an on-body ergonomic aid on oxygen consumption during a repetitive lifting task. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 2014, Vol. 44 (1), S. 39-44
- [15] Pluta, Werner: Ekso Works Industrial Exoskeleton – Passives Exoskelett unterstützt Arbeiter. 2015, www.golem.de
- [16] Saleem, A.; Khan, R.; Ahmmad S. M.: A Novel Knee Exoskeleton for Overweight Person. *Control Conference (ASCC)*, 2015, 10th Asian
- [17] Mornière, B.; Verney, A.; Abroug, N.; Garrec, P.; Perrot, Y.: EMY: a dual arm exoskeleton dedicated to the evaluation of Brain Machine Interface in clinical trials. *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, Hamburg, 2015
- [18] Galle, S.; Derave, W.; Bossuyt, F.; Calders, P.; Malcom, P.; De Clercq, D.: Exoskeleton plantarflexion assistance for elderly. *Gait & Posture*, 2017, Vol. 52, S. 183-188
- [19] Grimaldi, G.; Manto, M.: Functional impacts of exoskeleton-based rehabilitation in chronic stroke: multi-joint versus single-joint robotic training. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, Vol. 10 (113), 2013, S 1-3
- [20] Eisinger, D. B.; Kumar, R.; Woodrow, R.: Effect of Lumbar Orthotics on Trunk Muscle Strength. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 1996, Vol. 75 (3), S. 194–197

Monitore vs. Smartglasses

Grundlagenuntersuchung zur Beurteilung kognitiver Aufgabenlasten von digitalen Informationssystemen auf Gabelstaplern

Benno Gross, M.A. Mag. rer. publ., **Andreas Stefan**, B.Sc.,
Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung,
Sankt Augustin;
Dipl.-Sporting. **Marieke Dahl**,
Berufsgenossenschaft Handel und Warenlogistik, Mannheim

Kurzfassung

Spätestens seit dem Glass Projekt von Google stoßen die Potentiale von Smartglasses und Augmented Reality auf großes Interesse in den verschiedensten Bereichen der Arbeitswelt, insbesondere in der Intralogistik. Beim Pick-by-Vision mit Smartglasses bekommen Kommissionierer relevante Informationen wie Lagerplatz, Menge des zu entnehmenden Produktes und Routenführung durch die Lagerhalle über einen kopfgetragenen Monitor kontextabhängig direkt ins Sichtfeld eingeblendet. Handsfree-Nutzung, der Wegfall von Blickabwendungen auf externe Geräte und eine geringe Interaktionsfrequenz bei der Tätigkeit mit Smartglasses versprechen dabei eine Reduzierung der Kommissionierzeiten und damit eine erhebliche Effizienzsteigerung.

Mögliche Gefährdungen durch die Nutzung von Smartglasses stellen arbeitswissenschaftlich ein relativ junges Forschungsfeld dar. Im Sinne des proaktiven Arbeitsschutzes ist es deshalb sinnvoll, verschiedene potentielle Nutzungsszenarien von neuen Arbeitsmitteln zu betrachten. In diesem Kontext untersucht eine gemeinsame Simulatorstudie der Berufsgenossenschaft Handel und Warenlogistik (BGHW) und des Instituts für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) mögliche kognitive Belastungen der Informationssysteme Monitore und Smartglasses, die bei der Interaktion mit den Devices während der Fahrt auf Gabelstaplern auftreten können. Führt der Einsatz von Smartglasses zu einer höheren oder niedrigeren Ablenkung des Fahrers? Wird durch eines der Systeme eine mögliche Sichtbehinderung hervorgerufen? Kann der Einsatz von Smartglasses durch Reduzierung von Blickabwendungen bei der Informationsaufnahme zu einer Steigerung der Arbeitssicherheit und einem geringeren Unfallrisiko beitragen? Oder steigt die kognitive Belastung und reduziert damit die Wahrnehmung von möglichen Risikoquellen?

1. Smartglasses: Hintergrund und potentielle Anwendungsfelder

Smartglasses sind kopfgetragene Micro-Computer (Wearables), die über optische Displays im Blickfeld des Nutzers verfügen und somit als Head-Mounted Displays (HMD) klassifiziert werden. Ähnlich wie Smartphones, verfügen sie über ein Betriebssystem, mit dem sich verschiedene Dienste wie Internet und Navigation aufrufen lassen und sie verfügen in der Regel über eine Bluetooth- und WLAN-Antenne sowie eine Kamera, mit der sich Videos und Fotos aufzeichnen und anzeigen lassen. Bei der Nutzung von Smartglasses wird die Realität durch virtuelle Einblendungen von Informationen oder Objekten in Echtzeit durch Überlagerung (Layer) der Wahrnehmungsebene angereichert. Diese Einblendungen erfolgen in der Regel durch Einbindung in ein Netzwerk. Deshalb spricht man in dem Zusammenhang von Smartglasses von Assisted Reality bzw. Augmented Reality, also einer erweiterten Realität.

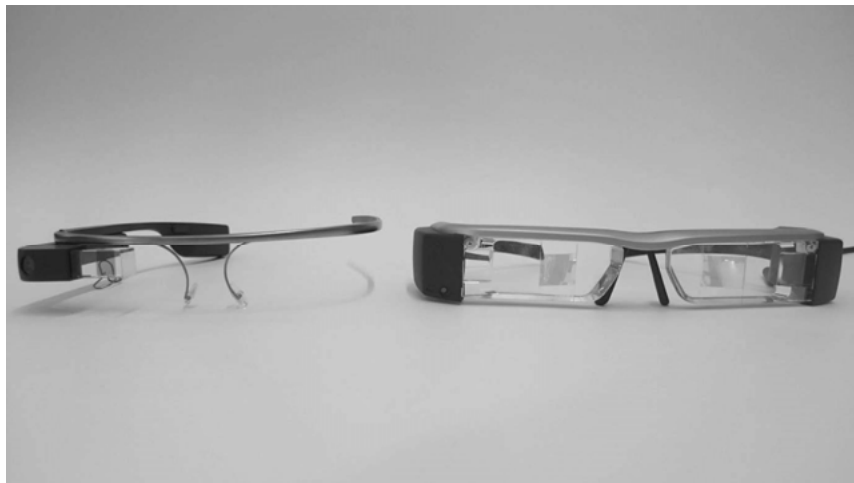


Bild 1: Smartglasses, monokular (l) und binokular, IFA

Neben dem Bereich der Kommissionierung finden sich weitere potentielle Anwendungsfelder in allen Arbeitsbereichen, die über einen Bedarf an Anleitung, Informationsaufnahme, Kollaboration oder externer Kontrolle verfügen, bei denen aber Blickabwendungen oder Interaktion mit einem externen Display hinderlich sind.

Die Einblendung relevanter kontextbezogener Informationen zu verschiedenen Arbeitsschritten kann beispielsweise zu einer Reduzierung des Schulungsaufwands (Training on the job) führen und ermöglicht eine effizientere Arbeitsverrichtung. Außerdem lassen sich für einzelne Arbeitsschritte auch Zweitmeinungen (Remote Expert) einholen oder Arbeitsqualität per Videostream und –dokumentation überprüfen [1].

2. Simulatorstudie von BGHW und IFA: Smartglasses auf Gabelstaplern

In der Regel erhalten Fahrer von Gabelstaplern die für ihren Arbeitsbereich relevanten Informationen über ein Monitoranzeigesystem in der Fahrgastzelle, wobei es durch kognitive Belastung bei der Informationsaufnahme während des Fahrens und die Blickabwendungen von dem Fahrgeschehen zu Unfällen kommen kann. Im Gegensatz hierzu bietet der Einsatz von Smartglasses an Gabelstaplerarbeitsplätzen die Möglichkeit, Anweisungen und Informationen im Sichtfeld des Fahrers zu positionieren und die Interaktionsrate mit dem Anzeigesystem zu reduzieren.

Die gemeinsame Simulatorstudie der Berufsgenossenschaft Handel und Warenlogistik (BGHW) und des Instituts für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) untersucht daher, inwieweit sich die kognitive Belastung während der Fahrt auf Gabelstaplern durch die Verwendung eines Monitors als Anzeigesystem gegenüber Smartglasses unterscheidet. Verwendet wurden zwei Smartglasses (monokular und binokular) und ein Tablet als Anzeigesystem Monitor.

An der Studie nahmen 32 ausgebildete Fahrer zum Führen von Flurförderzeugen (Gabelstaplern) teil, wovon 9 wegen unvollständigen Daten oder aufgrund anderer Faktoren (überwiegend Simulator Sickness) ausgeschlossen wurden. Das Testkollektiv bestand damit aus 23 Testpersonen (m), mit dem Durchschnittsalter von 40 Jahren und einer Fahrpraxis von 6,5 Stunden/Monat im Mittelwert.



Bild 2: Testperson in der Simulatorstudie, BGHW

Aus Sicherheitsgründen wurde die Studie an einem computerbasierten Simulator durchgeführt, dessen Bedienelemente und Maße identisch zu einem echten Gabelstapler des zu untersuchenden Typs sind. In der virtuellen Umgebung wurde das Fahren durch eine leere Lagerhalle simuliert, in der sich die Testpersonen frei bewegen konnten. In der Lagerhalle befinden sich große Regale mit engen, durchnummerierten Regalrassen, die die Testpersonen auf Anweisung ansteuern sollten. Die Angabe zu Regalrasse und Lagerfach erfolgte über das jeweilige Anzeigesystem und wurde nach der Ankunft an dem Fahrtziel wiederholt. Insgesamt absolvierte jede Testperson vier Fahrten, mit den beiden Smartglasses, mit dem Monitor und einer Fahrt ohne zusätzlich Aufgabe mit einer Dauer von 2 Minuten. Durch ständiges Vorlesen von erscheinenden Ziffern auf dem jeweiligen Anzeigesystem wurde die Aufgabenanzahl zusätzlich deutlich verdichtet, mit dem Ziel mögliche Unterschiede bezüglich der kognitiven Belastung der Anzeigesysteme deutlich trennschärfer in den Messwerten detektieren zu können. Die Daten wurden durch ein normiertes Reaktionstestverfahren, dem Detection Response Task (DRT) nach ISO 17488 [2], erhoben, bei dem die Testpersonen das Wahrnehmen eines

fortlaufend auftretenden visuellen Signals (pro Durchlauf etwa 30 Stimuli etwa alle 5 s) mit einem Knopfdruck bestätigen mussten. Gemessen wurde sowohl die Reaktionszeit als auch die Reaktionsgenauigkeit. Mit diesem Verfahren lässt sich eine Aussage dazu treffen, wie die kognitive Belastung bei der Benutzung der verschiedenen Anzeigesysteme ist und welches relativ zu den anderen die größere kognitive Belastung verursacht. Zusätzlich wurden Fahrfehler (Kollisionen mit Lagertrassen, etc.) erfasst sowie eine Befragung der Testpersonen bezüglich der subjektiven Einschätzung der Belastung (NASA Task Load Index) [3] und der persönlichen Präferenz eines der verwendeten Anzeigesysteme.



Bild 3: Informationseinblendung mit Smartglasses, IFA

3. Ergebnisse

Die Untersuchung hat ergeben, dass die Nutzung von Anzeigesystemen (Smartglasses, Monitor) während der Fahrt gegenüber Fahrten ohne weitere Aufgabe zu einer zusätzlichen, signifikanten Zunahme der kognitiven Belastung führt. Allerdings konnte kein Unterschied zwischen den Anzeigegegeräten festgestellt werden können. Dieser Ergebnis ergibt sich aus dem Reaktionstest DRT und wird durch die Ergebnisse der Selbsteinschätzung der Testpersonen gestützt. Die Beantwortung der Frage nach dem präferierten Anzeigesystem zeigt eine tendenziell höhere Akzeptanz bei der Verwendung des Monitors.

Auch im Bereich der Fahrfehler zeigt sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Anzeigesystemen, sodass diese dahingehend interpretiert werden können, dass sie unabhängig

von der Gerätenutzung auftreten. Dies heißt nicht, dass Unfälle durch die zusätzliche Belastung der Geräte auszuschließen wären.

4. Ausblick

Die Studie untersucht kognitive Belastungen verschiedener Anzeigesysteme, die durch die Nutzung der Fahrer von Gabelstaplern während der Fahrt entstehen. Die Ergebnisse ermöglichen Aussagen zu den relativen kognitiven Belastungspotentialen der untersuchten Anzeigesysteme Monitor und monokulare sowie binokulare Smartglasses in einem aufgabenverdichteten Versuchssetting. Die Ergebnisse sind also in Relation zueinander zu bewerten, eine Festlegung absoluter Grenzwerte für die kognitive Belastung von Beschäftigten durch die Nutzung bestimmter Anzeigesysteme in einem realen Use Case lassen sich hierdurch nicht ableiten. Allerdings legen die Ergebnisse der Studie nahe, dass sich die kognitive Belastung bei der Verwendung von Smartglasses gegenüber einem Monitorsystem nicht signifikant unterscheiden. Die reale Belastung wird maßgeblich von Faktoren beeinflusst, die im Kontext des jeweiligen Anwendungsfalls zu beurteilen sind: Welche Aufgaben sind auf dem Anzeigesystem auszuführen? In welchen Situationen finden Informationsaufnahme und Interaktion mit dem Anzeigesystem statt? Wie ist die Software gestaltet (Usability)?

Durch entsprechende Studien aus dem Kontext der kognitiven Belastung von Informations- und Kommunikationstechnik im Straßenverkehr lässt sich jedoch festhalten, dass die Reduzierung von fahrfremden Tätigkeiten elementar zur Unfallverhütung beitragen kann [4]. Insofern sollte der Arbeitsprozess so gestaltet sein, dass er die kognitive Belastung für den Beschäftigten möglichst reduziert [5].

Weitere mögliche ergonomische Fragestellungen und beispielsweise psychische Belastungen müssen in der Studie zunächst weitestgehend unberücksichtigt bleiben. Eine wissenschaftliche Vertiefung dieser Fragestellungen ist zu begrüßen, um im Zusammenhang mit der stetig wachsenden Relevanz von Datenbrillen in allen Bereichen der Arbeitswelt möglichen Gefährdungspotentialen entgegenzuwirken und den Anspruch gesundheitsgerechter Arbeitsgestaltung für die Beschäftigten auch zukünftig gewährleisten zu können.

- [1] Terhoeven, J.; Wischniewski, S.: Datenbrillen im Einsatz. Gute Arbeit, Ausgabe 05/2017 (2017), Seiten 24-26
- [2] ISO 17488:2016, Road vehicles -- Transport information and control systems -- Detection-response task (DRT) for assessing attentional effects of cognitive load in driving
- [3] NASA (1986): Nasa Task Load Index (TLX)
- [4] Schömig, N., Schoch, S., Neukum, N., Schumacher, Wandtner, B: Simulatorstudien zur Ablenkungswirkung fahrfremder Tätigkeiten. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Reihe Mensch und Sicherheit, Heft M253 (2015), Bremen
- [5] Head Mounted Displays - Arbeitshilfen der Zukunft. Bedingungen für den sicheren und ergonomischen Einsatz monokularer Systeme. BAuA (2016), Dortmund: 2016

Virtual Reality in der Intralogistik erhöht die Wirtschaftlichkeit

Vielseitige Möglichkeiten für Planung, Schulung und Betrieb

Dipl.-Betriebsw. **Thomas Preller**, viastore SYSTEMS GmbH, Stuttgart

Kurzfassung

Die Intralogistik wird immer komplexer: Digitalisierung, Automatisierung und ein durchdachter Materialfluss verzahnen immer mehr die Prozesse in Lager und Produktion im Sinne von Industrie 4.0. Das hat für den Anwender erhebliche Vorzüge: Innerbetriebliche Abläufe sind dadurch nicht nur schneller und leistungsfähiger, sondern auch transparenter. Gleichzeitig steigert die Automatisierung die Ergonomie, zum Beispiel am Kommissionierplatz: Mitarbeiter werden von körperlich schweren Aufgaben entlastet, die Abläufe sicherer. Damit erhöhen sich jedoch auch die Anforderungen an die Systeme und Komponenten – vor allem an die Planung und Auslegung der Systemanlagen, Prozesse und Arbeitsplätze unter Berücksichtigung der Faktoren Zeit, Kosten und Funktionssicherheit. Um diese Vorgaben zu erfüllen, setzt der internationale Intralogistik-Experte viastore bereits bei der Entwicklungsphase auf innovative Techniken der Virtual Reality (VR).

Dreidimensionale Darstellung und Bewegung im Raum machen Entwürfe erlebbar

In der Architektur und der Produktentwicklung ist Virtual Reality schon längst gang und gäbe. Hier ist die Technik ein wichtiges Werkzeug, um Entwürfe, die sich noch in der Entwicklungsphase befinden, realistisch erfahrbar zu machen und Schwachstellen zu erkennen. Alle relevanten Informationen werden dazu auf eine spezielle Visualisierungs-Brille übertragen, die 3D-Modelle in eine Realitätswelt umwandelt. Die Simulation täuscht die Sinne des Anwenders dabei so, dass er den Eindruck hat, sich in der dargestellten Umgebung in den richtigen Dimensionen zu befinden oder das theoretische Produkt tatsächlich in der Hand zu halten. Ein wichtiger Unterschied zur herkömmlichen 3D-Technik: Die Sicht des Anwenders ist bei VR nicht auf einen Bildschirm beschränkt. Durch die Visualisierungs-Brille hat er ein größeres Sichtfenster und nimmt auch Dinge aus dem Augenwinkel wahr. Im Gegensatz zu 3D taucht er damit komplett in die virtuelle Welt ein und wird optisch von keinen äußeren Faktoren abgelenkt. Gerade innovative Konzepte, die noch nicht auf dem Markt sind, können so im Vorfeld auf ihre Qualität, Funktionalität und Wirtschaftlichkeit überprüft werden – ein deutlicher Vorteil

gegenüber der herkömmlichen zweidimensionalen Darstellungsform und damit ein maßgeblicher Wettbewerbsvorteil und Erfolgsfaktor.

Effiziente Planung von komplexen Logistiksystemen

Auch in der Intralogistik bringt Virtual Reality zunehmend Nutzen. Gerade bei der Konzeption von komplexen Logistik-Systemen erweist sich die Technologie als sehr vorteilhaft. Sie ermöglicht es, zum Beispiel ein Logistikzentrum mit Produktionsanbindung in einer bisher nicht erreichten Realitätsnähe zu planen und zu projektieren. Mit VR werden Anforderungen, Wünsche sowie technische und räumliche Voraussetzungen, die sich in der Planung verändern, flexibel angepasst. Das schützt vor Überraschungen bei der Umsetzung. Der internationale Intralogistik-Spezialist viastore mit Hauptsitz in Stuttgart nutzt VR ebenfalls bei der Realisierung komplexer Systeme. Die Konzeption eines Logistikzentrums erfolgt dort mit Hilfe von speziellen Planungs-Tools. Mit diesen können die Experten alle Projekte in kürzester Zeit in Virtual Reality abbilden. Damit gestalten sie die Anlage so realitätsnah wie möglich und lassen alle Kundenanforderungen einfließen. Die viastore-Lösung ist in der Lage, sämtliche Szenarien zu implementieren, zu testen und in den Live-Betrieb zu bringen. Alle Komponenten werden vor der realen Umsetzung in einem digitalen Modell abgebildet und auf ihre Funktionsfähigkeit hin simuliert.

Durch den Einsatz von Virtual Reality ist es möglich, Anwendern schon in der Entwicklungsphase zu zeigen, wie das Lager später aussehen wird. Die Anschaulichkeit der Technologie kann maßgeblich bei der Entscheidungsfindung unterstützen. Ein weiterer Punkt: Durch die virtuelle Inbetriebnahme der automatisierten Logistikzentren können spätere Abläufe wie beispielsweise Picking-Prozesse bei der Kommissionierung im Vorfeld durchgespielt und auf ihre Praxistauglichkeit und Wirtschaftlichkeit hin überprüft werden. Schwachstellen werden damit sofort erkannt und bereits bei der Planung behoben. Das ermöglicht eine besonders bedarfsgerechte Konzeption der Systeme. Auch bei der Gestaltung von Arbeitsplätzen bietet die VR-Technik eine enorme Hilfestellung. Anwender können diese vorab hautnah ausprobieren und auf Ergonomie, Leistung und Ausstattung prüfen. Das ist im Vergleich zu den bisherigen Mock-Up-Lösungen nicht nur kostengünstiger, sondern gleichzeitig flexibler und exakter. Der hohe Innovationsgrad der neuen Technologie hat damit einen deutlichen Mehrwert.

Erfahrbare Situationen erhöhen Schulungseffekt

VR leistet bei der Planung von Intralogistik-Systemen eine hervorragende Hilfestellung. Bei der Schulung von Betriebs- und Service-Personal spielt die Technik eine ebenso entscheidende Rolle. Mitarbeiter können dank der Simulation komplexe Betriebsabläufe einfach erlernen – ohne Sicherheitsrisiken oder den Einsatz von Verbrauchsmaterialien. Dadurch, dass die Situationen nicht mehr theoretisch, sondern erfahrbar sind, üben sie für Mitarbeiter einen wesentlich größeren Schulungseffekt aus als herkömmliche Methoden. Vor allem prozedurales Wissen, also das praktisch nutzbare Wissen, das häufig in Gestalt von unbewusster Verarbeitungsroutine vorliegt, wird mit VR besonders gut erlernt und trainiert.

Der Einsatz von Virtual Reality in der Intralogistik ermöglicht es, Qualität und Effizienz bei der Realisierung von vernetzten Materialfluss-Steuerungen zu erhöhen. Gleichzeitig senken sich die Risiken, und auch der zeitliche Aufwand wird bis zur Inbetriebnahme maßgeblich verkürzt. Das reduziert letztlich den Arbeitsaufwand und damit die Kosten.



Bild 1: Virtual Reality leistet bei der Planung von Intralogistik-Systemen eine hervorragende Hilfestellung.



Bild 2: Künftige Abläufe wie Picking-Prozesse können im Vorfeld durchgespielt und auf ihre Ergonomie, Praxistauglichkeit und Wirtschaftlichkeit überprüft werden.



Bild 3: Durch den Einsatz von Virtual Reality ist es möglich, Anwendern bereits in der Entwicklungsphase zu zeigen, wie das Lager später aussehen wird. Schwachstellen werden damit sofort erkannt und behoben.

Virtual Label

Wie die virtuelle Intelligenz eines Paketes durch Augmented Reality kontextbasiert visualisiert werden kann

Dipl.-Inf. **B. Mättig**, M.Eng. **T. Kirks**, M.Sc. **J. Jost**, M.Sc. **M. Döltgen**,
Fraunhofer Institut für Materialfluss und Logistik IML, Dortmund

Kurzfassung

Das bisher eingesetzte, handelsübliche KEP-Versandlabel enthält nur begrenzte Informationen zu der entsprechenden Sendung. Meist beschränkt es sich auf den Absender und den Empfänger. Zusätzlich befinden sich in bestimmten Fällen noch Hinweise zum Inhalt auf dem Label. Werden detailliertere Informationen benötigt, muss meistens das Paket oder zumindest die Tasche des Lieferscheins geöffnet werden. Über die Idee des Virtual Labels soll es ermöglicht werden, in der Cloud hinterlegte Zusatzinformationen bedarfsgerecht über einen Referenzcode (z.B. QR-Code) am Paket per Augmented Reality darzustellen. Auf diese Art soll jeder Protagonist entlang der gesamten Supply Chain, genau die Informationen erhalten, die er aktuell benötigt. Im Folgenden wird die Idee des Virtual Labels näher erläutert und in den logistischen Kontext eingeordnet.

1. Herausforderungen an Versandlabels als essentieller Informationsträger für die KEP-Branche

Die Kurier-, Express- und Paket-Branche (KEP) ist ein Dienstleistungssegment, welches kontinuierlich Wachstum erfährt. Jedes Jahr steigen die Versandzahlen im C2C-, B2C- und B2B-Bereich weltweit. In Deutschland wurden im Jahr 2016 beispielsweise 3,1 Milliarden KEP-Sendungen befördert. Einen besonderen Anteil für dieses Wachstum macht der steigende E-Commerce aus. Verglichen mit dem Vorjahr entspricht das einem Wachstum von 7,2%. Dabei machen grenzüberschreitende Sendungen anteilig rund 10% aus. Der KEP-Branche wird jedes Jahr ein Wachstum von rund 10% prognostiziert. Neben der Schaffung von Arbeitsplätzen ist diese Branche somit ein wesentlicher Treiber der Volkswirtschaft. [1]

Bei dem Versand von Sendungen ist eine eindeutige Kennzeichnung unabdingbar. Branchenüblich eingesetzte Versandlabel enthalten meist nur begrenzte Informationen zu der entsprechenden Sendung, es beschränkt sich auf Informationen zu Absender und Empfänger. In manchen Fällen befinden sich noch Hinweise zum Sendungsinhalt auf einem Label. Werden de-

tailliertere Informationen benötigt, muss somit das Paket oder zumindest die Tasche des Lieferscheins geöffnet werden. Die Suche nach den relevanten Informationen gestaltet sich dadurch als zeitaufwändig. Insbesondere bei Sendungen aus dem Ausland reichen Informationen zu Empfänger und Sender nicht aus, sondern es werden auch Informationen zum genauen Inhalt und Wert des Sendungsinhaltes benötigt, da zollrechtliche Bestimmungen geprüft werden müssen.

In ungünstigen Fällen kann das am Paket angebrachte Versandlabel oder eine Versandtasche mit Zusatzinformationen teilweise oder ganz verloren gehen. Je nachdem, welche Art von Informationen nicht mehr vorhanden sind, wird die Zustellung des Paketes dadurch beeinträchtigt oder ganz unmöglich. Dies impliziert einen vermeidbaren und teuren Mehraufwand für alle Beteiligten. Konkret bedeutet dies beispielsweise für den Spediteur einen unnötigen, erhöhten Aufwand beim Abwickeln von Paketsendungen. Für den Kunden wiederum – sowohl Versender als auch Empfänger – impliziert dies verlängerte Wartezeiten bei der Zustellung der Warensendung.

2. Umsetzung eines smarten Versandetiketts durch den Einsatz von Augmented Reality und einer cloudbasierten Datenplattform

Aufgrund der volumenmäßigen und finanziellen Hintergründe, die der KEP-Branche zugrunde liegen, sind robuste und innovative Lösungen erforderlich. Damit kann in der Zukunft den Herausforderungen von klassischen KEP-Dienstleistungen in einer digitalisierten Arbeitswelt innovativ begegnet werden. An dieser Stelle setzt die Idee des Virtual Labels (ViLa) an. Die Idee basiert auf dem Grundgedanken, dass mit einem Paket verknüpfte, relevante Daten über die Cloud verfügbar sind und dem jeweiligen Akteur in der Supply Chain per AR zur Verfügung gestellt werden. Das bedeutet, dass nur genau die Informationen, die im jeweiligen Kontext des Stakeholders benötigt werden, diesem auch angezeigt werden. Dazu ist am Paket ein Referenzcode (z.B. QR-Code) angebracht, über den die innerhalb der Cloud hinterlegten Zusatzinformationen entnommen werden. Per AR werden diese dem Akteur kontextsensitiv direkt am Bedarfsort dargestellt. Augmented Reality dient hierbei als ideale Möglichkeit, diese virtuellen Informationen in die Realität einzubetten. Umgesetzt werden kann dies über eine Datenbrille oder eine Smartphone-Anwendung.

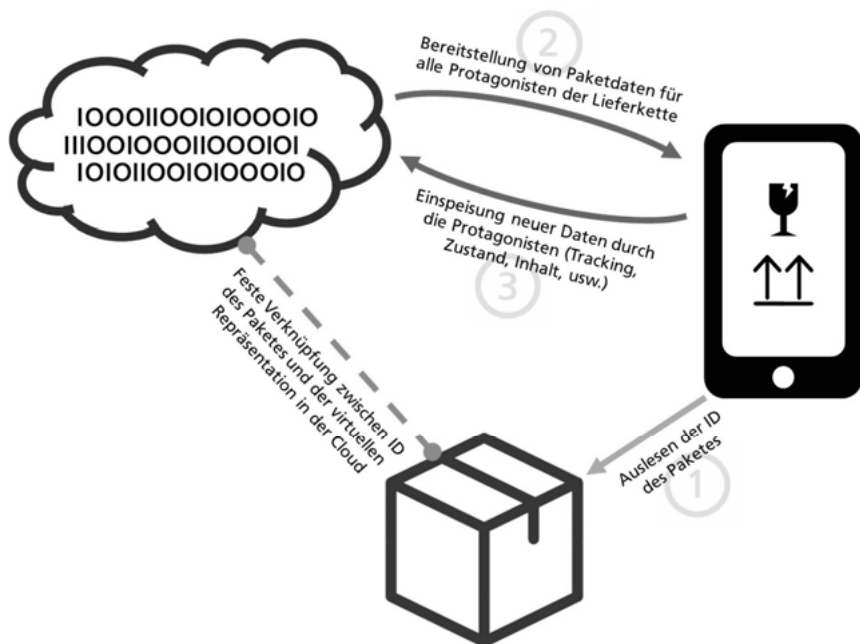


Bild 1: Architektur ViLa-System (Bild: Fraunhofer IML)

Für jeden Akteur entlang einer Versandkette sind jeweils unterschiedliche Informationen von Relevanz. Diese Informationen sind in der Cloud abgelegt und werden kontextsensitiv abgerufen. Innerhalb des ViLa-Backends kann in dem Zuge auch auf den individuellen, kulturellen Hintergrund des Akteurs eingegangen werden. Das bedeutet insbesondere, dass die Anzeigesprache der jeweiligen Präferenz eines Akteurs angepasst werden kann. Dadurch können Sprachbarrieren überwunden werden, die bei der Verwendung von länderspezifischen Labels in internationalen Supply Chains entstehen.

3. Technische Innovation des Virtual Labels

In der vorgestellten Idee wird der Grundgedanke des „intelligenten Pakets“ weitergeführt. So lassen sich beliebig viele Daten oder sogar Prozesslogik im Sinne des maschinellen Lernens in der Cloud hinterlegen, die über einen Referenzcode mit dem Paket verknüpft sind. Durch entsprechende Zugangsberechtigungen und den Einsatz von Augmented Reality lassen sich für jeden Protagonisten in der Supply Chain die jeweils passenden Informationen abrufen und

visuell verknüpft „auf dem Paket“ darstellen. So lässt sich ein dynamisches Label umsetzen, ganz ohne zusätzliche Hardware an der Sendung anbringen zu müssen.

Grundsätzlich beinhaltet die Idee des Virtual Labels eine Reihe technischer Innovationen, die im Folgenden kurz erläutert werden.

Durch das virtuelle Labeling mit AR und der kontextbasierten Informationsdarstellung lässt sich eine große Dynamik sowie höhere Prozessqualität abbilden. Jeder Protagonist, vom Verpacker bis zum Empfänger, erhält die für ihn relevanten Informationen unmittelbar „auf dem Paket“ dargestellt. Dies vereinfacht den kognitiven Prozess der Informationsaufnahme und verhindert falsche Interpretationen der bereitgestellten Informationen. Hierbei werden die allgemeinen Vorteile der Informationsdarstellung über AR genutzt, die sich dadurch auszeichnen, dass Informationen genau auf dem physischen Objekt angezeigt werden, dem sie kontextuell zugeordnet sind [2]. In den jeweiligen Anwendungsfällen lässt sich prinzipiell auf den Einsatz papierbasierter Dokumente verzichten. Darüber hinaus kann der Detailgrad der dargestellten Informationen erheblich erweitert und durch dynamische Daten ergänzt werden. So lassen sich zum Beispiel Livedaten zu Sensormesswerten oder der aktuelle Carbon Footprint unmittelbar am Paket abrufen und darstellen.

Auf Seiten der Datenverarbeitung sowie der Datenhaltung erlauben die offenen Schnittstellen des Systems, sowohl das unternehmensübergreifende Abrufen als auch das Einspeisen von Informationen zur Sendung. Jeder Protagonist in der Kette kann auf die ihm freigegebenen Informationen zugreifen und an bestimmten Stellen die bestehenden Informationen mit neuen Informationen anreichern. Über Zugangsberechtigungen können hierbei sensible Daten gegen Fremdzugriffe geschützt werden. Protagonisten erhalten je nach Berechtigung sowohl lesenden als auch schreibenden Zugriff auf die Daten eines Paketes. Hierbei unterscheidet sich die ViLa-Lösung von bereits existierenden Lösungen, die ausschließlich unternehmensinterne Schreibzugriffe auf Datenbestände erlauben.

Durch die gesammelten Daten des ViLa-Systems und Methoden des maschinellen Lernens lassen sich Analysen und Vorhersagen im Sinne der Predictive Analytics durchführen. Die DPD Group setzt dieses Verfahren der Datenanalyse bereits ein und sieht in dieser Thematik ein sehr großes Potential [3]. Diese Verfahren ermöglichen es beispielsweise, dass fehlende Daten durch das System automatisiert ergänzt werden bzw. Prozesse durch Erfahrungswerte des Systems verbessert werden. Ist ein Empfänger zu bestimmten Uhrzeiten typischerweise

nicht zu Hause, wird durch das System z.B. automatisch eine alternative Zustelloption angeboten.

4. Anwendungsbeispiele (Use Cases) des Virtual Labels

Im folgenden beispielhaften Anwendungsbeispiel wird kurz dargestellt, wie eine durchgehende Datenbereitstellung die jeweiligen Prozesse innerhalb des Supply Chain unterstützen und verbessern kann. Die einzelnen Beispiele haben hierbei einen visionären Charakter und sollen verdeutlichen, welche Vorteile die digitale Repräsentation einer Sendung in einem cloudbasierten System bieten kann.

Die hier betrachtete, beispielhafte Supply Chain beginnt am Versandort der Ware. Die Bestellung eines Kunden ist eingegangen. Die entsprechenden Waren wurden von einem Mitarbeiter aus dem Lager kommissioniert und der Verpackungsabteilung bereitgestellt. Die virtuelle Sendung wird nun im ViLa-System angelegt und mit den entsprechenden Bestelldaten verknüpft. Innerhalb des nun folgenden Verpackungsprozesses entsteht im nächsten Schritt das physische Gegenstück dieser virtuellen Sendung. Auf Basis der Stammdaten ist das ViLa-System nun in der Lage mit Hilfe maschinellen Lernens ein optimales Packschema zu berechnen sowie die optimale Kartonage auszuwählen. Diese Hinweise zur geeigneten Kartonage und dem Packschema werden dem **Verpacker** über eine Datenbrille per AR unmittelbar in sein Blickfeld eingeblendet (Bild 2). So ermöglicht ViLa einen ressourcensparenden und volumenreduzierten Packprozess.



Bild 2: Der Verpacker scannt ein Packstück der Warensendung und per Augmented Reality Anzeige wird der Bereich innerhalb des Kartons angezeigt, an dem es gemäß der Berechnung zum optimalen Packschema platziert werden muss. (Bild: Fraunhofer IML)

Im nächsten Schritt wird das Paket der Warensendung an einen Transportdienstleister übergeben. Im Vergleich zum Verpacker sind für den **Transporteur** andere Informationen relevant. Der Transporteur trägt ebenfalls eine Datenbrille, mit der das am Paket angebrachte ViLa gescannt wird. Im Zuge dessen erhält er beim Blick auf das Paket dynamisch per AR alle Informationen zum Handling (Bild 3). Auch weiterführende Informationen lassen sich über das ViLa-System abrufen. Hierzu gehören zum Beispiel aktuelle Informationen zur Auslieferoute, die auch Informationen anderer Transporteure berücksichtigen kann. Durch diese dynamische Informationsbereitstellung kann der Mitarbeiter in diesem Schritt der Supply Chain zu jeder Zeit situationsgerecht reagieren. Dies bedeutet konkret, dass empfindliche Sendungen gemäß den benötigten Vorkehrungen im Fahrzeug ordnungsgemäß gelagert und gesichert werden können. Ebenso kann er durch die durch das ViLa-System bereitgestellten Informationen frühzeitig Alternativrouten auswählen, sollten auf der Standardroute Verkehrsbeeinträchtigungen vorliegen.



Bild 3: Der Spediteur nutzt ViLa, um sich über Eigenschaften des Paketes zu informieren.
(Bild: Fraunhofer IML)

Das Paket wird weiter entlang der Supply Chain vom Versand- zum Bestimmungsort transportiert. Da es sich im Anwendungsbeispiel um einen länderübergreifenden Versand handelt, muss das Paket auch vom Zoll abgefertigt werden. Dem **Zollbeamten**, ausgestattet mit einer Datenbrille, werden, mit Blick auf das am Paket angebrachte ViLa, übersichtlich alle zollrelevanten Informationen in seiner Muttersprache dargestellt (Bild 4). Relevante Informationen werden durch AR dynamisch in die Realität integriert. Damit kann der Zollbeamte beispielsweise schnell und direkt den Gesamtwert des Paketes sowie die enthaltenen Waren einsehen. Über den Bereich „Zoll Status“ kann der Beamte des Weiteren sehen, dass das Paket in dem hier dargestellten Beispiel von einem vertrauenswürdigen, dem Zoll bekannten Absender stammt. Ebenso befindet sich der Wert und Inhalt des Paketes in einem unkritischen Bereich. ViLa erleichtert somit insbesondere das Abfertigen von unbedenklichen Paketen, so dass sich die Zollbeamten kritischen Fällen zuwenden können, die differenzierter geprüft werden müssen. Die Prüfung von unbedenklichen Paketen kann somit effizient und weniger zeitaufwändig vollzogen werden.



Bild 4: Dem Zollbeamten wird per AR Anzeige übersichtlich dargestellt, ob der Inhalts des Paketes zollrechtlichen Bestimmungen unterliegt. (Bild: Fraunhofer IML)

Im letzten Schritt der Versandkette trifft das Paket beim **Empfänger** ein. Auch dieser kann durch ViLa per Datenbrille oder Smartphone-App Informationen zum Sendungsverlauf und der Herkunft des Paketes erhalten. Zusätzlich lassen sich vorhandene Sensorinformationen direkt darstellen, so dass der Empfänger unmittelbar nachvollziehen kann, unter welchen Bedingungen das Paket transportiert wurde (Bild 5).



Bild 5: Der Empfänger des Paketes bekommt Informationen zu seiner bestellten Ware per AR angezeigt. (Bild: Fraunhofer IML)

5. Ausblick

Das Beispiel des Virtual Labels für den KEP-Sektor zeigt, dass durch die direkte Verknüpfung einer physischen Sendung mit einer virtuellen Repräsentation in der Cloud sowie einer kontextbasierten Informationsdarstellung über Augmented Reality ein erheblicher Mehrwert geschaffen werden kann. In vielen Bereichen, insbesondere beim Zoll, sind papierbasierte Dokumente noch vorgeschrieben. Jedoch lassen sich auch in diesem Fall durch den Einsatz virtueller Zusatzinformationen deutliche Mehrwerte schaffen, die zumindest im Normalfall die Verwendung der Papierdokumente entfallen lassen. Insbesondere die Verknüpfung der bestehenden Prozessinformationen mit Liveinformationen, die während des Prozesses über die jeweiligen Protagonisten eingespielt werden, ermöglichen tiefgehende Datenanalysen im Sinne des Predictive Analytics, die sowohl die Qualität der Prozesse als auch der gesamten Dienstleistung ermöglichen.

- [1] BIEK (2017): KEP-Studie 2017 – Analyse des Marktes in Deutschland.
- [2] Mättig B, Lorimer I, Jost J, Kirks T (2016). Untersuchung des Einsatzes von Augmented Reality im Verpackungsprozess unter Berücksichtigung spezifischer Anforderungen an die Informationsdarstellung sowie die ergonomische Einbindung des Menschen in den Prozess. Logistics Journal : Proceedings, Vol. 2016.
- [3] Logistik Heute (2016): KEP-Dienste: Wie DPD mit Predictive Analytics Zeit und Geld spart. <https://www.logistik-heute.de/Logistik-Magazin-LOGISITK-HEUTE/Artikel/Magazin-Ausgabe-11-2016/15830/KEP-Dienste-Wie-DPD-mit-Predictive-Analytics-Zeit-und-Geld> (Abgerufen am 12.01.2018)

Fortschritte bei der automatischen Kommissionierung

Am Beispiel der Amazon Robotics Challenge

Jonathan Dziedzitz, Kai Markert, Kai Furmans, KIT, Karlsruhe

Kurzfassung

Die Automatisierung des Kommissioniervorgangs ist ein lang gehegter Traum der in der Intralogistik. In diesem Artikel wollen wir aufzeigen, wie die Amazon Robotics Challenge diesen Entwicklungsprozess vorangetrieben hat und wie weit die Technik derzeit entwickelt ist.

1. Motivation

Flexibilität in Bezug auf Menge und Artikelspektrum sind zwei wichtige Herausforderungen bei der Automatisierung von Kommissioniervorgängen. Für homogene Güter (z.B. Arzneimittel in homogenen Verpackungen) ist das automatisierte Kommissionieren schon Stand der Technik. Bei heterogenen Artikeln und einem sich verändernden Artikelspektrum ist allerdings noch keine robuste und wirtschaftliche Lösung am Markt. Allerdings bestünde in Hochlohnländern hier ein großer Bedarf.

Immer kürzere Produktlebenszyklen in Verbindung mit geringeren Stückzahlen und einer steigenden Variantenvielfalt, fordern eine wachsende Flexibilität bei den Unternehmen. Gleichzeitig wächst die Konkurrenz aus Niedriglohnländern, während in Deutschland die Personalkosten hoch sind und Arbeitskräfte durch den Fachkräftemangel und den demografischen Wandel zunehmend einen Engpass darstellen.

Allerdings gab es in jüngster Zeit einige Fortschritte bei der Entwicklung von automatisierten und dennoch flexiblen Intralogistiksystemen, so z.B. beim innerbetrieblichen Materialtransport. FTS können mittlerweile schnell in Betrieb genommen und erweitert werden. Auch sind sie an keine Spurführung mehr gebunden und können frei im Raum navigieren [1]. Auch bei der Handhabung von standardisierten Ladungsträgern wie Behältern, Boxen und Paletten gibt es heute bereits Lösungen am Markt, sodass diese automatisch entnommen und eingelagert werden können [2].

Der nächste Schritt für Produktion und Logistik ist die Handhabung von unterschiedlichsten Produkten mit beliebiger Form und mit beliebigen Materialeigenschaften. So müssen z.B. zukünftig auch biegeschlafe Teile, die sich aufgrund ihrer unterschiedlichen Kontur nur schwer erkennen und greifen lassen, automatisch gehandhabt werden. Gelingt dies, kann die Kommissionierung vollständig automatisiert werden. Hierbei gab es in den vergangenen Jahren deutliche Fortschritte.

Diese Fortschritte werden in dieser Veröffentlichung exemplarisch anhand der Amazon Robotics Challenge in den Jahren 2015 bis 2017 dargestellt. Dafür wird zunächst der Wettbewerb an sich und seine Entwicklung vorgestellt. Darauf folgend wird der technische Fortschritt in den Bereichen Hardware und Software näher betrachtet und deren Auswirkungen auf die Challenge beschrieben.

Im Anschluss wird darauf eingegangen, was diese Neuerungen für die Kommissionierung der Zukunft bedeuten, welche Konsequenzen sich daraus für die Logistik der Zukunft im Allgemeinen ergeben und wie sich diese auf die Gesellschaft und den Arbeitsmarkt auswirken. Abschließend wird ein Ausblick darauf gegeben, welche neuen Herausforderungen sich daraus ableiten lassen.

2. Amazon Robotics Challenge

Amazon und ihr Tochterunternehmen Amazon Robotics haben die Chancen und Möglichkeiten einer automatischen Kommissionierung schon früh erkannt und haben daher erstmals 2015 die Amazon Picking Challenge (APC) veranstaltet, um die Entwicklung in der automatischen Kommissionierung zu beschleunigen. Der erste Wettbewerb fand im Rahmen der ICRA (International Conference on Robotics and Automation) in Seattle, USA statt. Aufgabe war es, mit einem autarken Roboter aus einem Regal innerhalb von 20 Minuten 12 von 24 Artikel in eine Kiste umzulagern (Pick Task). Für jede richtig erfüllte Aufgabe gab es Punkte. Wurden falsche Artikel gegriffen oder wurden Artikel beschädigt, gab es einen Punktabzug. Alle Artikel standen den Teams im Vorfeld als Training Set mehrere Wochen inklusive 2D- und 3D-Artikeldaten zur Verfügung.

Der zweite Wettbewerb fand 2016 im Rahmen des RoboCups in Leipzig statt. Die Anzahl der im Regal befindlichen Artikel wurde auf 50 Artikel erhöht und somit mehr als verdoppelt. In jedem Fach befanden sich ein bis zehn Artikel. Innerhalb von 15 Minuten mussten wieder 12 definierte Artikel in eine Kiste geräumt werden. An einem weiteren Tag galt es 12 Artikel in ein mit 40 Artikeln befülltes Regal einzuräumen (Stow Task).

Tabelle 1: Einige Rahmenbedingungen der APC 2015 – ARC 2017

Aufgabe	Regal	Fächer	Artikel im Regal	Aufträge	Auftrags- größe	Zeit [min]	Teams
APC 2015 Seattle							
Pick Task	Amazon Kiva	12	24	1	12	20	26
APC 2016 Leipzig							
Pick Task	Amazon	12	50	1	12	15	16
Stow Task	Kiva	12	40	1	12	15	
ARC 2017 Nagoya							
Pick Task	gestaltbar,	2 bis 10	32	3	2 + 3 + 5	15	16
Stow Task	1-3-teilig		0	1	20	15	
Final Round	125cm		16	1	16	30	8
Stow	5.000cm²						
Final Round Pick	95.000cm³		32	3	2+3+5		

Unter dem Namen Amazon Robotics Challenge (ARC) fand der erneut erweiterte Wettbewerb 2017 in Nagoya, Japan statt. Das Design und der Aufbau des Regalsystems war nun den Teilnehmern freigestellt und damit Teil der Aufgabenstellung. Die Ausmaße, die Fläche und das Volumen des Regalsystems wurden limitiert. Es durfte sensorische (im Wert bis zu 50\$), sowie mechanische Komponenten beinhalten, jedoch keine Aktorik. Das Regalsystem musste prinzipiell von FTS transportierbar sein – man sieht hier den Bezug zu KIVA. Im Unterschied zu den Vorjahren mussten die Roboter in den verschiedenen Wettbewerbsaufgaben nun auch Artikel ein- und auslagern, mit denen sie im Vorfeld nicht üben konnten. Nur die Hälfte der Artikel war bekannt, die andere Hälfte der Artikel wurde den Teams erst kurz vor dem jeweiligen Task für 30 Minuten zur Verfügung gestellt. Der Einsatz neuronaler Netze zur Artikelidentifikation wurde dadurch deutlich erschwert. In den beiden Wettbewerbstagen mit jeweils einem Pick- und einem Stow-Task qualifizierten sich 8 von 16 Teams für den Final Round Task. Bei diesem musste das halb gefüllte Regal vom Roboter zunächst weiter aufgefüllt werden, um danach daraus zehn Artikel in drei unterschiedliche Versandkartons zu kommissionieren. Die Regeln für die einzelnen Jahre finden sich in [3], [4] und [5]. Eine Übersicht ausgewählter Rahmenbedingungen aller Wettbewerbe ist in Tabelle 1 dargestellt

Der Schwierigkeitsgrad und der Umfang der Aufgaben wurden mit jeder Challenge erhöht. Trotzdem wurden die Aufgaben besser und von mehr Teams gelöst. Bei der ersten APC 2015 konnte das Gewinner-Team RBO aus Berlin zehn Artikel umlagern, jedoch kam man mit nur drei richtig gegriffenen Artikeln noch auf Platz drei. Nur die Hälfte der 26 Teams schaffte es überhaupt einen richtigen Artikel zu greifen. In den Jahren 2016 und 2017 rückten die Teams mit ihrer Leistung näher aneinander. Erreichten 2015 nur zwei Teams mehr als 50% der Punkte des Gewinner-Teams, so waren es im Pick Task 2016 schon vier Teams und 2017 sechs Teams. Ähnlich sieht es bei den Teams am unteren Ende aus. So erreichten im Jahr 2015 14 von 26 Teams null Punkte, 2016 bzw. 2017 waren es beim Pick Task nur noch vier bzw. drei von 16 Teams ohne Punkte.

3. Technik im Wandel

Hardware

Eine wichtige Komponente für die erfolgreiche Teilnahme an der ARC ist die bildgebende Sensorik. Ohne eine Kamera ist der Griff eines Artikels nahezu unmöglich. Da beim Stow-Task eine freie Position im Regal bestimmt werden muss, wurde im Allgemeinen auf 3D-Sensorik zurückgegriffen, die zusätzlich zum RGB-Bild ein Tiefenbild der Umgebung ermittelt.

Für einen Wandel im Bereich der 3D-Sensorik sorgte das Release der X-Box Kinect im Jahre 2010. Diese war ursprünglich als 3D-Sensor zur Gestensteuerung einer X-Box Konsole gedacht, wurde aber schnell von Universitäten und Forschungsinstituten entdeckt und für eine Vielzahl von Anwendungen eingesetzt. Ausschlaggebend hierfür war der kostengünstige Preis gegenüber existierender 3D-Sensorik. Seitdem entwickeln viele Firmen ihre eigenen 3D-Sensoren, z.B. Intel. Intel bringt seit 2015 [6] jährlich eine neue Version ihrer Intel RealSense 3D Kamera auf den Markt. Mit der aktuellen Serie D400 [7] kombiniert Intel zwei Verfahren, Infrarotkamera und Stereokamera, um stabilere Tiefenbilder zu erzeugen (siehe Bild 1).



Bild 1: Intel RealSense Depth Camera D415 und D435 [7]

Die erfassten Daten müssen anschließend verarbeitet werden. Dafür benötigt die Bildverarbeitung viel Rechenleistung, da die Mehrzahl der Teams zumindest teilweise auf künstliche neuronale Netze (KNN) setzte. Die Bildverarbeitung mit Hilfe von KNN benutzt bei der Berechnung im Allgemeinen eine Vielzahl an Faltungen und somit eine sehr große Zahl an Fließkommaoperationen. Gewöhnliche Prozessoren können diese Aufgabe nicht mehr in Echtzeit lösen. Diese Berechnungen werden inzwischen von Grafikkarten übernommen. Mit dem Release der Pascal Architektur von Nvidia im Jahre 2016 (siehe Bild 2), nahm die verfügbare Leistung sehr stark zu. So war es den Teams, die Grafikkarten nutzten, bei der ARC 2017 möglich, neue Artikel in kurzer Zeit einzulernen, indem Sie neuronale Netze trainierten und sie für die Bilderkennung einsetzten. Dafür waren GPU Server mit mehr als vier Grafikkarten im Einsatz. Durch die Ankündigung der nächsten Generation von Nvidia, namens Volta (siehe Bild 2) für das Jahr 2018, und Ankündigungen von AMD, auf dem Financial Analyst Day 2017 zur ihrer Architektur Navi im 7nm Format, ist eine weitere zügige Entwicklung zu erwarten, die mehr Leistung in kleinem Volumen bringt. Ein Beispiel für integrierte Grafikkarten auf kleinem Platz bietet Nvidia mit seiner Embedded Plattform Jetson [8] an. Diese ist einfach in eine Vielzahl an Anwendungen zu integrieren.

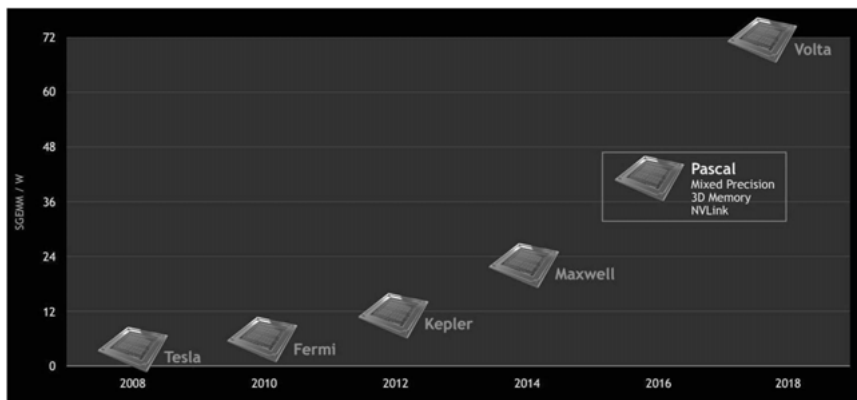


Bild 2: Anzahl an Single precision floating General Matrix Multiply (SGEMM) pro Watt verschiedener Architekturen von Nvidia [9].

Bei den verwendeten Roboterarmen war bei den Wettbewerben über die Jahre kein großer Wandel zusehen. Einige Teams, wie das Team des MIT, verwendeten sogar denselben Roboter über mehrere Challenges hinweg. 2017 wurde erstmalig der KUKA LBR iiwa [10] vom

Team Panasonic eingesetzt. Hierbei handelt es sich um einen sensitiven 7-Achs-Roboter mit einer integrierten Impedanz-Regelung. Dieser eröffnete neue Einsatzmöglichkeiten. Hauptproblem, insbesondere für Forschungsinstitute, sind die hohen Anschaffungskosten eines Roboterarms. Abhilfe könnte zukünftig die Franka Emika GmbH [11] mit ihrem Roboterarm Panda schaffen. Der Panda ist, wie der KUKA LBR iiwa, ein sensitiver 7-Achs-Roboter zu einem kostengünstigen Preis und wird seit Oktober 2017 produziert. Hierfür wurde ihnen der Deutsche Zukunftspreis 2017 verliehen [12].

Softwarearchitektur

Neben den technischen Fortschritten der Hardware ist insbesondere der OpenSource Gedanke mit offenem Quellcode und einfacher Erweiterbarkeit für die schnelle Entwicklung in der Robotik verantwortlich.

Seit 1999 wird die Open Source Computer Vision Library (kurz: OpenCV) entwickelt. Der Grundgedanke der quelloffenen Bibliothek ist die einfache Handhabung von komplexen Auswerte- und Filteralgorithmen in Bezug auf maschinelles Sehen. Mittlerweile enthält die Bibliothek über 2500 optimierte Algorithmen, die über verschiedene Schnittstellen in C++, Python, Java oder Matlab sowohl unter Linux, Windows und MAC OS verwendet werden können [13]. Die Integration von NVIDIA CUDA [14] in OpenCV im Jahre 2010 schaffte neue Möglichkeiten bezüglich der Echtzeitberechnung von Bilderkennungsalgorithmen.

Während 2010 überwiegend herkömmliche Bilderkennungsmethoden wie beispielsweise Support-Vektor-Maschinen (SVMs) in Kombination mit verschiedenen Klassifikatoren wie Histogram-of-oriented-Gradients (HOG) oder Scale-Invariant-Feature-Transform (SIFT) Merkmalen verwendet wurden, sind diese Methoden mittlerweile von Deep Learning Methoden bei der Objekterkennung und Objektklassifizierung überholt worden. Für die einfache Entwicklung von Neuronalen Netzen sind unterschiedliche Frameworks entstanden, wie beispielsweise Theano [15], Caffe [16], Torch [17] oder TensorFlow [18].

Die ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge (ILSVRC) bietet eine Datenbank von mehr als 14 Millionen Bildern, die in über 17.000 Kategorien aufgeteilt sind. Jedes Jahr können sich Forscher aus der ganzen Welt daran mit ihren Bilderkennungsalgorithmen messen. In Bild 3 wird deutlich, dass ab dem Jahr 2012 herkömmliche Erkennungsalgorithmen vollständig überholt wurden. Im Jahr 2015 wurde erstmals die menschliche Erkennungsrate von einem Computer Programm knapp überholt und im Jahr 2016 sogar deutlich geschlagen.

Ähnlich wie der Vergleich von herkömmlichen Bilderkennungsmethoden, in denen vom Menschen erdachte und entwickelte Bildmerkmale extrahiert werden, wurden bisher bei den neuronalen Netzen die Struktur, also die Anzahl an Neuronen und die Anzahl und Art der Schichten, vom Menschen festgelegt.

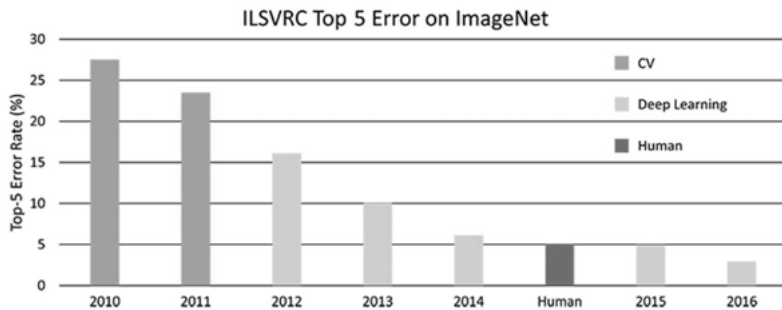


Bild 3: Rating der ILSVRC der letzten sechs Jahre [19]

Mit der Veröffentlichung von AutoML durch Google kann die Struktur des KNN automatisiert erstellt werden und sogar an bestimmte Randbedingungen, wie beispielsweise an Rechenzeitkriterien, angepasst werden. Mit diesem Verfahren konnte das automatisch entworfene NAS-Net im Jahr 2017 alle vom Menschen erstellten Netze bei der ImageNet Klassifikation schlagen (siehe Bild 4).

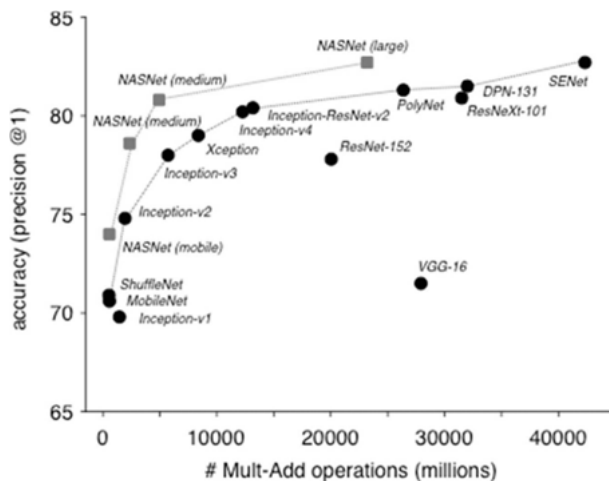


Bild 4: Vergleich verschiedener Neuroner Netze bei der ImageNet Klassifikation [20]

Betrachtet man die Fortschritte der Hardware in Verbindung mit vielen quelloffenen und leistungsstarken Bibliotheken, ist festzustellen, dass eine einheitliche Schnittstelle zwischen Hardware und Software von Robotersystemen als Mittelstück fehlt. Mit diesem Grundgedanken ist aus Forschungsarbeiten wie dem Stanford Artificial Intelligence Robot (STAIR) und dem ersten Robotik Projekt von Willow Garage der Grundstein für ein ganzes Robotik-Framework gelegt worden. Bereits im Jahr 2009 wurde die erste Version des Robot Operating Systems (ROS) unter dem Namen ROS 0.4 mango tango veröffentlicht. Bis heute wurde das Framework um eine Vielzahl von Paketen, Nachrichtentypen und Algorithmen erweitert und erlaubt die schnelle Integration von komplexer Software auf unterschiedlicher Hardware [21]. Aktuell wird ROS 2.0 entwickelt, das unter anderem Echtzeitfähigkeit für industrielle Anwendungen und ein überarbeitetes Nachrichtenkonzept mit Fokus auf IOT Anwendungen zur Verfügung stellen soll.

4. Technischer Fortschritt der APC/ARC von 2015 – 2017

Die technischen Fortschritte in Hard- und Software machten sich auch bei der APC bzw. ARC in den Jahren 2015 bis 2017 bemerkbar. Zur Bewältigung der Aufgaben in den Wettbewerben mussten hauptsächlich zwei Herausforderungen gelöst werden:

- Erkennung und Identifizierung der Artikel
- Handhabung der Artikel

Die größten Fortschritte wurden in der Erkennungsgeschwindigkeit der Artikel erreicht. Diese ist maßgeblich für die Pickzeit je Artikel verantwortlich. Die Zeit pro Pick lag bei den besten Teams 2015 noch bei über 77 Sekunden und konnte 2017 auf unter 29 Sekunden reduziert werden (siehe Bild 5). Zwar sind auch die Kameras in den letzten Jahren leistungsfähiger geworden, der größten Nutzen bei der Objekterkennung resultiert jedoch aus den Fortschritten bei den KNN und aus der Leistungssteigerung der Grafikkarten auf denen diese Netze rechnen.

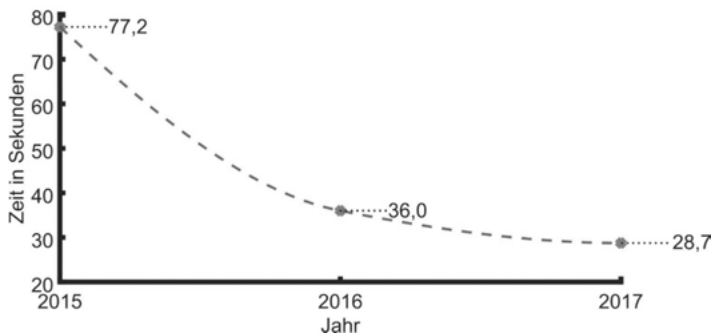


Bild 5: Durchschnittswert der Pickzeit der zwei besten Teams der Jahre 2015 bis 2017

Bei der Handhabung der Artikel gab es einige Eigenentwicklungen bei den Greifern. Wie auch bei anderen Komponenten kamen hier verstärkt additive Fertigungsverfahren (3D-Druck) zum Einsatz. Die Teams nutzten hauptsächlich Saug-Pads, da ein Großteil der Artikel aufgrund ihrer Beschaffenheit gesaugt werden konnten. Mit einem zusätzlichen Finger ausgestattet oder alternativ einsetzbaren 2-Finger-Greifern konnte das handhabbare Artikelspektrum erhöht werden. Bei den Robotern konnten keine signifikanten Weiterentwicklungen festgestellt werden.

Bei der ARC 2017 war erstmals das Regalsystem selbst zu gestalten und zu bauen. Die meisten Teams entschieden sich für ein System aus Kisten statt für stehende, herkömmliche Regalsysteme. Dies ermöglichte ein Greifen von oben anstatt von der Seite, was das Greifen deutlich vereinfachte.

5. Technik des Teams IFL PiRo

Am Institut für Fördertechnik und Logistiksysteme (IFL) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) befand sich in einem Projekt bereits ein autonomer Kommissionierroboter in Entwicklung. Daher bot es sich für das Institut an, bei der Amazon Robotics Challenge teilzunehmen, um Erfahrungen zu sammeln und den Entwicklungsprozess zu beschleunigen. Ende 2016 hat sich das Team IFL PiRo um die Teilnahme beworben, wurde ausgewählt und durfte sich daher mit 15 anderen internationalen Teams im Juli 2017 in Nagoya, Japan messen.



Bild 6: Team IFL PiRo bei der ARC 2017 in Nagoya, Japan

Die ersten grundlegenden Entscheidungen galten dem Lagersystem und der Anordnung der Komponenten. IFL PiRo hat sich für ein Lagersystem aus von oben offenen Kisten entschieden, da hierdurch der Zugriff auf Lagersystem und Versandkartons identisch ablaufen kann. Zudem ist es einfacher, Artikel abzulegen anstatt sie in ein herkömmliches Regal abstellen zu müssen. Die Kisten und Kartons wurden rund um den Roboterarm angeordnet. Dies ermöglichte eine Überwachung der Ebene über den Kisten, die mittels eines Laserscanners realisiert wurde.

Beim Greifer entschied sich IFL PiRo dafür, einen 2-Finger-Parallelgreifer mit einem Sauger zu kombinieren. Hierbei wurde der Sauger vom Fingergreifer bei Bedarf gegriffen. So konnte für jeden Artikel die passende Handhabungsart gewählt werden. Zur Erzeugung des Saugstroms wurde ein handelsüblicher Staubsauger verwendet.

Als Kamera kam eine DepthSense DS 325/525 zum Einsatz, die über einen 2D-RGB-Sensor und ein 3D-Modul nach dem Time-of-Flight-Prinzip (ToF) verfügt.

Bei der Objekterkennung wurde mit mehreren Verfahren gleichzeitig gearbeitet. Zwei neuronale Netze (CNN) wurden für die Erkennung der aus dem Training Set bekannten Artikel ge-

nutzt. Für die Artikel, die erst kurz vor dem Task bekannt waren, wurden zwei merkmalsbasierte Algorithmen verwendet (SIFT: Scale-Invariant-Feature-Transformation [22], bzw. ASIFT: Affine SIFT [23]). Für die Berechnungen kam eine NVIDIA GeForce 1070 GTX (Grafikarte mit Pascal Architektur) zum Einsatz.

Das Team IFL PiRo erreichte bei der ARC 2017 mit seinem Roboter- und Lagersystem die Finalrunde und belegte insgesamt den 7. Platz. Für ausführlichere Details sei auf [24] verwiesen.

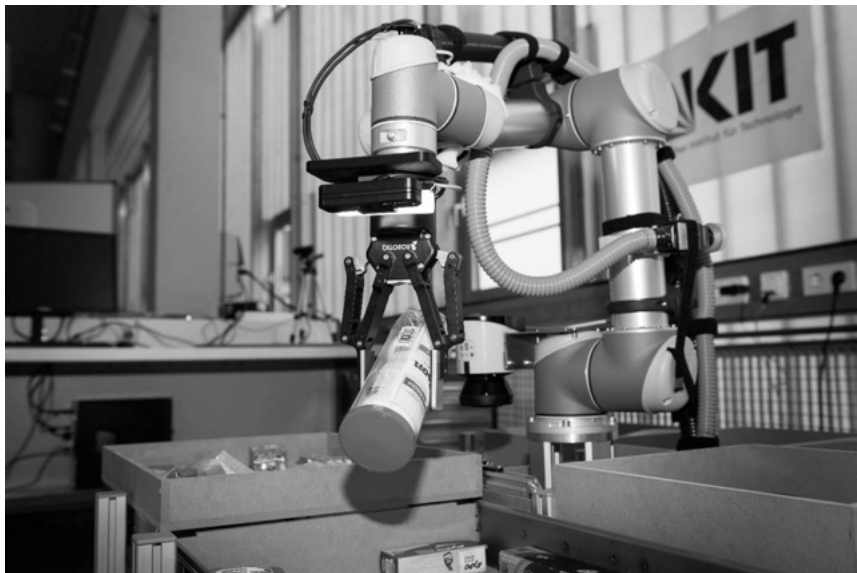


Bild 7: IFL PiRo am Institut für Fördertechnik und Logistiksysteme (IFL)

6. Bedeutung des automatisierten Kommissionierens in der Zukunft

Es ist anzunehmen, dass der Trend zur Globalisierung weiter anhalten wird, auch wenn dieser durch politische Überlegungen kurzfristig behindert wird. Globalisierung, die zu einer weltweit verteilten Produktion führt, resultiert offensichtlich in einer zunehmenden Zahl von Distributionszentren, welche die logistische Verbindung zwischen den Herstellern, die möglicherweise auf einem anderen Kontinent operieren, und den Endkunden herstellen.

Gleichzeitig zeigen verschiedene Studien, dass der Anteil des E-Commerce an Handelsumsatz weiter zunehmen wird. Für Deutschland werden Wachstumsraten des E-Commerce-Umsatzes von 13,1% (2017) abnehmend bis 4,5% (2022) geschätzt. Die Penetrationsrate nimmt dabei von 60,6% auf 65,6% zu (alle Angaben [25]). Beide Phänomene zusammen, der zunehmende Anteil des Handels durch die Globalisierung und der wachsende Anteil des E-Commerce, führen dazu, dass die effiziente Kommissionierung eine immer größere Aufgabe in den Volkswirtschaften wird (für die USA siehe [26]).

Die Studie "A Future that Works: Automation, Employment, and Productivity" [27] zeigt deutlich auf, dass die Automatisierung einfacher, physischer sich wiederholende Aufgaben zunehmen wird und auch notwendig ist, um die demographisch bedingte Verringerung des arbeitenden Anteils an der Gesamtbevölkerung zu kompensieren.

Die Kommissionierung von Artikeln gehört sicherlich zu den einfacheren, und gegebenenfalls auch gut strukturierbaren Aufgaben in der Logistik. Durch die Konzentration dieser Aufgabe in Distributionszentren, die entweder durch große Handelsplattformen oder durch Logistikdienstleister, die ihre Dienste verschiedenen Unternehmen anbieten, abgewickelt werden, entwickelt sich eine zunehmend attraktive Basis für die Automatisierung:

- Das Gesamtvolumen der zu erledigenden Arbeit an einem Ort nimmt zu.
- Die Technologie zur automatisierten Kommissionierung heterogener Artikelspektren hat sich in den letzten Jahren deutlich verbessert und ist kostengünstiger geworden.

Die Ergebnisse der letzten Challenge zeigen, dass unter geeigneten Rahmenbedingungen das automatisierte Kommissionieren machbar ist. Bedingt durch die Spezifika des Amazon-Ansatzes sind die Randbedingungen der Kommissionierung im Wettbewerb schwieriger, als sie das bei einem Lager wären, dass auf die Automatisierung hin ausgerichtet wäre.

Die Pickzeit der Gewinnerteams von 28,7s/Pick erscheint langsam, insbesondere, da immer nur genau ein Artikel gehandhabt wurde. Es sind jedoch zahlreiche Maßnahmen denkbar, die vorhandene Technologie besser zu nutzen.

Folgende Randbedingungen könnten genutzt werden, um die Leistung weiter zu steigern:

- Es existiert Vorwissen, welcher Artikel in welchem Fach liegt.
- Bei der Lagerplatzzuweisung könnte auf die eindeutige Erkennbarkeit Rücksicht genommen werden.
- Das Erlernen neuer Artikel durch die neuronalen Netze kann typischerweise im Vorfeld erfolgen, z.B. idealerweise bei der Aufnahme neuer Artikel in das Sortiment.
- Gute Zugänglichkeit der Artikel für den Greifvorgang, ggfs. durch Auslagern eines Behälters mit zu kommissionierenden Artikeln an den Kommissionierplatz.

- Parallelisierung der Vorgänge: Erkennung, Lokalisierung, Greifplanung und eigentliches Greifen. Während des Fördervorgangs vom Lagerbereich zum Kommissionierplatz könnten bereits die Bilderkennung und die Planung der Greifstrategie erfolgen, so dass der Roboterplatz nur für die Zeit des eigentlichen Greifvorgangs belegt wäre.

Deshalb kamen wir am IFL zum Schluss, dass die Grundsatzfragen im Stand der Technik ausreichend geklärt sind, so dass die Industrialisierung sich auf die Lösung der Robustheits- und Wirtschaftlichkeitsfragen konzentrieren kann.

Damit würden sich Lager realisieren lassen, die im 24h Betrieb, ggfs. mit Remote-Support und auch bei unangenehmeren Umgebungsbedingungen (Temperatur, Beleuchtung) betrieben werden können.

Wir wollten diesen Vortrag eigentlich mit einem Ausblick auf die nächste Amazon Robotics Challenge beenden, da wir an dieser auch gerne teilgenommen hätten und mit den versammelten Fähigkeiten des KIT auch besser abschneiden wollten. Nun hat Amazon das Förderformat umgestellt und wird keine weitere Challenge mehr veranstalten. Dies ist für uns ein deutliches Indiz dafür, dass Amazon den Reifegrad der automatisierten Kommissioniertechnik ebenfalls für fortgeschritten hält. Die Herausforderungen liegen nun darin, den Prozess sicher, robust und wirtschaftlich zu gestalten.

Literatur

- [1] KARIS PRO. 2017. "KARIS PRO - Autonomer Materialtransport für flexible Intralogistik." Abschlussbericht des BMBF-Verbundforschungsprojektes , Karlsruher Institut für Technologie.
- [2] Magazino. 2017. „Magazino“. <https://www.magazino.eu/> (aufgerufen am 13.12.2017).
- [3] Amazon Robotics. 2015. "Overview of Amazon Picking Challenge 2015". <https://www.amazonrobotics.com/site/binaries/content/assets/amazonrobotics/pdfs/2015-apc-summary.pdf> (aufgerufen am 14.12.2017).
- [4] Amazon Robotics. 2015. "2016 Amazon Picking Challenge Official Rules". <https://www.amazonrobotics.com/site/binaries/content/assets/amazonrobotics/pdfs/2016-amazon-picking-challenge---official-rules.pdf> (aufgerufen am 14.12.2017).
- [5] Amazon Robotics. 2016. "2017 Amazon Picking Challenge Official Rules". <https://www.amazonrobotics.com/site/binaries/content/assets/amazonrobotics/pdfs/2017-amazon-robotics-challenge-rules-.pdf> (aufgerufen am 14.12.2017).
- [6] Intel Corporation. 2017. "Can Your Webcam Do This? - Exploring the Intel® RealSense™ 3D Camera (F200)". <https://software.intel.com/en-us/blogs/2015/01/26/can-your-webcam-do-this> (aufgerufen am 14.12.2017).
- [7] Intel Corporation. 2017. "Intel® RealSense™ Depth Camera D400-Series". <https://software.intel.com/en-us/realsense/d400> (aufgerufen am 14.12.2017).
- [8] Nvidia Corporation. 2017. "NVIDIA® Jetson™". <http://www.nvidia.de/object/embedded-systems-dev-kits-modules-de.html> (aufgerufen am 14.12.2017).
- [9] Huang, Jen-Hsun. 2015. "Leaps in visual computing". In Proceedings GTC. <http://on-demand.gputechconf.com/gtc/2015/presentation/S5715-Keynote-Jen-Hsun-Huang.pdf> (aufgerufen am 14.12.2017).
- [10] Kuka AG. 2017. "LBR iiwa". <https://www.kuka.com/de-de/produkte-leistungen/roboter-systeme/industrieroboter/lbr-iiwa> (aufgerufen am 14.12.2017).
- [11] FRANKA EMIKA GmbH. 2017. "FRANKA EMIKA". <https://www.franka.de/> (aufgerufen am 14.12.2017).
- [12] Geschäftsstelle Deutscher Zukunftspreis. 2017. "Bundespräsident Frank-Walter Steinmeier verleiht den Deutschen Zukunftspreis 2017". <http://www.deutscher-zukunftspreis.de/de/news/bundespraesident-frank-walter-steinmeier-verleiht-den-deutschen-zukunftspreis-2017-0> (aufgerufen am 14.12.2017).
- [13] OpenCV team. 2017. "OpenCV". <https://opencv.org> (aufgerufen am 14.12.2017).

- [14] Nvidia Corporation. 2017. "Develop, Optimize and Deploy GPU-accelerated Apps". <https://developer.nvidia.com/cuda-toolkit> (aufgerufen am 14.12.2017).
- [15] Bergstra et al. 2010. "Theano: A CPU and GPU Math Compiler in Python". *Proceedings of the 9th Python in Science Conference*.
- [16] Jia, Y., E. Shelhamer, J. Donahue, S. Karayev, J. Long, R. Girshick, S. Guadarrama, and T. Darrel. 2014. "Caffe: convolutional architecture for fast feature embedding". *ACM International Conference in Multimedia*: 675-678.
- [17] Collobert, R., Samy Bengio, and Johnny Mariéthoz. 2002. "Torch: a modular machine learning software library". *IDIAP-RR 02-46*.
- [18] Abadi et al. 2015. "TensorFlow: Large-Scale Machine Learning on Heterogeneous Distributed Systems". White Paper, Cornell University, Ithaca, NY.
- [19] Survice Engineering Company. 2017. "DSIAC". <https://www.dsiac.org/resources/journals/dsiac/winter-2017-volume-4-number-1/real-time-situ-intelligent-video-analytics> (aufgerufen am 14.12.2017).
- [20] Google Research Blog. 2017. "AutoML for large scale image classification and object detection". <https://research.googleblog.com/2017/11/automl-for-large-scale-image.html> (aufgerufen am 14.12.2017).
- [21] ROS. 2017. "ROS". www.ros.org (aufgerufen am 14.12.2017).
- [22] Lowe, D. 1999. "Object Recognition from Local Scale-Invariant Features." *ICCV '99 Proceedings of the International Conference on Computer Vision. Band 2*: 1150-1157
- [23] Morel, J.-M. Yu, G. 2009. "ASIFT: A New Framework for Fully Affine Invariant Image Comparison." *SIAM Journal on Imaging Sciences, Band 2, Ausgabe 2*: 438-469
- [24] Colling, D., J. Dziedzitz, P. Hopfgarten, K. Markert, K. Neubehler, F. Eberle, M. Gilles, M. Jung, A. Kocabas, und K. Furmans. 2017. „PiRo - Ein autonomes Kommissioniersystem für inhomogene, chaotische Lager". *Logistics Journal : Proceedings, Vol. 2017*.
- [25] Statista. 2017. "eCommerce Market Report". <https://de.statista.com/outlook/243/137/ecommerce/deutschland#> (aufgerufen am 17.12.2017)
- [26] Gue, Kevin R. 2017. "Doing the math on E-Commerce Growth". <https://kevingue.wordpress.com/2017/09/15/doing-the-math-on-e-commerce-growth/> (aufgerufen am 17.12.2017)
- [27] McKinsey Global Institute. 2017. „A Future that Works: Automation, Employment, and Productivity". <https://www.mckinsey.com/global-themes/digital-disruption/harnessing-automation-for-a-future-that-works> (aufgerufen am 17.12.2017)

Danksagung

Die Autoren möchten sich beim ganzen Team IFL PiRo für den großen Einsatz im Rahmen der ARC bedanken: Dominik Colling, Patric Hopfgarten, Kira Neubehler, Matthias Jung, Alp Kocabas, Florian Eberle und Maximilian Gilles.

Work-by-Inclusion®

Integration und Inklusion durch visuelle Prozessführung

M.Sc. Robert Slusarz,
CIM GmbH Logistik-Systeme GmbH, Fürstenfeldbruck
Dipl.-Ing. Adalbert Schmaus,
Schmaus GmbH, Hartmannsdorf

Welches Ziel hat das Projekt „Work-by-Inclusion®“?

Das vorrangige Ziel des Projektes Work-by-Inclusion® ist die Inklusion von hörbehinderten Menschen in Betriebsabläufe der Lagerlogistik. Gefördert durch das Bundesministerium für Arbeit und Soziales widmet sich die CIM GmbH in Zusammenarbeit mit den Projektpartnern, der Schmaus GmbH und dem Lehrstuhl Fördertechnik, Materialfluss und Logistik der Technischen Universität München diesem Ziel. Im Rahmen des Projektes wurde eine Kommissionier-App entwickelt. Diese Anwendung kommt nahezu ohne Texte aus und führt die Anwender mittels Piktogrammen durch das Menü und die Prozesse. Dabei werden den Mitarbeitern wichtige Informationen auf einer Datenbrille bereitgestellt. Zusätzlich ermöglicht das entwickelte System die Kommunikation zwischen hörbehinderten und hörenden Mitarbeitern mittels einer Messengerefunktion.

Hintergrundinformation: Hörbehinderung in Deutschland

In Deutschland gibt es rund 80.000 gehörlose und 140.000 schwerhörige Menschen mit einem Grad der Behinderung von mehr als 70 Prozent, sodass diese auf einen Gebärdensprach-Dolmetscher angewiesen sind. Auf Basis von Daten des Statistischen Bundesamtes wird davon ausgegangen, dass bundesweit ca. 10.000 Arbeitsplätze nicht besetzt sind, die von Hörgeschädigten eingenommen werden könnten. Hier bietet das innovative Konzept „Work-by-Inclusion®“ großes Potenzial, schwerbehinderte Fachkräfte in den Arbeitsmarkt zu bringen.

Ausgangssituation: Die Kommissionierung

Die Kommissionierung zählt in der Intralogistik zu den zentralen Aufgaben. Für einen optimalen und schnellen Materialfluss ist eine reibungslose Kommissionierung unerlässlich. Da die Flexibilität des Personals der Wirtschaftlichkeit einer automatisierten Anlage nach wie vor überlegen ist, wird in den meisten Lagern manuell kommissioniert. Für eine schnelle und fehlerfreie Abarbeitung von Lieferaufträgen ist es dabei von zentraler Bedeutung, dass die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter die Kommissioniertätigkeiten schnellstmöglich erfolgreich ausführen können. Eine schnelle und unkomplizierte Einarbeitung stellt in der Praxis häufig eine große Herausforderung dar. Denn bisher werden die Anweisungen beim Kommissionieren auf Scannern und anderen Kommissioniergeräten in Form von Textbefehlen angezeigt. Nach einer Einweisung finden sich die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in der Regel mit Hilfe der Texte zurecht und können mit der Arbeit beginnen. Wie aber erklärt man die Prozesse, wenn die Mitarbeiterin oder der Mitarbeiter die deutsche Sprache nicht kennen oder lesen können? Oder wie werden auch Fachkräfte mit eingeschränkter Kommunikationsfähigkeit, wie sie beispielsweise bei hörbehinderten oder gehörlosen Menschen anzutreffen ist, gut und schnell in die Kommissionierprozesse eingearbeitet? Im Rahmen des Forschungsprojektes „Work-by-Inclusion“[®] wurde diese Problemstellung exemplarisch für gehörlose Menschen untersucht. Dabei wurde auch auf eine weiterführende Anwendbarkeit der gefundenen Lösung geachtet. Denkbar ist zum Beispiel die Integration von nicht deutschsprachigen, aber qualifizierten Flüchtlingen, die sich möglichst schnell mit den neuen Arbeitstechniken zurecht finden sollen.

Wie funktioniert das System „Work-by-Inclusion“[®] als Lösung?

Im Projekt wird die Kommissioniertechnologie „Pick-by-Vision“ angewendet. Die wesentlichen Informationen eines Kommissionierauftrags werden mittels einer eigens entwickelten App und Datenbrille in das Sichtfeld des Fachpersonals eingeblendet. Das System kann von hörbehinderten und hörenden Kommissionierern gleichermaßen genutzt werden. Alle relevanten Daten und Arbeitsschritte werden durch Piktogramme visualisiert, Informationen werden ausschließlich visuell und nicht akustisch übertragen. Diese digitale Prozessführung stellt zugleich eine moderne und wettbewerbsfähige Technologie für Lagerprozesse, wie z. B. die Kommissionierung, dar – im Gegensatz zu der klassischen Kommissionier- oder Auftragsliste in Papierform, die im Zuge der voranschreitenden Digitalisierung immer mehr verdrängt wird. Im Rahmen eines Kommissioniervorgangs werden die Kommissioniererin oder der Kommissionierer durch ein Piktogramm aufgefordert, ein bestimmtes Regalfach zu scannen und den dort lagernden Artikel zu entnehmen und ebenfalls zu scannen. Anschließend muss der Artikel auf ein Lagerhilfsmittel gelegt werden. Zur Bestätigung muss dieses ebenfalls gescannt werden. Für diese

Bestätigung der jeweiligen Tätigkeit trägt das Personal einen über Bluetooth angesteuerten Mini-Handscanner mit sich, der an einer kleinen Federschnurrolle am Gürtel befestigt ist. Mit dem Scanner kann auch im Kommissionier-Menü gescrollt werden. Die in die Datenbrille eingebaute Kamera wurde bewusst nicht zum Scannen verwendet, da die Hand für die Scanfunktion deutlich geeigneter ist, als eine Kopfbewegung. Durch die regelmäßige Bestätigung im Prozess können einzelne Auftragsschritte nicht ausgelassen werden. Die Fehlerrate und folglich auch eine zeit- und kostenintensive Nacharbeit werden minimiert. Zudem hat der Mitarbeiter beide Hände frei, um sich auf die Kerntätigkeiten Greifen, Entnehmen und Ablegen von Artikeln zu konzentrieren.

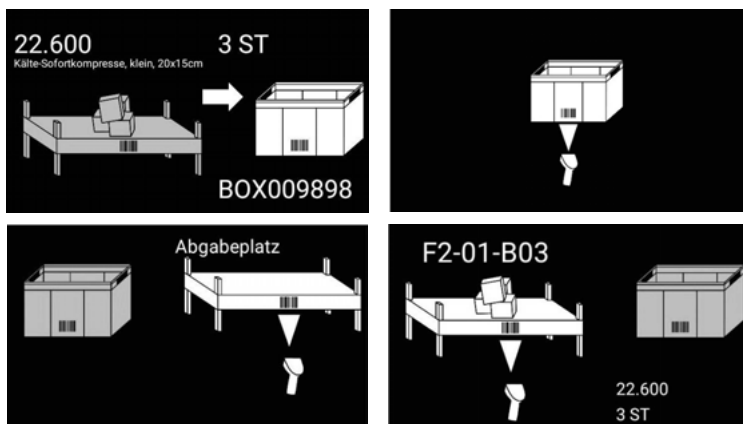


Bild 1: Mittels Piktogrammen, die über die Datenbrille angezeigt werden, wird der Kommissionierer durch jeden Arbeitsschritt geführt.

Die Idee für die App entstammt dem Sprichwort „Ein Bild sagt mehr als tausend Worte“. Denn auch wissenschaftlich ist belegt, dass sich das menschliche Gehirn Bilder und Symbole deutlich schneller einprägt als Textmuster. Die Fachkräfte im Lager können also auch ohne Deutschkenntnisse oder mit eingeschränkter Kommunikationsfähigkeit die Symbole erkennen und anhand dieser kommissionieren. Hierdurch vereinfacht sich nicht nur die Integration. Auch die Einarbeitungszeit und die Mitarbeiterschulungen gestalten sich deutlich einfacher – Personal- und Schulungskosten werden reduziert. Neben der visuellen Prozessführung ermöglicht die App das Senden und Empfangen von Nachrichten und stellt somit eine gemeinsame Kommunikationsschnittstelle zwischen allen hörbehinderten und hörenden Mitarbeitern dar. Neben

den zu absolvierenden Arbeitsschritten werden auch Warnmeldungen (z. B. Feueralarm) oder auch allgemeine Informationen (z. B. Treffen im Meeting-Raum) für alle Nutzer gleichermaßen im Sichtfeld angezeigt.



Bild 2: Kommissioniererin im Einsatz mit der Datenbrille

Technische Funktionalitäten der App

Auch in technischer Hinsicht bietet die Anwendung größtmögliche Flexibilität. Sie ist so programmiert, dass der Anwender die Software von jedem Ort, zu jeder Zeit und mit jedem Android-fähigen Endgerät bedienen kann – egal ob Smartphone, Handscanner oder mobile Datenbrille. Darüber hinaus ist die App so konzipiert, dass sie über eine JSON-Schnittstelle schnell und komfortabel an jedes bestehende ERP- oder Lagerverwaltungssystem angebunden werden kann. Im Projekt wurde die App an das Lagerverwaltungssystem PROLAG[®]World der CIM GmbH angebunden.

Weitere Anwendungsmöglichkeiten

Verschiedene Nutzergruppen profitieren von der visuellen Prozessführung und die Anwendung leistet insgesamt einen großen Beitrag zur Integration und Inklusion in der Intralogistik. So werden neben den genannten gehörlosen bzw. hörbehinderten Mitarbeitern z. B. fremdsprachige Fachkräfte oder Beschäftigte mit Lese- und Rechtschreibschwäche ohne ausreichende Sprachkompetenz schnell in die alltäglichen Arbeitsschritte eingebunden und vollständig in die Logistikprozesse integriert. Aber auch Aushilfen oder Saisonarbeiter können sofort mit der Arbeit beginnen, ohne bestimmte Fachbegriffe lernen zu müssen. Zusätzlich sparen sich international tätige Unternehmen durch die Unabhängigkeit von Text und Sprache aufwendige Übersetzungen und damit auch Kosten.

Darüber hinaus sind die Anwendungsmöglichkeiten der App nicht auf die Kommissionierung beschränkt. Durch die offen definierte Kommunikationsschnittstelle können unterschiedlichste Software-Plattformen Inhalte an die Datenbrille senden. So kann die App auch im Bereich der Medizin oder in industriellen Montageprozessen eingesetzt werden.

Weitere Informationen zum Projekt finden Sie hier.

Optimierung individueller Lernprozesse in der Kommissionierung durch Lernpakete am Beispiel der Pick-by-Voice-Technologie

Daniel Mezger,

Institut für Fördertechnik und Logistik, Universität Stuttgart;

Andreas Blümel,

Topsystem Systemhaus GmbH, Würselen

Kurzfassung

Die Kommissionierung ist durch einen hohen Anteil manueller Tätigkeiten und dem damit verbundenen Personaleinsatz geprägt [1]. Die Verbreitung der manuellen Person-zur-Ware-Kommissionierung geht auf die Flexibilität von Menschen und geringen Investitionskosten zurück [2]. Folglich stehen der Mensch und damit seine Fähigkeit zum Lernen im Mittelpunkt der Kommissionierung. Die Lerneffekte in der manuellen Kommissionierung werden anhand von Lernkurven dargestellt [3]. Diese Lernprozesse charakterisieren die Flexibilität des Unternehmens und sind von besonderer Bedeutung bei der Einarbeitung von neuen, temporären oder fachfremden Mitarbeitern in der Kommissionierung. Um das operative Tagesgeschäft von Unternehmen nicht zu stören, ist es notwendig Primärdaten aus einer realitätsnahen Laborumgebung zu ermitteln, um Kommissionierprozesse untersuchen zu können. Das LernLager des Instituts für Fördertechnik und Logistik der Universität Stuttgart stellt als Forschungs-, Lehr- und Praxislabor für die manuelle Kommissionierung ein Kommissionierlager im Kleinformat dar, in welchem realitätsnah kommissioniert werden kann. Verschiedene Kommissioniertechnologien wie Pick-by-Scan, Pick-by-Light, Pick-by-Voice oder Pick-by-Vision erlauben eine umfangreiche Abbildung praxisnaher Kommissionierung. Zentraler Bestandteil aktueller Untersuchungen sind verschiedene Lernformen bei der Einarbeitung in die Kommissionierung. Aus diesem Grund werden für die einzelnen Lernformen sogenannte Lernpakete formuliert. In die Lernpakete fließen dabei unterschiedliche Ansätze aus technischen, wirtschaftlichen und sozialwissenschaftlichen Betrachtungsweisen ein. Die Kombination dieser Ansätze kann beispielsweise zu einem Lernpaket führen bei dem Gamification mit einem Coaching oder eine kognitive Lehre mit einem Peer-Tutoring verknüpft werden. Neben einer verbesserten Kommissionierleistung durch die Lernpakete stehen Themen des Arbeitsinhalts im Vordergrund. Dies kann bei der Kommissionierung durch motivationsfördernde Maßnahmen, wie Gamification, in den Lernpaketen erfolgen [4]. Direkt verknüpft mit den Lernpaketen sind wiederum die

verschiedenen Kommissioniertechnologien, wie das Pick-by-Voice, welches durch die Flexibilität und Anpassungsfähigkeit auf Aspekte der Lernpakete wirkt. Sprachgeführte Kommissioniertechnologien unterstützten beispielsweise die Mitarbeiter in der Kommissionierung durch beidhändiges Arbeiten und verbessern somit die Arbeitsergonomie. Die Ergebnisse aus den Modifikationen von verschiedenen Lernpaketen in Kombination mit den unterschiedlichen Kommissioniertechnologien sollen durch Versuche im LernLager eine Bewertung, Optimierung und Aussage über die optimale Einarbeitung in der Person-zur-Ware-Kommissionierung erlauben.

1. Der Mensch in der Kommissionierung

Mit einem Klick lässt sich der Einkauf heutzutage schnell erledigen. Mobile Endgeräte wie Smartphones oder Tablets ersetzen den Gang in Kaufhäuser und Supermärkte und erleichtern das Online-Shopping. Dies wird anhand der Entwicklung des Umsatzes durch E-Commerce im B2C-Bereich in Deutschland von 1999 – 2017 verdeutlicht. Mit einer jährlichen Steigerung des Umsatzes seit Beginn der Datenaufzeichnung, einer Verdreifachung des Umsatzes seit 2009 auf 48 Milliarden Euro sowie einer prognostizierten, absoluten Umsatzsteigerung von insgesamt zehn Milliarden Euro im Jahr 2017 gegenüber dem vorherigen Jahr wird die zukünftige Dimension des Online-Shoppings aufgezeigt [5]. Zeitgleich verstärken riesige Onlineplattformen, wie Amazon, die sich verändernde Käuferfahrung und bestärken den Trend weg vom bisherigen traditionellen Einkaufsverhalten in stationären Geschäften. Neben den Anbietern tragen ebenso die Endkunden zu dieser Entwicklung bei. Die steigende Erwartungshaltung an die Geschwindigkeit der Lieferungen stellt Hersteller und Logistikdienstleister vor neue Herausforderungen. Ein Klick genügt und das Paket ist bestellt, verknüpft mit dem Anspruch die Bestellung noch heute oder spätestens morgen zu erhalten. Für die Produktbestellung sind zusätzlich zur der Lieferzeit die Versandkosten das entscheidende Kriterium [6]. Besonders Amazon gilt im Hinblick auf die Lieferzeiten als Pionier und stellt für spezielle Produkte innerhalb einer bestimmten Frist von der Kaufbestätigung „Same Day Delivery“ zur Verfügung. In ausgewählten Großstädten wie Berlin oder München wird mit „Prime Now“ die Zustellung bereits innerhalb von zwei Stunden angeboten. Diesem Druck der Kundenpräferenzen unterliegen nicht nur die großen Handelsketten, sondern ebenso die kleinen und mittelständischen Unternehmen, die sich dem Konsumentenverhalten in gleichem Sinne anpassen und neben den stationären Produkten im Offlinehandel diese ebenfalls online anbieten.

Ob dieser Trend aus Sicht der Unternehmen gewollt oder ungewollt ist, spielt keine Rolle. Der Mensch verliert durch die Verschiebung vom Offlinehandel zum Onlinehandel an Bedeutung. Dies ist aber nur eine vordergründige Feststellung. Denn in der Realität nimmt der Mensch

durch den steigenden Onlinehandel an Relevanz zu, da dieser die Prozesse im Hintergrund verantwortet, steuert und kontrolliert. Somit ist der Mensch in der Logistik trotz steigender Digitalisierung und Automatisierung nicht zu vernachlässigen [7]. Als unverzichtbarer Teil der Logistik ist der Mensch somit auch eine entscheidende Komponente in der Intralogistik und somit für die Kommissionierung, welche die Zusammenstellung von Teilmengen aus einer bereitgestellten Gesamtmenge anhand von Aufträgen bezeichnet [8]. Die Bedeutung des Menschen ist durch die hohe Flexibilität zu geringen Investitionskosten in manuellen Kommissioniersystemen begründet. Durch diese Flexibilität werden die dynamischen Aufgaben der Kommissionierung erfolgreich gestaltet. Aus diesem Grund ist die klassische Person-zur-Ware-Kommissionierung weit verbreitet [9]. Die Kommissionierung nimmt ebenso eine relevante Größe in der Kostenbetrachtung von Unternehmen ein. Diesbezüglich beträgt der Anteil der Kommissionierkosten an den Betriebskosten ca. 50 % [10]. Trotz dieses hohen Kostenanteils und der darin enthaltenen Personalkosten ist der Mensch als Planer und Entscheider, verknüpft mit der Fähigkeit komplexe Produktstrukturen greifen zu können, in den Kommissionierprozessen nicht zu ersetzen [11].

2. LernLager: Forschungslabor der manuellen Kommissionierung

Durch den Einfluss des Menschen auf die Kommissionierung erlangen die manuellen Tätigkeiten durch Anfälligkeiten, Fehler, Erfahrungswerte und Lerneffekte erhöhten Einfluss auf die Kommissionierleistung [12]. Diese wird in Pickpositionen pro Stunde berechnet [9]. In dieser Formel spielen die erwähnten menschlichen Faktoren aber nur eine untergeordnete Rolle. Um diese intensiver zu betrachten, hat das Institut für Fördertechnik und Logistik der Universität Stuttgart ein LernLager als Forschungs-, Lehr- und Praxislabor für die manuelle Kommissionierung eingerichtet. Mit diesem werden Kommissioniertätigkeiten bewertet und optimiert. In Kooperation mit den Partnern SSI Schäfer, Datalogic, Picavi, Topsystem und L'Oréal ist auf einer Fläche von ca. 120 m² ein Kommissionierlager mit 1000 Lagerplätzen entstanden. Ausgehend von einer Arbeitsstation hat der Kommissionierer die Möglichkeit seine Kommissionierung mit einem Kommissionierwagen zu verrichten. Die zu entnehmenden Artikel des Kosmetikherstellers L'Oréal sind in ihrer Beschaffenheit unterschiedlich. Durch verschiedene Größen und Gewichte der Artikel, jedoch mit einer insgesamt kleinen und daher schwierig zu picken Form, wird eine realitätsnahe Kommissioniersituation abgebildet.

Insbesondere Mittelständlern, die sich keine eigenen Versuchslabore leisten können, bietet das LernLager die optimale Möglichkeit zur Abbildung, Analyse und Optimierung der Kommissionierprozesse in einer praxisähnlichen Laborumgebung. Ins LernLager des IFT sind ver-

schiedene Technologien der manuellen Kommissionierung eingebunden. Neben der traditionellen Pickliste besteht im LernLager die Möglichkeit mit Pick-by-Scan (Datalogic), Pick-by-Light (SSI Schäfer), Pick-by-Voice (Topsystem) oder Pick-by-Vision (Picavi) zu kommissionieren. Diese Methoden werden im LernLager getestet und auf die speziellen Anforderungen der Unternehmen übertragen und untersucht. Individuelle Szenarien lassen sich damit abbilden, systematisch untersuchen und optimieren. Handhabung, Ergonomie und Experimentierfreudigkeit stehen dabei im Vordergrund. Hierbei richtet sich der Fokus auf die effiziente Verknüpfung zwischen der Automatisierung der Kommissioniertechnologien und der kommissionierenden Person. Neben dem Einsatz der Kommissioniertechnologien können zudem wichtige Erkenntnisse durch die mögliche Ortung des Kommissionierers bzw. des Kommissionierwagens und die Nachvollziehbarkeit der Wegstrategien für weitere Forschungsprojekte gezogen werden, um manuelle Intralogistiksysteme stetig zu optimieren und die Kommissionierleistung zu verbessern. Diese setzt sich im Gegensatz zur bereits erwähnten Leistung aus der Kommissionierarbeit, -qualität und -zeit zusammen und dient als Indikator für die Vergleichbarkeit mit anderen Systemen. In die Kommissionierqualität fließen dabei die Fehler ein, die der Kommissionierer im LernLager begeht. Ablage- und Mengenfehler sind dabei die häufigsten Fehlerursachen. Eine Übersicht der Verteilungen der Fehlerarten im LernLager ist in Bild 1 dargestellt. Besonders für Unternehmen mit einem hohen Aufkommen von manuellen Kommissionierprozessen stellt die Versuchsmöglichkeit einer neuen Kommissioniertechnik in einem experimentellen Umfeld einen enormen Mehrwert dar, weil das laufende Tagesgeschäft hiervon unbeeinflusst bleibt. Zudem stellt der erste Kontakt und der Umgang mit einer neuen Kommissioniermethode Mitarbeiter und Unternehmen vor neue Herausforderungen. Um diese Umstellung zu erleichtern und die Akzeptanz gegenüber eines neu eingeführten Kommissioniersystems zu festigen, sind der Annäherungsprozess und Versuchsreihen in einer realitätsnahen Umgebung essentiell.

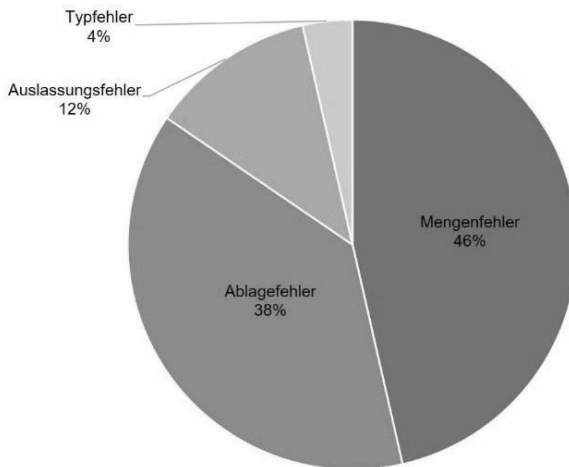


Bild 1: Kommissionierfehler im LernLager [13]

3. Lernprozesse: Anwendung von Lernpaketen

Lerneffekte können bei mehrmaligem Wiederholen beobachtet und Einflussfaktoren auf die Kommissionierleistung gezielt verändert werden [14]. Diesem Aspekt folgt das Projekt „Bewertung und Optimierung individueller Lernprozesse in der Intralogistik am Beispiel der manuellen Kommissionierung“ des IFT in Kooperation mit der Hochschule Pforzheim und den Projektpartnern sowie DB Schenker und König & Meyer. Dabei werden individuelle Lernprozesse bewertet und optimiert. Neue Mitarbeiter oder Leiharbeiter können folglich optimal in ihr neues Aufgabenumfeld einsteigen. Die Lernprozesse werden im Projekt zu Lernpaketen gebündelt, in welche unterschiedliche Ansätze aus technischen, wirtschaftlichen und sozialwissenschaftlichen Betrachtungsweisen einfließen. Lernpakete verbinden unter pädagogischen Gesichtspunkten Lernmethoden miteinander, dass ein Anlernprozess möglichst erfolgreich für den Lernenden stattfinden kann. Lernpakete sind somit erarbeitete und auf die Kommissionierung zugeschnittene Lernarrangements mit dem Ziel, dass diese von Unternehmen adaptiert und eingesetzt werden können. Wichtiger Bestandteil eines Lernpaketes ist es daher auch, dass die Lernenden ihr Gelerntes direkt in die Praxis transferieren können, was ein häufiges Problem gerade von sehr theoretischen Lernprozessen darstellt. Das Lernpaket ist dabei immer mit einer Kommissioniertechnologie verknüpft. Ein Lernpaket besteht beispielsweise aus der Kombination einer kognitiven Lehre mit einem Peer-Tutoring oder einem in der Anlernphase angewandten E-Learning-Modul.

Im ersten Fall lernen sich zwei neue Kommissionierer gegenseitig ein. Sie profitieren dabei in einer ersten Kommissionerrunde vom Wissen und der Vorführung eines erfahrenen Kommissionierers, der als Trainer fungiert. Dieser weist die beiden neuen Kommissionierer auf alle wesentlichen Dinge durch seine Bewegungen und Erklärungen hin. Im Anschluss an die Runde des erfahrenen Kommissionierers übernimmt der erste von den beiden neuen Kommissionierern die aktive Funktion und kommissioniert. Dabei artikuliert er seinen Arbeitsablauf ebenso und versucht somit dem zweiten Neuen den Prozess aus seiner Perspektive zu veranschaulichen. Der Trainer ist weiterhin in den Prozess involviert, in dem er Feedback gegenüber dem aktiven Kommissionierer gibt und für Fragen zur Verfügung steht. Nach dieser Phase tauschen der erste neue und der zweite neue Kommissionierer die Rollen. Folglich tauscht die Aktivität mit der Passivität der Prozesse. Der Trainer ist in dieser Phase außen vor während die beiden Kommissionierer auf sich gestellt sind. In der vierten und gleichzeitig letzten Phase gibt es nochmals einen Tausch der Rollen zwischen den neuen Kommissionierern. Hierbei ist das Ziel den Kommissioniervorgang zu verinnerlichen.

Im E-Learning-Modul sind die einzuarbeitenden Kommissionierer dagegen auf sich alleine gestellt und durchlaufen verschiedene Sub-Module. Dabei verwenden sie ein Tablet, das sie durch ein Programm leitet. Die Zeiten sind dabei fest vorgegeben, womit ein zu schnelles Bearbeiten vermieden wird. Das erste Sub-Modul findet außerhalb des LernLagers und vor der Messphase statt. Die Kommissionierung im Allgemeinen sowie die unterschiedlichen Kommissioniertechnologien sind der Hauptbestandteil dieses Moduls. Im Anschluss findet das zweite Sub-Modul im LernLager statt. Der Lernende kommissioniert dabei mit der Anleitung des Tablets. Nach der Kommissionerrunde muss der Kommissionierer Fragen zur Kommissionierung und der verwendeten Kommissioniertechnologie beantworten. Werden die Fragen korrekt beantwortet, erhält der Kommissionierer eine Bestätigung und ist für die nachfolgende Messphase zugelassen.

Ein weiteres Lernpaket ist mit der virtuellen Realität verknüpft und befindet sich aktuell in der Entwicklungsphase. Hierbei wird entsprechend dem E-Learning-Modul in einer ersten Phase außerhalb des Lernlagers „gelernt“. Mit einer VR-Brille wird dabei das LernLager visuell abgebildet und der Kommissionierer ist in der Lage, die virtuelle Welt für die Kommissionierung zu nutzen. Mit Hilfe von Controllern werden die Bewegungsabläufe der Hände dargestellt und somit das Greifen der einzelnen Produkte ermöglicht. Hat der Kommissionierer die Aufträge in der virtuellen Welt abgearbeitet, kehrt er in die reale, dem LernLager, zurück.

Nach Abschluss aller Anlernprozesse findet die Messphase statt. Diese dient später zur Vergleichbarkeit der verschiedenen Anlernprozesse.

4. Optimierung der Kommissionierleistung durch die Kombination von Lernpaketen und Pick-by-Voice

Der Einsatz von Pick-by-Voice zeigt Vorteile in der Effizienz, Qualität, Personalentwicklung sowie Ergonomie. Durch den sprachgeführten Informationsaustausch müssen die Mitarbeiter die papierbasierten Aufträge nicht mehr mitführen und haben somit beide Hände zum Arbeiten frei. Dabei sind Leistungssteigerungen von bis zu 20 Prozent möglich. Ähnliche Leistungssteigerungen ergeben sich auch gegenüber Scanlösungen. Gleichzeitig kann die Reihenfolge, nach der bestimmte Prozessschritte erfolgen, optimiert werden, so dass der Mitarbeiter den kürzesten Weg zurücklegt und Aufträge in kürzester Zeit durchführen kann, wodurch sich weitere Leistungssteigerungen ergeben.

Neben der Effizienzsteigerung sind Verbesserungen in der Qualität erreichbar. Anwendungsfälle der Voice-Integration zeigen, dass durch eine bessere Prozessführung die Fehlerrate sinkt, so dass neben der Erhöhung des Qualitätsniveaus die Qualitätskosten sinken. Gleichzeitig werden bei der sprachbasierten Kommunikation gegenüber einer papierbasierten Auftragsbearbeitung Medienbrüche vermieden. Informationen müssen nach der Bearbeitung nicht mehr manuell in das System übertragen werden, so dass Übertragungsfehler vermieden werden. Nach dem Erledigen eines Auftragspostens und der Rückmeldung durch den Kommissionierer wird dieser Fortschritt der Auftragsabwicklung im ERP-System durch die Voice-Software vermerkt. Unternehmen sind somit in der Lage, Echtzeitinformationen zu generieren und Transparenz bzgl. ihrer Prozesse herzustellen.

Der Blick auf die Gesundheitsförderung der Mitarbeiter wird im Lagerbereich zunehmend wichtiger. Die Nutzung von Pick-by-Voice unterstützt eine ergonomische Arbeitsweise. Bei der papierbasierten Kommissionierung oder dem Verwenden eines Barcodescanners erfolgt eine einseitige Bewegung, die bei häufigen Wiederholungen über den Tagesverlauf zu Gesundheitsproblemen führen kann. Bei der Pick-by-Voice-Lösung entfällt diese einseitige Belastung, da die mitgeführten Geräte bei dieser Lösung ergonomisch am Körper getragen werden. Die Logistik ist nach wie vor eine personalintensive Branche. Bedingt durch das saisonale Geschäft in vielen Branchen wird in der Logistik eine hohe Fluktuation der Mitarbeiter beobachtet. Zu bestimmten Zeiten müssen daher zusätzlich Mitarbeiter in die Unternehmensabläufe integriert werden. Für Unternehmen entstehen damit hohe Kosten und großer Aufwand bei der Einarbeitung und Schulung der neuen Mitarbeiter. Die engere Führung durch die Prozesse versetzt die Unternehmen in die Lage, neue Mitarbeiter schneller in das Tagesgeschäft einzubinden und somit das Saisongeschäft besser abzufedern. Gleichzeitig verändert der demografische Wandel die Rahmenbedingungen für Unternehmen. Eine der Herausforderungen, denen sich die Unternehmen stellen müssen, ist die Einbindung von Mitarbeitern mit körperlichen

Einschränkungen. Diese bringt jedoch bei der Umsetzung oft große Herausforderungen mit sich. Werden die Aufträge automatisiert an die Mitarbeiter weitergegeben, ist es möglich, gewissen Mitarbeitern nur bestimmte Aufträge zu übermitteln. So bekommen beispielsweise ältere Mitarbeiter nur noch Aufträge zugewiesen, bei denen keine schweren Objekte zu heben sind. Ein weiteres Problem ergibt sich häufig z. B. durch schlechte Lichtverhältnisse, die beim Lesen eines papierbasierten Auftragsscheins bei vielen Mitarbeitern zu Problemen führen [15]. Die Umstellung auf Sprache reduziert dieses Problem. Zudem ist es möglich, Menschen mit Leseschwächen über Pick-by-Voice-Lösungen besser in die Logistikprozesse zu integrieren. Ebenso lassen sich internationale Mitarbeiter auch ohne die jeweiligen Sprachkenntnisse einsetzen, da bei der Pick-by-Voice-Lösung die Kommunikation in der jeweiligen Landessprache erfolgen kann. Die Pick-by-Voice-Technologie zeichnet sich durch eine hohe Vielseitigkeit und Anpassungsfähigkeit sowie eine geringe Fehlerrate aus. Die Vielseitigkeit besteht in der Möglichkeit, eine beliebige Anzahl an Informationen weiterzuleiten. Dabei werden dem Kommissionierer nicht bloß die Artikel und

Anzahl genannt, sondern bei Bedarf weitere Informationen, wie beispielsweise, dass beim Transport eines fragilen Objektes besonders aufgepasst werden muss, dass das Objekt im Anschluss noch in Folie gepackt werden muss oder dass eine Gewichtsbeschränkung der Transportbox vorliegt. Im Gegensatz zu einer papierbasierten Kommissionierung ist die Beachtung der Zusatzinformationen gewährleistet.

Die Beschleunigung der Taktzeiten erfordert eine hohe Flexibilisierung und Transparenz der Logistik [16]. Unternehmen sind häufig mit einem Wechsel der Produkte konfrontiert, daher muss der Aufwand an eine Kommissioniertechnologie gering sein. Die Verbindung der Voice-Lösung mit dem führenden System, z. B. einem ERP-System, verhindert einen Mehraufwand, da keine weiteren Änderungen an der Voice-Software notwendig sind. Die Ansage der Packmenge beschleunigt den Greifvorgang, da das Lesen des Kommissionierscheins entfällt. Die geringe Fehlerquote reduziert zudem den Mehraufwand, der bei falscher Mengenenahme entsteht. Nach Berechnungen der topsystem Systemhaus GmbH führen diese beiden Umstände zu einer Ersparnis von ca. 40 Minuten pro Schicht (8 Stunden), dies entspricht einer Leistungssteigerung von 8,3 Prozent. Untersuchungen zeigen, dass jeder Fehler bei der Kommissionierung ein Unternehmen etwa 17 Euro kostet [17]. Hinsichtlich der Herausforderung, dass Unternehmen versuchen, ihre Logistikkosten zu senken, birgt eine verbesserte Prozessführung große Einsparpotenziale. Mit der Einführung der „Pick-by-Voice“-Technologie kann die Fehlerrate signifikant gesenkt werden. Eine Untersuchung des Instituts für Fördertechnik, Materialfluss und Logistik (fml) an der TU München ergab, dass die Fehlerrate bei „Pick-by-Voice“-Lösungen bei etwa 0,08 Prozent liegt. Bei der klassischen Kommissionierliste liegt die

Fehlerquote hingegen zwischen 0,3 Prozent und 1,5 Prozent. Erstrebenswert für Industrieunternehmen sind Fehlerquoten von unter 0,1 Prozent [18].

Um die aufgezeigten Potenziale der Pick-by-Voice-Technologie zu ermöglichen, ist eine rasche Einarbeitung der Kommissionierer in die Technik und die Prozesse notwendig. Hier setzt die Verknüpfung von Pick-by-Voice mit den Lernpaketen und folglich die Kombination von technischen und sozialwissenschaftlichen Konzepten an. Die drei bereits aufgezeigten Lernpakete werden mit der Pick-by-Voice-Technologie im LernLager des Institutes für Fördertechnik und Logistik der Universität Stuttgart untersucht. Dadurch können Ergebnisse unter realitätsnahen Kommissionierbedingungen erzielt werden, um ein Lernpaket für die schnelle Einarbeitung in die Kommissionierung unter Nutzung von Pick-by-Voice auszuwählen. Durch die Einfachheit der Lernpakete sowie der Kombination mit der Pick-by-Voice-Technologie steht einer unmittelbaren Anwendung von Unternehmen und dem direkten Nutzen dieser nichts im Wege.

5. Zusammenfassung

Es lässt sich festhalten, dass Pick-by-Voice-Lösungen großes Potenzial zur Erhöhung der Effizienz und des Qualitätsniveaus bergen. Damit verbunden ist ebenfalls eine bessere Prozesstransparenz. Zudem sind die genannten gesundheitsfördernden Punkte von Relevanz in der Beurteilung von Pick-by-Voice. Bei diesen steht der Mensch im Mittelpunkt und ist nach wie vor zentraler Bestandteil in der Kommissionierung mit Pick-by-Voice. Die Interaktion zwischen Mensch und Maschine ist daher entscheidend. Somit kommt dem Anlernprozess in der manuellen Kommissionierung, verstärkt durch die hohe Fluktuation der Mitarbeiter, eine hohe Bedeutung zu. Diesem schnelleren Anlernprozess widmen sich die sogenannten Lernpakete. Unter Anwendung dieser wird ein effektiveres Lernen in der manuellen Kommissionierung ermöglicht und diesen somit ein hohes Erfolgspotenzial zugeordnet.

6. Literaturangaben

- [1] Rammelmaier, T., Galka, S., Günthner, W. A.: Fehlervermeidung in der Kommissionierung. In: Logistics Journal: Proceedings. (2012), S. 1-8
- [2] Stinson, M. R., Sommer, T., Wehking, K.-H.: Bewertung und Optimierung der Effizienz manueller Tätigkeiten in der Kommissionierung (EfKom). Stuttgart: 2014
- [3] Stinson, M. R., Müller, F. H., Korte, D., Wehking, K.-H.: Lernkurven in manuellen Person-zur-Ware-Kommissioniersystemen (LeiKom). Stuttgart: 2016
- [4] Günthner, W. A., Mandl, H., Klevers, M., Sailer, M.: GameLog – Gamification in der Intralogistik. München: 2016
- [5] Statista: Umsatz durch E-Commerce (B2C) in Deutschland in den Jahren 1999 bis 2016 sowie einer Prognose für 2017 (in Milliarden Euro). <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/3979/umfrage/e-commerce-umsatz-in-deutschland-seit-1999/>. Zuletzt geprüft am 28.11.2017
- [6] Metapack: Delivering Consumer Choice: 2015 State of eCommerce Delivery. S. 10.
- [7] Blutner, D., Cramer, S., Haertel, T.: Der Mensch in der Logistik: Planer, Operateur und Problemlöser. Dortmund: 2006
- [8] VDI, VDI 3590-1: Kommissioniersysteme – Grundlagen, 2. Auflage, 1994
- [9] Ten Hompel, M., Sadowsky, V., Beck, M.: Kommissionierung Materialflusssysteme 2 – Planung und Berechnung der Kommissionierung in der Logistik. Berlin Heidelberg: Springer 2011
- [10] Grosse, E. H.: Human factors in order picking systems – A framework for integrating human factors in order picking planning models with an in-depth analysis of learning effects. TU Darmstadt Diss 2015
- [11] Koether, R.: Distributionslogistik. Effiziente Absicherung der Lieferfähigkeit. Wiesbaden: Springer 2012

- [12] Grosse, E. H., Glock, C.: Lerneffekte in der Kommissionierung. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 107 (2012) 4 S. 266-269
- [13] Stinson, M., Wehking, K.-H.: Experimental analysis of manual order picking processes in a Learning Warehouse. Tagungsband 12. Fachkolloquium der WGTL e.V. 2016, S. 307-312
- [14] Grosse, E. H., Glock, C. H.: An experimental investigation of learning effects in order picking systems. Journal of Manufacturing Technology Management. 24 (2013) 6, S. 850-872
- [15] Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin: Alles grau in grau? Älter werdende Belegschaften und Büroarbeiten. 2. Auflage. Dortmund: 2008
- [16] Schwarz, P.: Erfolg in einer unsicheren Zukunft mit Szenarioplanung: Delivering tomorrow. Logistik 2050. Eine Szenariostudie. Bonn: 2012
- [17] Krebs, M.: Potentiale noch längst nicht ausgeschöpft. In: FM – Das Logistik-Magazin. 45 (2013) 6, S. 46-47
- [18] Reif, R., Gunthner, W.: Pick-by-Vision. Augmented reality supported order picking. In: The Visual Computer. 25 (2009) 5-7, S. 461-467

EMILI

Ergonomischer mobiler interaktiver Ladungsträger für die Intralogistik

M.Sc. **Jana Jost**, M.Eng. **Thomas Kirks**, Dipl.-Inf. **Benedikt Mättig**,
Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik (IML), Dortmund

Kurzfassung

Das Fraunhofer IML hat mit EMILI ein revolutionäres, neues Fahrerloses Transportfahrzeug (FTF) entwickelt, welches vollkommen autonom handeln und mit seiner Umgebung und Menschen interagieren kann. EMILI ist interaktiv und autonom und fungiert zudem selbst als Behälter mit Lagerraum. Die exakte Einhaltung der Außenmaße eines Kleinladungsträgers (KLT) ermöglicht eine nahtlose Integration in den Prozess mit anderen KLT, wie auch die Einbindung in bestehende Abläufe und Anlagen. Es lässt sich auf andere KLT stapeln und kann selbst KLT transportieren. Des Weiteren verfügt EMILI über einen integrierten und vollautomatischen Hubmechanismus, über den neben der integrierten Kiste auch alle auf EMILI gestapelten KLT auf ergonomische Arbeitshöhe für den Menschen angehoben werden können. EMILI lässt sich über klassische Fördertechnik transportieren und z. B. in einem Automatischen Kleinteilelager einlagern. Durch die modulare Bauweise lassen sich einzelne Komponenten nahtlos in Hardware und Software austauschen. Es kann sowohl über herkömmliche Mensch-Maschine-Schnittstellen als auch über Wearables und Augmented Reality-Brillen gesteuert werden. Ebenfalls verfügt EMILI über ein integriertes, industrietaugliches Display und zeigt so dem Menschen über ihre Gesichtszüge sowie Status-Icons ihre aktuellen Zustände leicht verständlich an.

1. Einleitung

Die stetige Digitalisierung in der Industrie hat einen großen Einfluss auf alle Bereiche der Produktion und Logistik. In diesem Kontext steigen auch die Anforderungen an Maschinen, Anlagen und Hilfsmittel [1]. Eine Vernetzung aller Komponenten miteinander erfordert, dass Systeme flexibler und intelligenter werden. Im Zuge dessen wird eine starke Durchdringung bestehender Strukturen mit cyber-physischen Systemen (CPS) angestrebt. Diese Entwicklung bezieht sich nicht nur auf komplexe und große Maschinen, sondern immer mehr auch einfache Ladehilfsmittel und Förderanlagen. Auch Behälter sollen durch eine integrierte Intelligenz ihren

Weg durch die Prozesskette selbst finden und im Zuge dessen mit den sie umgebenden Systemen kommunizieren. Ein weiterer Faktor, der immer größere Bedeutung erhält, ist die Integration des Menschen in die digitalisierte Umgebung. Im Zuge der Digitalisierung müssen Lösungen gefunden werden, wie der Mensch mit den cyber-physischen Systemen um ihn herum kommunizieren kann. Dieser Sachverhalt setzt hohe Anforderungen an die einzusetzenden Mensch-Maschine-Schnittstellen. Schnittstellen müssen auf der einen Seite genau die Informationen bereitstellen, die der Mensch bei seiner Arbeit benötigt, dürfen ihn durch eine zu große Menge an Informationen auf der anderen Seite nicht überfordern. Daher sind intuitive Benutzerschnittstellen erforderlich, die Informationen so aufbereiten, dass der Mensch die bereitgestellten Informationen intuitiv verstehen kann.

Das hier vorgestellte System EMILI stellt eine Kombination als einfachem Kleinladungsträger und ergonomischen Fahrerlosen Transportfahrzeug dar, weist somit die Vorzüge beider Systeme vor und bietet zudem bidirektionale Interaktionsmöglichkeiten mit dem Menschen.

2. Systemkonzept

Basierend auf den Anforderungen, ein Behältersystem zu schaffen, welches keine separate Fördertechnik benötigt und dennoch nahtlos in logistische Prozesse einbringen lässt, entstammte die Idee des „Ergonomischen Mobilen Interaktiven Ladungsträgers für die Intralogistik“. Zudem sollte das System fähig sein mit seiner Umgebung zu kommunizieren. Dies gilt für technische Komponenten, wie IT-Systeme, Maschinen oder Anlagen, aber genauso auch für Menschen.

Die technische Grundlage des Systems bildet ein gängiger Kleinladungsträger mit einer Grundfläche von 600mm x 400mm. So kann gewährleistet werden, dass ein Transport auf Fördertechnik, eine Einlagerung in einem automatischen Kleinteilelager sowie ein Stapeln auf oder unter anderen Kleinladungsträgern möglich ist und sich EMILI somit in die bestehende Umgebung integrieren lässt. Dennoch sind andere Maße eines Kleinladungsträgers wie 800mm x 400mm oder 400mm x 300mm denkbar.

Um die Funktionalität eines Kleinladungsträgers abzubilden, ist das Gehäuse in zwei Teilbereiche aufgeteilt, einem Ladungsbereich und einem Bereich für die Fahrtechnik. Ersterer ermöglicht EMILI mit Inhalt zu befüllen, der aufbewahrt oder transportiert werden soll. Durch den zweiten, unteren Bereich wird EMILI zu einem Fahrerlosen Transportfahrzeug befähigt. Der modulare Aufbau der elektrotechnischen Komponenten im unteren Bereich ermöglicht verschiedene Technologien in das FTF-Konzept zu integrieren. Auf diese Weise ist sowohl eine

kostengünstige sowie robuste Spurführung als auch eine freie Navigation ohne große Änderungen der restlichen Konstruktion integrierbar und eine Anpassung zur Laufzeit aufgrund von sich ändernden Anforderungen machbar. Die Fusion aus Behälter und Fahrerlosem Transportfahrzeug schafft eine Flexibilität, die in der Form derzeit durch kein anderes System in der Intralogistik abgedeckt werden kann.



Bild 1: EMILI in Funktion als FTF

EMILI verfügt über einen integrierten Hub, der in der Lage ist, die Lastaufnahme auf ergonomische Höhe anzuheben (vgl. Bild 1). So kann der Mitarbeiter transportierte Behälter bzw. den transportierten Inhalt ergonomisch zu entnehmen. Durch diese Funktion lassen sich Übergabeszenarien bzw. Kommissionierszenarien ohne zusätzliche Elemente oder eine Übergabestation umsetzen, wodurch die Flexibilität der logistischen Prozesse gesteigert wird und eine ortsunabhängige Gestaltung möglich ist.

Eines der Hauptelemente des EMILI-Systems bildet die integrierte, bidirektionale Mensch-Maschine-Schnittstelle, die eine dynamische und flexible Kommunikation zwischen EMILI und dem Menschen erlaubt. Über ein Display an EMILI können unmittelbar Rückmeldungen an den Menschen erfolgen. Die Zustände des Fahrzeugs werden über intuitive Gesichter dargestellt, welche dem Menschen eine fehlerfreie Interpretation des aktuellen Betriebszustands erlauben. Auf der einen Seite stehen webbasierte Softwareschnittstellen, die es ermöglichen, EMILI per App oder auch Wearables zu steuern. Hierfür wurde beispielsweise eine Anwen-

dung für Datenbrillen entwickelt, über die sich EMILI steuern lässt. Darüber hinaus wurde EMILI im Zuge des Innovationslabors für hybride Dienstleistungen in der Logistik in ein soziales Netzwerk integriert. Über dieses ist EMILI in der Lage ihren Status bzw. Hinweise direkt an die betroffenen Mitarbeiter und andere Maschinen zu versenden, ohne direkt mit ihnen kommunizieren zu müssen.



Bild 2: Oberer Hub; links: Hub eingefahren, rechts: Hub ausgefahren

3. Systemkomponenten

Zur Abbildung der rudimentären Funktionalität eines Fahrerlosen Transportfahrzeugs verfügt EMILI über ein Fahrwerk mit Differentialantrieb. So befinden sich die beiden einzeln ansteuerbaren Achsen in der Mitte des Fahrzeugs, welches dem Fahrzeug ermöglicht auf der Stelle zu drehen. Weiterhin besitzt das Fahrzeug vier nicht angetriebene Rollen, jeweils zwei Vorne und zwei Hinten. Neben dem Fahrwerk wird zur autonomen Bewegung geeignete Sensorik zur Lokalisierung und Navigation des Fahrzeugs benötigt. Die derzeitige Fahrzeugvariante nutzt hierfür einen optischen Spurführungssensor, über den das Fahrzeug in der Lage ist, einer von der Bodenfarbe abweichenden Spur zu folgen. Zudem können mittels des Spurführungssensors 2D-Marker wie bspw. DataMatrix Codes oder QR-Codes vom Fahrzeug gelesen werden. Diese können Informationen zu am Weg befindlichen Orten wie Übergabe- oder Ladestationen liefern, wodurch sich das Fahrzeug im Layout relativ zu den gelesenen Markern lokalisieren kann. Ebenfalls können die Marker oder auch die Spurfarbe genutzt werden, um dem Fahrzeug Befehle zu übermitteln. So kann über den Marker bspw. das Fahrzeug angehalten werden oder über die Spurfarbe die Geschwindigkeit angepasst werden. Durch den modularen Aufbau des Fahrzeugs ist EMILI nicht an ein Navigationsverfahren gebunden, sondern auch

andere Navigationssensoren wie ein Laserscanner können genutzt werden. Weiterhin besitzt es Abstandssensoren, die eine Hinderniserkennung ermöglichen.

Neben den Vorzügen eines Fahrerlosen Transportfahrzeugs besitzt EMILI die Eigenschaften eines Behälters und kann so als autonom fahrender Behälter angesehen werden. Ihre Abmessungen entsprechen denen eines Kleinladungsträgers, so dass EMILI mit jeglicher im Produktions- und Lagerumfeld befindlichen Technologie zur Handhabung von KLT genutzt werden kann. Beispielsweise kann es über längere Strecken mit herkömmlicher Fördertechnik transportiert oder per Shuttle in ein Regal eingelagert werden. Hierzu besitzt es einen Hubmechanismus, der das Fahrwerk inklusive der Räder einfährt, so dass die Räder nicht länger auf dem Boden aufsetzen. Neben den Maßen und der Kontur eines KLT verfügt es über einen Laderaum. Ebenfalls können aufgrund der KLT-Kontur weitere KLT auf EMILI gestapelt werden oder es selbst kann auf einen KLT gesetzt. So kann mit EMILI auch ein Blocklager realisiert werden.

Die Interaktivität von EMILI stellt die letzte der drei Bestandteilkategorien dar. In heutigen Produktions- und Lagerstätten erfordert die steigende Komplexität der Technik eine bessere Integration des Menschen. Hierfür ist es unter anderem notwendig, dass sich Technik an den Menschen anpasst [2]. EMILI verfügt daher über einen Scherenhub, mit welchem es ihren Laderaum sowie auf ihm gestapelte KLT auf eine für den Menschen ergonomische Höhe ausfahren kann. Da nicht nur die physische Belastung, sondern auch die psychische Belastung im Umgang mit Technik für den Menschen steigen kann ist EMILI mit einem segmentiertem E-Paper Display ausgestattet, über welches es dem Menschen seinen Zustand auf einfache intuitive Art mitteilen kann. Kernelement dieses Displays stellt EMILIs Gesicht dar (siehe Bild 3). Über unterschiedliche Gesichtsausdrücke zeigt es dem Menschen an, ob es beschäftigt ist, einen Auftrag angenommen hat oder einen Defekt aufweist. Bei Bedarf werden seine Gesichtsausdrücke mit textuellen Anzeige wie „I'm busy“ erweitert. Ebenfalls können auf dem Display über Icons unterschiedliche Zusatzinformationen wie die Dauer eines Auftrags oder der Batteriestand angezeigt werden.

Der Mitarbeiter erhält somit die Informationen direkt vor Ort am Fahrzeug und muss sie nicht an einem Leitstand oder über zusätzliche Systeme anfragen. Das Display lässt sich biegen und passt sich der Außenkontur an. Es funktioniert auch dann, wenn es teilweise beschädigt werden sollte. Zudem verbraucht es nur dann Energie, wenn der Zustand auf dem Display geändert wird. Ein Abschalten der Stromversorgung führt nicht zu einem Informationsverlust, sondern die zuletzt angezeigten Informationen werden aufgrund der Bistabilität des Displaymaterials weiterhin dargestellt [3].

Zur Ansteuerung der einzelnen Bestandteile von EMILI wird eine Steuerungseinheit bestehend aus einem Einplatinenrechner und dem Mainboard verwendet. Der Einplatinenrechner ist für die Ansteuerung der Aktuatoren am Fahrzeug zuständig. Hierzu gehören die Fahrwerksmotoren sowie die Motoren zur Ansteuerung des oberen und unteren Hubmechanismus. Ebenfalls wird die Ansteuerung des segmentierten Displays hiermit realisiert. Nach dem Prinzip des „verteilten Rechnen“ werden die Funktionalitäten auf dem Mainboard abgebildet.



Bild 3: Gesichtsausdrücke von EMILI; 1. Beschäftigt, 2. Befehl nicht verstanden, 3. Befehl nicht ausführbar, 4. Stand-By

4. Software-Design

Das Mainboard von EMILI sowie eine zweite Recheneinheit werden mit Linux betrieben. EMILI wird durch das Robot Operating System (ROS) gesteuert [4]. Alle Komponenten werden durch sogenannte Nodes (Programme) repräsentiert und können durch die von ROS gegebene Softwarearchitektur miteinander kommunizieren und Informationen austauschen. Programme können in C++, Java oder auch in Python realisiert werden. Die Master-Node wird auf dem Mainboard dauerhaft betrieben und mit Hilfe dieser können sich andere Nodes bei ihr registrieren und ihre Dienste (Services) anmelden. So kann eine Verteilung der Nodes auf unterschiedliche Recheneinheiten gewährleistet werden. Physikalisch werden verteilte Recheneinheiten per Ethernet verbunden. Durch vorhandene hardwaretechnische Schnittstellen wie beispielsweise SPI, RS232, CAN oder USB kann jede Node auf die eigentliche Komponente zugreifen. Das Mainboard kontrolliert aktuell die Verarbeitung der Bilddaten der Spurführungskamera, die Gesamtsteuerungslogik und die Kommunikationsschnittstellen zu externen Systemen. Eine weitere Recheneinheit übernimmt die Aufgaben der Spurführungsberechnung, der Ansteuerung der Fahr- und Hubmotoren, der Auswertung der Abstandssensoren und der Ansteuerung des segmentierten ePaper Displays.

Mit diesen programmierten Grundfunktionalitäten ist ein innerbetrieblicher Transport auf festen Wegen zwischen Übergabestationen realisierbar. Zu transportierende Kleinladungsträger können an manuellen Arbeits- oder Übergabepunkten auf für den Menschen ergonomische Höhe

gehoben werden. Transportaufträge können durch eine Software-Schnittstelle an EMILI vergeben werden. Von diesem Automatikmodus kann auch in einen interaktiven Modus umgeschaltet werden. Dafür ist eine separate Kommando-Schnittstelle implementiert worden.

Für den Austausch von Informationen mit externen Systemen sowie für die Steuerung von EMILI selbst existiert eine REST-Schnittstelle. Über einen spezifischen GET-Request können Statusinformationen wie Batterieladung, Fahrgeschwindigkeit, Entfernungswerte der Abstandssensoren oder andere interne Zustände über PCs, Smartphones oder Wearables, die im selben Netzwerk aktiv sind, abgerufen werden. Dies kann zu Diagnose- oder Visualisierungszwecke genutzt werden. Über bestimmte POST-Requests können verschiedene Funktionen (Hub, Fahrmotoren etc.) gestartet werden.

5. Interaktion mit EMILI

EMILI wird für Arbeitsumgebungen entwickelt, in denen eine direkte Interaktion zwischen Mensch und Maschine stattfindet. Dies bedeutet, dass weder ein Schutzzaun die Maschine notwendig ist, um den Menschen davon abzuhalten in den Betrieb einzugreifen, noch eine Lichtschranke den Betrieb unterbricht, sobald der Mensch in den Arbeitsbereich der Maschine eintritt. Es wird eine Kollaboration zwischen dem Menschen und EMILI angestrebt. Das Interaktionskonzept für EMILI sieht dafür mehrere Modalitäten vor. Dies kann durch direkte Interaktion ohne zusätzliche Hilfsgeräte geschehen, bei der die Interaktion unidirektional ist. Das bedeutet EMILI selbst kann Informationen über ihre Zustände mit dem Display kommunizieren. Unter Verwendung von speziellen Armbändern zur Gestenerkennung oder Smartwatches können verschiedene Armgesten bestimmte Funktionen auslösen und der Mensch kann somit an EMILI Informationen übermitteln. Eine weitere Art der Interaktion wird durch Augmented Reality ermöglicht. Hierbei können bidirektional Informationen ausgetauscht werden. Dazu ist die Nutzung von AR-Brillen notwendig.

Der Roboter besitzt Sensorik zur Erfassung von Hindernissen oder Personen und ist darauf ausgelegt, in der Arbeitsumgebung kooperativ oder kollaborativ mit Menschen zusammen zu arbeiten.

Das in seiner Funktion eingeschränkte Display kann mit Hilfe von Augmented Reality beliebig erweitert werden. So können beispielsweise animierte Sequenzen virtuell auf dem Display überlagert werden.

Des Weiteren können aber auch Systemzustände direkt an der passenden Stelle am Fahrzeug angezeigt werden. Mit Hilfe von virtuellen Bedienfeldern (Button etc.) kann dort auch eine Aktion durch den Benutzer ausgelöst werden. Somit wird eine erweiterte Kommunikation mit dem

Fahrzeug ermöglicht. Zudem besteht die Möglichkeit an EMILI bei einer möglichen Fehlfunktion erste Wartungsschritte durchzuführen, ohne dass entsprechendes Wartungspersonal hinzugezogen werden muss. Schritt-für-Schritt-Anleitungen können z.B. unter Verwendung einer Datenbrille, wie die Microsoft Hololens, dabei helfen ein Wartungsszenario abzubilden. Dabei werden textuelle Informationen im Sichtfeld des Benutzers eingeblendet oder virtuelle Interaktionsobjekte angezeigt, die durch Gesten oder Sprachbefehle manipuliert werden können und in der Folge EMILI steuern.

6. Zusammenfassung

EMILI vereint die Vorteile von Fahrerlosen Transportfahrzeugen mit den Grundeigenschaften eines Kleinladungsträgers und bringt durch die hier vorgestellten Interaktionsmöglichkeiten die Zusammenarbeit zwischen Mensch und Technik auf ein neues Level. EMILI ermöglicht es, die Ware auf eine für den jeweiligen Benutzer ergonomische Höhe zu bringen. Nicht nur die Minimierung physischer Belastung wurde bei der Entwicklung berücksichtigt, ebenfalls wurde auf die kognitive Ergonomie des Menschen geachtet. So dient das Display zur einfachen und natürlichen Übermittlung von Zuständen direkt am Fahrzeug. So muss nicht länger über einen zentralen Leitstand kommuniziert werden.

Um die Vorteile der Fahrzeugbehälterkombination noch zu vergrößern, soll EMILI in einer weiteren Ausbaustufe in der Lage sein, frei zu navigieren. So kann es auch in komplexeren, sich oft ändernden Umgebungen Einsatz finden, ohne dass der Mensch, durch Rücksichtnahme auf EMILI, seine Arbeitsweise anpassen muss.

- [1] Hirsch-Kreinsen, H., & ten Hompel, M. (2015). Digitalisierung industrieller Arbeit: Entwicklungsperspektiven und Gestaltungsansätze. In Handbuch Industrie 4.0. Berlin: Springer-Verlag.
- [2] Jost, J., Kirks, T., Mättig, B., Sinsel, A., & Trapp, T. U. (2015). Der Mensch in der Industrie - Innovative Unterstützung durch Augmented Reality. In B. Vogel-Heuser, T. Bauernhansel, & T. ten Hompel (Hrsg.), Handbuch Industrie 4.0 (Bd. I). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- [3] Marshall, C. C. (2009). Reading and Writing the Electronic Book (Synthesis Lectures on Information Concepts, Retrieval, and Services). Morgan and Claypool Publishers.
- [4] Open Source Robotics Foundation. (2017). *ROS.org | Powering the world's robots*. Abgerufen am 2. September 2017 von <http://www.ros.org/>

Optimierungspotenziale durch stufenweise Fusion und Integration von Sensorik am Beispiel von FTS

MBA, B.Eng. **Michael Repplinger**, SICK AG, Waldkirch

Kurzfassung

In logistischen Anwendungen, wie zum Beispiel bei fahrerlosen Transportfahrzeugen, gibt es eine Vielzahl Aufgabenstellungen, die mittels Sensoren gelöst werden (z. B. Personenschutz, Lokalisierung, Anti-kollision, Positionierung, Objektidentifikation). Diese Aufgaben werden oft separat von einzelnen Sensoren gelöst. Über deren eigentliche Funktion hinaus erfassen diese jedoch eine Vielzahl weiterer Daten und Zustände. Aktuell bleiben diese Informationen weitgehend ungenutzt. In diesem Beitrag werden am Beispiel von fahrerlosen Transportsystemen (FTS) Möglichkeiten aufgezeigt, wie durch stufenweise Fusionierung und Vernetzung von Sensoren die Produktivität von logistischen Prozessen gesteigert werden kann. Beispielsweise können in fahrerlosen Transportsystemen durch Kombination von Sensorfunktionen bis hin zur Cloudanbindung Mehrwerte für logistische Systeme geschaffen werden.

1. Einleitung

Wir verstehen die Optimierung von Logistikprozessen durch die Vernetzung intelligenter Sensorik als gestaffelten Prozess, der durch den Grad der Vernetzung unterteilt werden kann. In einer ersten Stufe werden dabei die Daten der Sensoren, die unmittelbar an einem fahrerlosen Transportfahrzeugen (FTF) eingesetzt werden, kombiniert, um den Zustand eines FTF zu robust und genau zu bestimmen. Die Sensordaten werden in einer zweiten Stufe von einer übergeordneten Steuereinheit verwendet, um die Logistikprozesse der gesamten Anlage zu optimieren. Die dritte und letzte Optimierungsstufe strebt eine dezentrale Verwendung der Sensordaten an, um die Ausfallsicherheit der Anlage zu erhöhen indem die Komplexität auf einzelne Subsysteme verteilt wird.

2. Lokale Sensorfusion

Durch den stetig kleiner werdenden Formfaktor von fahrerlosen Transportfahrzeugen (FTF) steigt der Bedarf an kompakten Sensoren. Gleichzeitig entsteht aus Kostengründen und aufgrund der einfacheren Integration die Notwendigkeit, die Anzahl an Sensoren zu reduzieren und möglichst viele Funktionen in einem Sensorsystem zusammenzufassen. Dem gegenüber

steht, dass die Anforderungen der Kunden an fahrerlose Transportsysteme (FTS) immer spezifischer und unterschiedlicher werden. Das Spektrum der FTS reicht von hochmodularen und high-end Anwendungen bis hin zu wenig komplexen und kostengünstigen Lösungen. Dies erfordert Sensorkonzepte, mit denen sich die je nach Projekt unterschiedlichen Kundenanforderungen in wirtschaftlicher und technischer Hinsicht möglichst flexibel und modular lösen lassen.

Somit lassen sich in der ersten Stufe Optimierungspotentiale aufzeigen, die sich durch die Kombination und Fusion von Sensorfunktionen ergeben. Ein prominentes Beispiel hierfür ist die Lokalisierung des FTS auf der Basis von Sicherheitslaserscannern. Konventionell wird die Orientierung und die absolute Position eines FTS in seiner Umgebung mit Hilfe eines zusätzlichen Laserscanners realisiert. Der Scanner detektiert dabei Reflektoren, die in dessen Operationsumfeld montiert sind und deren Positionen bekannt sind. Diese Lokalisierungslösung ist ein in sich geschlossenes System. Anstatt dessen kann die Lokalisierung des FTS dank neuer Algorithmen auch über die Messdaten des Sicherheitslaserscanners berechnet werden. Dieser ist der zum personensicheren Betrieb des FTS ohnehin meist vorhanden ist. Somit kann mit dem Navigationsscanner ein komplexes Sensorsystem entfallen. Am Beispiel der Lokalisierung lassen sich auch weitere Facetten von Optimierungspotentialen aufzeigen: Bei bestimmten Fahrsituationen (z.B. Lastaufnahme, Unter- oder Durchfahrten, Übergabestationen, etc.) ist eine sehr genaue Positionsbestimmung des Fahrzeuges notwendig. Die entsprechende Feinlokalisierung kann einerseits durch performantere Sensoren oder durch Anpassung der Umgebung (z.B. Montage von Reflektoren oder zusätzlicher natürlicher Landmarken) realisiert werden. Je nach Anwendungsfall kann eine kosteneffektivere Lösung auch dadurch erreicht werden, bei den o.g. Fahrsituationen auf eine Kombination mit einfacher zusätzlicher Sensorik zurückzugreifen. Zum Beispiel eignen sich kostengünstige Spurführungssensoren, um eine laterale Positioniergenauigkeit im Submillimeterbereich zu erreichen. Hier haben sich magnetische, optische oder kamerabasierte Sensoren aufgrund ihrer geringeren Komplexität als robuste und effektive Zusatzsysteme erwiesen.

Erweiterte Anwendungsmöglichkeiten im Bereich der FTS können sich durch die Fusion unterschiedlicher Sensordaten ergeben. Zum Beispiel ist durch die Erkennung der Beladungszustände wie Gewicht, Abmaße oder Überstände der Ladung eine situative Anpassung von Fahrdynamiken (Kurvenradien, Geschwindigkeiten, etc.) möglich. So kann das FTS mit der höchsten Geschwindigkeit betreiben werden, die einen sicheren Betrieb gewährleistet und damit die Effizienz der logistischen Abläufe steigern.

3. Globale Nutzung von Sensordaten

Im Rahmen ihrer eigentlichen Aufgabe erfassen Sensoren, die in FTS zum Einsatz kommen, kontinuierlich eine Vielzahl von Daten des Fahrzeuges oder auch der Umgebung. Diese zusätzlichen Informationen bleiben weitestgehend ungenutzt, da sie nicht für den unmittelbaren Betrieb des FTS relevant sind. Dennoch können diese in einem erweiterten Kontext Mehrwerte bieten.

Die nächste Optimierungsstufe besteht darin, dass Sensoren nicht nur lokal auf dem FTF eine Funktion erfüllen, sondern auch als Datenquelle für eine globale übergeordnete Steuerungsebene dienen. Ein möglicher Anwendungsfall sind Kartierungsverfahren. Dazu gehören die Umgebungserkennung und –aufzeichnung, wobei hier zunächst auf den zweidimensionalen Anwendungsfall (2D Mapping) eingegangen werden soll. Grundsätzlich erfasst jedes FTS, das mit einem messenden Laserscanner ausgestattet ist, kontinuierlich seine Umgebung. Diese Messdaten können während des kontinuierlichen Durchfahrens der Halle so verarbeitet werden, dass gleichzeitig dessen Position und eine aktuelle, zweidimensionale Karte der Umgebung bestimmt/berechnet wird. Die so generierte Karte kann extrahiert und weiterverwendet werden. So lassen sich z.B. Unterschiede zu Bauplänen oder Änderungen in der Umgebung, wie etwa nach einem Umbau, erfassen und dokumentieren.

Eine weitere Möglichkeit, die sich für den Betrieb des FTS daraus ergibt, ist die dynamische Aktualisierung der Lokalisierungskarte für Navigation und Routenplanung der FTF. Ein FTF kann so dem Leitsystem eine Blockade der Hauptfahrroute an einer bestimmten Stelle mitteilen. Das Leitsystem ist dadurch in der Lage, weitere zukünftige Transportaufträge entsprechend zu planen. Es kann aktiv Staus, Engpässe und andere periodische Systemänderungen erfassen und darauf reagieren, beispielsweise auf abweichende Routenzeiten zu unterschiedlichen Stoßzeiten oder Produktionszyklen (z. B. viele Be- und Entladevorgänge vs. regulärer Produktionsbetrieb).

Eine Erweiterung des 2D Mapping Verfahrens ist das 3D Mapping. Dabei wird mithilfe der Messdaten von Sensoren ein dreidimensionales Abbild der Umgebung erstellt, woraus sich entsprechend eine Vielzahl von Informationen ableiten lassen. Als Beispiele für FTS lassen sich hier die Ermittlung und Darstellung von Durchfahrtshöhen, sowie die Kartierung von dreidimensionalen Regalpositionen anführen.

4. Sensoren als Teil von vernetzten Systemen

Als nächste Optimierungsstufe kann die Ad-Hoc Kommunikation und Vernetzung verschiedener FTS untereinander, zusammen mit in der Infrastruktur befindlicher Sensorik, betrachtet werden. So können die Daten der einzelnen Fahrzeugsensoren, kombiniert mit ortsfester Sensorik (z.B. Kreuzungsüberwachungen) dazu eingesetzt werden, Prozesse effektiver zu gestalten. Dadurch können Durchlaufzeiten optimiert werden, da die bisher standardmäßigen Geschwindigkeitsreduktionen an Kreuzungsstellen nun nur im Bedarfsfall nötig sind, und die globale Routenplanung bedarfsgerecht auf die „grüne Welle“ angepasst werden kann. Im Rahmen eines Schwarmansatzes können auch Informationen, insbesondere Sensordaten direkt zwischen den FTF geteilt werden. So kann z. B. ein „Leitfahrzeug“ ausgestattet mit komplexer Sensorik zur Lokalisierung und Umgebungserkennung andere, mit weniger Sensorik ausgestattete Fahrzeuge anführen, ähnlich zu einem wandelbaren Routenzug. Weiterführend sind dynamische Anpassungen an Bedarfsschwankungen oder an plötzlich veränderte Umgebungsbedingungen (z. B. Weg blockiert) möglich, indem diese Information direkt an alle FTF weitergeleitet wird. So können die Fahrzeuge bei minimaler Reaktionszeit selbstständig auf Änderungen reagieren, ohne dass es den Eingriff einer übergeordneten Steuerungsebene bedarf. Durch die direkte Vernetzung der FTF ist eine gegenseitige vorausschauende Positionsbestimmung möglich. Dadurch können Vorfahrtsregeln direkt unter den FTF ausgehandelt werden oder die Routen individuell angepasst werden, um Staus oder Häufungen von Fahrzeugen an bestimmten Stellen zu vermeiden. Kritische Verzögerungen im Transportprozess oder Bottlenecks werden so bereits vor Entstehung vermieden.

Israels größte Krankenkasse Clalit errichtet Logistikzentrum mit Lagertechnik von Dematic

Kompakt und effizient – Optimierung Gesundheitsversorgung in Israel

Dipl.-Kfm. **Norman Dosch**,
Dr. **Christoph Meurer**, **Christian Perner**,
Dematic GmbH, Heusenstamm

Kurzfassung

Im Jahr 2013 entschied sich Clalit Health Services Israel ein neues Distributionszentrum zwischen Jerusalem und Tel Aviv zu errichten. Mit Dematic als Intralogistiklieferant wurde eines der modernsten und effizientesten Multishuttle-Systeme gebaut und planmäßig in Betrieb genommen. Seit 2016 wird von hier aus das gesamte Gesundheitswesen in ganz Israel beliefert.

1. Vorstellung Kunde Clalit

Mit über vier Millionen Mitgliedern und einem landesweiten Netz aus Krankenhäusern, Kliniken und Apotheken ist Clalit Health Services Israels größter Gesundheitsdienstleister. Um den wachsenden Leistungsanforderungen in der Intralogistik gerecht zu werden, errichtete das halbstaatliche Unternehmen ein neues Logistikzentrum mit automatischer Kommissionierung in Shoham.

Das Gesundheitswesen in Israel unterscheidet sich grundlegend vom deutschen System. Krankenkassen versichern ihre Mitglieder nicht nur, sondern bieten darüber hinaus eine breite Palette weiterer Dienstleistungen im Gesundheitssektor an. So verfügt Clalit als größte Krankenkasse Israels über ein landesweites Netz aus 16 Krankenhäusern, rund 1.300 Kliniken und mehreren hundert Fachinstituten, Labors und Apotheken.

Das logistische Verteilerzentrum in Tel Aviv war in der Vergangenheit für die Versorgung mit Medikamenten des gesamten Südens und mittleren Teil Israels zuständig. Aufgrund schlechter Verkehrsanbindung, häufiger Staus und manueller Beförderung kam es jedoch immer wieder zu Engpässen. Clalit entschloss sich daher zu einem Neubau in Shoham, circa 25 Kilometer östlich von Tel Aviv. Von dort aus sind beide Großstädte des Landes, Jerusalem und Tel Aviv, innerhalb von 30 Minuten erreichbar.

2. Business Case von Clalit

In den Mittelpunkt des Vorhabens stellte Clalit die automatische Kommissionierung und den optimalen Materialfluss innerhalb des Lagers, um eine zuverlässige Versorgung der Gesundheitseinrichtungen zu gewährleisten. Hierzu formulierte Clalit in der Ausschreibung hohe Ansprüche an die Zuverlässigkeit und Leistung der Anlage.

Dematic überzeugte Clalit mit einem Multishuttle-System, einem Materialfluss-Konzept sowie Fördertechnik und Software-Lösungen aus einer Hand. Die maßgeschneiderte Intralogistiklösung für das neue Logistikzentrum übernimmt das Ein- und Auslagern der Pharmaprodukte sowie das Handling der Kunststoffbehälter und Kartons und koordiniert zudem sämtliche Abläufe zwischen Lager, Kommissionierung und Auftragszusammenstellung automatisch. Dabei werden auch toxische Pharmazeutika eingelagert und kommissioniert. Im Vergleich zur manuellen Beförderungsart zuvor erhöht die Lösung die Geschwindigkeit, die Genauigkeit und den Durchsatz der Verteilung um ein Vielfaches. Nicht nur mit der Automatisierung der Prozesse überzeugt das System, sondern auch durch seine hohe Flexibilität, absolute Zuverlässigkeit und Fehlerfreiheit in der Kommissionierung. Im neuen Logistikzentrum sind mit dem Multishuttle-System nun bis zu 40.000 Picks in einer Schicht möglich – eine wesentliche Leistungssteigerung im Vergleich zur bisherigen manuellen Kommissionierung.

2. Materialfluss-System

Das Konzept des automatischen Materialfluss-Systems orientiert sich konsequent an den Vorgaben flexibel, schnell und effizient zu kommissionieren. Dazu wurden Ware-zur-Person-Kommissionierung, Kommissionierung an Durchlaufkanälen und von Palette sowie alle übrigen Funktionen vom Wareneingang bis zur Versandbereitstellung der fertig gepackten Pakete auf engstem Raum untergebracht.

Insgesamt erstreckt sich der Neubau über drei Etagen. Das Multishuttle-System besteht aus den Komponenten Regal, Shuttle und Steuerung. Es bildet das Zentrum der Anlage, aus dem die verschiedenen Kommissionierplätze direkt oder indirekt auf den verschiedenen Ebenen ver- und entsorgt werden.



Bild 1: Multishuttlelager mit direkt angebundener Kommissionierung auf 3 Ebenen

An den 14 Wareneingangsstationen werden von Palette pro Stunde bis zu 350 Behälter mit Ware befüllt und 650 Kartons Richtung Multishuttlelager gesandt.



Bild 2: Wareneingangsarbeitsplatz / Umfüllen von Palette in Behälter

Die Lagerplätze im Multishuttle sind aufgeteilt in einen normal temperierten Abschnitt (Ambient) mit fünf Gängen und 19 Regal-Ebenen und einen gekühlten Bereich (2-4 Grad Celsius) mit zwei Gängen und 14 Regal-Ebenen.

Die äußerst kompakte Bauweise der Anlage wird durch die Drive-Through-Technologie des Multishuttle ermöglicht. Dabei können Heber innerhalb des Regals angeordnet werden, so dass Shuttle-Fahrzeuge daran vorbeifahren können. Bei Clalit ist eines der ersten Shuttle-Systeme mit dieser Technologie installiert worden. Es bietet die Möglichkeit, Ware-zur-Person-Arbeitsplätze platzsparend unterhalb des Regals anzuordnen. Gleichzeitig wird durch das Drive-Through-Prinzip die Leistung von Shuttlefahrzeugen und Hebern gegenüber End-of-Aisle-Anordnungen deutlich erhöht. Dies ergibt sich aus kürzeren Fahrwegen der Shuttles und kombinierter Ein- und Auslagerung bei den Hebern anstelle von dedizierten Ein- bzw. Auslagerhebern.



Bild 3: Lifanordnung Infeed / Outfeed mit Drive-Through Möglichkeit

Auf jeder Lager-Ebene befindet sich jeweils ein Shuttle, das automatisch auf den auszulagernden Artikel zugreift und diesen über die vertikalen Lifte auf die Fördertechnik überführt. Von dort wird die Ware zu einer der 42 Kommissionierstationen transportiert. An den vier Ware-zur-Person-Stationen im Kühlbereich, den acht automatischen RapidPick-Stationen, zehn Pick-by-Light-Stationen für Kommissionierung von Paletten und 20 für Behälterkommissionierung machen Clalit-Mitarbeiter die Artikel dann versandfertig.



Bild 4: Arbeitsplätze im Kühlbereich

Vier der fünf Shuttle-Gassen im Ambient-Bereich dienen zur direkten Versorgung der acht Ware-zur-Person-Arbeitsplätze (RapidPick-Stationen). An den Stationen sind immer ein Quellbehälter (auch „Lagerbehälter“) sowie vier Kundenkartons im Zugriff. Die Kundenaufträge werden in einer vorgegebenen Reihenfolge abgearbeitet. Dabei müssen vom Materialfluss-System hohen Sequenzanforderungen für die Quellbehälter erfüllt werden. Dies wird ausschließlich durch intelligente Verknüpfung der Steuerung von Shuttle-, Heber- und Auslagerfördertechnik erreicht. Sequenzer direkt an den Arbeitsplätzen werden nicht benötigt.



Bild 5: Goods-to-Person GTP-Kommissionierstation



Bild 6: Pickprozess an einer GTP-Station

Kombinierte Funktion der Gasse 5: Eine weitere Besonderheit ist die spezielle Funktion der fünften Multishuttle-Gasse. Diese ist im gleichen Regalraster mit den ersten vier Gassen angeordnet und mit derselben Fördertechnik angeschlossen. Sie erfüllt jedoch gleich zwei völlig andere Funktionen. Auf den Shuttle-Ebenen, auf denen sich Durchlaufregale der Kommissionierplätze befinden, werden diese vom jeweiligen Shuttle befüllt. Die Lagerplätze auf den übrigen Ebenen dienen als Warenausgangspuffer mit Sequenzierfunktion.



Bild 7: Pick.by-Light Stationen

Die an den Kommissionierplätzen entstehenden Leerbehälter werden dem Wareneingang zur Verfügung gestellt. Die Anbruchbehälter werden automatisch ins Multishuttle zurückgelagert. An den Stationen befüllen die Clalit-Mitarbeiter die Auftragskartons nach dem Ware-zur-Person- und dem Pick-by-Light-Prozess mit den automatisch bereitgestellten Artikeln. Sobald der Kommissionierer die entnommene Menge bestätigt, wird durch eine Kontrollwaage die Menge und das Gewicht validiert, anschließend wird die neue Artikelmenge im Warehouse Management System angepasst. Nach der Auftragszusammenstellung transportiert die Fördertechnik die Artikel zum Qualitätsmanagement auf einen von 20 Arbeitsplätzen zur nochmaligen Prüfung gemäß den hohen Anforderungen für pharmazeutische Produkte und dann zur Verpackungsstation. Hier werden die Kartons automatisch verschlossen, gelabelt und Richtung Warenausgang transportiert.



Bild 8: Qualitätsprüfstation

In time werden die fertigen Aufträge an eine der 27 Versandbahnen geliefert. Um die Auslastung der Pickstationen zu optimieren, besteht die Möglichkeit Aufträge vor der Zeit zu kommissionieren und sie dann im Warenausgangspuffer zwischenzulagern und sequenziert auszulagern.



Bild 9: Versandbahnen

Durch diesen, genau auf die Kundenanforderungen von Clalit abgestimmten Materialfluss konnte Dematic die hohen Qualitätsanforderungen des Kunden erfüllen und durch den hohen Automatisierungsgrad der Anlage ist das neue Distributionszentrum deutlich moderner und stellt die Zuverlässigkeit und Fehlerfreiheit der Lieferungen sicher.

3. Inbetriebnahme

Ein wichtiger Erfolgsfaktor bei der Errichtung und Inbetriebnahme der komplexen Anlage war die frühzeitige Einbindung des Dematic-Service-Teams, das Clalit bereits vor dem Go-Live der Anlage vor Ort unterstützte. Dematic stellte ein spezifisches Rundum-Service-Paket für Clalit für die nächsten fünf Jahre zusammen, das von der kompletten Betriebsbegleitung über den Hotline-Support, die Wartung bis hin zur Lieferung einzelner Ersatzteile reicht. Mit dem individuellen Um die volle Leistungsfähigkeit und optimale Instandhaltung der Anlage zu gewährleisten, stehen rund um die Uhr fünf Experten aus dem Dematic Service Team zur Verfügung, die auch den Launch Support begleiteten. Zudem schulen sie die Clalit-Mitarbeiter fortlaufend bezüglich der Funktionsweise und Bedienung der Anlage und führen anstehende Wartungen und etwaige Reparaturen aus. Eine Herausforderung war die Einarbeitung neuer Clalit-Mitarbeiter in das System und die Gewöhnung an automatische Abläufe.

Ausgemachtes Ziel der Service-Leistung ist es, eine Verfügbarkeit der Anlage von 98 Prozent zu erreichen. Fällt der Wert unter 98 Prozent, entschädigt Dematic seinen Kunden und erhält umgekehrt bei 99 Prozent einen Bonus. Die Betreuung des Kunden hat für Dematic immer

oberste Priorität – dementsprechend wird das gesamte System permanent überwacht. Durch die Leistungskennzahlen und -berichte erhält Clalit einen aussagekräftigen Überblick über den aktuellen Status der Anlage sowie mögliche Verbesserungspotenziale im Lager, um gegebenenfalls die Parameter in der Software anzupassen. Hierfür nutzt Dematic eigene Analysefunktionen.

4. Gelungene Zusammenarbeit

Seit dem Go-Live vor einem Jahr läuft das System reibungslos. Für den Fall der Fälle verwaltet Dematic ein großes Ersatzteillager des Kunden, um auf Materialermüdungen umgehend reagieren zu können und um die Ersatzteilverfügbarkeit sicherzustellen. Dematic kann somit schnell und bedarfsgerecht hochwertige Original-Ersatzteile für die Wartung und Instandhaltung der Anlage liefern.

Auch aus Sicht von Clalit war die Zusammenarbeit ein voller Erfolg. Das Projekt war von einem partnerschaftlichen, konstruktiven Umgang und einem zielorientierten Vorgehen geprägt und von der Planung bis zur Ablieferung ist alles wunschgemäß gelaufen.

Umstellung der Lagerverwaltungssoftware auf SAP EWM im internationalen Warenverteilzentrum der Viessmann Group bei laufendem 24-Stunden-Betrieb

Christian Graf, Viessmann Logistik International GmbH, Allendorf;
Sebastian Schiller, inconso AG, Bad Nahheim

Kurzfassung

1. Einführung von SAP EWM im Automatiklager bei fortlaufender Einlagerung der Fertigwaren direkt aus der Produktion ins Hochregallager und doppelt tiefe Kleinteilelager
2. Volle Transparenz über aktuelle Lagerprozesse mit SAP EWM und Online-Monitoring
3. Prozessoptimierung mit SAP EWM in der bestehenden Anlage und Steigerung der Kommissionierleistung um 10 Prozent

1. Das Projekt

Die Viessmann Logistik International GmbH ist ein Tochterunternehmen der Viessmann Group, eines international führenden Herstellers von Systemen der Heiz-, Kälte- und Klimatechnik. In Allendorf (Eder) betreibt das Unternehmen seit 1998 ein zentrales Warenverteilzentrum. Rund um die Uhr werden die Produkte aus der Fertigung in das 19-gassige automatische Hochregallager oder in das 2-gassige automatische, doppeltiefe Kleinteilelager eingelagert. An Spitzentagen durchlaufen bis zu 9.000 Pakete das Lager, denn bis 20:00 Uhr kann der Kunde bestellen, wenn er die Ware bereits am Folgetag in den Händen halten möchte. Parallel dazu werden LKWs Tag und Nacht an insgesamt 20 Versandtoren beladen und auf die Reise geschickt – in der Hochsaison bis zu 80 Fahrzeuge pro Tag. Als sich im Unternehmen abzeichnete, dass das bis dato bestehende Lagerverwaltungs- und Materialflusssystem den zunehmenden Anforderungen nicht länger gewachsen war, entschied sich Viessmann für die Komplettumstellung auf SAP EWM.

Die proprietäre Lagerverwaltungssoftware bei der Viessmann Logistik International GmbH war zum Projektstart fast 15 Jahre alt. Sie wurde seither immer wieder durch neue Funktionen angereichert, die sich aus veränderten Businessanforderungen an das Warenverteilzentrum ableiteten. Dennoch blieben funktionelle Lücken bestehen, die nicht geschlossen werden konnten, so z. B. bei der transparenten Serialnummern- und Auftragsverfolgung. Bei Viessmann wurde aufgrund dessen die Entscheidung getroffen, das bestehende Lager-system und die daran gekoppelte Materialflussteuerung als Ganzes abzulösen.

Da die Einführung einer neuen Lagersoftware den Betrieb des Lagers in keiner Weise beeinträchtigen durfte, drängte sich bereits zu Auftragsbeginn die beinahe provokative Frage auf, ob die Umstellung der Lagerverwaltungs- und der Materialflusssteuerungssoftware in einem einzigen Schritt und im laufenden 24-Stunden-Betrieb überhaupt technisch möglich und wirtschaftlich zu verantworten sei. Darüber hinaus bewegten vor allem zwei Fragen den Betreiber: Gelingt die Überwindung bestehender funktioneller Defizite auf SAP Basis? Ist das SAP EWM dafür geeignet?

2. Die Lösung

Von Anfang an war inconso von der Realisierbarkeit des Vorhabens mit SAP EWM überzeugt. Durch die Umstellung der Lagerverwaltung und Materialflusssteuerung im Warenverteilzentrum auf SAP EWM würde Viessmann vielfach profitieren. Zum einen erklärt sich dies aus der engen Integration zwischen SAP ERP und SAP EWM bei der Ausprägung der vielfältig gestaltbaren Logistikprozesse, zum anderen lassen sich die Lagerprozesse granular steuern und monitoren sowie bei Bedarf anpassen.

Um die erfolgreiche Umstellung bei laufendem 24-Stunden-Betrieb sicherzustellen wurden folgende Dinge berücksichtigt:

- Die Umstellung des WVZ auf SAP EWM erfolgte nach einem Stufenkonzept.
- Für die Tests „im Büro“ und in der realen Fördertechnikanlage wurde eine Testumgebung genutzt, die alle beteiligten Systeme einschloss.
- Wochen vor dem Go-live wurde eine Testphase im Produktivsystem initiiert.

3. Das Fazit

Bei Viessmann ist der reibungslose Systemwechsel bei laufendem Betrieb geglückt. Dies beweist, dass die Umstellung eines proprietären Lagersystems auf SAP EWM im laufenden Betrieb durchaus technisch und organisatorisch möglich ist. Im WVZ ist dies letztendlich durch das Zusammenwirken mehrerer Faktoren gelungen. Zum einen bedurfte es eines „testbereiten“ Betreibers, der für alle seine Prozesse reale Testdaten bereitstellt – sowohl für die Tests „im Büro“ als auch für die Tests in der realen Anlage. Die Viessmann Logistik, die die Tests anfangs vor allem personell begleitete, übernahm in Vorbereitung des Go-live zunehmend die inhaltliche Führung. Der inconso AG oblag es insbesondere, neben der Ausgestaltung der notwendigen Prozesse und Abläufe im Lager, die erforderlichen Test- und Simulationswerkzeuge

zum Einsatz zu bringen, um die Wiederholbarkeit und Effizienz der Tests auf das für große Anlagen erforderliche Niveau zu heben.

Viessmann profitiert seitdem von der differenzierten Ausprägung der vielfältigen Lagerprozesse und von der hohen Transparenz im Monitoring. Darüber hinaus ist eine messbare Effizienzsteigerung zu verzeichnen: „Mit dem SAP EWM übertreffen wir die Werte des Vorgängersystems. Wir konnten unsere Planzahlen, auf denen unsere Mitarbeitereinsatzplanung und damit unsere Produktivitätsvorgaben basieren, in den verschiedenen Lagerbereichen um 5, in Teilen um bis zu 10 Prozent erhöhen, weil die Anlage schneller auslagert und die Bediener mit den neuen Dialogen an den Arbeitsplätzen sicher umgehen“, berichtet Herr Peter Löwer, Leiter der Distributionslogistik Deutschland der Viessmann Logistik International GmbH.



Bild: Systemwechsel bei Viessmann mit inconso – Verladebereich Warenverteilzentrum Viessmann

Von der Forschung ins eigene Start-up – Motion-Mining® in der Praxis

Automatische Prozessanalysen in Produktion und Logistik

Sascha Kaczmarek, René Grzeszick, Sascha Feldhorst,
MotionMiners GmbH, Dortmund

Kurzfassung

Die MotionMiners GmbH ist ein Start-up, das sich mit der automatisierten Analyse von manuellen Arbeitsprozessen in Produktion und Logistik beschäftigt. Dazu werden mobile Sensoren und Kleinstfunksender zusammen mit Algorithmen des *Deep Learning* genutzt, um Prozessdaten automatisch aufnehmen und zu analysieren und so Optimierungspotenziale aufzudecken. Das junge Spin-off des Fraunhofer-Instituts für Materialfluss und Logistik (IML) hat ein turbulentes Jahr 2017 hinter sich, in dem wichtige Schritte aus der Forschung heraus und hin zum eigenen Unternehmen gemacht wurden. Aus einem Forschungsthema wurde ein Geschäftsmodell, aus einem Demonstrator wurde ein erstes Produkt und nicht zuletzt wurden nervenaufreibende bürokratische Hürden von den Gründern übersprungen. So konnte das Jahr mit dem erfolgreichen Start der ersten Pilotprojekte beendet werden.

Der folgende Artikel ist wie folgt strukturiert: Die ersten beiden Kapitel bringen Ihnen die Idee des Motion-Minings näher. Das dritte Kapitel geht abschließend auf die nicht weniger wichtigen, aber zweifelsohne erlebnisreichen Aspekte der Unternehmensentwicklung ein.

1. Die Blackbox

Für viele Unternehmen sind ihre manuellen Prozesse vergleichbar mit einer Blackbox, d. h. die Ein- und Ausgabegrößen sind wohl bekannt, aber viele interne Abläufe und Zusammenhänge bleiben im Tagesgeschäft verborgen bzw. können nur durch eine aufwändige Datenerhebung ermittelt werden. Dies gilt aufgrund der komplexen Produkthandhabung und der geforderten Flexibilität insbesondere für die Kommissionierung. Fehlende Prozessdaten werden zum Problem, wenn es um das Aufdecken und Beheben von Schwachstellen geht. Ineffiziente Prozesse verschwenden nicht nur Zeit und finanzielle Ressourcen, häufig werden auch die Mitarbeiter dadurch unnötig belastet (z. B. durch lange Wege oder häufiges Bücken).

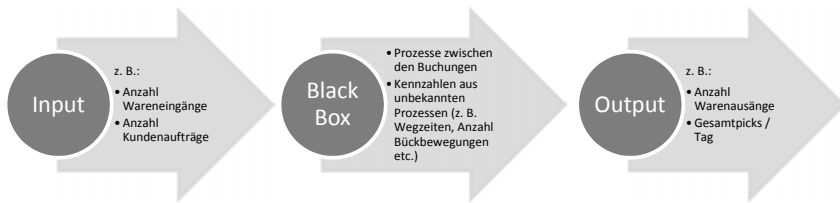


Bild 1: Manuelle Prozesse

Im hektischen Tagesgeschäft bleibt für eine Analyse und Optimierung der industriellen Leistungsprozesse meist keine Zeit. Es gibt oftmals weder eine verlässliche Datengrundlage, um gezielt Prozesse zu optimieren, noch um die körperliche Beanspruchung von Mitarbeitern zu messen bzw. zu verringern. Bislang werden diese Informationen über die Prozesse und Tätigkeiten der Mitarbeiter vielfach noch durch manuelle Beobachtung mithilfe von Stoppuhr und Klemmbrett ermittelt oder lediglich geschätzt. Der Haken an diesem Vorgehen: Bei manuellen Prozessaufnahmen werden Daten nur punktuell aufgenommen, da ansonsten der Aufwand zu groß wäre. Zudem sind die Ergebnisse häufig verfälscht, da es die Mitarbeiter irritiert, wenn sie bei ihrer Arbeit gefilmt oder beobachtet werden. Da die Daten einen direkten Personenbezug haben, ist dieses Vorgehen auch hinsichtlich des Datenschutzes bedenklich.

2. Motion-Mining® ist die Lösung

Mit der Motion-Mining-Technologie werden die Nachteile einer manuellen Prozessanalyse ausgeglichen und die bisher vorhandenen Daten sinnvoll ergänzt. Beim Motion-Mining werden *Wearables* und *Beacons* genutzt, um Daten anonymisiert und ohne großen Aufwand aufzunehmen während der Prozess abläuft. Anschließend werden Algorithmen des *Deep Learnings* genutzt, um die Daten automatisch auszuwerten. Dies versetzt Prozessverantwortliche in die Lage ihre Prozesse im Hinblick auf Produktivität und Ergonomie automatisch zu analysieren, ohne selbst daneben zu stehen (vgl. Bild 2). Eingriffe in die betriebliche IT sind dafür nicht notwendig.

So kann der Aufwand für Prozessaufnahmen erheblich reduziert, die Datenbasis für das Ergreifen von Maßnahmen vergrößert und verborgene Optimierungspotenziale aufgedeckt werden. Durch technische und organisatorische Maßnahmen bleibt während der Datenaufnahme weiterhin die Anonymität der Mitarbeiter gewahrt, so dass ein Rückschluss auf einzelne Mitarbeiter nicht möglich ist. Da die *Wearables* wesentlich unaufdringlicher als ein permanenter

Beobachter sind, fühlen sich die Mitarbeiter auch deutlich weniger beobachtet und können ihre Arbeit unter normalen Bedingungen ausführen.

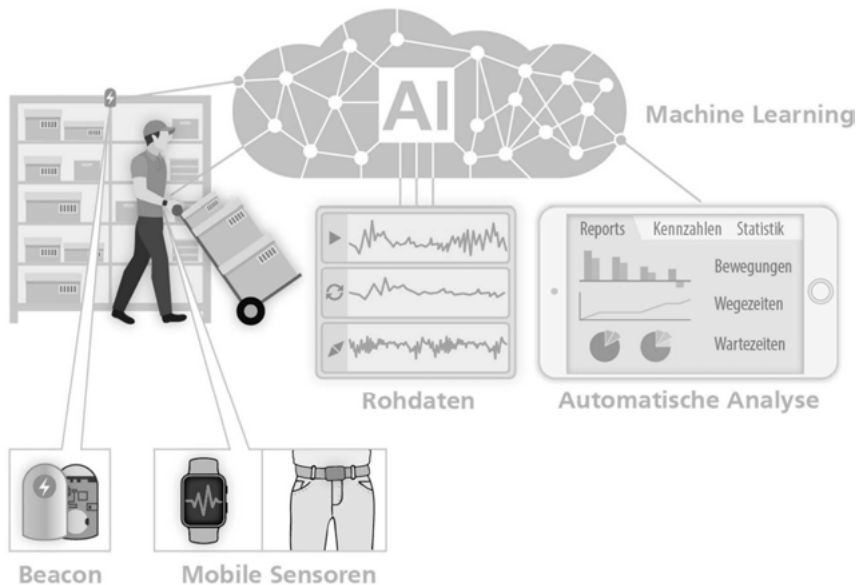


Bild 2: Motion-Mining®

Hierdurch lassen sich sowohl belastbarere Daten und Effizienzkennzahlen zu den Arbeitsabläufen, wie z. B. zurückgelegte Lauf- und Fahrstrecken oder entstandene Prozesszeiten, als auch Ergonomiekennzahlen, wie z. B. die Anzahl der Bückbewegungen oder Überkopfgreifen, gewinnen. Der zusätzliche Einsatz von Kleinstfunktastern, sogenannter *Beacons*, ermöglicht es, weiteres Kontextwissen über die manuellen Prozesse zu erlangen. So können die einzelnen Aktivitäten den unterschiedlichen Prozessen und Orten zugeordnet und Laufwege oder auch *Heatmaps* dargestellt werden. Den Kunden erlaubt das Motion-Mining bisher unbekannte Einblicke in ihre manuellen Prozesse, das Aufdecken von Optimierungspotenzialen oder auch die Betrachtung von zeitlichen Trends. Hierdurch können die Prozesse und die Arbeitsbedingungen für die Mitarbeiter hinsichtlich ihrer Effizienz und Ergonomie nachhaltig verbessert werden.

3. Von der Forschung in das eigene Start-up

Zwischen 2014 und 2016 wurde der *Proof-of-Concept* des Motion-Minings innerhalb verschiedener Feldstudien im Zuge der Forschung von Sascha Feldhorst erbracht. Aufbauend auf den guten Ergebnissen und der positiven Resonanz der kooperierenden Unternehmen, entschied sich Sascha Feldhorst zusammen mit Sascha Kaczmarek und René Grzeszick Mitte 2016 dazu, die Technologie zu einem marktfähigen Produkt weiterzuentwickeln und ein Start-up zu gründen. Im vergangenen Jahr ist aus diesem Plan Realität geworden. Die MotionMiners GmbH wurde im Oktober 2017, als Spin-off des Fraunhofer Instituts für Materialfluss und Logistik IML, in Dortmund gegründet. Anstelle des traditionellen Bergbaus wird in den Geschäftsräumen der MotionMiners GmbH, nur unwesentlich weniger schweißtreibend, nun Data-Mining betrieben.

Die initiale Entwicklung des Geschäftsmodells wurde innerhalb der Fraunhofer Förderprogramme *F-Days®* und *FFE (Fraunhofer fördert Entrepreneur)* vorangetrieben. Um den Schritt von der Forschung in das eigene Start-up zu realisieren, konnte ein vom BMWi geförderter EXIST-Forschungstransfer eingeworben werden, der High-Tech-Gründungen aus der Wissenschaft fördert und die Gründer bis zum Jahresbeginn 2019 unterstützt.

Der EXIST-Forschungstransfer ermöglichte es den MotionMiners 2017 zahlreiche Meilensteine zu erreichen. So wurden Interviews mit 40 Beratern, Prozessingenieuren, Betriebsräten, Professoren und Mitarbeitern geführt. Annahmen über das zu entwickelnde Produkt, wurden getroffen, verworfen, neu entwickelt und anschließend noch mehrfach erneut aufgestellt. Ein erstes Geschäftsmodell, das sowohl Beratung als auch Technologiedienstleistungen beinhaltet, wurde von den Gründern entwickelt und wird aktuell auf die Probe gestellt. Nicht zuletzt galt es, zahlreiche bürokratische Hürden von A wie AGBs bis Z wie Zollbestimmungen zu nehmen. Nicht zu vergessen G wie Geschäftsordnung/Gesellschaftervertrag, L wie Lizenzvereinbarung, N wie Nebentätigkeitsanzeige, R wie Reisekostenabrechnung, V wie Vorstandsfrei-gabe usw. und nicht zuletzt W wie Weihnachtsfeierteilnahmebestätigungsformular.

Die verbliebenen Tage und Nächte, natürlich auch zahlreiche Wochenenden, wurden genutzt, um aufbauend auf den ersten Prototypen, die im Rahmen der Forschung genutzt wurden, eine praxistaugliche Messausrüstung zu entwickeln, die es Unternehmen und Mitarbeitern ermöglicht, Messungen über einen längeren Zeitraum selbstständig durchzuführen. Dabei wurden neben technischen Hürden auch alltägliche Probleme bewältigt, wie die Entwicklung angenehmer Tragekonzepte für die Mitarbeiter, die auch den Anforderungen des industriellen Alltags gewachsen sind oder Docking-Stationen zum Laden der Technik (vgl. Bild 3).

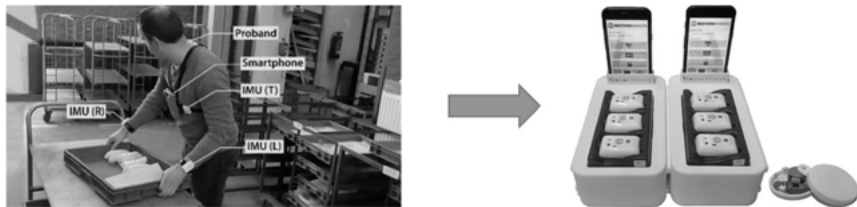


Bild 3: Links (früher, Forschungsprototyp): Sensor und Handy an einem etwas „peinlichen“ Tragegurt befestigt.

Rechts (heute): Docking-Station zur einfachen selbstständigen Messung

Glücklicherweise konnten auch erste Früchte der harten Arbeit geerntet werden. Das technische und unternehmerische Konzept wurde im September 2017 mit dem *Digital Logistics Award* ausgezeichnet (siehe Bild 4). Nicht zuletzt konnte das junge Start-up im Herbst vergangenen Jahres die ersten fünf Kunden für Pilotprojekte in den Bereichen Handel, Kontraktlogistik, Automotive, Lagertechnik und E-Commerce gewinnen. Dabei konnten Optimierungspotenziale



Bild 1: Die übergelücklichen Sieger des Digital Logistics Awards 2017 während der Preisverleihung

aufgedeckt, vorhandene MTM-Analysen überprüft und Kennzahlen für Prozesse gewonnen werden, die mit manuellen Analysen nur schwer ermittelbar sind. In einzelnen Prozessen konnten Mehraufwände von bis zu 39,2 Prozent aufgedeckt werden. Derzeit führen die MotionMiners Analysen in verschiedenen Funktionsbereichen wie Wareneingang, Warenverrechnung, Einlagerung, Kommissionierung, Sequenzierung, Routenzüge oder Versand durch.

Dabei erweist sich Motion-Mining als ein wertvolles Werkzeug, das nicht nur neue Daten liefert, sondern auch traditionelle Methoden der Prozessanalyse ergänzt.

Basierend auf dieser Ausgangslage ist das Team der MotionMiners bis zum Jahresbeginn 2018 auf 10 Mitarbeiter angewachsen und hat das Ziel, dieses Jahr zahlreiche weitere Unternehmen von den Vorteilen des Motion-Minings zu überzeugen. Falls Ihr Interesse geweckt ist, freuen wir uns von Ihnen zu hören.

Kontakt

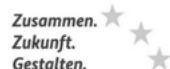
MotionMiners GmbH
Emil-Figge-Str. 76
44227 Dortmund
+49 (0) 231 9743 590
+49 (0) 176 61563979
hello@motionminers.com

Unternehmensbeschreibung

Die MotionMiners GmbH ist eine Ausgründung des Fraunhofer-Instituts für Materialfluss und Logistik (IML). Die Motion-Mining®-Technologie des jungen Start-ups ermöglicht automatisierte Prozessanalysen von manuellen Arbeitsprozessen mithilfe von mobilen Sensoren und Funksendern. Nach dem Durchlaufen der Fraunhofer Venture Förderprogramme F-Days und Fraunhofer fördert Entrepreneure (FFE), ist das junge Unternehmen seit August 2017 durch einen EXIST-Forschungstransfer gefördert und führt derzeit Projekte bei ersten Pilotkunden durch.

Das Vorhaben MotionMiners wird im Rahmen des EXIST-Programms durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie und den Europäischen Sozialfonds gefördert.

Geördert durch:



Intelligente Förderzellen für flexible Materialflusssysteme

Eine Zelle für alle Aufgaben

Dr.-Ing. **Hendrik Thamer**, Dipl.-Ing. **Claudio Uriarte**,
M. Sc. **Ariandy Yoga Benggolo**, cellumation GmbH, Bremen

Kurzfassung

Die cellumation GmbH ist junges Start-up, das hochflexible Automatisierungslösungen für die Logistik und die Produktion anbietet. Der cellular conveyor, abgekürzt celluveyor, stellt das Kernprodukt des Unternehmens dar. Die „Zellen“ dieses hochmodularen Förder- und Positioniersystems können zu beliebigen Anlagelayouts zusammengesteckt werden. Durch die einzigartige Antriebstechnik kann der celluveyor mehrere Objekte gleichzeitig und unabhängig voneinander auf beliebigen Bahnen bewegen. Somit ist der celluveyor in der Lage nahezu jede Art von Fördertechnik zu ersetzen, komplexe Materialflussaufgaben auf kleinstem Raum zu erledigen sowie völlig neue Anlagekonzepte zu ermöglichen. Dieser Beitrag beschreibt neben der technologischen Umsetzung und der Steuerung geeignete Anwendungsfälle. Zudem wird über die ersten Einsatzerfahrungen der Technologie im industriellen Umfeld berichtet.

1. Einleitung

Die Intralogistik ist durch externe Treiber – Trend zur Produktindividualisierung, dynamischer werdende Kunden-Lieferanten-Beziehungen oder steigendes Paketaufkommen – vielfältigen Herausforderungen ausgesetzt. Unternehmen, die in dieser hochdynamischen und volatilen Marktsituation konkurrenzfähig bleiben wollen, müssen sich schnell auf Veränderungen anpassen können. Aus fördertechnischer Sicht bringt eine solche Anpassung zahlreiche Herausforderungen:

- Eine Änderung der logistischen Prozesse erfordert häufig auch eine Änderung des Layouts der Anlagen, von der Verlegung von mehreren hundert bis tausend Meter Fördertechnik, über die Integration neuer Komponenten bis hin zu einer kompletten Neugestaltung der Fördertechnik für den Transport der Waren.
- Herkömmliche Fördertechnik zeichnet sich dadurch aus, dass sie grundsätzlich nur einfache intralogistische Aufgaben erfüllen kann, nämlich Objekte auf einer geraden Linie bewegen. Bei komplexeren Aufgaben (z.B. Rotieren, Vereinzeln, Sortieren usw.) muss die Fördertechnik um zusätzliche mechanische Komponenten erweitert werden. Nicht selten müssen

sogar Industrieroboter integriert werden, um die im Grunde einfachen Aufgaben zu realisieren. Dadurch wird die Fördertechnik starr, unflexibel, wartungsunfreundlich und kostenintensiv. Allerdings ist insbesondere die Flexibilität und Wandlungsfähigkeit einer der wichtigsten Eigenschaften zukünftiger Produktions- und Logistiksysteme im Kontext von Industrie 4.0. Bei Materialflusssystemen stellen sie neben Wartungsfreundlichkeit und Robustheit ein entscheidendes Kaufkriterium dar. Zudem müssen sich neu erworbene Automatisierungs- und Materialflusssysteme schon nach kurzer Zeit amortisieren, da kurze Vertragslaufzeiten sowie kurzfristige Änderungen der Auftragslage Anpassungen der Funktionalität oder gar des Layouts des Materialflusssystems erfordern.

Auf fördertechnische Ebene bedeutet dies, dass hochflexible, wartungsfreundliche sowie kosteneffiziente Fördersysteme notwendig sind. Es besteht daher Bedarf an robuster und hochflexibler Fördertechnik, die in der Lage ist, möglichst viele fördertechnische Funktionalitäten zuverlässig zu erfüllen, und zusätzlich nach einem modularen Ansatz konzipiert ist, so dass ohne großen Aufwand neue Anlagenlayouts konfiguriert werden können. Zudem sollten möglichst viele unterschiedliche Arten von Gütern transportiert werden können und die Anlage auf eine veränderte Anzahl von zu transportierenden Fördergütern anpassbar sein. Auch sollte der Ausfall einzelner Komponenten der Anlage keinen kompletten Systemausfall verursachen und möglichst durch firmeneigenes Personal reparierbar sein. Weitere zu erfüllende Kriterien liegen in der einfachen Integrierbarkeit der Fördertechnik in bestehende Systeme durch Verwendung standardisierter Schnittstellen sowie der Erweiterungsfähigkeit der Förderanlage. Der celluveyor als neuartige Fördertechnologie kann alle diese Anforderungen erfüllen.

2. Der celluveyor

Der celluveyor ist ein neuartiges Förder- und Positioniersystem, das in vielfältigen Anwendungen innerhalb von Materialflusssystemen eingesetzt werden kann. Es entstand im Rahmen von mehrjährigen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten am Forschungsinstitut BIBA (Bremer Institut für Produktion und Logistik an der Universität Bremen).

Die celluveyor-Technologie vereint dabei zwei Grundkonzepte aus der Forschung. Das erste stellt die zellulare Fördertechnik [1] dar. Dieses Konzept beinhaltet das Herausbilden eines Logistiksystems aus einzelnen „einfachen“ Modulen bzw. Zellen, welche durch Kommunikation und Kooperation komplexere Aufgaben erfüllen können. Das zweite Konzept betrachtet die Größe der Module im Vergleich zu den transportierten Objekten. Klassische Fördertechnik-Module sind größer als die zu bewegenden Objekte, wodurch die Layoutflexibilität leidet. Ne-

ben Modulen, die größer als das zu bewegende Objekt sind (bspw. [2]), existieren auch hochmodulare Konzepte, deren Modulgröße unterhalb der Objektgröße ist. Diese Module werden dabei als kleinskalig [3] bezeichnet. Zu dieser Klasse gehören die Zellen des celluveyor.

Den Kern des Systems bilden kleine sechseckige Zellen mit mehreren einzeln angetriebenen omnidirektionalen Rädern. Durch die spezielle Anordnung der Räder und die Möglichkeit der gezielten Ansteuerung der Antriebe können die zu transportierenden Güter unabhängig voneinander auf beliebigen Bahnen bewegt, orientiert und positioniert werden. Die Zellen können ohne großen Aufwand zu beliebigen Anlagenlayouts kombiniert und damit nahezu alle förder-technischen Aufgaben mit einer einzigen Anlage realisiert werden.



Bild 1: Links: Aktuelle Zelle, Rechts: Demonstrator-Anlage der neuen Generation

Die Funktionalität wird durch allein durch Software definiert, so dass mittels eines einfachen Software-Update der celluveyor sehr schnell an neue Aufgaben und Anforderungen angepasst werden kann. Bild 1 zeigt die neue Generation der Zelle sowie eine Demonstrator-Anlage der alten Generation.

3. Die Steuerung

Die Grundidee des Steuerungsansatzes basiert auf einem intelligenten Steuerungskonzept, das die Vorteile von der gängigen industriellen Praxis zentrale Steuerungen mit den forschungsorientierten Methoden der komplett dezentralen Steuerung vereint. Zentrale Steuerungen bieten eine hohe Kontrolle über die Anlagen und ermöglichen eine effiziente Steuerung von fest definierten Anlagen. Allerdings ist mit ihnen nur eine begrenzte Komplexität abbildbar und Änderungen sind häufig nur mit großem Aufwand realisierbar. Dezentrale Ansätze, bei denen die „Intelligenz“ verteilt ist, haben hiergegen deutliche Vorteile; durch die Kommunikation und Koordination der einzelnen Komponenten sind diese Systeme beliebig erweiterbar

und sehr flexibel gegenüber notwendigen Anpassungen. Allerdings ist der hohe Kommunikationsaufwand auch gleichzeitig ein großer Nachteil dieser Systeme, der häufig die Anzahl der Systemteilnehmer beschränkt und somit ggf. auch die Komplexität der durchzuführenden Aufgabe. Zudem ist die manuelle Überwachung solcher Systeme aufgrund dieser Menge an Informationen und Daten häufig schwierig.

Tabelle 1: Technische Leistungsdaten des cellueyvor

Zellengröße:	150mm und 200mm
Anlagegröße:	Frei und stufenlos individualisierbar
Spannungsversorgung:	48V – Zelle zu Zelle
Kommunikation:	Real-time - Zelle zu Zelle
Layouterkennung:	Automatisch
Fehlererkennung:	Automatisch
Änderung der fördertechnischer Funktion:	Jederzeit, via Softwareupdate (ohne mechanische Veränderung der Anlage)
Traglast:	Max. 20 kg/Rad <ul style="list-style-type: none"> • Ca.2500 kg/m² (150mm Zelle) • Ca.1200 kg/m² (200mm Zelle)
Objektgröße:	Min: Abhängig der Zellengröße und der Aufgabe <ul style="list-style-type: none"> • 150mm x 150mm (150mm Zelle) • 200mm x 200mm (200mm Zelle) Max: unbegrenzt, abhängig der Anlagegröße
Fördergeschwindigkeit:	Bis 2 m/s, abhängig der Aufgabe
Förderfähige Objekte:	Objekte mit jeder Form und Gewicht, solange diese eine flache Unterfläche aufweisen. Bspw. Kartons, KLT, Platten, Scheiben, usw.

Die Entwicklung des cellueyvor begann mit der Umsetzung eines zentralen Steuerungsansatzes [4], der die oben genannten Limitierungen bestätigte. Daher wurde die neue Steuerung teil-dezentral konzipiert, welches die Steuerung in eine zentrale und eine dezentrale Ebene aufteilt. Dabei beinhaltet die zentrale Ebene die Anbindung an die kundenseitige IT, wie bspw. ein Warehouse Management System (WMS), und unterschiedliche Softwaremodule zur Definition der fördertechnische Aufgabe (Anwendungsmodul), zur Planung der Bewegungsbahnen (Bahnplanung) sowie zur Berechnungen der Geschwindigkeiten der einzelnen omnidirektionalen Räder (Antriebsparameter). Diese Informationen werden an die dezentrale Ebene übergeben, welche aus den einzelnen Zellen besteht, die jeweils einen Mikrocontroller enthalten. Die Zellen kommunizieren miteinander und verteilen Befehle aus der zentralen Steuerung und liefern Informationen über den Zustand und die Leistungsdaten der einzelnen Zellen an die

zentrale Ebene zurück. Der dezentrale Anteil der Steuerung liefert zudem einen entscheidenden Vorteil bei der Initialisierung des celluveyor. Nach der physischen Kombination der Zellen reicht ein Klick, um innerhalb von Sekunden das Layout der Anlage zu ermitteln und an die zentrale Ebene zu übergeben. Die Kommunikation der Zellen untereinander findet in Echtzeit statt. Durch dieses Steuerungskonzept erreicht der celluveyor technische Leistungsdaten, die in der Tabelle 1 aufgeführt sind.

Mit Hilfe einer intuitiven GUI sind Bediener in der Lage, den celluveyor frei zu programmieren und ggf. an neue Anforderungen anzupassen. Bild 2 zeigt einen Screenshot der GUI.



Bild 2: Screenshot der GUI

4. Praxiseinsatz

Die Entwicklungsarbeiten der einzelnen Komponenten des celluveyor sind abgeschlossen und das Team hinter der Technologie hat sich durch das Spin-Off cellumation GmbH aus dem BIBA ausgegründet. Die Technologie befindet sich jetzt in einer Pilotierphase, wo sie in industriellen Logistikprozessen eingesetzt wird. Dabei liegt der Fokus auf Anwendungen mit hoher Komplexität sowie die Durchführung von mehreren Aufgaben auf einer celluveyor-Fläche. Bereits erfolgreich wurde eine Pilotierung bei der DHL Home Delivery GmbH in Braunschweig realisiert [5]. Aktuell werden weitere Pilotierungen des Systems in unterschiedlichen Branchen vorbereitet und durchgeführt.

Literaturverzeichnis

- [1] ten Hompel, M.: Zellulare Fördertechnik. In: eLogistics Journal 2006, DOI 10.2195/LJ_Not_Ref_d_tenHompel_082006
- [2] Seibold, Z.; Stoll, T.; Furmans, K.: Layout-optimized sorting of goods with decentralized controlled conveying modules. In: IEEE International Systems Conference (SysCon) 2013, S. 628-633.
- [3] Overmeyer, L.; Falkenberg, S.; Krühn, T.; Ventz, K.: Kleinskalige, multidirektionale Transportmodule für den Einsatz in der Intralogistik. In: 19. Deutscher Materialfluss-Kongress 2010. VDI-Berichte 2094, S. 231-248
- [4] Uriarte, C.; Thamer, H.; Freitag, M.: Fördertechnik aus der Zelle – Hochflexibles Fördersystem aus kommunizierenden und kooperierenden Modulen. In: Hebezeuge und Fördermittel, 0/2015, S.3-5.
- [5] Link: <https://www.youtube.com/watch?v=GVrpMd8AYG8>

Assistenzsysteme für die Intralogistik

Jetzt interagiert der Gabelstapler mit seiner Umgebung

Dr.-Ing. Andreas Lewandowski,

Comnovo GmbH, Dortmund;

Michael Fuchs,

Linde Material Handling GmbH, Kahl am Main;

Alexandra Mertel,

Linde Material Handling GmbH, Aschaffenburg

Kurzfassung

Die Intralogistik ist durch ständig steigende Warenströme und damit immer komplexere Abläufe geprägt. Die Anforderungen an Fahrer und Gabelstapler steigen kontinuierlich. In diesem herausfordernden Umfeld helfen Assistenzsysteme einen möglichst störungsfreien Prozessablauf sicherzustellen. Ein sehr wichtiger Teilaspekt ist dabei die Vermeidung von Unfällen mit Personen und Schäden an der Infrastruktur oder Ladegut. Es gibt bereits eine Vielzahl an Fahrer-Assistenzsystemen auf dem Markt, die fahrzeugspezifisch Gefahrensituationen, wie z.B. ein drohendes Kippen des Staplers, wirkungsvoll verhindern. Die Technologieplattform dieser Veröffentlichung fokussiert komplementär dazu eine Vernetzung des Staplers mit Objekten und Personen in seiner Arbeitsumgebung. Die Besonderheit dieser Plattform ist eine bis dato nicht erreichte Genauigkeit und Flexibilität in der Bestimmung der Warnzonen – und das nicht nur punktuell sondern auch flächig. Möglich wird dies durch die Verwendung eines Funksignals im UWB (Ultra Wide Band) Bereich. In einer ersten Ausbaustufe fokussiert das System die nachhaltige Entschärfung von sicherheitskritischen Abläufen und Gefahrenstellen die zu Personenschäden und hohen Materialschäden führen können. Die Anwendungen führt dazu eine Überwachung des Fahrzeugumfelds aus, um für Personen eine Transponder-basierte Warnung oder auch eine Fahrzeug-zu-Fahrzeug Warnung geben zu können. Des Weiteren kann an kritischen Stellen durch stationäre Warn- und Markierungsmodulen das Fahrzeug verlangsamt werden oder eine Warnung der Umgebung vor dem herannahenden Fahrzeug erfolgen, z.B. an Rolltoren

oder Personendurchgängen. Weiterhin ist es möglich, ortsbasierte Geschwindigkeitsreduzierungen zu realisieren, um das Sicherheitslevel z.B. in engen Bereichen oder in Hallen zu erhöhen. Das System ist modular und skalierbar aufgebaut und kann so den sich ändernden Anwendungen und Ansprüchen des Kunden angepasst werden. Im weiteren Verlauf der agilen Entwicklung werden intelligente Lösungen zur Fahrzeuglokalisierung zur Steigerung der Effizienz im Materialfluss beitragen. Die Technologieplattform wurde im Start-up Comnovo GmbH seit 2013 entwickelt. Zwei Jahre zuvor begannen die Entwicklungstätigkeiten am Lehrstuhl für Kommunikationsnetze der TU Dortmund im Rahmen eines EXIST Forschungstransferprogramms. Seit dem 01.07.2017 ist Comnovo eine 100% Tochter der Linde Material Handling GmbH und wird als eigenständige Gesellschaft fortgeführt.

Use Case 1: Personenerkennung

Nicht immer lassen sich die Wege von Personen und Gabelstaplern strikt trennen. Daher werden wirkungsvolle technische Hilfsmittel in der Industrie gerne angenommen, die das latente Kollisionsrisiko verringern können.

Die Kernidee des Warnsystems ist es, dass zwei Komponenten kommunizieren. Der Gabelstapler wird mit einer Fahrzeugeinheit ausgestattet, die Person trägt einen Transponder - beide bauen eine Funkverbindung auf und warnen sich gegenseitig sobald ein zuvor definierter Abstand unterschritten wird.



Bild 1: Situation zur Personenerkennung mit Transpondermodul

Die große Herausforderung für den Betrieb und die Akzeptanz des Systems ist die Relevanz der Warnsignale, d.h. eine Alarmierung soll nur in relevanten Situationen erfolgen und Fehlalarme vermieden werden.

Die höchstgenaue Abstandsmessung durch die verwendete UWB Technologie ermöglicht im Zusammenspiel mit dem Mehrantennensystem den Aufbau einer in Form und Größe der Kundenapplikation anpassbaren Warnzone um den Gabelstapler. So lassen sich z.B. die seitlichen Warnzonen sehr schmal, die Frontzone hingegen länger und trapezförmig definieren.

Durch diese Architektur lässt sich eine optimale Zone entsprechend der zu erwartenden Gabelstaplerbewegung definieren. Damit der Fahrer schnell reagieren kann, wird ihm zusätzlich auch noch die Richtung angezeigt aus der sich die Person nähert.

Use Case 2: Baubedingte Gefahrenpunkte entschärfen

Eine weitere häufige Gefahr besteht bei Halleneingängen, Kreuzungen oder Fußgängerüberwegen. So kann sich z.B. unmittelbar hinter einem Hallendurchgang ein Hauptverkehrsweg von Flurförderfahrzeugen befinden. Für den Fußgänger ist ein herannahender Gabelstapler oft nicht (rechtzeitig) zu erkennen und er läuft Gefahr unvermittelt in den Fahrweg des Gabelstaplers zu treten.

Hier bietet sich der Einsatz der stationären Warnmodule an. Dieses können, in der Regel sogar durch Türen und Wände Gabelstapler detektieren und so Personen vor herannahenden Gabelstaplern warnen.

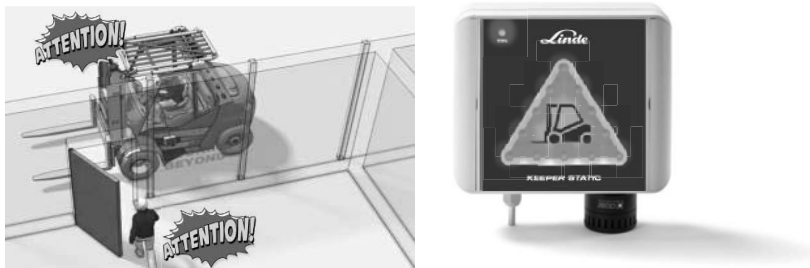


Bild 2: Situation für stationäre Warnung und Abbildung des Warnmoduls

Use Case 3: Vermeidung von Kollisionen mit Rolltoren

Kollisionen mit Rolltoren können über ein mehrstufiges Verfahren verhindert werden. Zum einen können Gabelstapler flächig im gesamten Torbereich detektiert werden. Mit dieser Detektion kann das Rolltor für die Öffnung angesteuert werden. Während das Rolltor noch öffnet, kann eine automatische Geschwindigkeitsreduzierung am Gabelstapler aktiviert werden.

Zum anderen kann es an Rolltoren oder anderen Durchfahrten mit kritischer Höhe zu Kollisionen kommen, wenn der Hubmast eines Staplers zu weit ausgefahren ist. Ein Zusatzsensor des Linde Safety Guard erkennt dies und warnt, wenn der Torbereich nicht durchfahren werden kann.

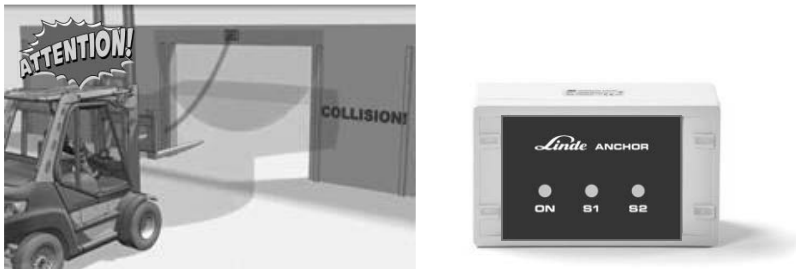


Bild 3: Situation für Warnung vor Rolltorkollision und Abbildung des stationären Markierungsmoduls

Use Case 4: Zonierung von Geschwindigkeiten

Als weiteres latentes Risiko ist eine überhöhte Fahrgeschwindigkeit festzustellen. Insbesondere wenn sich Fahr- und Arbeitsbereiche überlappen.

Mit dem SpeedAssist hat Linde bereits 2015 eine Lösung auf den Markt gebracht die Indoor- und Outdoorbereiche unterscheiden kann und so mit einer reduzierten Geschwindigkeit im Innenbereich dort die Sicherheit erhöht. Es hat sich aber gezeigt, dass für eine optimale Balance zwischen Sicherheit und effizientem Materialfluss eine differenziertere Definition von Geschwindigkeitszonen auch innerhalb von z.B. Lagerhallen und Produktionsbereichen notwendig ist.

Mit dem hier vorgestellten Assistenzsystem ist es nun möglich einzelne Gefahrenstellen oder durch die Verknüpfung mehrerer Module definierte Bereiche im Innenbereich als Zonen mit reduzierter Geschwindigkeit festzulegen.



Bild 4: Schaubild zur Geschwindigkeitsreduzierung: Ein Stapler fährt in einen markierten Bereich ein

Zusammenfassung

Mit dem Linde Safety Guard stellt Linde Material Handling ein innovatives und funktionsbreites Assistenzsystem für Flurförderzeuge bereit, dass auf die individuellen Kundenbedürfnisse modular angepasst werden kann.

Literatur:

- [1] M. Buchberger, A. Lewandowski, C. Wietfeld, "Rundum Personenerkennung im Gefahrenbereich von Radladern", In asphalt, DAV, Bonn, vol. 48, no. 6, pp. 14-20, September 2013
- [2] A. Lewandowski, C. Wietfeld, "A comprehensive approach for optimizing ToA- localization in harsh industrial environments", In ION/IEEE Position, Location and Navigation Symposium (PLANS), ION/IEEE, vol. 1, Indian Wells, CA, USA, Mai 2010.
- [3] A. Lewandowski, S. Böcker, V. Köster, C. Wietfeld, "Design and Performance Analysis of an IEEE 802.15.4 V2P Pedestrian Protection System", In WiVeC 2013 5th International IEEE Symposium on Wireless Vehicular Communications, IEEE, Juni 2013

nExtCOMbag® – der ökologische Wandel im E-Commerce

Automatisierte Papiertütenverpackung für volatile Auftragsstrukturen

Dipl.-Ing. **Karl Warmulla, Swen Weidenhammer**,
Dr. Thomas + Partner GmbH & Co. KG, Stutensee

Kurzfassung

DR. THOMAS + PARTNER hat mit nExtCOMbag® ein System zur automatisierten Tütenverpackung entwickelt, das auf den Einsatz von Papiertüten als Verpackungsmaterial setzt. nExtCOMbag® ermöglicht die automatische Bestückung sowie das automatische Verschließen von Single- und Multi-Pos-Versandaufträgen in umweltfreundlichen Papiertüten.

Abstract

With nExtCOMbag®, DR. THOMAS + PARTNER has developed a system for automated bag packaging that relies on the use of paper bags as packaging material. nExtCOMbag® enables automatic loading and closing of single and multi-pos dispatch orders in environmentally friendly paper bags.

E-Commerce ist eine große Herausforderung für Umwelt und Logistik

Der Trend ist unumkehrbar: Der Onlinehandel gewinnt immer mehr Gewicht in den Bereichen Handel und Logistik, seit Jahren wachsen die Umsätze im E-Commerce konstant im zweistelligen Prozentbereich. Verwunderlich ist das nicht – der Onlinekauf ist für den Kunden bequem, das Internet wird zunehmend zum Lebensmittelpunkt.

Neben logistischen Herausforderungen birgt dieses Wachstum jedoch auch eine erhebliche Belastung für die Umwelt – und das aufgrund zwei unterschiedlicher Ursachen. Zum einen werden Produkte häufig in übergroßen Verpackungen versendet. Nach einer Schätzung von Bernhard Simon, CEO der Spedition Dachser, könnten 20 Prozent aller Logistik-Transporte eingespart werden, wenn die Verpackungen besser an das Produkt angepasst würden. Ergo: Ein Fünftel der heute transportierten Güter auf den Autobahnen ist Luft.

Zum anderen setzen Onlinehändler, zunehmend im Fashion-Bereich, auf den Einsatz von Plastiktüten als alternative Versandverpackung. Diese ermöglichen zwar eine bessere Raumnutzung beim Transport, sind aber sowohl bei ihrer Herstellung als auch bei der Entsorgung eine Belastung für die Umwelt. Laut PlasticsEurope Deutschland e.V., dem Verband der Kunststoffherzeuger, ist Deutschland mit zwölf Millionen Tonnen Plastik pro Jahr Spitzenreiter im Europäischen Plastikverbrauch, das entspricht knapp 25 Prozent des Europäischen Gesamtverbrauchs. Etwa ein Drittel davon wird für Verpackungen verwendet.

Bereits heute gibt es innerhalb der EU Bestrebungen, die Verwendung von Plastikverpackungen und den Einsatz von Luftpolsterfolien durch steuerliche Hürden zu verhindern.

Bestellspitzen gestalten die Personalplanung schwierig

Nicht nur im Fashion-Bereich haben Versandhändler mit saisonalen Schwankungen und kurzfristigen Bestellspitzen zu kämpfen, für die teilweise eine sehr geringe Vorlaufzeit herrscht oder die, aufgrund eines unvorhergesehenen Ereignisses, überraschend eintreten. In diesem Fall muss, häufig innerhalb weniger Stunden, entsprechendes Personal im Lager zur Verfügung stehen. Die zugrundeliegenden flexiblen Arbeitsverträge sind sowohl für den Arbeitnehmer als auch für den Arbeitgeber eine Belastung. Der Arbeitnehmer muss immer auf Abruf stehen und kann schwer planen und kalkulieren, der Arbeitgeber hat einen enormen organisatorischen Aufwand bei der Koordination seines Personals.

Der Verpackungsprozess wurde bis heute nur teilautomatisiert

In einigen Bereichen der Intralogistik kann heute durch eine partielle Automatisierung ein Teil der Lastschwankungen abgefangen werden. Im Geschäftsprozess Verpacken ist dies aber heute technisch schwer zu realisieren, da die Varianz sowohl bei den Produktabmessungen als auch bei den Verpackungen immens ist. Daher wird oftmals auf eine Teilautomatisierung gesetzt, die jedoch immer ein menschliches Zutun erfordert, da die bestmögliche Platzierung der Artikel in einem Karton einem Tetris-Spiel gleicht und Fingerspitzengefühl gefragt ist. Ebenso ist das Zutun von Füllstoffen aus Papier oder Plastik unabdingbar.

Alternativ wird auch auf Pick&Pack gesetzt, das heißt, der prinzipiell eigenständige Geschäftsprozess Verpacken wird in den Kommissionierprozess integriert. Diese Form der Kommissionierung ist jedoch nur bei kleinen bis mittleren Artikelspektren wirtschaftlich einsetzbar. Im Umfeld großer Distributionszentren ist eine mehrstufige Batchkommissionierung mit anschließender Sortierung und Verpackung der entscheidende Optimierungsfaktor.

nExtCOMbag® setzt ökologisch und ökonomisch neue Maßstäbe

DR. THOMAS + PARTNER hat mit nExtCOMbag® ein System zur vollautomatisierten Tütenverpackung entwickelt, das auf den Einsatz von Papiertüten als Verpackungsmaterial setzt. nExtCOMbag® ermöglicht die automatische Bestückung sowie das automatische Verschließen von Single- und Multi-Pos-Versandaufträgen in umweltfreundlichen Papiertüten. Das Volumen der Tüte wird dabei immer dynamisch auf den zu versendenden Inhalt angepasst.

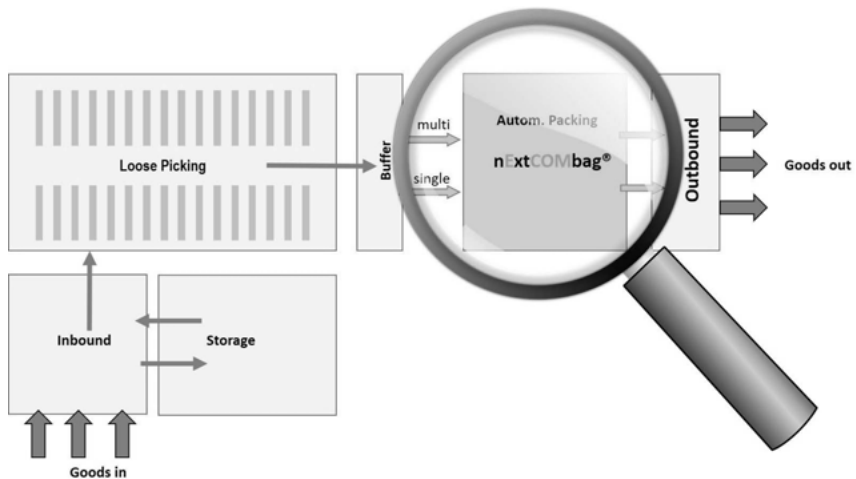


Bild 1: nExtCOMbag® in der Prozess-Struktur eines Distributionszentrums

Speziell für E-Commerce-Betreiber mit hohem Durchsatz bietet die neue Technologie wirtschaftlich wie ökologisch hohes Potential. Durch den sehr geringen Personaleinsatz für den Prozess Verpacken ist eine schnelle Skalierung bei Schwach- oder Hochlastzeiten problemlos möglich.

Die verwendeten Packmittel aus Papier sind vollständig biologisch abbaubar und tragen einen wichtigen Teil zu einem nachhaltigen E-Commerce bei. Das Packmittel selbst kann vom Kunden für etwaige Retouren unkompliziert wiederverwendet werden.



Bild 2: Der Einsatz umweltfreundlicher Papiertüten garantiert eine hohe Prozesssicherheit in einem ökologisch nachhaltigen Packmittel

Die technische Umsetzung garantiert durch ein einfach gehaltenes Anlagendesign eine sehr hohe Prozesssicherheit. Die Anlage kann auch parallel zu einer herkömmlichen Packerei betrieben werden.

Wofür ist nExtCOMbag® geeignet?

Automatisierungstauglich sind alle Teile, die aufgrund ihrer Produkteigenschaften (Größe, Gewicht, Stabilität) für den Versand in einer flexiblen Verpackung in Frage kommen. Diese Verpackung eignet sich gleichzeitig, aufgrund ihrer Flexibilität in der Größe, auch hervorragend für einen stauraumoptimierten Retourenprozess. Gerade im Bereich der Retouren kommen häufig überdimensionierte Verpackungen zum Einsatz, da bei Bestellungen mit mehreren Positionen in der Regel weniger Teile im originalen Packmittel zurückgesendet werden, als ursprünglich beinhaltet waren.

Eruiert wurde das nExtCOMbag®-Konzept im Fashion-Bereich, mit Fokus auf Textil und Schuhe. Der Lösungsvorschlag lässt sich aber auf alle Versandgüter übertragen – von Drogerie-Artikeln über Ersatzteile bis hin zu Produkten des täglichen Bedarfs.

ROI in weniger als fünf Jahren

Die Investitionskosten für die Automatisierung werden durch den geringen Personaleinsatz schnell zurückgespielt. Der Lösungsvorschlag geht bei einem dynamischen Durchsatz von 8.000-10.000 Teilen pro Stunde von einem Return on Investment in weniger als fünf Jahren aus.

Durch die Verwendung von Papier als Packmittel ergeben sich zudem neue Möglichkeiten im Bereich der Werbung, die als Wettbewerbsvorteil ausgespielt werden können. Die nExtCOMbag®-Verpackungen können beispielsweise für den Kunden individualisiert gestaltet oder als Werbefläche genutzt werden.

Über Dr. Thomas + Partner

Die Software-Manufaktur aus Karlsruhe plant und realisiert modulare Intralogistiksysteme für nationale und internationale Unternehmen unterschiedlicher Größe und Branche. Zu den Spezialgebieten zählen hochwertige Informationssysteme für Warenverteilzentren, die Produktionslogistik, E-Commerce-Multichannel und den globalen Fahrzeug- und Ersatzteilhandel. Die angebotenen Leistungen reichen von der Hilfestellung bei konzeptionellen Fragen über die Planung und Realisierung individueller Lösungen bis hin zur Auswahl der passenden Hardware. Zu den namhaften Kunden zählen beispielsweise die Otto Group, Zalando, adidas, Bosch, arvato, Canyon, Erwin Müller und odlo.

Kontakt

Dr. Thomas + Partner GmbH & Co. KG

Fraunhoferstr. 1

76297 Stutensee

E-Mail: infoka@tup.com

Web: www.TUP.com

Telefon: +49 721 78 34 0

Fax: +49 721 78 34 119

Industrie 4.0 im Leichtbau

Vernetzte Intralogistik für die Fertigung von Faserverbundstrukturen

Dipl.-Ing. **Christian Rähitz**, B. Eng. **Tobias Haase**,
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Augsburg

Kurzfassung

Die Produktionsprozesse moderner Verkehrsflugzeuge unterliegen höchsten Anforderungen an Qualität und Quantität. Die Automatisierung von Fertigungsprozessen im Leichtbau ist daher Gegenstand aktueller Forschung [1]. Um zusätzlich Forderungen nach einer flexiblen und stärker vernetzten Produktion gerecht zu werden, müssen neue Ansätze zur Steuerung und Überwachung von Produktions- und Logistikabläufen entwickelt werden.

Das DLR Augsburg erforscht im Rahmen des Projekts Protec-NSR die automatisierte Produktion von Druckkalotten aus Faserverbundwerkstoffen für einen Airbus A350. Der auftragsbezogene Transport von Halbzeugen wird hierbei durch ein innovatives Leitsystem koordiniert, um das Schneiden benötigter Fasermaterialien und Hilfsstoffe mit nachfolgenden Drapier- und Ablegeprozessen verzögerungsfrei zu verknüpfen. Die M2M-Kommunikation wird dabei vollständig durch das Industrieprotokoll OPC-UA realisiert. Es wird eine einheitliche Client-Server-Infrastruktur entwickelt, die eine weitgehende Selbstkonfiguration der Prozessteilnehmer hinsichtlich des Informationsaustauschs ermöglicht. In Verbindung mit RFID-Technik können Objekte eindeutig identifiziert und alle Logistikvorgänge digital abgebildet werden.

Das System wird in einer hochautomatisierten Versuchshalle zur Fertigung von Flugzeugbauteilen am Beispiel der automatisierten Fertigung von Druckkalotten evaluiert. Alle während der Produktion anfallenden Daten werden prozessbegleitend per OPC-UA in einer Big-Data-Datenbank gespeichert und semantisch katalogisiert. Hierbei besteht die Möglichkeit, Daten verschlüsselt zu übertragen sowie unterschiedliche Berechtigungen zu verwalten. Die durchgängige Vernetzung gemäß dem Anspruch von „Industrie 4.0“ ermöglicht Folgeprozessen diese Daten verzögerungsfrei zu nutzen: Parameter und Abläufe lassen sich dynamisch anpassen und der Gesamtprozess kann optimiert werden. Im Ergebnis werden gesteigerte, vorhersagbare Materialdurchsätze und Produktionsraten sowie eine reproduzierbar hohe Produktqualität erreicht.

1. Logistische Herausforderungen bei der Fertigung großer Leichtbaustrukturen aus CFK

Die Handhabung von trockenen Carbonfaser-Halbzeugen stellt besondere Herausforderungen dar. Die sehr gute Drapierbarkeit der Gewebe, die für das Fertigen von Preforms erforderlich ist, ist bei der sonstigen Handhabung der Halbzeuge hinderlich: Viele häufig industriell genutzte Handhabungstechniken scheiden aus, da sie die drapierbaren Gewebe irreversibel beschädigen würden. Entsprechend wurden am DLR ZLP Augsburg Handhabungs- und Anlagenkonzepte entwickelt [1], die den speziellen Anforderungen im Leichtbau für die Handhabung und Logistik von Faserhalbzeugen und Hilfsstoffen gerecht werden (Bild 1).

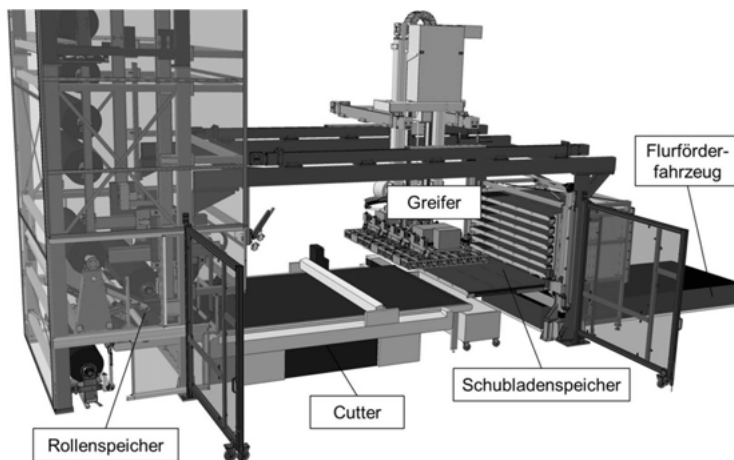


Bild 1: Automatisierte Cutteranlage mit Schubladenspeicher

Über einen Rollenspeicher werden die Rollenmaterialien schonend einem Cutter zugeführt. Direkt nach dem Schneidvorgang werden die drapierbaren Halbzeuge mit einem planen Greifer, bestehend aus einzelnen elektrischen Saugern, von der Oberfläche des Cutters gehoben und in einen mobilen Schubladenspeicher abgelegt. Anschließend wird der befüllte Schubladenspeicher mit einem speziellen Flurförderfahrzeug zur anfordernden Fertigungszelle gefahren. Dort öffnet ein Roboter die Schubladen, lokalisiert und entnimmt die Halbzeuge mit Methoden der Bildverarbeitung und robotermontierten Greifsystemen vollständig autonom [2], um sie anschließend in Preforming-Prozessen weiter zu verarbeiten (Bild 2, 4).



Bild 2: Bereitstellung von Halbzeugen mit Schubladenspeicher

Nachteilig hierbei sind die vergleichsweise hohen Anschaffungskosten des Speichers, das hohe Gewicht sowie die daraus resultierende eingeschränkte Manövrierbarkeit aufgrund der speziell erforderlichen Flurförderfahrzeuge. Ein Schubladenspeicher kann immer nur eine Fertigungszelle zurzeit beliefern: Freie (geleerte) Kapazitäten sind bis zur vollständigen Entleerung an einem Ort gebunden und stehen der Materiallogistik für andere Wertschöpfungsprozesse nicht zur Verfügung. Durch das Schubladenprinzip ist die Zugänglichkeit für Roboterwerkzeuge auf die Ablageoberflächen durch Störkonturen (Schubladenrack) eingeschränkt. In Verbindung mit weiteren roboter-, werkzeug- oder materialbedingten Limitierungen und Randbedingungen können automatisierte wie autonome Entnahmeprozesse eine unerwünschte Komplexität annehmen. Volumenbauteile können, begrenzt durch die geringen Schubladenabstände, nicht transportiert werden.

2. Materialfluss am Beispiel automatisierter Fertigung von Druckkalotten

In der Folge wurde ein neues Konzept erarbeitet, welches kleinere, leichtere und flexiblere Logistikeinheiten für den Transport von Halbzeugen verwendet: Die CFK-Halbzeugen werden

mit dem vorhandenen Greifsystem auf Leichtbaupaletten abgelegt, die sowohl gestapelt als auch einzeln auf mobile Rollgestelle gelegt werden können. Die pro Logistikzyklus transportierte Fläche ist dabei mit ca. 12,5% der Kapazität eines Schubladenspeichers deutlich geringer, die Anschaffungskosten pro Einheit betragen jedoch einen noch geringeren Bruchteil. Trotz der geringen Kapazität lassen sich mit mind. drei Einheiten effektiv gleichwertige Materialdurchsätze erzielen, da alle Be- und Entladeprozesse sowie Transportvorgänge erheblich schneller oder parallel erfolgen können (Bild 3).



Bild 3: Flexibles Palettensystem auf Gestellwagen mit Dockingstation

Freie gewordene Kapazitäten stehen sofort für andere Aufgaben bereit. Durch die ebene Transportfläche ohne Störkonturen sind die Randbedingungen für das Be- und Entladen mit Halbzeugen stark vereinfacht bzw. es werden keine aufwendigen Berechnungen zur Kollisionsvermeidung für die autonome Entnahme von Halbzeugen mit robotermontierten Greifsystemen benötigt. Bild 4 zeigt symbolisch eine mögliche Konfiguration der Multifunktionale Zelle (MFZ) [3] am DLR ZLP Augsburg, in der die Zuschnitte mit dem flexiblen Palettensystem angeliefert und automatisiert in die Druckkalotten-Form abgelegt werden [4].

Nach dem Stand der Technik werden im Luftfahrtbereich trockene Halbzeuge über Etiketten identifiziert. Diese werden auf zusätzliche Ausbuchtungen an Faserhalbzeugen aufgeklebt, die unmittelbar vor Verarbeitung wieder manuell abgetrennt und entsorgt werden müssen. Grund hierfür sind fehlende/unzureichende Zertifizierungen der verwendeten Kleber oder die Gefahr von Materialschäden, wie z.B. Faserausrisse beim Ablösen der Etiketten oder Kontamination durch Klebstoffrückstände. Durch die Verwendung von RFID-Transpondern werden derartige Materialverschnitte und die erforderlichen Arbeitsschritte im vorgestellten Konzept vermieden: Alle Paletten sind mit permanenten RFID-Transpondern versehen. In einer Datenbank können zu jedem RFID-Transponder temporär Informationen über die Halbzeuge auf der jeweiligen Palette hinterlegt werden. Dies geschieht automatisch und berührungslos beim Be- und Entladen: Jede Fertigungszelle verfügt über eine kompakte Dockingstation

(vgl. Bild 3). Die Informationen können u.a. nachfolgend für die bildbasierten Lokalisierung von Zuschnitten abgerufen werden, um die Erkennungsgenauigkeit z.B. mit hinterlegten Ablageposition oder 2D-Konturinformationen (Template-Matching) zu verbessern.

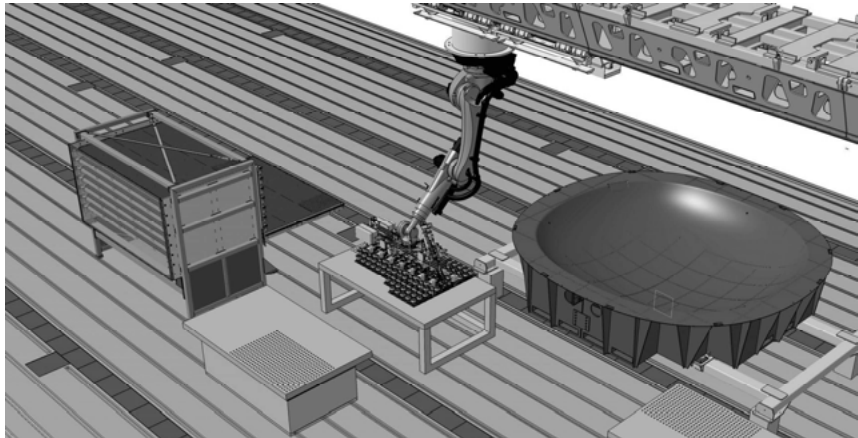


Bild 4: Multifunktionale Zelle (MFZ) in Variante für Druckkalottenfertigung

Die Dockingstation erfüllt für die Materiallogistik drei Funktionen: Die sicherheitskritische Detektion, die mechanische Arretierung und die Identifikation der Palette. Der Andockvorgang erfolgt durch simples Einfahren der Logistikeinheit in die Dockingstation. Über in Profillechen gleitende Metallstifte wird jede Einheit an zwei stationäre Elektropermanentmagnete geführt, die die Logistikeinheiten passiv arretieren. Die sicherheitskritische Detektion der Einheiten erfolgt über kapazitive Sensoren, die nur dann auslösen, wenn die an den Fahrgestellen angebrachten Metallstifte sich exakt in der gewünschten Position befinden. Die anschließende Identifikation der aufliegenden Palette erfolgt über ein leistungsfähiges NXP MFRC-522 RFID-Modul mit einer Frequenz von 13,56Mhz. Die an den Paletten angebrachten RFID-Transponder werden ausgelesen und alle zugehörigen Datenbankinformationen können nach Bedarf abgerufen werden. Dem Bedienpersonal können durch Scannen der Transponder jederzeit alle Informationen zu den Halbzeugen, ihrer Herkunft und ihrem Bestimmungsort aus der Datenbank angezeigt werden. Die Zugriffsrechte können hierbei Nutzerspezifisch eingeschränkt werden. Die Belieferung einer Zelle mit falschen Halbzeugen wird durch Datenabgleich sofort automatisch erkannt und dem Bedienpersonal können vor Ort im selben Zug Handlungsempfehlungen für die Fehlerbehebung angezeigt werden.

3. Leitsystem für textile Halbzeuge: Realisierung mit OPC-UA und RFID

Um die Vorteile des vorgestellten flexiblen Logistikkonzeptes voll nutzen zu können ist ein höherer Steuerungs- und Verwaltungsaufwand notwendig. Daher wurde für die Steuerung der Materialflüsse ein neuartiges Leitsystemkonzept entworfen und prototypisch implementiert: Ziel ist es für die automatisierte Produktion von Druckkalotten alle Anlagen mit bereits bestehender TCP/IP-Mischtopologie über das OPC-UA Protokoll zu vernetzen [5, 6, 7].

Jede Fertigungszelle verfügt dabei über mind. einen OPC-UA Knoten, der als einheitliche Schnittstelle die Kernfunktionen jeder Anlage nach außen hin abbildet. Davon unabhängig kann bei Bedarf auch ein direkter Zugriff von außen auf weitere zelleninterne OPC-UA-Unterknoten erfolgen. Für die Materiallogistik verwaltet ein dedizierter TransportControlNode alle verfügbaren Logistikeinheiten als digitale Zwillinge: In abhängig ihrer Auslastungsstände können auflaufende Logistikaufträge optimal koordiniert werden (Bild 5).

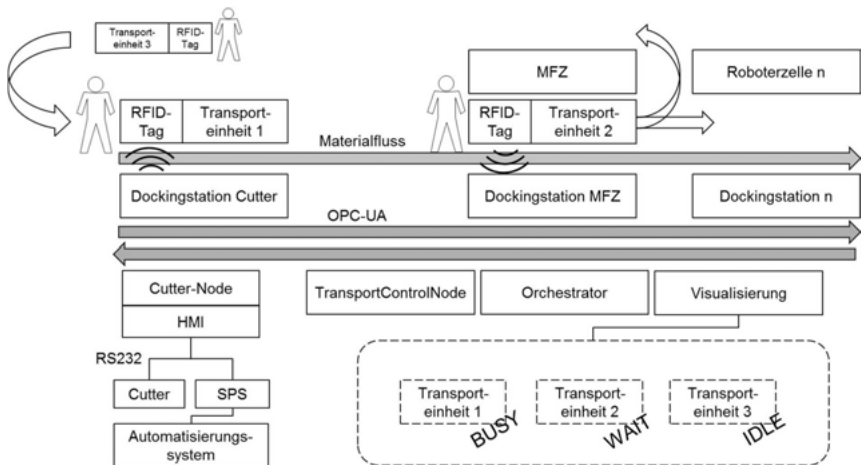


Bild 5: Leitsystemkonzept auf Basis von OPC-UA

Es lassen sich hierarchische Modelle und Topologien auf beliebigem Abstraktionsniveau über eine einheitliche herstellerunabhängige Kommunikationsschicht realisieren. Dadurch wird sowohl die Vernetzung von Hardware und zusammenhängender Fertigungsprozesse als auch die Erfassung von Prozessdaten während der Produktion vereinfacht.

Durch die eingesetzten RFID-Transponder ist es dem Leitsystem möglich flexibel auf Störungen im Produktionsverlauf zu reagieren: Fällt eine Fertigungszelle aus, so können bereits gefertigte Halbzeuge dynamisch an eine andere Fertigungszelle umadressiert werden. Gibt

es keine solche Ausweichmöglichkeit so kann ein Materialstau automatisiert vorhergesehen und Gegenmaßnahmen eingeleitet werden. Unter Verwendung freier Stacks [8] wurde nach diesem Modell am DLR ZLP Augsburg ein prototypisches Leitsystem zur Steuerung und Überwachung des vorgestellten Logistikkonzeptes realisiert (Bild 6).

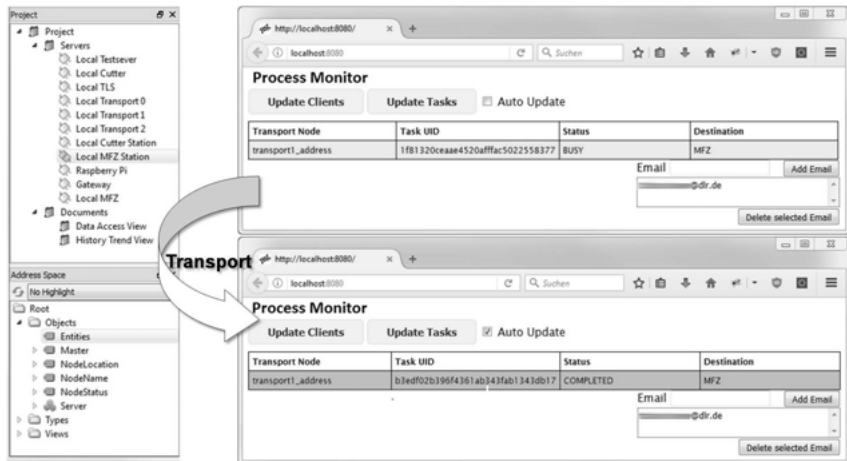


Bild 6: Monitoring von Materialflüssen innerhalb der Systemlandschaft per OPC-UA

Darüber hinaus wurden bereits verschiedene Anlagen und Prozesse für die einheitliche Prozessdatenerfassung in das OPC-UA Netz integriert: Mit den kontinuierlich und durchgängig aufgezeichneten Daten können Fertigungsqualitäten überwacht und dokumentiert werden sowie neue Optimierungspotentiale in Produktionsabläufen aufgedeckt und genutzt werden. Der OPC-UA-Standard ermöglicht neben dem unmittelbaren Abruf auch den zeitversetzten Abruf von Prozessdaten über HistoricalAccess. Die anfallenden Daten werden hierfür lokal auf jedem OPC-UA-Server in einem Ringspeicher gepuffert. Bei temporären Netzwerkausfällen gehen daher keine Daten verloren, sie können unmittelbar nach wieder hergestellter Verbindung automatisch nachgeladen werden.

4. Erweiterungsszenarien für autonome Systeme und weitere Anwendungsfälle

In einer weiteren Ausbaustufe können die Logistikeinheiten durch fahrerlose Transportfahrzeuge vollständig autonom bewegt werden. Hierfür können die vorhandenen RFID-Tags durch Ultra-wideband Technologie ergänzt bzw. ersetzt werden, die ein Live-Tracking auch

innerhalb von Produktionshallen ermöglicht. Zukünftige Implementierungen des verwendeten OPC-UA-Stacks werden bestehende Request/Response Mechanismen durch das effizientere Publish/Subscribe-Verfahren ablösen. In Verbindung mit der Erweiterung des Ethernet-Standards für Time-Sensitive Networking (TSN) eröffnen sich langfristig neue Möglichkeiten für echtzeitkritische Prozesse und Safety-Anwendungen mit OPC-UA.

Ein zusätzliches Anwendungsszenario stellen Montageprozesse dar, bei denen verschiedene vorgefertigte Bauteile in Fügeprozessen zu größeren Baugruppen miteinander verbunden werden. Im Herstellungsprozess einer Druckkalotte sind dies z.B. Stringer (Aussteifungselemente). Das vorgestellte Leit- und Logistiksystem kann die hierfür erforderliche Teilelogistik vor und nach den Fügeprozessen abbilden.

- [1] Gerngroß, T.; Nieberl, D. (2016): AUTOMATED MANUFACTURING OF LARGE, THREE-DIMENSIONAL CFRP PARTS FROM DRY TEXTILES. CEAS Aeronautical Journal, 7 (1). Springer. DOI: 10.1007/s13272-016-0184-5 ISSN 1869-5590
- [2] Kühnel, M.; Schuster, A.; Rähitz, C.; Kupke, M. (2016): TAILORED THERMOPLASTIC PREFORMING WITH CONTINUOUSLY AUTOMATED CUTTING AND ROBOTIC PICK AND PLACE PROCESSES OF VARIOUS SEMI-FINISHED GOODS, in European Conference on Composite Materials, München
- [3] Krebs, F.; Larsen, L.; Braun, G.; Dudenhausen, W. (2013): Design of a multifunctional cell for aerospace CFRP production", Advances in Sustainable and Competitive Manufacturing Systems, 515-524, Springer International Publishing
- [4] Malecha, M. (2018): Robot preformed CFRP rear pressure bulkhead as an example for highly automated manufacturing of large carbin fibre aircraft parts, Proceedings of 7th Transport Research Arena TRA 2018, April 16-19, Vienna Austria (accepted)
- [5] PLCopen and OPC Foundation (2010): OPC UA Information Model for IEC 61131, Release 1.00, P.O. Box: 3009, 4200 EA Gorinchem, The Netherlands
- [6] Weyrich, M.; Diedrich, C.; Fay, A.; Wollschlaeger, M.; Kowalewski, S. (2014): Industrie 4.0 am Beispiel einer Verbundanlage - Aspekte der Modellierung und dezentralen Architektur, atp edition, vol. 56, no. 07-08, pp. 52-61
- [7] Seilonen, I.; Tuovinen, T.; Elovaara, J.; Tuomi, I.; Oksanen, T. (2016): Aggregating OPC UA Servers for Monitoring Manufacturing Systems and Mobile Work Machines, Aalto University, School of Electrical Engineering, P.O.Box 15500, FI-00076 AALTO, Finland
- [8] <http://freeopcua.github.io/>

Erweiterung von Standards zum Austausch von sensorbasierten Qualitätsereignisdaten

Kommunikation qualitätsrelevanter Ereignisse mit Hilfe des EPCIS-Standards

Roman Winter, GS1 Germany GmbH, Köln;
Michael Teucke, Michael Freitag,
BIBA – Bremer Institut für Produktion und Logistik GmbH, Bremen

Kurzfassung

Fehlende Transparenz in komplexen Supply Chains, z. B. in der Automobilindustrie, verursacht häufig zusätzliche Kosten. Um Kundenwünsche zu erfüllen, ist es notwendig, eine hohe Qualität der Produkte und Prozesse in Supply Chains sicherzustellen. Zur Absicherung der Qualität können Sensorlösungen verwendet werden, um produktbegleitend qualitätsrelevante Parameter zu erfassen. Um die erzeugten sensorbasierten Qualitätsdaten unternehmensübergreifend austauschen zu können, sind geeignete Datenaustauschmechanismen notwendig, wie z. B. der EPCIS-Standard. Zum Austausch sensorbasierter Qualitätsereignisdaten muss der EPCIS-Standard entsprechend erweitert werden.

Der vorliegende Beitrag beschreibt ein Erweiterungskonzept für den Austausch sensorbasiert erzeugter Qualitätsdaten. Mit der beschriebenen Erweiterung wird es möglich, Sensordaten standardisiert und unternehmensübergreifend auszutauschen und durch digitale Services weiter zu verarbeiten.

1. Einleitung

Die hohe Komplexität der automobilen Supply Chain stellt hohe Herausforderungen an das Qualitätsmanagement, um die Qualität der verbauten Produkte abzusichern. Ebenfalls erfordern die zunehmend verschlankten Prozesse eine hohe Prozessqualität, da aufgrund der damit einhergehenden Bestandsminimierung nur geringe Puffer zum Abfedern von Schwierigkeiten vorhanden sind. Auftretende Qualitätsmängel führen so zu hohen Kosten- und Zeitaufwänden, z. B. durch Nacharbeit, Produktionsstillstände, Sondertransporte oder Rückrufaktionen. Im Falle von sicherheitsrelevanten Bauteilen stellen diese darüber hinaus ein beträchtliches Risiko für die Verbraucher dar. Fehlende Transparenz in komplexen Supply Chains erhöht häufig die Kosten. Generell sind die aus Qualitätsmängeln resultierenden Aufwände umso höher, je später die Mängel im Wertschöpfungsprozess erkannt werden [1], [2].

Zur Absicherung der Qualität können stationäre und mobile Sensorlösungen verwendet werden, um produktbegleitend qualitätsrelevante Parameter wie z. B. Temperatur, Feuchte oder Erschütterungen, denen Teile oder Produkte während der verschiedenen Produktions-, Transport- und Lagerprozessen in den Wertschöpfungsnetzwerken ausgesetzt sind, zu erfassen. Daneben können insbesondere bei Gefahrenübergängen die Bildverarbeitungstechnologien zur Überwachung der Qualität von Objekten in Wertschöpfungsnetzwerken genutzt werden, die basierend auf dem äußeren Erscheinungsbild der Objekte auf deren Qualität schließen können.

Insgesamt können echtzeitnahe Informationen über den Qualitätszustand der transportierten Waren generiert werden. Aus diesen Sensor- und Bilddaten kann auf das Auftreten von Qualitätsabweichungen und Qualitätsdefekten geschlossen werden, welche als Störungen oder Störereignisse der im Wertschöpfungsnetzwerk auftretenden Prozesse aufgefasst werden können, d.h. als Ausnahmeereignisse, welche sich negativ auf die Prozesse einer Supply Chain auswirken [3]. Diese kritischen Qualitätsereignisse können dann im Rahmen logistischer Steuerungen zeitnah verarbeitet werden, d.h. ein solches Qualitätsfrühwarnsystem für die Automobilindustrie kann technologische Grundlagen aus dem Supply Chain Event Management (SCEM) nutzen [4].

Um die erzeugten Qualitäts- und Sensordaten unternehmensübergreifend austauschen zu können, sind geeignete Datenaustauschmechanismen notwendig. Eine vielversprechende technische Basis für diesen Datenaustausch stellt der EPCIS-Standard [5] dar. Dieser ermöglicht es bereits heute, Tracking und Tracing-Daten datenträgerunabhängig und standardisiert unternehmensintern oder -übergreifend auszutauschen. Zum Austausch qualitätsrelevanter Sensordaten muss der EPCIS-Standard erweitert werden. Die Integration der Messwerte von Sensoren in den EPCIS-basierten Datenfluss dient dabei dem Zweck, mit Hilfe dieser Rückschlüsse auf den Qualitätszustand der Transportgüter zu ziehen.

Der vorliegende Beitrag beschreibt ein Erweiterungskonzept für den Austausch sensorbasierter Ereignisdaten. Dabei wird der Bogen von der sensorischen Erfassung von Messwerten über den Austausch solcher Messdaten über den – hierzu geeignet zu erweiternden – EPCIS-Standard bis zur Weiterverarbeitung der Daten durch digitale Services gespannt.

2. Erfassung und Übermittlung qualitätsrelevanter Daten durch Sensornetzwerke

Als gerätetechnische Einheiten erfassen Sensoren physikalische oder chemische Zustände wie z. B. Temperatur und Feuchte, oder Zustandsänderungen in Bezug auf Zeit und Raum, wie z. B. Beschleunigung, und wandeln diese in ein Signal um [6]. Neben der eigentlichen

Messeinheit beinhalten Sensoren häufig zusätzliche Komponenten, wie Datenspeicher (Logger) und Datenverarbeitung, eine Funkschnittstelle zur lokalen Datenübermittlung sowie eine Batterie oder eine andere Art der Energieversorgung. Zusammen formen diese Komponenten einen sogenannten Sensorknoten. Mehrere Sensorknoten, welche miteinander in Verbindung stehen, bilden ein Sensornetzwerk. In der Logistik ist besonders der Einsatz von mobilen, drahtlosen Sensornetzwerken sinnvoll, welche die Waren bei ihrem Durchlauf durch ein Wertschöpfungsnetzwerk begleiten [7]. Der Transport der erhobenen Messdaten erfolgt von den Sensorknoten über, z. B. Radiofrequenzidentifikation (RFID), Wireless Local Area Network (WLAN), Near Field Communication (NFC) oder Bluetooth Low Energy (BLE), zu einer lokalen Telematikeinheit, die diese sammelt, konsolidiert und mittels Mobilfunktechnologien, wie z. B. Global System for Mobile Communications (GSM) oder Universal Mobile Telecommunications System (UMTS), oder direkt mittels LPWAN (Low Power Wide Area Network), an relevante, häufig cloud-basierte Informationsverarbeitungssysteme übermittelt [8], [9].

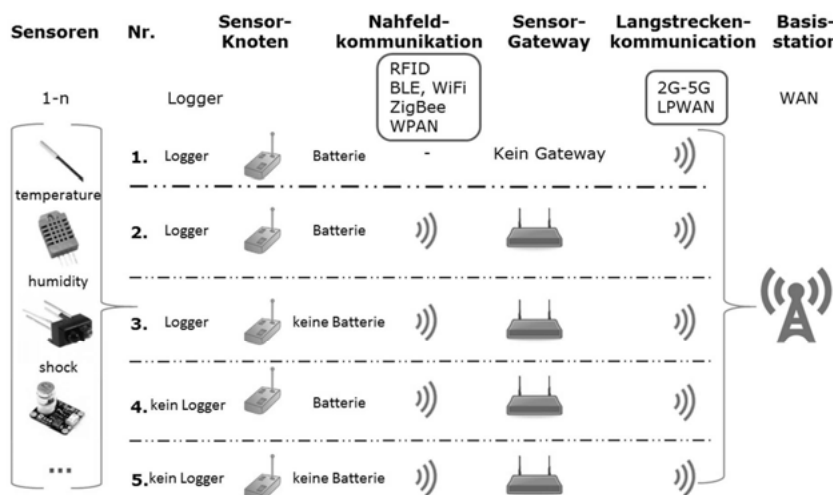


Bild 1: Alternative Sensornetzkonfigurationen

Je nach Verwendung bzw. Nichtverwendung von Zusatzkomponenten sowie Art ihrer Ausführung (z. B. Mobilfunktechnologie) sind alternative Sensornetzkonfigurationen möglich (vgl. Bild 1).

Die Sensorwertübermittlung kann dabei auf verschiedene Weise erfolgen, schwellwertbasiert, zeitbasiert (periodisch), zustandsbasiert oder qualitätsbasiert (vgl. Tabelle 1).

Tabelle 1: Verschiedene Varianten der Sensorwertübermittlung

Sensorwertübermittlung		
Variante A	schwellwertbasiert	bei Überschreitung bestimmter Schwellwerte
Variante B	Zeitbasiert (periodisch)	bei jedem Eintreffen eines Updates (z. B. alle 15 Minuten)
Variante C	zustandsbasiert	bei Wert- oder Zustandsänderung
Variante D	qualitätsbasiert	bei Qualitätsänderung

3. Der EPCIS-Standard

EPCIS ist ein Daten- und Schnittstellenstandard, mit welchem Geschäftsereignisdaten (*visibility event data*) erzeugt und unternehmensübergreifend ausgetauscht werden können, um diese Informationen verschiedenen Nutzergruppen von Supply Chains zugänglich zu machen [5] (GS1 2016). Geschäftsereignisdaten sind detaillierte, objektbezogene Informationen darüber, wo sich diese zu welcher Zeit und aus welchem Grund befinden. Ein EPCIS-Event bildet ein solches Geschäftsereignis hinsichtlich der vier Informationsdimensionen ab:

- WAS? (Identifikation der Objekte als Gegenstand des Geschäftsereignisses)
- WANN? (Datum und Uhrzeit des Geschäftsereignisses)
- WO? (Ort des Geschäftsereignisses)
- WARUM? (Geschäftskontext)

Die Objekte, die den Gegenstand der entsprechenden Geschäftsprozesse bilden, sind über Identifikationsnummern identifizierbar. Standardmäßig erfolgt dies mit Hilfe des Electronic Product Code (EPC) auf Instanzenebene, sodass jedes Objekt durch eine weltweit einzigartige Bezeichnung repräsentiert wird. Um diese Einzigartigkeit zu garantieren, erfolgt die Darstellung des EPC in Form eines Uniform Resource Identifier (URI).

Insgesamt können mit Hilfe der vier genannten Informationsdimensionen die nötigen Daten über Geschäftsereignisse erhoben werden, um eine durchgängige Prozessüberwachung zu gewährleisten. Da nicht nur Rohdaten übertragen, sondern diese mit Kontext hinsichtlich der Geschäftsprozesse versehen werden, wird ein gemeinsames Verständnis aller beteiligten Parteien für die semantische Bedeutung der Geschäftsprozessdaten sichergestellt.

4. Erweiterung des EPCIS-Standards zum Austausch von Sensordaten

Im Kontext der Erweiterung des Standards um sensorbasierte Qualitätsdaten ist die Kombination folgender Dimensionen relevant: Objektidentität, Zeit, Ort, Quantität und Qualität sowie Lieferkettenabschnitt. Fünf der aufgelisteten Aspekte spiegeln sich in den Informationsdimensionen eines EPCIS-Events wider, einzig der Qualitätsaspekt wird bisher nicht repräsentiert.

Dieser soll mit Hilfe des Erweiterungskonzepts um Sensorwerte und Qualitätsdaten aufgegriffen werden.

Um eine Reduzierung der zu übertragenen Informationen zu erreichen, sollte bei einer Erweiterung zwischen Sensordaten unterschieden werden, die immer kommuniziert werden müssen und solchen, die nur bei Bedarf abgerufen werden. Insgesamt werden daher in Anlehnung an DIN SPEC 91329:2016-01 die drei Datenkategorien Sensordaten, Sensorstammdaten und dynamische Sensorinformationen mit folgenden Ausprägungen unterschieden [10]:

- Sensordaten: Sensor-Identifizier (Sensor-ID), Sensorwerte, Sensoreinheit
- Sensorstammdaten: Sensortyp, Sensorhersteller, Sensorbeschreibung, Kalibrierungsinformationen
- Dynamische Sensorinformationen: Schwellwerte, Sensornetz-Status, Batteriezustand

Dabei wird nur die Kategorie der Sensordaten (Sensor-ID, Sensorwerte, Sensoreinheit) mit jedem EPCIS-Event übertragen. Diese Daten sind von primärem Interesse bei der Überwachung von Transportgütern, da sie die Ergebnisse der Messung eines Sensors darstellen (z.B. Temperatur oder Luftfeuchtigkeit). Sie können direkt zur Analyse und Steuerung der Geschäftsprozesse verwendet werden. Sie gehören somit zur Kategorie der Event Data.

Sensorstammdaten sowie dynamische Sensorinformationen sollen beide nur bei Bedarf abgefragt werden. Sie gehören somit beide zur Kategorie der *Master Data*, welche zusätzlichen Kontext für die Interpretation der Event Data liefert. Diese Daten werden in Datenbanken hinterlegt und über die eindeutige Sensor-ID abgerufen. Eine Unterscheidung innerhalb dieser Kategorie wird vorgenommen, weil Stammdaten statische Informationen darstellen wohingegen dynamische Sensorinformationen im Betriebsverlauf veränderlich sind. Ein anschauliches Beispiel ist der Batteriezustand, der sich mit zunehmender Zeit verringert.


```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="yes"?>
<epcis:EPCISDocument ...>
  <EPCISBody>
    <EventList>
      <ObjectEvent>
        <eventTime>2013-06-08T14:58:56.591Z</eventTime>
        <eventTimeZoneOffset>+02:00</eventTimeZoneOffset>
        <epcList>
          <epc>urn:epc:id:sgtin:0614141.107346.2017</epc>
          <epc>urn:epc:id:sgtin:0614141.107346.2018</epc>
        </epcList>
        <action>OBSERVE</action>
        <extension>
          <sensorList>
            <sensorElement>
              <sensorID>urn:epc:id:giai:4012345.123</sensorID>
              <sensorValue>15.3</sensorValue>
              <sensorUOM>CEL</sensorUOM>
            </sensorElement>
            <sensorElement>
              <sensorID>urn:epc:id:giai:4012345.456</sensorID>
              <sensorValue>1400</sensorValue>
              <sensorUOM>LUM</sensorUOM>
            </sensorElement>
            <sensorElement>
              <sensorID>urn:epc:id:giai:4012345.789</sensorID>
              <sensorValue>1</sensorValue>
              <sensorUOM>BAR</sensorUOM>
            </sensorElement>
          </sensorList>
        </extension>
      </ObjectEvent>
    </EventList>
  </EPCISBody>
</epcis:EPCISDocument>

```

Bild 2: Beispiel eines XML-Instanzdokuments zum Austausch von Sensordaten

Das Beispiel in Bild 2 zeigt ein XML-Instanzdokument für ein *ObjectEvent*, welches Sensordaten gemäß dem Erweiterungskonzept enthält. Die verwendeten Werte entsprechen den Beispielen des EPCIS-Standards [5] bzw. der DIN SPEC 91329:2016-01 [10]. Neben *sensorList* werden nur die obligatorischen Elemente eines *ObjectEvent* (*eventTime*, *eventTimeZoneOffset*, *epcList* sowie *action*) berücksichtigt.

Die Messwerte werden zwei Objekten des Geschäftsereignisses zugeordnet, deren EPC jeweils in der *epcList* übergeben wird. Gemäß dem beschriebenen Zusammenhang zwischen Event Data und Master Data können Sensorstammdaten und dynamische Sensorinformationen mit Hilfe der übermittelten *sensorID* über das *EPCIS Query Control Interface* abgefragt werden.

5. Verarbeitung der EPCIS-Daten durch digitale Services

Die Umsetzung des Konzepts zur unternehmensübergreifenden EPCIS-basierten Bereitstellung von Daten eröffnet die Möglichkeit, digitale Services zu implementieren, welche die Entscheidungsfindung qualitätsrelevanter Fragestellungen in den Wertschöpfungsnetzwerken IT-basiert unterstützen. Die Potenziale der ausgetauschten Daten können erst erschlossen werden, wenn diese IT-basiert mittels geeigneter Algorithmen und Softwarelösungen verarbeitet werden [11].

Digitale Services basieren auf einer intelligenten Verknüpfung und Verarbeitung der aus verschiedenen Quellen der Supply Chain bereitgestellten Daten. Ziel ist es dabei, den einzelnen Akteuren zum richtigen Zeitpunkt qualitäts- und zustandsrelevante Informationen über Produkte und Prozesse zur Verfügung zu stellen. Die Services können in Abhängigkeit des Zeithorizonts in folgende Kategorien unterschieden werden [12]:

- Präventive digitale Services: z. B. Information der Prozessverantwortlichen über potenziell negative Einwirkungen, z. B. überhöhte Temperaturen durch Lagerung in Bereichen mit intensiver Sonneneinstrahlung, sodass durch unmittelbares Handeln Qualitätsmängel vermieden werden.
- Reaktive digitale Services: z. B. Information über beschädigte Produkte, sodass unmittelbar eine Nachproduktion angestoßen werden kann.
- Strategische digitale Services: z. B. Bewertung und Auswahl von Lieferanten und Logistikdienstleistern anhand von in der Supply Chain erfassten Qualitätsdaten, um präventiv stabile Wertschöpfungsnetzwerke zu gestalten.

Die Akzeptanz und Nutzung der digitalen Services erfordert u. a. eine hohe Übersichtlichkeit und einfache Bedienbarkeit, auch bei komplexen Entscheidungsfindungsprozessen. Im Gegensatz zu den heute häufig textlastigen Applikationen sollten die entwickelten Services eine intuitive Verständlichkeit durch eine visuelle Informationsaufbereitung realisieren. Unternehmen unterschiedlicher Größenordnungen können durch verschiedene Ausprägungen und Funktionalitätsgrade der digitalen Services, welche vom Visualisieren von Qualitäts-Events bis hin zu autonom agierenden Services reichen, adressiert werden.

6. Ausblick

Grundvoraussetzung für Industrie 4.0 ist die Standardisierung. GS1-Standards für Identifikation, Datenträger, elektronische Kommunikation und Prozessgestaltung schaffen die Voraussetzungen für Transparenz auf allen Stufen der Wertschöpfungskette. Die Standards tragen schon heute dazu bei, dass die richtigen Produkte in der richtigen Menge zur richtigen Zeit zu den richtigen Kosten an den richtigen Ort gelangen. Doch die Sicherstellung der richtigen Qualität, ist bislang nicht ausreichend adressiert. Bislang lassen sich Projekte, in welchen EPCIS als Datenübertragungsformat sensor-getriggelter Informationen fungiert, nur mit proprietären Extensions realisieren. Skalierbare, interoperable Lösungen sind somit nicht möglich. Aus diesem Grund soll eine Spezifikation geschaffen werden, welche für diese Anwendungsdomäne international gültige Vorgaben definiert. Im Idealfall wird diese Zielstellung entweder durch eine

entsprechende Erweiterung des EPCIS-/CBV-Standards oder durch einen einschlägigen Anwendungsstandard (ähnlich wie z. B. der GS1 EPCIS for Rail Vehicle Visibility Application Standard) erreicht.

Hierzu kann ein international gültiger GS1-Standard durch die Einreichung eines entsprechenden Work Requests initialisiert werden. Dieser muss u. a. nicht nur den Anwenderbedarf präzisieren, sondern sollte durch eine ausreichend hohe Unterstützung von Unternehmen, Lösungsanbietern und GS1-Länderorganisationen gekennzeichnet sein (u. a. setzt GS1 zur Sicherstellung der Relevanz eines Work Requests zwölf repräsentative Unternehmen und sechs GS1-Länderorganisationen voraus). Bisher ist jede Entwicklung und Dokumentation von einer Arbeitsgruppe im Global Standards Management Process (GSMP) erarbeitet worden.

Erst durch die Einbringung in den GSMP-Prozess findet eine internationale Standardisierung statt. Diese ebnet den Weg für eine höhere Transparenz in der Prozesskette, Tracking und Tracing bis auf Einzelteilebene, Qualitätsmanagement, das Automatisieren von Geschäftsprozessen, einfaches Einbinden von neuen Geschäftspartnern und Chancen für neue Geschäftsmodelle und -prozesse.

Quellen

- [1] Belis-Bergouignan, M.-C. u. a.: Global Strategies in the Automotive Industry. Regional Studies 34 (2000) 1 S. 41-53.
- [2] Baumgärtel, H. et al.: Automotive SCM in einem vollständigen Build-to-Order-System. Supply Chain Management 6 (2006) 1 S. 7-15.
- [3] Tröger, R.: Supply Chain Event Management–Bedarf, Systemarchitektur und Nutzen aus Perspektive fokaler Unternehmen der Modeindustrie. Universität Leipzig Diss. 2014.
- [4] Czaja, L.: Qualitätsfrühwarnsysteme für die Automobilindustrie. Wiesbaden: Gabler Verlag 2008.
- [5] EPC Information Services (EPCIS) - Release 1.2. GS1 AISBL, o.O. 2016.
- [6] Hesse, S. u. Schnell, G.: Sensoren für die Prozess- und Fabrikautomation. Funktion - Ausführung - Anwendung. Wiesbaden: Springer Vieweg 2014.
- [7] Akyildiz, I. F. u. Vuran, M. C.: Wireless sensor networks. Chichester: John Wiley & Sons 2010.
- [8] Buratti, C., Conti, A., Dardari, D. u. Verdone, R. (2009). An Overview on Wireless Sensor Networks Technology and Evolution. Sensors (2009) S. 6869-6896.
- [9] Mattern, F. u. Flörkemeier, C.: Vom Internet der Computer zum Internet der Dinge. Informatik-Spektrum 33 (2010) 2 S. 107–121.
- [10] Winter, R. et al.: DIN SPEC 91329:2016-01, Erweiterung des EPCIS-Ereignismodells um aggregierte Produktionsereignisse zur Verwendung in betrieblichen Informationssystemen. 2016.
- [11] Hegmanns, T. u. a.: Standardisierter, dezentraler Informationsaustausch - Verbesserte Informations-transparenz und Steuerbarkeit in Lieferketten der Automobilindustrie. Productivity Management 18 (2013) 3 S. 15-18.
- [12] Werthmann, D. et al.: EPCIS-basierter Austausch von Sensordaten - Erhöhung der Agilität und Robustheit von Supply Chains durch die Vernetzung der Produktions- und Logistikprozesse. Industrie 4.0 Management, 33 (2017) 2 S.15–19.

Dieser Beitrag entstand im Rahmen des Projekts „SaSch – Digitale Services zur Gestaltung agiler Supply Chains“, das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) unter dem Kennzeichen 01MA16004B gefördert wird.

Datenbrillen für komplexe Wartungs- und Reparaturdienstleistungen in der Intralogistik

Studie, erstellt in Zusammenarbeit mit einem Intralogistik Hersteller

Msc. **Henrike Krenz**,
Prof. Dr.-Ing. **Jochen Kreutzfeldt**
Dr. **Johannes Hinckeldeyn**
Institut für Technische Logistik (ITL),
Technische Universität Hamburg (TUHH)

Kurzfassung

Der vorliegende Artikel beschreibt die Ergebnisse einer Studie, die bei einem Intralogistikhersteller zum Einsatz von Datenbrillen und Augmented Reality Technik im After Sales durchgeführt wurde. Alle Tätigkeiten des Technikerteams des Unternehmens, die für die Inbetriebnahme und Instandhaltung der hergestellten Geräte durchgeführt werden, wurden auf Einsatzpotenziale hin untersucht. Dabei lag ein besonderer Fokus auf der remote Unterstützung von Technikern im Außeneinsatz mittels Videotelefonie über Datenbrillen, da aufgrund der Globalisierung und des demographischen Wandels erwartet wird, dass zukünftig viele neue Techniker mit unterschiedlichen Ausbildungsstufen in das Unternehmen eintreten. Das Expertenwissen der langjährigen Mitarbeiter soll dann möglichst effizient weitergegeben werden können.

1. Einleitung

Assisted Reality, Augmented Reality, Mixed Reality: Aktuell scheinen diese Begriffe in Forschung und Wirtschaft allgegenwärtig, wenn von zukünftigen Arbeitsweisen und Geschäftsmodellen berichtet wird. In kurzen Abständen erscheinen neue Datenbrillen oder verbesserte Versionen bestehender Modelle, deren Hauptzweck es ist Informationen dynamisch und „handsfree“ verfügbar zu machen. Das gegenwärtige große Interesse an dieser Entwicklung bringt schnell in Vergessenheit, dass wichtige Erfolgsfaktoren, wie Einsetzbarkeit, Akzeptanz, Belastung der Mitarbeiter, erzielbarer Gewinn, usw. noch nicht abschließend erforscht sind.

Das Forschungsprojekt, das diesem Artikel zugrunde liegt, soll einen Teil dazu beitragen, eine umfassendere Sicht auf das Thema erlangen zu können. In Abschnitt 2 dieses Artikels wird zunächst eine kurze Aufarbeitung der Theorie der Realitätsbegriffe vorgenommen und mit den

aktuellen Entwicklungen im Bereich der Datenbrillen verknüpft. Der Hintergrund des Projekts, eine Kooperation mit einem Intralogistikerhersteller zur Aufdeckung von Einsatzpotenzialen für Datenbrillen im After Sales, wird in Abschnitt 3 vorgestellt. Die Methodik, mit der die Einsatzpotenziale herausgearbeitet wurden, folgt in Abschnitt 4. Die Ergebnisse der Erhebung werden in Abschnitt 5 präsentiert und in Abschnitt 6 analysiert und auf mögliche Anwendungsfälle des Datenbrilleneinsatzes bei dem Unternehmen abgebildet. Eine Zusammenfassung der zentralen Erkenntnisse des Forschungsprojekts folgt in Abschnitt 7.

2. Stand der Technik

Die Markteinführung der bekanntesten Datenbrillen, der Google Glass und der Microsoft HoloLens, hat die Diskussion um eine einheitliche Definition der Begriffe Augmented Reality und Mixed Reality neu entfacht. Eine der wichtigsten Primärquellen hierfür ist eine Veröffentlichung von Milgram und Kishimo aus dem Jahr 1994 [1]. Diese definiert Mixed Reality als jegliche Anreicherung oder teilweise Überlagerung der Realität mit virtuellen Informationen. Die virtuellen Informationen werden üblicherweise visuell zur Verfügung gestellt, z.B. als virtuelle Objekte, wie Hinweispeile. Grundsätzlich können sie aber auch akustisch, haptisch, olfaktorisch, gustatorisch [2] oder vestibulär¹ sein [1]. Entscheidend ist, dass die reale Umgebung trotz der virtuellen Überlagerung wahrnehmbar bleibt. Zusätzlich muss es, wie in Bild 1 gezeigt, einen sachlogischen Zusammenhang zwischen den überlagerten Informationen und der Realität² geben [3] und eine Echtzeitanpassung an Veränderungen in der Umwelt. Dies unterscheidet die Mixed Reality von der Realität (keine Überlagerung) und der Virtual Reality³ (vollständige Überlagerung). Geräte zur Umsetzung von Mixed Reality erfordern folglich die Erkennung der aktuellen Umgebung mit Hilfe einer Vielzahl an Sensoren und Kameras, sodass z.B. Gegenstände identifiziert und Abstände vermessen werden können. Dies ist z.B. teilweise in der Microsoft HoloLens umgesetzt, kann aber auch von Tablets oder Smartphones geleistet werden. Augmented Reality ist in der

¹ Vestibulär: Den Gleichgewichtssinn betreffend.

² Hier ist gemeint, dass virtuelle Objekte nicht nur in die Sicht einer Person eingefügt, sondern auch sinnvoll im Raum angeordnet werden. Z.B. wird ein virtueller Stuhl, der hinter einem realen Tisch eingeblendet wird, teilweise von diesem verdeckt.

³ Die Technik der Virtual Reality bezeichnet die Ersetzung realer Sinneseindrücke durch computergenerierte, sodass der Nutzer sich vollständig in der simulierten Umwelt präsent fühlt und nicht mehr in der physischen [4], [5].

Definition nach Milgram und Kishimo eine Teilmenge der Mixed Reality, bei der die Realität in einem höheren Grad präsent ist als die Virtualität⁴ [1].

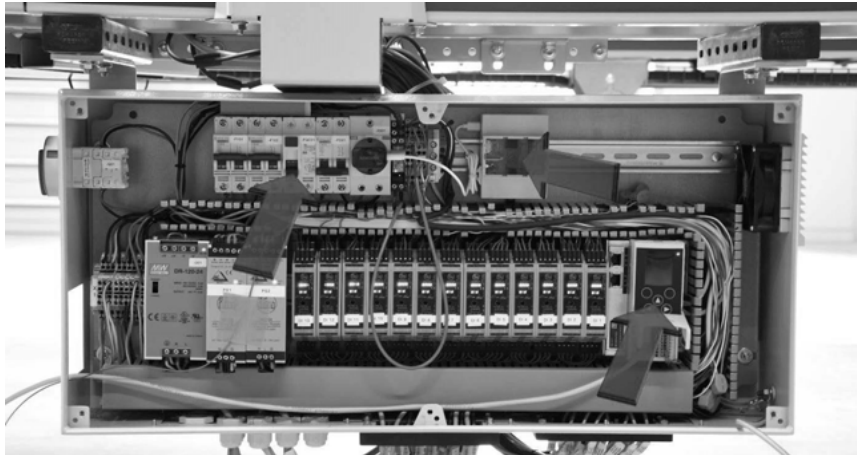


Bild 1: Mixed Reality: Pfeile zeigen direkt auf wichtige Teile einer Steuerungsanlage.

Eine klare Abgrenzung muss zwischen dem anspruchsvollen Konzept der Mixed und Augmented Reality und der bloßen „handsfree“⁵ Anzeige von virtuellen Informationen auf einem, an einem Brillengestell befestigten, Display erfolgen. Dies wird z.B. verwendet, um Bilder von Arbeitsschritten oder Aufgabenlisten anzuzeigen, die Personen bei ihren täglichen Arbeitsaufgaben unterstützen (siehe Bild 2). Solche Datenbrillen benötigen keinerlei automatische Erkennung der Umwelt und insbesondere auch keine teure Sensorik, sodass sie leichter und teilweise kostengünstiger sind, so z.B. die Epson Moverio oder Google Glass. Einige Autoren haben bereits neue Begriffe, wie Assisted Reality [6] oder Augmented Vision [2] für diese Art der Datenbrillennutzung gefunden. Im Folgenden wird hierfür der Begriff Assisted Reality verwendet.

⁴ Ebenso ist die Augmented Virtuality eine Teilmenge der Mixed Reality in der die Virtualität in einem höheren Grad präsent ist als die Realität [1].

⁵ „Handsfree“ bezeichnet in diesem Zusammenhang, dass der Abruf von Informationen nicht das Halten eines Gerätes oder das hauptsächliche Bedienen eines Geräts mit den Händen erfordert.



Bild 2: Assisted Reality: Einblendung eines Bildes in der rechten oberen Ecke des Sichtfeldes.

Aktuell wird an vielen Einsatzszenarien für Mixed, Augmented und Assisted Reality geforscht. Ein weit verbreiteter Fall ist der Einsatz von Assisted Reality zum Kommissionieren („Pick-by-Vision“). Dazu werden auf einer Datenbrille Lager- und Artikelbeschreibungen gezeigt, sowie teilweise auch Routen. Zu diesem Thema wurden bereits mehrere wissenschaftliche Studien (z.B. an der technischen Universität München, siehe [7] und [8]) und Praxistests in Unternehmen (z.B. bei DHL [9] und Arvato Bertelsmann [10]) durchgeführt. Assisted Reality eignet sich hier besser als Augmented Reality, da die Brillen über den gesamten Arbeitstag getragen werden sollen und entsprechend leicht und robust sein müssen [7]. Ähnlich verhält es sich beim Einsatz von Datenbrillen zur Anzeige von Montageschritten oder der Durchführung von Video-Anrufen mit einer Übertragung der eigenen Sicht. Dies kann z.B. für Beratungen von Technikern im Außeneinsatz eingesetzt werden, um Missverständnisse über das Problem des Technikers zu vermeiden. Eine entsprechende Studie wurde z.B. von der Firma Lindig durchgeführt [11]. Echte Augmented Reality erfordern hingegen Anwendungsfälle, wie das optimierte Packen von Kisten, bei dem die genaue Lage von Packstücken in einer Kiste angezeigt werden kann. Untersuchungen hierzu werden z.B. am Fraunhofer IML durchgeführt [12]. Zusätzlich zu Einsatzpotenzialen von Datenbrillen zur Wertschöpfung werden Themen wie Akzeptanz [13] und der Einfluss auf Physiologie und Psychologie des Trägers untersucht (siehe z.B. die Studien [14] und [15] der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin).

3. Projektkooperation zum Einsatz von Datenbrillen bei einem Intralogistikhersteller

Der Trend, Datenbrillen und Augmented Reality zur Unterstützung von Arbeitsprozessen einzusetzen zu wollen, sowie die Frage, warum diese trotzdem noch nicht flächendeckend eingesetzt werden, hat einen großen Intralogistikhersteller motiviert eine Studie zu dem Thema im eigenen Unternehmen durchführen zu lassen. Diese sollte potenzielle Anwendungsfälle für die Technik im Bereich des After Sales aufdecken und deren Wirtschaftlichkeit analysieren. Der After Sales Bereich beinhaltet in dem Unternehmen hauptsächlich die Inbetriebnahme, sowie Wartung und Reparatur der hergestellten Geräte durch ein eigenes Technikerteam und die Versorgung mit Ersatzteilen. Die Produkte des Unternehmens sind eingeteilt in standardisierte Seriengeräte und für Kunden individuell angefertigte Geräte. Für diesen Artikel steht der Begriff „Gerät“ stellvertretend für technische Systeme der Intralogistik, die über eine eigene digitale Steuerung verfügen, wie z.B. Flurförderzeuge oder stationär installierte Förder- und Lagertechniksysteme. Das Unternehmen hat seinen Einsatzschwerpunkt in Mitteleuropa, agiert aber global und hat Standbeine in verschiedenen Ländern weltweit, sodass Serviceaktivitäten international vorgenommen werden können. Vor dem Hintergrund des demographischen Wandels und der Beschäftigung lokaler Techniker mit unterschiedlichen Ausbildungsständen an außereuropäischen Standorten, sowie Kunden, die ihre Geräte zunehmend selbst warten und reparieren wollen, sollte insbesondere der Anwendungsfall der remote Unterstützung von eigenen und externen Technikern durch Experten des Unternehmens mit Hilfe von Datenbrillen betrachtet werden.

4. Methodik

Die Studie erfolgte, wie in Bild 3 dargestellt, in drei Phasen. Während der ersten Phase wurden potenzielle Anwendungsfälle auf Basis der After Sales Prozesse des Unternehmens entwickelt. Diese wurden den vorhandenen Prozessdokumentationen entnommen bzw. im Gespräch mit Technikern für Seriengeräte und kundenindividuellen Geräte erhoben. Zudem wurden zwei Techniker bei ihrem Arbeitsalltag begleitet, um die praktische Durchführung der Prozesse kennenzulernen. Zum Zeitpunkt der Erstellung der Studie existierten bereits drei frühere Studien zu Prozessverbesserungen im After Sales. Studie A lieferte die Auswertung darüber, welche Hilfsmittel die Techniker des Unternehmens im Außeneinsatz nutzen, um Probleme zu überwinden. Eine Studie B beschäftigte sich mit der Bandbreite von mobilem Internet an verschiedenen Einsatzorten, als Basis für einen Remotezugriff auf den Laptop eines Technikers. Außerdem gab eine Studie C Auskunft über die Möglichkeit eines Remotezugriffs auf die Steuerung der Geräte.

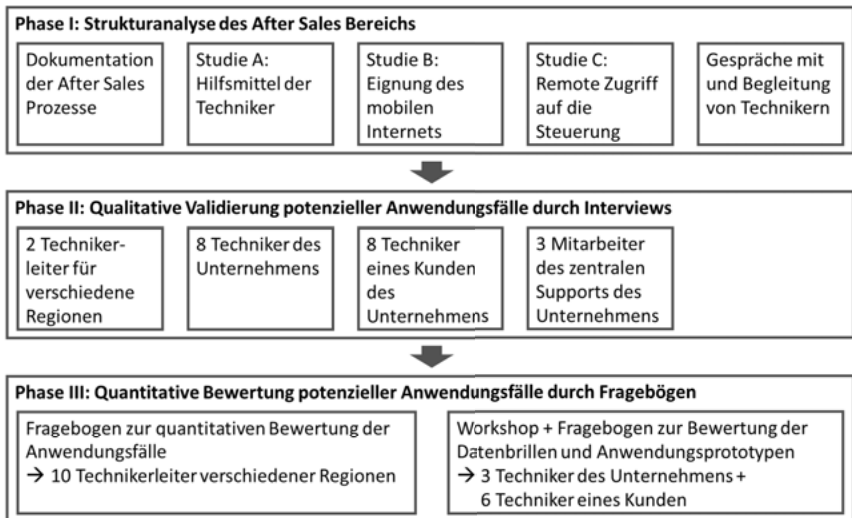


Bild 3: Methodik der Erhebung potenzieller Anwendungsfälle

Die theoretischen Anwendungsfälle der ersten Phase, wurden in der zweiten Phase der Studie durch weitere Gespräche mit Personen, die im After Sales Bereich des Unternehmens tätig sind, sowie Kunden des Unternehmens, die die Instandhaltung ihrer Geräte selbstständig durchführen, validiert und weiterentwickelt. Es wurde mit je acht Technikern des Unternehmens und eines Kunden gesprochen. Zusätzlich wurde mit zwei Technikerleitern aus verschiedenen Regionen Europas gesprochen, die eine zugewiesene, lokale Gruppe von Technikern bei Problemen und Fragen direkt unterstützen. Auch deren Vorgesetzte, die wiederum mehrere Technikerleiter betreuen, wurden in die Gespräche einbezogen, sowie drei Vertreter des zentralen, global agierenden Supports, der die Technikerleiter bei schwerwiegenden oder strukturellen Problemen unterstützt.

Die dritte Phase diente dazu die Häufigkeit des Auftretens der geeigneten Anwendungsfälle zu erheben, um deren Wirtschaftlichkeit zu überprüfen. Hierzu wurden zehn regionale Technikerleiter des Unternehmens aus zwei mitteleuropäischen Ländern als potenzielle Remote-Experten mit Fragebögen befragt. Der Schwerpunkt lag auf der Auswertung der Zeit, die die Technikerleiter durchschnittlich mit Beratungsgesprächen am Telefon, sowie im Vor-Ort-Einsatz verbringen und den Themen, bei denen regelmäßig Probleme auftreten. Zusätzlich wurden die Technikerleiter aufgefordert mitzuteilen, welche Hilfsmittel ihnen ihre

Beratungsarbeit weiter erleichtern würden und wie viel Zeit sich dadurch voraussichtlich einsparen lassen würde.

Außerdem wurden praktische Workshops mit Technikern durchgeführt, bei denen auf drei verschiedenen Datenbrillenmodellen Prototypen für die identifizierten Anwendungsfälle gezeigt wurden. Die Anwendungen wurden auch auf einem Tablet (hier Samsung Galaxy Tab S3) gezeigt, das als günstigere Alternative zu einer Datenbrille eingesetzt werden könnte. Ziel der Workshops war es insbesondere, dass die Techniker die neue Kommunikationstechnik kennenlernen und basierend darauf Vorschläge für deren Einsatz entwickeln können. Als Datenbrillen wurden die Hololens von Microsoft (Mixed Reality mit Gesten- und Sprachsteuerung), die Epson Moverio BT-300 („see-through“⁶ Assisted Reality mit Steuerung über ein Touchpad) und die Brother Airscouter („look-around“⁷ Assisted Reality mit Steuerung über eine externe Recheneinheit, z.B. ein Tablet) ausgewählt. Gezeigt wurde auf den Devices jeweils eine checklistenbasierte Anwendung, mit der die Techniker durch komplexe Instandhaltungsprozesse geführt werden können, eine Anwendung, die 3D-Modelle der Geräte anzeigt und eine Anwendung, mit der ein remote Gespräch mit einem Experten geführt werden kann. Das Feedback zu den Brillen und den Anwendungen wurde anschließend mit Hilfe von Fragebögen und einem Abschlussgespräch erhoben. Insgesamt wurden drei Techniker des Unternehmens und sechs Techniker eines Kunden befragt.

5. Beschreibung der Ergebnisse

Die Ergebnisse der drei Phasen der Studie werden im Folgenden zusammenfassend beschrieben. Da sich die After Sales Prozesse zwischen Seriengeräten und kundenindividuellen Geräten deutlich unterscheiden, werden die jeweiligen Ergebnisse in den nächsten zwei Unterabschnitten getrennt dargestellt. Unabhängig von den instand zuhaltenden Geräten werden in einem dritten Unterabschnitt die Ergebnisse der Technologiebewertung aus den Workshops gezeigt.

Kundenindividuelle Geräte

Kundenindividuelle Geräte werden für bestimmte Zwecke gebaut, sodass sich die Anforderungen zwischen den verschiedenen Systemen stark unterscheiden. Das bedeutet,

⁶ Bei einer „see-through“ Datenbrille wird die Anzeige vor das Auge projiziert, sodass sie durchscheinend ist und die reale Umwelt weiterhin vollständig wahrgenommen werden kann.

⁷ Ein „look-around“ Display ist nicht durchscheinend. Das heißt an der Stelle, an der das Display gesehen wird, kann die Umwelt nicht parallel gesehen werden.

dass es hier keine allgemeingültigen CAD-Modelle oder Handbücher geben kann. Häufig handelt es sich bei den individuellen Geräten um größere Anlagen, deren Komplexität durch das Zusammenwirken mehrerer Teilsysteme entsteht. Alle Zugriffe auf die Steuerungssoftware werden schon jetzt per Remote von einer zentralen Support-Abteilung aus durchgeführt. Mechanische Eingriffe an den Geräten dürfen nur von speziell ausgebildeten Technikern durchgeführt werden. Diese sind den Geräten in den meisten Fällen fest zugeordnet, sodass sie jeweils die Experten für ihre Geräte sind. Kunden, die ihre individuellen Geräte selbst instand halten, gibt es nicht.

Seriengeräte

Im Gegensatz zu den kundenindividuellen Geräten herrscht bei den Seriengeräten eine größere Standardisierung, sodass unternehmenseigene Techniker verschiedenste Geräte instand halten können und dieselben Geräte von verschiedenen Technikern betreut werden können. Die Anforderungen an das Wissen der Techniker nimmt auch bei den Seriengeräten aufgrund einer steigenden Anzahl von Geräteoptionen und –varianten und komplexer werdenden digitalen Steuerung zu. Für den Fall, dass Techniker während eines Einsatzes auf Schwierigkeiten stoßen, können sie sich an einem dreistufigen Eskalationsprozess (siehe Bild 4) des Unternehmens orientieren.

Den ersten Schritt, die Selbstqualifizierung, führen die Techniker selbstständig mit standardisierten Hilfsmitteln, wie Handbüchern, technischen Dokumentationen und Bedienungs- und Reparaturanleitungen der jeweiligen Geräte aus. Weiterhin können die Servicehistorie, sowie Fehlercodes und Steuerungsdaten des instand zu haltenden Gerätes über einen Verbindungsstecker zwischen Gerät und Laptop mit einer Unternehmenssoftware ausgelesen werden und Updates und Änderungen auf die Steuerung überspielt werden. Die o.g. Studie A zeigt, dass das hauptsächlich verwendete Hilfsmittel die Unternehmenssoftware ist. Aus den Gesprächen mit den Technikern für die aktuelle Studie ging hervor, dass die redaktionellen Hilfsmittel häufig Neuerungen, sowie Sonderanfertigungen und Sonderausstattungen nicht berücksichtigen, sodass sie kaum zur Informationsbeschaffung verwendet werden. Zudem seien die nötigen Informationen oftmals schwer zu finden und zu verstehen. Entsprechend wurde auch von den Technikerleitern berichtet, dass die Anfragen der Techniker häufig mit Wissen aus den Handbüchern hätten beantwortet werden können. Auch die Unternehmenssoftware ermögliche nicht in allen Fällen Probleme eigenständig zu lösen. Die Techniker gaben in den Gesprächen an, dass sowohl die Steuerungen, als auch die Bedienung des Softwaretools zunehmend komplexer seien, sodass sich z.B. nicht jeder Techniker in der Lage sehe, alle Änderungen und Updates an der Steuerung korrekt

vorzunehmen. Insgesamt zeigten die Information dieser Studie jedoch, dass die Techniker aufgrund ihres hohen Ausbildungsgrades den größten Teil ihrer Einsätze, insbesondere mechanische Tätigkeiten, problemlos durchführen können, bzw. Probleme eigenständig im ersten Schritt des Eskalationsprozesses lösen. Dies geht insbesondere aus den Fragebögen an die Technikerleiter hervor, die trotz Zuständigkeit für bis zu 130 Techniker nur etwa fünf Mal täglich telefonisch um Hilfe gebeten werden.

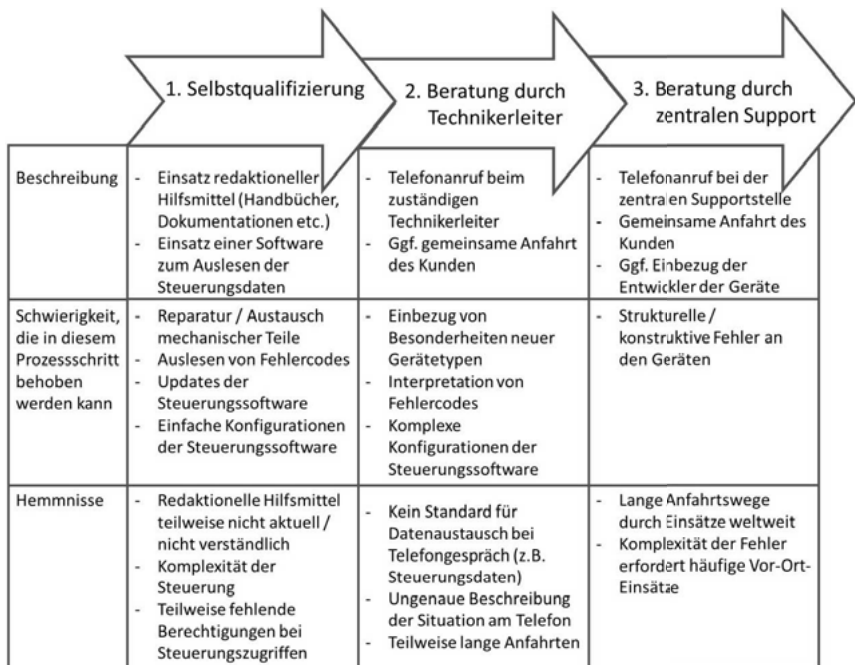


Bild 4: Eskalationsprozess zur Überwindung von Schwierigkeiten bei Vor-Ort-Einsätzen

Das Kontaktieren des zugewiesenen regionalen Technikerleiters stellt bereits die zweite Phase des Eskalationsprozesses dar. Ein zusätzlicher Austausch von Daten (z.B. Bildern des Geräts) ist bei den Beratungsgesprächen standardmäßig nicht vorgesehen, erfolgt aber bereits teilweise per Email oder Kurznachrichtendienst. In einigen Ländern wird es den Technikerleitern zudem ermöglicht mit Hilfe einer Remotesoftware auf die Laptops der Techniker zuzugreifen und so die Daten der Steuerung auszulesen. In Ländern, in denen so eine Software noch nicht verfügbar ist, wird diese von den Technikerleitern dringend

gewünscht. Da die meisten gemeldeten Probleme, laut des Technikerleiterfragebogens, mit der Elektronik bzw. der Steuerung der Geräte zusammenhängen, würde ein Einblick in die Steuerungsdaten des Geräts das Beratungsgespräch deutlich vereinfachen. Weiterhin sei eine Videoansicht dessen, was der Techniker vor sich hat, hilfreich. Sowohl Techniker als auch Technikerleiter nannten es in Gesprächen schwierig, sich nur über Beschreibungen am Telefon über die Situation zu verständigen, sodass leicht Missverständnisse entstünden. Eine Videoübertragung würde dem Technikerleiter zusätzlich ermöglichen, zu überprüfen, ob seine Anleitungen korrekt ausgeführt wurden. Falls eine Ferndiagnose des Problems nicht möglich ist, ist der Technikerleiter dazu angehalten, gemeinsam mit dem Techniker zu einem anderen Zeitpunkt den Kunden erneut anzufahren und die Reparatur oder Wartung mit ihm zusammen durchzuführen. Aus den Technikerleiter Fragebögen lässt sich schließen, dass dies maximal einmal pro Woche vorkommt, im Durchschnitt seltener. Die Technikerleiter schätzen jedoch, dass die Anzahl dieser Einsätze durch zusätzliche Informationsübertragung signifikant gesenkt werden könnte. Das Einsparpotenzial an Reisezeit variiert dabei stark zwischen den Einsatzorten. Während in Mitteleuropa eine hohe Technikerdichte vorherrscht und teilweise nur wenige Kilometer zwischen dem Kunden und dem Sitz des Technikerleiters liegen, erfordert eine Anfahrt bspw. in Osteuropa oftmals eine Fahrt von ca. 500 Kilometern.

Bei strukturellen oder konstruktiven Problemen an den Geräten, die die Technikerleiter nicht allein lösen können, wird als dritte Eskalationsstufe der zentrale Support angesprochen. Dieser betreut alle Technikerleiter weltweit. Nach Einschätzung der Mitarbeiter sind diese Fälle zu komplex, um auf einen Vor-Ort-Einsatz eines Experten des zentralen Supports zu verzichten. Weder eine Fehlerdiagnose aus der Ferne, noch eine Anleitung der Techniker zur Behebung der Fehler wird hier für möglich gehalten.

Im Bereich der Seriengeräte gibt es einige Kunden mit eigenen Werkstätten, die selbst für die Instandhaltung sorgen. Dabei stehen ihnen die oben genannten Hilfsmittel nicht, oder nur in stark reduzierter Form zur Verfügung. Insbesondere gibt es keine offizielle Möglichkeit direkt mit Unternehmenstechnikern in Kontakt zu treten und sich beraten zu lassen. Den Kunden steht als einzige Eskalationsstufe zur Verfügung, einen offiziellen Wartungs- oder Reparaturauftrag an das Unternehmen zu vergeben. Es kommt jedoch vor, dass Techniker oder Technikerleiter des Unternehmens privat kontaktiert und um Beratung gebeten werden, sodass dem Unternehmen Umsätze verloren gehen. Auch die Techniker der Kunden haben hauptsächlich Schwierigkeiten mit der Interpretation von Fehlercodes, sowie dem Auslesen und Anpassen der Steuerungssoftware, bzw. keine Berechtigung hierzu. In den Interviews zeigte sich, dass die Kunden sich ein Serviceprodukt wünschen, das den Technikern eine

standardisierte Möglichkeit bietet, das Unternehmen zu kontaktieren und über einen remote Zugriff auf die Gerätesteuerung Probleme gemeinsam zu beheben.

Technologische Bewertung

Zusätzlich zu den Befragungen der Techniker, wurden auch Workshops durchgeführt, in denen sie einige Datenbrillen und mögliche Anwendungen kennenlernen konnten. Hier zeigten sich allgemein Aufgeschlossenheit und Interesse. Die Anwendungen (eine Checkliste für Arbeitsschritte, ein 3D-Modell eines Geräts und ein Beratungsgespräch per Video-Chat) wurden von den Technikern mehrheitlich als hilfreich bewertet. Insbesondere das Beratungsgespräch übertraf für viele die Erwartungen, da zusätzlich zu einem Gespräch und dem Einblick des Beraters in die Sicht des Technikers auch digitale Fingerzeige auf wichtige Elemente in der Sicht des Technikers gemacht werden konnten. Die konkrete technische Ausgestaltung der Brillen empfanden die Techniker hingegen als unzureichend für eine längerfristige Anwendung in ihrem Arbeitsumfeld. Bei der Microsoft Hololens lag dies mehrheitlich am hohen Gewicht, sowie der komplizierten Handhabung der Gestensteuerung. Ebenfalls sei die Brille zu filigran und zerbrechlich. Bei der Epson Moverio BT-300 hingegen störte die Verkabelung der Brille mit dem zugehörigen Controller. Das Bild wurde als unscharf wahrgenommen und verdeckte teilweise die Sicht auf die Umwelt. Von den getesteten Brillen war die Epson am wenigsten kompatibel mit herkömmlichen Sehhilfen. Auch die Brother Airscouter Datenbrille wurde als zu zerbrechlich bewertet. Viele Teilnehmer hatten Schwierigkeiten das Display korrekt einzustellen, sodass sie zwischen der Umwelt und der Brille immer wieder den Fokus der Augen verändern mussten. Aktuell würde so für die meisten Techniker am ehesten die Verwendung eines Tablets in Frage kommen, da die Technik bereits bekannt ist und robuste Exemplare für den Einsatz in der Industrie existieren.

6. Analyse der Ergebnisse

Aus den Informationen über den After Sales Bereich, die in der Studie herausgearbeitet und in Abschnitt 5 beschrieben wurden, lassen sich einige sinnvolle Möglichkeiten für den Einsatz von Datenbrillen bei der Selbstqualifizierung und der Beratung durch einen Technikerleiter ableiten (siehe Bild 5). Diese Möglichkeiten werden im Folgenden erläutert. Keine Anwendungsmöglichkeiten wurden für den Service kundenindividueller Geräte erkannt. Diese werden bereits heute direkt von den jeweiligen Experten gewartet, die remote Unterstützung von den Steuerungsentwicklern erhalten. Ebenso ist der Einsatz von Datenbrillen im zentralen Support nicht sinnvoll, da ein Vor-Ort-Einsatz, durch den Schwierigkeitsgrad der Probleme, von den Mitarbeitern als zwingend beschrieben wird.

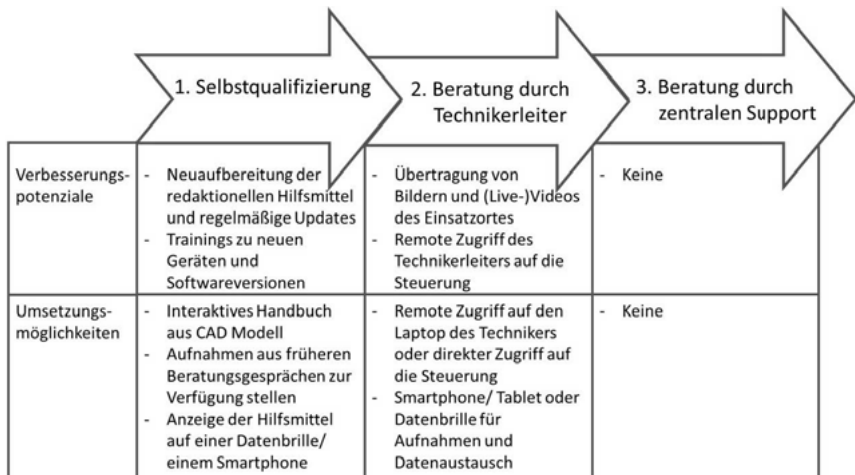


Bild 5: Verbesserungsvorschläge für den Eskalationsprozess bei Vor-Ort-Einsätzen

Für eine Verbesserung der Selbstqualifizierung gilt, dass insbesondere eine Neuaufbereitung der redaktionellen Daten nötig ist und diese regelmäßig aktualisiert werden sollten. Des Weiteren wären spezifische Informationen oder Schulungen für die Techniker hilfreich, wenn neue Geräte oder Softwareupdates erscheinen. Diese Informationen können über Datenbrillen dargestellt werden, sodass die Techniker sie parallel zu ihrer Tätigkeit abrufen können. Die Studie bietet aber keine Anhaltspunkte dafür, dass eine Visualisierung auf dem Laptop des Technikers weniger effektiv ist. Es bietet sich sogar an, einen Laptop zu verwenden, da die Techniker zum Auslesen der Steuerungsdaten ohnehin über einen verfügen.

Für die Beratungsgespräche hingegen bietet sich die Verwendung von Datenbrillen an, um die Übertragung der Sicht des Technikers während seiner Tätigkeiten zu gewährleisten. Dies wird hier als wichtiger eingeschätzt, als die Möglichkeit etwas in die Sicht des Technikers einzublenden. Die Beratungsgespräche könnten sogar als Anleitungsvideos aufgezeichnet und in einer Wissensdatenbank für die Techniker zugänglich gemacht werden, um die Selbstqualifizierung in zukünftigen Fällen zu erleichtern. Dies setzt selbstverständlich das Einverständnis der Techniker voraus. Da die meisten Probleme der Techniker im Zusammenhang mit der Gerätesteuerung oder Elektronik auftreten, sollte die Datenbrille zusammen mit einem Tool eingesetzt werden, dass dem Technikerleiter zusätzlich Zugriff auf die Steuerungsdaten des betreffenden Geräts gibt. Dies könnte beispielsweise über einen Remote-Zugriff auf den Laptop des Technikers erfolgen. Aus der Studie ergab sich, dass die

Techniker vorm Eintreffen am Einsatzort oftmals keine ausreichenden Informationen über den Störfall haben, sodass sich keine Vorhersage treffen lässt, wann ein Techniker Bedarf für eine Datenbrille hat. Für die Umsetzung der remote Unterstützung müsste folglich für jeden Techniker eine Datenbrille beschafft werden. Da die Technik der Datenbrillen zum aktuellen Zeitpunkt vielfach noch nicht ausgereift scheint, wäre es gegebenenfalls wirtschaftlicher, die Beratungsgespräche weiterhin über Smartphones zu führen und einen Austausch von Bild- und Videomaterial zu ermöglichen.

Anders stellt sich der Einsatz von Datenbrillen dar, wenn Beratungsgespräche als Serviceprodukt auch für die Kunden, die ihre Geräte selbst instandhalten, angeboten werden. Den Kunden kann die Möglichkeit eröffnet werden über eine standardisierte Schnittstelle mit den Technikerleitern in Kontakt zu treten. Hier kann die Datenbrille als Marketinginstrument benutzt werden, insbesondere um Vorteile gegenüber der bisherigen Praxis, bekannte Techniker oder Technikerleiter um Rat zu bitten, herauszustellen. Dazu gehört zum Beispiel, dass die Technikerleiter, die den Wissensstand der Kundentechniker nicht kennen, deren Umsetzung von Handlungsempfehlungen verfolgen können. Auch hier empfiehlt sich die Ermöglichung eines remote Zugriffs des Technikerleiters auf die Gerätesteuerung, um ein möglichst breites Spektrum an Störfällen in einem Beratungsgespräch beheben zu können.

7. Fazit

Zusammenfassend lässt sich aus der Studie schließen, dass es Einsatzmöglichkeiten für Datenbrillen im After Sales Bereich des untersuchten Intralogistikherstellers gibt. Diese können aber erst im Zusammenspiel mit weiteren Maßnahmen wirkliche Prozessverbesserungen erzeugen. Die Augmented Reality, also das Einblenden von Objekten in die Sicht der Nutzer, erwies sich im Rahmen des Projekts nicht als notwendig zur Verbesserung der Prozesse. Hauptsächlich zeigte sich ein Bedarf vorhandene Informationen aufzuarbeiten oder zu erweitern, sowie zusätzliche Kanäle zum Datenaustausch zu schaffen. Zudem konnten die getesteten Datenbrillen im Hinblick auf die Anforderungen des zum Teil rauen Arbeitsumfeldes der Techniker in Bezug auf Robustheit und Tragekomfort nicht überzeugen.

8. Literaturverzeichnis

- [1] Milgram, P., F. Kishimo: A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays. IEICE Transactions on Information Systems, E77-D (1994) 12(12) S. 1321-1329

- [2] Tümler, J.: Untersuchungen zu nutzerbezogenen und technischen Aspekten beim Langzeiteinsatz mobiler Augmented Reality Systeme in industriellen Anwendungen. Universität Magdeburg Diss., 2009
- [3] Azuma, R. T.: A Survey of Augmented Reality. Presence: Teleoperators and Virtual Environments 6 (1997) S. 355–385
- [4] Coates, G.: Program from Invisible Site—a virtual sho, a multimedia performance work presented by George Coates Performance Works. San Francisco: CA, 1992
- [5] Steuer, J.: Defining virtual reality: Dimensions determining telepresence. Journal of communication 42.4 (1992) S. 73-93
- [6] What Assisted Reality means for field Service, Onlineartikel, Upskill, Wien, 2016
Online verfügbar unter: <https://upskill.io/resources/blog/brian-ballard-on-what-assisted-reality-means-for-field-service/>
- [7] Reif, R.: Entwicklung und Evaluierung eines Augmented Reality unterstützten Kommissioniersystems. Technische Universität München Diss., 2009
- [8] Günthner, W., N. Blomeyer, R. Reif, M. Schedlbauer: Pickby-Vision: Augmented Reality unterstützte Kommissionierung. Technische Universität München, 2009
- [9] DHL testet erfolgreich Augmented Reality-Anwendung im Lagerbetrieb, Onlineartikel, Deutsche Post DHL Group, Bonn, 2015
Online verfügbar unter: http://www.dpdhl.com/de/presse/pressemittelungen/2015/dhl_testet_augmented_reality-anwendung.html
- [10] Arvato setzt auf Datenbrille bei Kommissionierung für Sennheiser, Pressemitteilung, Arvato Bertelsmann, Gütersloh, 2016
Online verfügbar unter: <https://www.arvato.com/de/ueber-arvato/presse/2016/arvato-setzt-auf-datenbrille-bei-kommissionierung-fuer-sennheise.html>
- [11] Kleedörfer, R., A. Schindler: SmartGlasses als Baustein eines modernen Servicekonzepts. Konzepte, Praxistests und Ausblick. VDI Wissensforum 2017

- [12] Mättig, B., I. Lorimer, J. Jost, T. Kirks: Untersuchung des Einsatzes von Augmented Reality im Verpackungsprozess unter Berücksichtigung spezifischer Anforderungen an die Informationsdarstellung sowie die ergonomische Einbindung des Menschen in den Prozess. *WGTL: Logistics Journal*, 2192(9084) (2016) S. 1
- [13] A. Adapa, F. Fui-Hoon Nah, R. H. Hall, K. Siau, S. N. Smith: Factors Influencing the Adoption of Smart Wearables. *International Journal of Human–Computer Interaction*, (2017), S. 1-11
- [14] Theis, S., C. Pfendler, T. Alexander, A. Mertens, C. Brandl, C. M. Schlick: Head-Mounted Displays–Bedingungen des sicheren und beanspruchungsoptimalen Einsatzes. *Physische Beanspruchung beim Einsatz von HMDs*. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, 2015
- [15] Wille M., Meyer E., S. Graul: Head-Mounted Displays–Bedingungen des sicheren und beanspruchungsoptimalen Einsatzes. *Psychische Beanspruchung beim Einsatz von HMDs*. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, 2016

Fit für die Digitalisierung

Chatbots sichern Anwendern den Zugriff auf die Cyber-Ebene

Dr.-Ing. Jan Cirullies, Yevgen Pikus,

Fraunhofer-Institut für Software- und Systemtechnik ISST, Dortmund

Kurzfassung

Heutige Managementsystem für Warehouses (WMS), Transporte (TMS) etc. sind von der Haltung strukturierter Daten geprägt. Die Einführung cyberphysischer Systeme (CPS) im Zuge der Industrie 4.0 resultiert jedoch gerade in der Logistik in einer wachsenden Menge an zunehmend unstrukturierten Daten mit unterschiedlicher Entstehungsfrequenz und ungleicher Bedeutung für Planung und Betrieb. Hierauf müssen sich zukünftige IT-Systeme einstellen. Semantische Informationsschichten bieten die Möglichkeit, das Abbild der realen Systeme auf der Cyber-Ebene effizient zugreifbar zu speichern. Auf Maschinellern Lernen beruhende Chatbots, d. h. textbasierte Dialogsysteme, ermöglichen dem Nutzer, mithilfe natürlicher Sprache Informationen aus diesen Daten zu gewinnen, wie das Beispiel des am Fraunhofer ISST entwickelten »Sherlock Bot« zeigt.

1. Herausforderungen der Digitalisierung für die Unternehmens-IT

Die mit der Einführung der Industrie 4.0 einhergehende Digitalisierung ist notwendig, um cyberphysischen Systemen die Grundlage für ihre Vernetzung und autonomen operativen Entscheidungen zu schaffen. Gleichzeitig ergibt sich daraus ein digitales Abbild des Materialflusses, mit dem Menschen und Algorithmen auf der Planungsebene die Kontrolle über das Logistiksystem behalten. Allerdings bilden IT-Schnittstellen, Datensilos innerhalb von Unternehmensgrenzen (WMS, TMS, ERP, ...) sowie Datenschutzbedenken beim unternehmensübergreifenden Datenaustausch schon heute oftmals schwer zu überwindende Hürden. Die Praxiserfahrung zeigt beispielsweise die Schwierigkeiten eines großen Logistikdienstleisters bei der scheinbar trivialen Abfrage zur Erzeugung einer Liste mit Milk-run-Touren samt Zeitstempeln. Aufgrund der vielen dafür zu involvierenden IT-Systeme ist dies ohne Unterstützung durch einen IT-Experten nicht möglich. Weitere echtzeitnahe und höherfrequente Daten wie Position und Zustand intelligenter Produkte oder Verpackungen in der Lieferkette sind dabei noch nicht berücksichtigt.

Mit der zunehmenden Digitalisierung wachsen somit die zu beherrschende Datenmenge, deren Heterogenität bezüglich Frequenz und Bedeutung für den Geschäftsprozess sowie die Zahl an zu vernetzenden Informationsquellen [1]. Entsprechend sehen die meisten der im Rahmen der Kompetenzentwicklungsstudie Industrie 4.0 befragten – sowohl großen als auch mittelständischen Unternehmen – den größten Entwicklungsbedarf im Bereich der Datenauswertung und -analyse (61,4 bzw. 58,9 %) [2]. Somit ist sicherzustellen, dass menschliche Anwender wie Disponenten und Planer die Möglichkeit zur Exploration, d. h. zur sukzessiven Verarbeitung von Daten zu Informationen, erhalten.

2. Vernetzung von Daten und Datenquellen in einer semantischen Informationsschicht

Die durchgängige Bereitstellung und Vernetzung von Daten und Datenquellen ist als Entscheidungsgrundlage sowohl für Mensch und Maschine auf dem Shopfloor als auch auf der Planungsebene erforderlich. Einen Lösungsansatz hierfür bietet Linked Data: Bei diesem Konzept werden Daten mithilfe von standardisierten Vokabularen datensatzübergreifend beschrieben. Dabei werden die einzelnen Datenpunkte mit einem Uniform Resource Identifier (URI) referenziert und können über ebensolche URI auf andere Daten verweisen [3]. Zur Beschreibung wird typischerweise das gängige Resource Description Framework (RDF) genutzt, einem vom World Wide Web Consortium (W3C) veröffentlichter Standard zur Beschreibung von Metadaten [4].

Eine derartige Datenarchitektur setzt eine geeignete Informationssystemarchitektur im Unternehmen voraus. Während sich für den unternehmensübergreifenden Datenaustausch föderierte Architekturen wie Data-Space-Ansätze oder im gänzlich dezentralen Fall die Nutzung verbreiteter Standards anbieten, kann sich im unternehmensinternen Umfeld insbesondere eine zentralisierte Architektur eignen [5]. Den Mittelpunkt zentralisierter Informationssystemarchitekturen bilden Data Lakes, große, oft cloudbasierte Speicher. Sie integrieren die Daten vieler verschiedener Datenquellen, deren Daten von unterschiedlicher Größe, Struktur und Relevanz sein können. Auf diese integrierte Datenbasis bauen dann grundlegende Services beispielsweise zur Datenaggregation oder Qualitätssicherung auf. Deren Output findet Eingang in fachbezogene Dienste, die in den Wertschöpfungsprozessen genutzt werden (z. B. Lagerplatzauswahl, Kommissionierreihenfolge, ...). Den möglichen Aufbau einer Informationssystemarchitektur zeigt Bild 1.

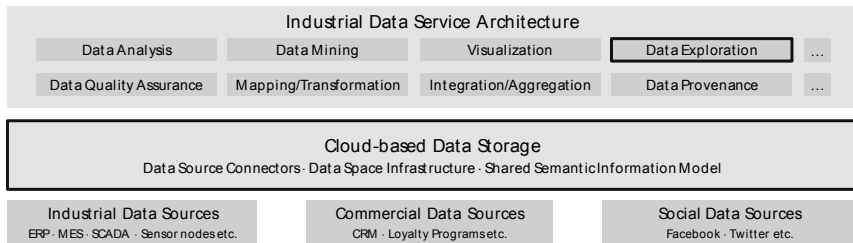


Bild 1: Beispielhafte zentralisierte IT-Architektur beruhend auf einem semantisch beschriebenen Data Lake [6]

Als einer der Basisdienste kann ein Chatbot betrachtet werden. Seine Funktionalität ist für die bloße Datenexploration fachunspezifisch und kann beispielsweise vom Nutzer selektierte Daten und Kommandos an fachspezifische Services weitergeben.

3. Chatbot als Schnittstelle zwischen Mensch und Cyberebene

Chatbots sind textbasierte Dialogsysteme, die bereits heute aus dem Bereich Social Media und beispielsweise von chatbasierten Kundenhotlines bekannt sind. Einfache Ausführungen bilden schlichtweg seit Jahrzehnten bekannte Assistenten nach, mit denen man etwa über die Eingabe einer Option A ein neues Passwort anfordern kann. Solche trivialen Anfragen werden dann mit Dialogvorlagen beantwortet, die die benötigten Informationen nacheinander abfragen. Der Nutzen besteht in diesem Beispiel in der Entlastung von Hotline-Mitarbeitern.

Bei der Analyse großer Datenmengen steht nicht nur das Ziel im Vordergrund, (oft rare) Data Analysts zu entlasten, sondern auch fachliche Mitarbeiter zur datenbasierten Entscheidungsfindung zu befähigen. Stößt ein Mitarbeiter der Logistiksteuerung beispielsweise auf eine unerwartete Situation wie falsch verbuchte oder verortete Artikel, über die seine vorgefertigten Auswertungen keinen Aufschluss geben, kann er sich mit einem Chatbot vom Ausgangspunkt zur möglichen Fehlerursache „weiterhangeln“, ohne komplexe Datenbankabfragen erzeugen zu müssen.

Derartige Analysen mithilfe natürlicher Sprache sind jedoch deutlich komplexer: Zunächst muss die Intention des Benutzers anhand seiner Eingabe erkannt werden (intention detection). Anschließend müssen daraus die erforderlichen Abfragen generiert und die erhaltenen Ergebnisse passen gefiltert und sortiert werden.

Das Fraunhofer-Institut für Software- und Systemtechnik ISST hat dafür den Chatbot „Sherlock Bot“ entwickelt. Auf Basis semantisch beschriebener Daten kann der Benutzer in natürlicher Sprache einen Befehl zur Abfrage einer ersten Ergebnismenge eingeben. Der Sherlock Bot ist

in der Lage, semantische Beschreibungen verschiedener Datentöpfe automatisch miteinander zu verknüpfen und die dadurch entstehende komplexe, heterogene und große Datenmenge zu durchsuchen. Bild 2 verdeutlicht den Aufbau.

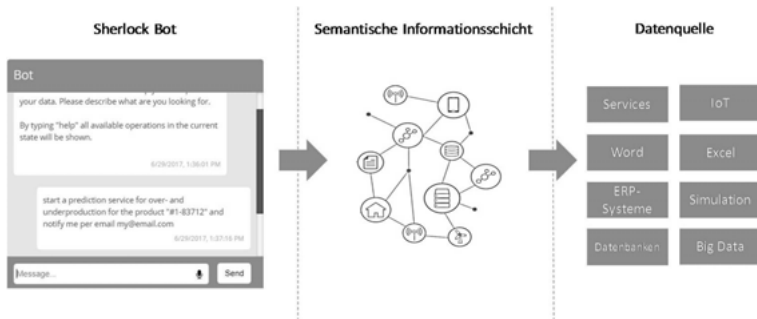


Bild 2: Schematische Anbindung des Chatbots an Datenquellen

Den Ausgangspunkt bildet ein leeres Chatfenster, wie man es z.B. auch von Apples Assistenten Siri kennt (Bild 3).

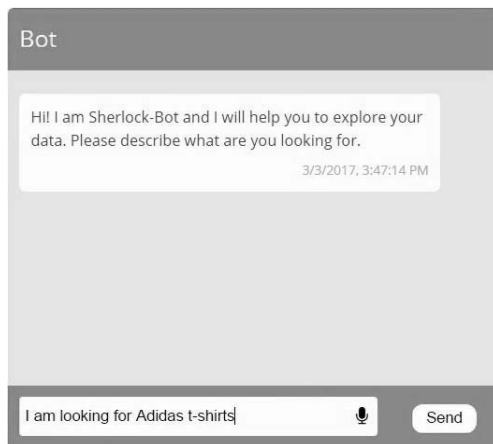


Bild 3: Benutzereingabe bei dem Chatbot

Die Benutzereingaben werden in einer intelligenten Antwortgenerierungspipeline verarbeitet. Dabei erfolgt die Benutzerintention und die Klassifizierung der Textkomponenten mithilfe eines semi-überwacht trainierten hierarchischen Moduls basierend auf neuronalen Netzen, wie es beispielsweise die Smart-Reply-Funktion von Gmail bietet [7]. Um die Intention zu erkennen,

hat das neuronale Netz gespeichert, dass der Ausdruck „looking for“ der Anweisung „select“ entspricht und es sich bei „Adidas t-shirts“ um das Objekt handelt. Die Art der Aufforderungen oder Fragen stellt derartige Systeme jedoch vor unterschiedlich große Herausforderungen: Während Fragen nach der Zeit („when“) mit einer hohen Trefferquote zufriedenstellend beantwortet werden können, bedarf die Frage nach der Anzahl („how many“) besonderer Aufmerksamkeit in der Forschung [8].

Anschließend wird der suchrelevantere Textabschnitt mithilfe eines zweiten neuronalen Netzes in eine strukturiertere Abfrage konvertiert. Während auf tabellarischen Datenstrukturen die Abfragesprache SQL eingesetzt wird, findet für in RDF beschriebene semantische Daten SPARQL Anwendung. Die mit den Abfragen gefundenen Ergebnisse werden anschließend mit einem weiteren neuronalen Netz bezüglich ihrer Relevanz zur Benutzerintention neu sortiert und als Ergebnis angezeigt (Bild 4).



Bild 4: Ergebnisausgabe und zweite Benutzerinteraktion mit dem Chatbot

Die zweite beispielhafte Eingabe zeigt, dass der Sherlock Bot anders als Chatsysteme wie Siri an den bestehenden Gesprächsverlauf, d.h. an die vorangehende Ergebnismenge, anknüpfen kann. Während Siri nicht in der Lage ist, eine an die Frage „Wie ist das Wetter in München?“ anknüpfende Erkundigung „Und welche Veranstaltungen gibt es dort?“ zu verarbeiten, erlaubt der Sherlock Bot die sukzessive Exploration. Dies ist wesentlich, um Anwender mit Fach-Know-how, aber ohne tiefergehendes Wissen zur Datenanalyse zu unterstützen. Mit kleinen Anweisungen kann sich der Anwender der gewünschten Ergebnismenge annähern.

4. Ausblick

Mit der zunehmenden Digitalisierung im industriellen Umfeld gewinnen Schnittstellen zwischen Mensch, Maschine und der Cyber-Ebene an Bedeutung. Semantisch beschriebene Daten bieten hierfür eine wichtige Grundlage, da sich mit ihrer Hilfe heterogene Daten vieler verschiedener Quellen miteinander verknüpfen lassen. Dabei lassen sich nicht nur „klassische“ Daten aus TMS, WMS oder ERP-Systemen vernetzen, sondern auch dynamische, hochfrequente, wie sie im Internet der Dinge entstehen. Darüber hinaus lassen sich Daten externer Quellen verbinden, seien es Linked Open Data [9] oder geschützt Datenräume wie der Industrial Data Space [10].

Chatbots bilden ein hochinnovatives Werkzeug, um mit geringem Aufwand neue Kennzahlen ad hoc zu ermitteln und bei zunehmender Digitalisierung Anwendern eine leicht nutzbare Schnittstelle zu cyberphysischen Systemen zu bieten. Bereits heute findet das Tool mit seinen darunterliegenden Algorithmen Anwendung wie bei der Verknüpfung und Exploration pharmazeutischer Studien oder dem Management von Produkt-Lifecycle-Daten in der Telekommunikationsindustrie.

- [1] Leveling, J., Edelbrock, M., Otto, B.: Big data analytics for supply chain management. International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM) 2014.
- [2] Acatech (Hrsg.): Kompetenzen für Industrie 4.0. Qualifizierungsbedarfe und Lösungsansätze (acatech POSITION), München 2016, S. 20.
- [3] Bizer, C., Heath, T., Berners-Lee, T.: Linked Data. The Story so Far. In: A.P. Sheth: Semantic Services, Interoperability and Web Applications. Emerging Concepts, 2009, S. 206.
- [4] Pan, J.Z.: Resource Description Framework. In: Staab, S., Studer, R.: Handbook on Ontologies, 2009.
- [5] Ebner, V.S.: Entwicklung einer Methode zum Entwurf einer Unternehmensdatenarchitektur. Dissertation. Universität St. Gallen, 2014, S. 67.
- [6] Otto, B.: Turning Industrial Data into Value. Vortrag. 2nd Internet of Manufacturing Conference. München 7.2.2017, S. 14.
- [7] Corrado, G.S., Ganea, M., Kannan, A., Kurach, K., Kaufmann, T., Lukács, L., Miklos, B., Ravi, S., Ramavajjala, V., Tomkins, A., & Young, P.: Smart Reply: Automated Response Suggestion for Email. KDD, 2016.
- [8] Saleem, Muhammad, et al. "Question Answering Over Linked Data: What is Difficult to Answer? What Affects the F scores?", 2017.
- [9] Yu L.: Linked Open Data. In: A Developer's Guide to the Semantic Web. Springer, Berlin, Heidelberg 2011.
- [10] Otto, B., Lohmann, S., u.a.: Reference Architecture Model for the Industrial Data Space. Hrsg.: Fraunhofer-Gesellschaft. München 2017.

Beitrag zum Transfer bionischer Systemdesignmuster auf die Fabriklayout- und Materialflussplanung

Ing. Mag. **Daniel Tinello**,
Institut für Technische Logistik – Technische Universität Graz,
Österreich;
Moritz Boley, M.Sc.,
Institut für Evolution und Ökologie – Universität Tübingen;
Univ.-Prof. Dr. habil. **Herwig Winkler**,
Lehrstuhl für Produktionswirtschaft,
Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg

Kurzfassung

Mithilfe der Bionik konnten im Laufe der vergangenen Jahre in einigen Wissenschaftsdisziplinen erfolgreiche neuartige Ansätze zur Problemlösung initiiert werden. Im vorliegenden Beitrag wird überprüft, ob mithilfe der Bionik auch Prinzipien und Designansätze in der Natur zu finden sind, die bei der Entwicklung von neuartigen Fabriklayouts angewendet werden können. In der belebten Schöpfung findet man einige Systeme, die sich an kurz- und langfristige Änderungen erfolgreich anpassen. Außerdem wachsen natürliche Systeme in einer Weise, dass alle involvierten Elemente während des Wachstums ohne Störung weiterfunktionieren. Könnten die Fabriklayouts der Zukunft wie Bienenwaben, Spinnennetze oder Nautilus-Schalen angeordnet sein? Und hätte dies überhaupt einen Mehrwert für die industrielle Praxis? Damit beschäftigt sich vorliegender Beitrag, welcher aus dem aktuellen Forschungsprojekt BioFacLay hervorgeht, welches von einem interdisziplinären Konsortium bestehend aus vier Universitäten und der KNAPP AG (Hart bei Graz, Österreich) bearbeitet wird.

1. Einleitung

Wissenschaftler, welche die biologische Struktur von Tieren, Insekten und Pflanzen erforscht haben, entdeckten, dass diese ausgesprochen raffiniert und zum Teil mit speziellen Fähigkeiten ausgestattet sind, die oft widersprüchliche Anforderungen erfüllen. Zum Beispiel fanden Barthlott und Neinhuis heraus, dass die Oberfläche von Lotusblättern über eine spezielle

Struktur verfügt und dadurch die Fähigkeit der Selbstreinigung ermöglicht [1]. Der Ansatz Probleme unter Einbeziehung der Natur zu lösen wird Bionik¹ genannt. In unseren bisherigen Arbeiten haben wir bereits die Fragestellung untersucht, ob Bionik bei der Materialfluss- und Layoutplanung unrealistische Träumerei oder ein realistisch umsetzbares Potential für Produktivitäts- und Wirtschaftlichkeitsverbesserungen darstellt [3, 4].

Hierbei unterteilen wir die belebte Schöpfung in zwei Bereiche, welche aus unserer Sicht Potential für eine Logistikanwendung hätten: 1.) Bionik bei Wachstumsprozessen von Fabriken und 2.) Bionik zur Gestaltung von Input-Output-Prozessen. Bei der Ersten untersuchten wir Wachstumsprozesse von Fibonacci, welche auch bereits für die Städteplanung angedacht werden. Bei der Zweiten lagen Bauten von Termiten, Weberameisen und Honigbienen im Zentrum. Als Ausblick wurde damals in den Raum gestellt, mithilfe solcher Analogien aus der Natur, vorhandene Fabriklayouts in bio-inspirierte Fabriklayouts umzubauen. Diese bio-inspirierten Fabriklayouts sollten dann den traditionell erstellten Layouts gegenübergestellt werden. Dabei sollte als Vergleichswert die Transportleistungsziffer dienen [5, 6]. Nachfolgende Beschreibungen bilden nun einen kurzen Abriss über den Inhalt der aktuellen Forschungen.

2. Vorstudien und laufende Arbeiten zum Thema im wissenschaftlichen Schrifttum

Um auch für die Logistik zu untersuchen, ob es in der Literatur schon wissenschaftliche Arbeiten gibt, in denen die Bionik für die Logistik erfolgversprechend ist und inwiefern diese Arbeiten zum vorliegenden Thema beitragen, wurden ausgewählte Methoden der Bibliometrie angewendet. Dabei wurde gemäß den Empfehlungen von Ball und Tunger vorgegangen [7, 8]. Mittels unterschiedlicher Abfragepärchen wurden zwei der umfassendsten wissenschaftlichen Datenbanken (Scopus und Web of Science) durchsucht. Erfasst wurden dabei alle Publikationen, die mit den Bereichen Bionik und Logistik eine Beziehung aufweisen und dem Bereich der Ingenieur- und Wirtschaftswissenschaften angehören. Wie die Analyse der Veröffentlichung gezeigt hat (vergleiche [9]), ist ein Trend zu biologisch inspirierten Lösungen im Bereich der Logistik erkennbar. Zwischen 2003 und 2013 ist die Anzahl an Veröffentlichungen, als auch an Zitationen stark angestiegen. Das führende Land in Bezug auf Publikationsmenge ist mit 54,48 % der Publikationen die Volksrepublik China, gefolgt von Deutschland und den USA.

¹ „Bionik ist der Versuch, von der Natur zu lernen. Dabei geht es um die Entwicklung von Innovationen auf der Basis der Erforschung... biologischer Strukturen, Funktionen, Prozesse und Systeme.“ [2] S. 18.

Um die Verbindungen zwischen den einzelnen Forschungsthemen der Logistik und Bionik zu visualisieren wurden die analysierten Publikationen den entsprechenden Fachgebieten zugeordnet. Die Ergebnisse wurden in nachfolgender Matrix (Bild 1) zusammengefasst, welche zeigt, dass besonders die Prinzipien der Verhaltensbiologie bereits in verschiedenen Logistikforschungsthemen angewendet werden, wobei die Transportlogistik den größten Anteil trägt. Die Matrix zeigt aber, dass einige Themenfelder noch unbearbeitet sind. So wurden auch potentiell biologisch inspirierte Fabriklayouts bisher noch nicht erschlossen.

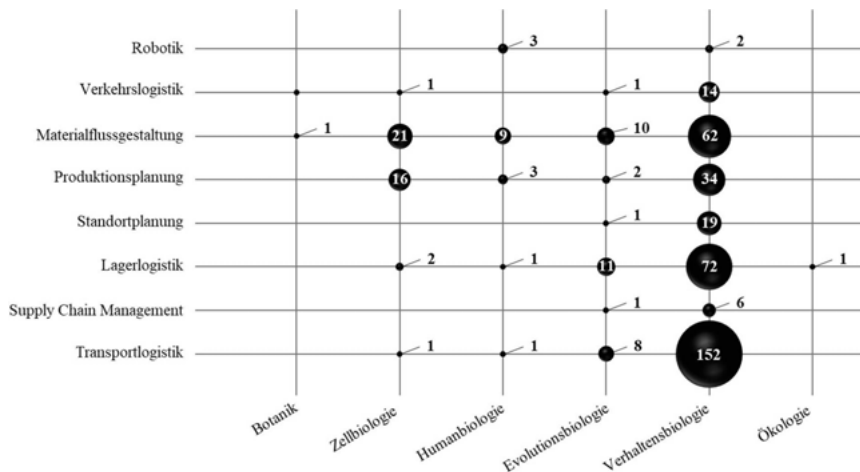


Bild 1: Überschneidungen der Themengebiete Logistik und Bionik in den analysierten Publikationen [9]

3. Vergleich von klassischen Layoutplanungsverfahren versus bio- inspirierten Layoutplanungsverfahren

3.1 Methodik und Bewertungssystem

Für die Untersuchung von verschiedenen Planungsmethoden für Fabriklayouts wurden in einer Fallstudie (vergleiche [10]) drei österreichische Produktionsbetriebe analysiert und hierbei auf reale Materialflussdaten und Layoutpläne zurückgegriffen. In Zusammenarbeit mit der KNAPP AG wurden die Erkenntnisse auch auf Layouts der Sparte General Retail übertragen. Zu Beginn wurden die originalen Layouts mittels CAD-Tool [11] abgebildet und die Transportleistungsziffer² ermittelt.

² Die Transportleistungsziffer ist oft die Zielgröße für Optimierungsaufgaben bei Planungsprojekten. Sie ist ein nützliches Maß für die Bewertung einer entwickelten Layoutversion [6].

$$TC = \sum \sum t_{ij} \cdot e_{ij}$$

mit

t_{ij} := Transportintensität zwischen Betriebsmittel i und Betriebsmittel j und

e_{ij} := Distanz zwischen Betriebsmittel i und Betriebsmittel j

Danach wurden klassische als auch bio-inspirierte Layoutplanungsverfahren auf die jeweils zugrundeliegende Fabrik angewandt und neue Layouts erzeugt und in der Folge miteinander verglichen. Da in der Praxis nicht nur quantitative Größen wie der Materialfluss alleine für die Layoutbewertung ausschlaggebend sind, wurden im Sinne einer Multikriterienbewertung noch weitere Zielkategorien definiert [12, 13]).

3.2 Grundlagen klassischer Layoutplanungsverfahren

Für die vorliegende Arbeit wurden auf jede der untersuchten Fabriken drei „klassische“ Layoutplanungsverfahren [3] angewendet, nämlich: das Kreisverfahren nach Schwerdtfeger [6, 14], das Dreiecksverfahren nach Schmigalla [6, 15] und der Algorithmus für die Reihenfolgeverbesserung [16]. Anhand dieser wurde jeweils ein Ideallayout erstellt.

3.3 Besonderheiten der bio- inspirierten Layoutplanungsverfahren

Nach der Anwendung der „klassischen“ Verfahren auf die drei Fabriken wurde intensiv darüber nachgedacht, welche Analogien in der Natur passend sind um ein bio-inspiriertes Layout zu erzeugen. Es wurden drei Analogien gefunden, welche nun näher erläutert werden.

- **Bienenwaben als Systemdesignmuster (vgl. [17])**

Bienenwaben bestehen aus standardisierten Sechsecken, die mit vordefinierten Abmessungen konstruiert werden. Diese Waben bestehen aus Bienenwachs, welches von einem Bienenvolk produziert wird. Doch die Bienen bilden ihre Honigwaben nicht von Natur aus sechseckig. Diese Form entsteht aus einer thermischen Deformation bedingt durch die Arbeit in den Zellen [18]. Das Sechseck ist neben dem Dreieck und dem Viereck die einzige regelmäßige Form, die eine flache Oberfläche vollständig und lückenlos füllen kann (auch bekannt als Teselation bzw. Parkettierung) [19, 20]. Ein weiterer Vorteil der Sechsecke, verglichen mit Dreiecken und Vierecken, ist die Tatsache, dass die Fläche von Sechsecken bei gleichem Umfang größer ist. Dies resultiert in einem minimalen Materialbedarf von Bienenwachs für die Wände, mit derselben zugrundeliegenden Fläche [20]. Und hier ist die Analogie der Natur für das vorliegende Layoutplanungsproblem: Der Kraftfluss, der über die Wachswände der Bienenwaben erfolgt, kann mit dem Materialfluss einer Fabrik verglichen werden. Die Wabenwände sollten die Wege der Transporte innerhalb der Fabrik symbolisieren (die allerdings nichts mit den Transportwegen der Bienen zu tun haben). Weil durch das Verwenden

sechseckiger Formen ein minimaler Umfang bei gleicher Fläche erreicht wird, ist anzunehmen, dass dadurch auch der Materialfluss minimiert werden kann. In den biologisch inspirierten Lay-

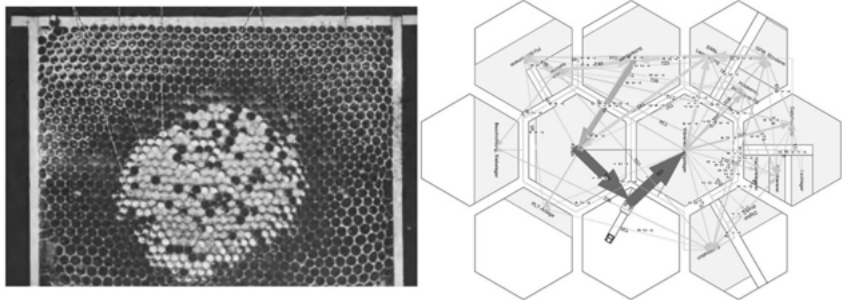


Bild 2: (links): Arrangement innerhalb einer Brutkammer, (rechts): bionisch inspiriertes Fabriklayout von Fabrik C unter Verwendung der Bienenwabenmethode (vgl. [17])

outs soll auch eine zweite Analogie zur Anwendung kommen: Die Brutkammer (siehe Bild 2 oben). Diese befindet sich im Zentrum und es halten sich dort die meisten Bienen auf [21, 22]. Diese Tatsache kann in die Praxis durch die Anordnung des Bereiches mit den meisten Materialflüssen (innerhalb der Fabrik), in das Zentrum des Fabriklayouts erfolgen. Um dieses betriebsame mittlere Areal werden die anderen Organisationseinheiten mit niedrigeren Materialflüssen angeordnet. In Bild 2 (unten) ist die Anwendung dieser Analogie auf Fabrik C zu sehen.

- **Die Echten Radnetzspinnen (*Araneidae*) als Systemdesignmuster (vgl. [10])**

Spinnen bauen eine große Anzahl von verschiedenen Netzstrukturen, zum Beispiel Radnetze, welche ein beträchtliches Einzugsgebiet für Beute bei gleichzeitig geringem Verbrauch von Spinnenseide bieten. Während ihrer gesamten Lebensdauer bauen diese Spinnen immer identische Radnetze und ändern diese nur der Größe nach, entsprechend den jeweiligen lokalen Verhältnissen [23]. Bild 3 (oben) zeigt den Aufbau eines Radnetzes. Dies besteht aus drei Hauptelementen: Radiale Speichenfäden (Radius), die sich mit der Nabe verbinden, Rahmenfäden mit der Funktion der Außenbegrenzung als auch Startpunkt für die radialen Speichenfäden und die klebrigen Fäden der Fangspirale. Sobald z.B. eine Fliege im Netz gefangen

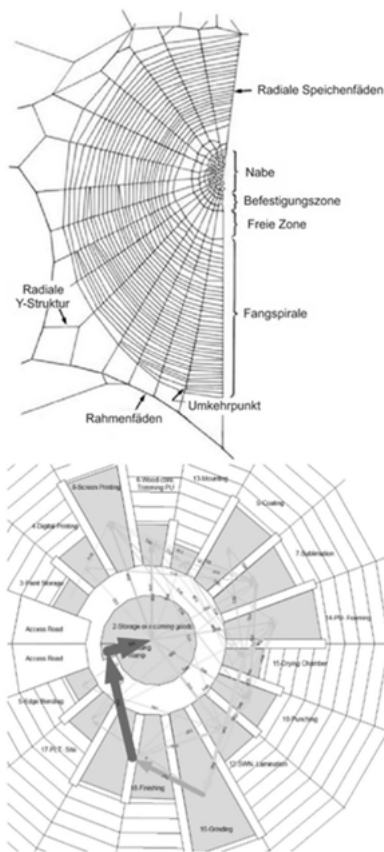


Bild 3: (oben): Aufbau und Benennung der Radnetzzelemente, (unten): bionisch inspiriertes Fabriklayout von Fabrik C unter Verwendung des Spinnennetzverfahrens [10]

wird, wird die Spinne aktiv und bewegt sich radial hauptsächlich entlang der nichtklebrigen Speichenfäden zu dem Opfer, beißt die Beute und spinnt sie für eine spätere Mahlzeit ein. Dann wird die Beute in die Nabe transportiert. Die Spinne verwendet niemals die tangentialen klebrigen Fäden als Transportweg [23, 24]. Die Analogie war in diesem Fall, dass die Fangspirale den Produktionsbereich repräsentiert, die nichtklebrigen Fäden können als Transportwege gesehen werden, die Nabe symbolisiert die Lagerflächen und die freie Zone kennzeichnet eine Rangierfläche. Wegen der Anzahl von Betriebsmitteln in den untersuchten Fabriken erwiesen sich die 18 radialen Fäden im Netz der eigentlichen Streckerspinnne (*Tetragnatha*) mit einem Winkel von ca. 20° als am besten geeignet [25]. In Bild 3 (unten) ist die Anwendung dieser Analogie auf Fabrik C zu sehen.

• Fibonacci-Strukturen als Systemdesignmuster

Das platzsparende Design der Fibonacci Spirale, welche auch goldene Spirale genannt wird, ist häufig im Tierreich anzutreffen [3]. Zum Beispiel einige Kopffüßler (*Cephalopoda*), im Speziellen das Periboot (*Nautilus macromphalus*) erbauen sich ihre

Schale mit derselben mathematischen Präzision wie eine Fibonacci-Spirale (vgl. Bild 4 oben). Wenn das Perlboot heranwächst, schafft es neue, größere Kammern und bewegt den Körper in den größeren Raum. Der frei gemachte Raum wird nun mit einer Wand versiegelt. Die Kammerbereiche werden durch die Wände (Septen) abgegrenzt, von denen jede in der Mitte durch einen Kanal, den Siphon, durchstoßen wird. Der Siphon ist röhrenförmig und verläuft zentral durch die Kammern in der Schale des Nautilus und ist essenziell um Auftrieb und Bewegung zu steuern [26]. Die auf die vorliegende Problemstellung bezogene Analogie war folgende: nämlich, dass Fabriklayouts gemäß Fibonacci-Spiralen geplant werden bzw. dass sie gemäß dieser Strategie wachsen und expandieren. Ein Transportweg, ebenfalls in Form einer Spirale, wird analog zur biologischen Außenschale angelegt. In Bild 4 (unten) ist die Anwendung dieser Analogie auf Fabrik C zu sehen.

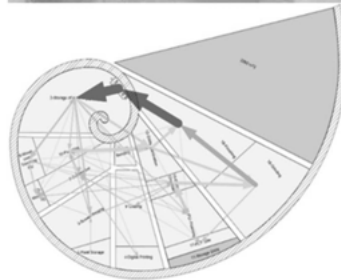
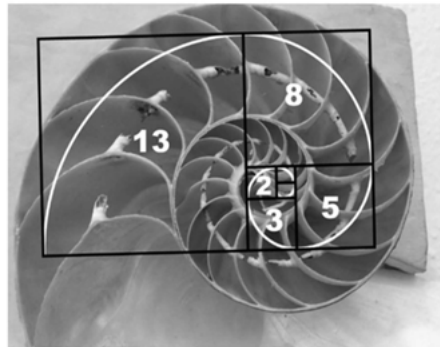


Bild 4: (oben): Fibonacci-Spirale in der Natur (Nautilus macromphalus); (unten): bionisch inspiriertes Fabriklayout von Fabrik C unter Verwendung des Fibonacci Einfachspiralen Verfahrens [10].

4. Gegenüberstellung der Ergebnisse der klassisch und bio- inspiriert erzeugten Layouts

In Bild 5 sind beispielhaft die Ergebnisse mehrerer Layoutplanungsmethoden für die Fabriken A und C ersichtlich. An den Ergebnissen ist erkennbar, dass es nicht „die“ beste Methode gibt, sondern dass der Fabrikstyp einen wesentlichen Einfluss darauf hat, ob eine Methode zu guten oder schlechten Resultaten führt. Außerdem zeigt Bild 5 auch, dass das Fibonacci Doppelspiralen Verfahren als Gewinner in allen Layoutvarianten innerhalb der drei analysierten Fabriken hervorgeht. Die Ergebnisse in Hinblick auf den Materialfluss zeigen, dass einige klassische Methoden, wenn auch zum Teil vor Jahrzehnten entwickelt, immer noch

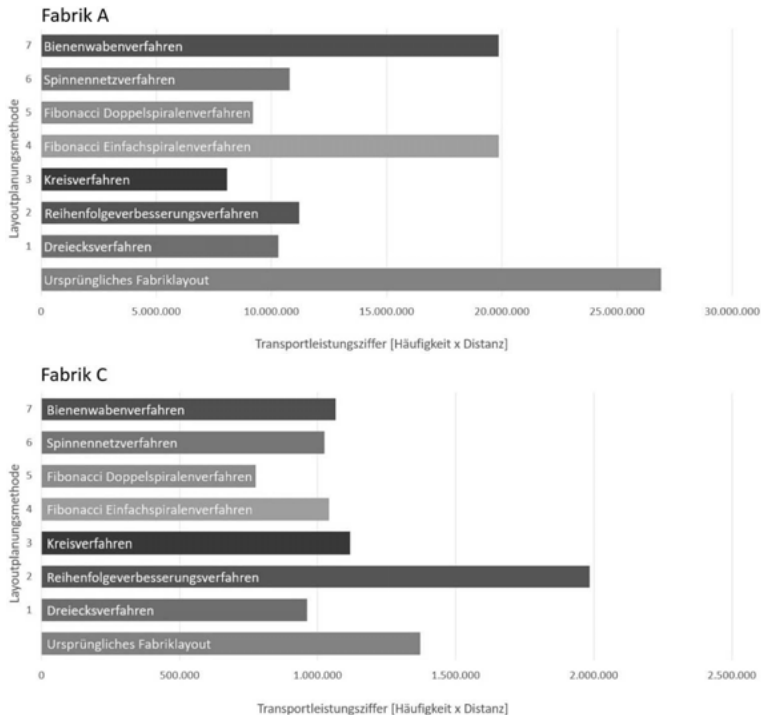


Bild 5: Ergebnisse bionischer und klassischer Layoutplanungsmethoden die auf die Fabriken A und C angewandt wurden

sehr praxistauglich sind. Doch bei komplexeren, nichtlinearen Materialflüssen wie in der Fabrik C können bio-inspirierte Ansätze ihre Stärken zeigen. Auch in der Kategorie Veränderungsfähigkeit können die bio-inspirierten Verfahren besonders punkten und die klassischen Verfahren durchwegs in den Schatten stellen. Doch in der Kategorie Planungsaufwand können die bio-inspirierten Verfahren aufgrund der komplexeren Herangehensweise und dem damit einhergehenden Mehraufwand nicht den ersten Platz einnehmen.

6. Ausblick

Derzeit werden im Projekt BioFacLay noch weitere Analogien aus der Natur auf eine mögliche Umsetzbarkeit hin untersucht. Aktuell werden Blutgefäße als Systemdesignmuster näher analysiert. Das Blutgefäßsystem ist so ausgelegt, dass der hydrodynamische Widerstand (Energie

zur Verteilung der Ressourcen) minimiert wird. Bemerkenswert hierbei ist, dass das Blutgefäßsystem bei einer Maus ähnlich aufgebaut ist wie bei einem Wal. Nur dass der um 10^7 mal schwerere Wal nur ca. 70% mehr Verzweigungen bezogen auf das Blutgefäßsystem hat [27]. Dennoch wachsen die Gefäße bei beiden Tieren nach der gleichen Gesetzmäßigkeit, welche am Ende eine effiziente Versorgung aller Organe und Körperteile ermöglicht (vgl. WEB-Model [28]). Diese Erkenntnis liefert somit die Analogie für die Layout-Thematik, da es einer Minimierung der Transportdistanzen gleichkommt. In Bild 6 sind Layouts aus dem General Retail (GR) Bereich der KNAPP AG auf zwei unterschiedliche Blutgefäßlayouts übertragen worden. Aus

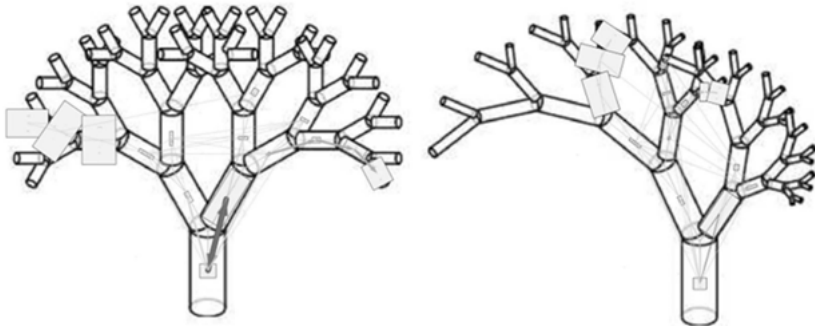


Bild 6: Fabriklayouts nach symmetrischem (links) bzw. asymmetrischem (rechts) Netzwerk als Vorbild [28]

Tabelle 1 ist ersichtlich, dass die bio-inspirierten Verfahren bei GR1 eine deutliche Verschlechterung bewirken, währenddessen diese bei Fabrik A sehr wohl zu Einsparungen führen. Dies ist vor allem durch das bereits bestens optimierte Grundlayout von Seiten der KNAPP AG erklärbar, das im Gegensatz zum über die Jahrzehnte gewachsenen Originallayout der Fabrik A steht, welches nicht im Hinblick auf Materialfluss optimiert wurde.

Tabelle 1: Ergebnisse Blutgefäßlayouts

	Transport- leistungsziffer (TLZ)	Einsparung in %
Varianten der Fabrik A		
original Layout	26.894.698	
Symmetrisches Netzwerk Verfahren	16.654.779	38,1%
Asymmetrisches Netzwerk Verfahren	19.411.091	27,8%
Varianten der Fabrik C		
original Layout	1.370.960	
Symmetrisches Netzwerk Verfahren	1.557.702	-13,6%
Asymmetrisches Netzwerk Verfahren	1.892.422	-38,0%
Varianten von KNAPP GR1		
original Layout	115.290	
Symmetrisches Netzwerk Verfahren	241.130	-109%
Asymmetrisches Netzwerk Verfahren	326.676	-183%

5. Fazit

Könnten die Fabriklayouts der Zukunft wie Bienenwaben, Spinnennetze, Nautilus-Schale oder Blutgefäße angeordnet sein? Wie die Untersuchungen zeigen, konnte das neu arrangierte Layout der Fabrik C unter Verwendung des Fibonacci Doppelspiralen Verfahrens die Transportleistungsziffer des Originallayouts um 43,5% reduzieren. Auch die anderen analysierten bionischen Verfahren konnten gute Ergebnisse erzielen, sodass sich der Aufwand, in Zukunft biologisch inspirierte Fabriklayouts zu bauen durchaus, lohnen kann. Und dies insbesondere vor dem Hintergrund folgender Annahme von Tompkins und White: „Es wurde geschätzt, dass zwischen 20% und 50% der gesamten Betriebsausgaben innerhalb der Produktion dem Materialhandhabungskosten zuzuordnen sind. Effektive Fabriklayoutplanung kann diese Kosten mindestens zwischen 10% und 30% reduzieren und daneben auch die Produktivität erhöhen“ ([29], S. 5).

Literaturverzeichnis

- [1] BARTHLOTT, W. ; NEINHUIS, C.: *Purity of the sacred lotus, or escape from contamination in biological surfaces*. In: *Planta* 202 (1997), Nr. 1, S. 1–8
- [2] GLEICH, Arnim von ; PADE, Christian ; PETSCHOW, Ulrich ; PISSARSKOI, Eugen ; AF-FINAS, S.: *Bionik : Aktuelle Trends und zukünftige Potenziale ; 18 Tabellen*. Bremen : Univ. Bremen Fachbereich 4 Produktionstechnik, 2007
- [3] TINELLO, Daniel ; WINKLER, Herwig: *Bionik in der Logistik - Träumerei oder umsetzbares Potential?* In: ZSIFKOVITS, Helmut E.; ALTENDORFER, Susanne (Hrsg.): *Logistics Systems Engineering : 1. Wissenschaftlicher Industrielogistik-Dialog in Leoben*. 1. Aufl. München : Rainer Hampp Verlag, 2013, S. 19–31
- [4] TINELLO, Daniel ; WINKLER, Herwig ; GEBESHUBER, Ille ; DRACK, Manfred: *BioFacLay : Bio-inspired Factory Layouts for Optimal Material Flow*. URL <http://www.biofacalay.info/>. – Aktualisierungsdatum: 2017-07-17
- [5] ARNOLD, Dieter ; FURMANS, Kai: *Materialfluss in Logistiksystemen*. 6., erweiterte Aufl. Berlin, Heidelberg : Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009 (VDI-Buch)
- [6] VDI: *Methoden zur materialflußgerechten Zuordnung von Betriebsbereichen und -mitteln* : VDI 3595. Juni 1999. Berlin : Beuth, 1999 (VDI-Richtlinien 3595)
- [7] BALL, Rafael: *Bibliometrie : Einfach, verständlich, nachvollziehbar*. Berlin/Boston : Walter de Gruyter GmbH, 2014 (Praxiswissen)
- [8] BALL, Rafael ; TUNGER, Dirk: *Bibliometrische Analysen - Daten, Fakten und Methoden : Grundwissen Bibliometrie für Wissenschaftler, Wissenschaftsmanager, Forschungseinrichtungen und Hochschulen*. Jülich : Forschungszentrum Jülich, 2005 (Schriften des Forschungszentrums Jülich Reihe Bibliothek = Library 12)
- [9] TINELLO, Daniel ; KNÖDL, Martin ; JODIN, Dirk ; WINKLER, Herwig: *Study of biomimetics applied to logistics, material handling, SCM and manufacturing : A bibliometric analysis (1990-2013)*. In: *Logistics Journal* 2017 (2017), S. 1–15
- [10] TINELLO, Daniel ; JODIN, Dirk ; WINKLER, Herwig: *Biomimetics applied to factory layout planning : Fibonacci based patterns, spider webs and nautilus shell as bio-inspiration to reduce internal transport costs in factories*. In: *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology* 13 (2016), S. 51–71

- [11] TINELLO, Daniel ; TRUMMER, Wolfgang ; JODIN, Dirk: Efficient approach in modifying material flow systems. In: BOŠNJAK, Srđan (Hrsg.): *XX International Conference on "Material Handling, Constructions and Logistics", MHCL '12, 3 - 5 October 2012, University of Belgrade, Faculty of Mechanical Engineering*. Belgrade, Serbia, 2012, S. 243–246
- [12] MUTHER, Richard ; MOGENSEN, Allan H.: *Systematic layout planning*. 2. ed. Boston, Mass. : CBI Publ. Co, 1973
- [13] RIPON, Kazi Shah ; GLETTE, Kyrre ; MIRMOTAHARI, Omid ; HØVIN, Mats ; TØRRESEN, Jim: Pareto optimal based evolutionary approach for solving multi-objective facility layout problem, 5864 LNCS. In: *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 2009, S. 159–168
- [14] KETTNER, Hans ; SCHMIDT, Jürgen ; GREIM, Hans-Robert: *Leitfaden der systematischen Fabrikplanung*. München : Hanser, 1984
- [15] SCHMIGALLA, Hans: *Methoden zur optimalen Maschinenanordnung*. Berlin : Verl. Technik, 1970
- [16] VDI: *Vorgehen bei einer Materialflußplanung : VDI 2498 Blatt 2*. April 2008. Düsseldorf : VDI-Verl., 2008 (VDI-Richtlinien 2498)
- [17] TINELLO, Daniel ; WINKLER, Herwig ; JODIN, Dirk ; TOFERER, Manfred: Biomimetics applied to factory layout planning: honeycombs as bio-inspiration to reduce internal transport costs in factories. In: KARTNIG, Georg; ZRNIĆ, Nenad; BOŠNJAK, Srđan (Hrsg.): *XXI International Conference on "Material Handling, Constructions and Logistics" : 23rd – 25th September, 2015 : MHCL '15*. Belgrade : University of Belgrade Faculty of Mechanical Engineering, 2015, S. 161–164
- [18] PIRK, C. W ; HEPBURN, H. R. ; RADLOFF, S. E. ; TAUTZ, J.: *Honeybee combs : Construction through a liquid equilibrium process?* In: *Naturwissenschaften* 91 (2004), Nr. 7, S. 350–353
- [19] GLAESER, Georg: *Geometrie und ihre Anwendungen in Kunst, Natur und Technik*. 3. Aufl. Berlin : Springer Spektrum, 2014
- [20] SZPIRO, George G.: *Die Keplersche Vermutung : Wie Mathematiker ein 400 Jahre altes Rätsel lösten*. Berlin, Heidelberg : Springer-Verlag, 2011
- [21] BLUM, Christian (Hrsg.); MERKLE, Daniel (Hrsg.): *Swarm intelligence : Introduction and applications*. Berlin u.a. : Springer, 2008 (Natural computing series)

- [22] FRISCH, K.: *Aus dem Leben der Bienen*. Zweite Auflage. Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg, 1927 (Verständliche Wissenschaft 1)
- [23] DALTON, Stephen: *Spiders : The ultimate predators*. London : A & C Black, 2008
- [24] BIERENS DE HAAN, Johann Abraham: *Die tierischen Instinkte und ihr Umbau durch Erfahrung : Eine Einführung in die allgemeine Tierpsychologie*. Leiden : Brill, 1940
- [25] FOELIX, Rainer F.: *Biology of spiders*. 3. ed. Oxford : Oxford Univ. Press, 2011
- [26] SAUNDERS, W. Bruce (Hrsg.); LANDMAN, N. H. (Hrsg.): *Nautilus : The Biology and Paleobiology of a Living Fossil*. Repr. with additions. Dordrecht : Springer Netherland, 2010 (Topics in Geobiology 6)
- [27] WEST, Geoffrey B. ; BROWN, James H. ; ENQUIST, Brian J.: *A general model for the origin of allometric scaling laws in biology*. In: *Science* 276 (1997), Nr. 5309, S. 122–126
- [28] BRUMMER, Alexander Byers ; VAN SAVAGE, M. ; ENQUIST, Brian J.: *A general model for metabolic scaling in self-similar asymmetric networks*. In: *PLoS computational biology* 13 (2017), Nr. 3, e1005394
- [29] TOMPKINS, James A. ; WHITE, John A.: *Facilities Planning*. New York : Wiley, 1984

VDI-Fachkonferenz
Agile Produktionsversorgungssysteme

Kognitive Roboter in der Intralogistik

Technologien, Trends und Anwendungsbeispiele

Dr.-Ing. **Werner Kraus**, Dr.-Ing. **Kai Pfeiffer**, Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA, Stuttgart

Kurzfassung

Unstrukturierte Umgebungen, große Variantenvielfalt und für den Menschen optimierte Arbeitsabläufe und Verpackungen stellen die Automatisierung des Materialflusses vor große Herausforderungen. Kognitive Roboter sind ein Lösungsansatz, bei welchem stationäre wie mobile Industrieroboter mit Hilfe von Sensoren, Cloud-Vernetzung und Algorithmen einen hohen Autonomiegrad erreichen. In dem Artikel werden Lösungen für Handhabungsaufgaben wie den Griff in die Kiste oder die mobile Manipulation beschrieben, die maßgeblich von 2D- und 3D-Sensoren zur Objekterkennung profitieren. Weiterhin wird ein Ausblick auf maschinelle Lernverfahren für die Sensordatenverarbeitung und das Einlernen neuer Objekte gegeben. Abschließend wird auf die vernetzte Navigation von fahrerlosen Transportsystemen eingegangen.

1. Einleitung

Mit einem durchschnittlichen jährlichen Marktwachstum von 16% setzen sich Industrieroboter als Automatisierungselement durch. Im Jahr 2016 wurden weltweit 294 000 Industrieroboter verkauft, von denen etwa jeder zweite für Handhabungsaufgaben eingesetzt wird [1]. Der Einsatz von Robotern für die Handhabung in der Produktion und der Logistik ist damit der relevanteste Zielmarkt. Die Verbreitung von Robotern wird einerseits getrieben durch die sinkenden Kosten und steigenden Fähigkeiten von Robotern und andererseits durch die steigenden Löhne und die abnehmende Verfügbarkeit von Mitarbeitern.

Die steigenden Fähigkeiten von Robotersystemen basieren im Wesentlichen auf den Algorithmen, die es dem Roboter mit Hilfe von Sensoren erlauben, auch in unstrukturierten Umgebungen Aufgaben durchzuführen. Solch ein kognitiver Roboter

- nimmt wahr (Objekte, Umgebungen, Personen)
- plant Aufgaben und führt sie aus
- interagiert sicher und intuitiv mit dem Menschen
- lernt vom menschlichen Vorbild und aus Erfahrungen

In diesem Artikel werden aktuelle Forschungsbeispiele zu kognitiven Robotern beschrieben. In Kapitel 2 wird auf Bildverarbeitungssysteme zur Objektlageerkennung eingegangen, die schon seit Jahren zum Greifen von Werkstücken und Artikeln verwendet werden. In Kapitel 3 schließt die Anwendung maschineller Lernverfahren an. Die mobile Manipulation als Lösung für die Implementierung von Roboter-zu-Ware-Szenarien in Produktion und Warenlager wird in Kapitel 4 beschrieben. Auf die Entwicklung im Bereich der Navigation von fahrerlosen Transportsystemen wird in Kapitel 5 eingegangen.

2. Bildverarbeitungssysteme zur Objektlageerkennung

Die Objekterkennung ist eine besonders vielseitig einsetzbare Funktion der Bildverarbeitung. Experten des Fraunhofer IPA setzen bereits vielfach bildgebende Sensoren und eigens entwickelte Algorithmen zur Verarbeitung der Daten sowohl für Industrie- als auch für Serviceroboter ein und entwickeln praxistaugliche Anwendungen, wie etwa den rob@work 3, der schon bald in Warenlagern zum Einsatz kommen könnte.

Verfahren zur Objekterkennung und -lageschätzung

Beim erstmaligen Einlernen fotografiert der Roboter ein Objekt von allen Seiten und führt die einzelnen Aufnahmen zu einem konsistenten 3D-Objektmodell zusammen. Bei der Wiedererkennung im operativen Betrieb gleicht er dann die in den Einzelbilddaten gefundenen lokalen Objektmerkmale mit den -modellen ab. Damit ist er in der Lage, dasselbe Produkt später verlässlich wieder zu erkennen, selbst wenn es teilweise verdeckt ist, die Ware ungeordnet lagert oder ungünstige Lichtverhältnisse vorherrschen. Ein markanter Schriftzug mit seinen spezifischen Merkmalspunkten reicht aus, damit ihn der Roboter einem bestimmten Objekt zuordnet. Dafür braucht er nicht mehr als eine Sekunde. Ein Anwendungsszenario dieses Bildverarbeitungssystems für das Greifen von Konsumgütern ist in Bild 01 dargestellt.

Als lokale Merkmale zur Objektmodellierung und -wiedererkennung kommen beispielsweise um Farbinformationen ergänzte SURF-Merkmale (SURF = **S**peeded **u**p **r**obust **f**eature) zum Einsatz. Durch die Verwendung von Merkmalen, die lokale Textur-Charakteristika und Farbe repräsentieren, und deren Akkumulation in einem 3D-Oberflächenmodell des Objektes ist es möglich, auch ähnlich geformte oder ähnlich bedruckte Gegenstände voneinander zu unterscheiden. 3D-Sensoren erlauben einen genaueren Modellabgleich mit einer vorhandenen Objektmodelldatenbank als gewöhnliche Farbkameras, denn sie erfassen auch die 3D-Position sowie die Orientierung der Merkmale und Objekte. Damit können 3D-Sensoren die Objektlage im Raum sicher bestimmen und Mehrdeutigkeiten vermeiden. Außerdem erlauben sie das automatisierte Aufnehmen oder Ablegen mit dem Roboterarm oder der Greifhand.

Ein zentraler Mehrwert der vorgestellten Lösung: Sie ermöglicht eine freie Erkennung beliebiger Gegenstände auch bei großen Sortimenten, weil neue Objekte schnell einlernbar sind. Eine weitere Möglichkeit ist die Objekterkennung anhand von eingelernten CAD-Daten. Hierbei erzeugen 3D-Sensoren eine Punktwolke der zu erkennenden Objekte und gleichen diese mit den CAD-Daten der Objekte ab.

Neben dem Modellieren und Wiedererkennen von Objekten ist die Objektklassifizierung eine wichtige komplementäre Technologie, die für das Verständnis bisher nicht modellierter Gegenstände eingesetzt werden kann. Das Klassifizierungssystem kennt nur Kategorienmodelle von Objekten und kann damit beispielsweise vormals nie gesehene Dosen oder Flaschen der entsprechenden Kategorie zuordnen. Hierfür erfasst das Robotersystem u.a. geometrische Basisformen mittels 3D-Sensoren oder auffällige Texturmuster aus Farbbildern. Die Objektklassifizierungssoftware kann zum Beispiel aus den Daten einer 3D-Punktwolke die Information „drei senkrechte, rechteckige Ebenen“ extrahieren und daraus schließen, dass es sich um ein Paket handelt – unabhängig davon, ob genau dieses Paket in den jeweiligen Abmessungen jemals zuvor gesehen wurde. Auch auf den Objekten aufgedruckte Aufschriften können gelesen und zur Klassenbestimmung des Objektes herangezogen werden.



Bild 01: Über den Abgleich von eingelernten 3D-Modellen oder CAD-Daten identifiziert ein Roboter selbst bei ungünstigen Lichtverhältnissen ungeordnet herumliegende Objekte. (Bild: Fraunhofer IPA)

Anwendungsbeispiele

In der Industrierobotik nutzt das Fraunhofer IPA Bildverarbeitung beispielsweise für das Griff-in-die-Kiste-System, das das automatisierte Vereinzeln von ungeordnet gelagerten Werkstücken ermöglicht. Die über eine Lizenz erhältliche Software bp3 erkennt die Objektlage der einzelnen Werkstücke [2] und kann die besten Greifpunkte sowie die Entnahme und damit auch die kollisionsfreie Bahn des Roboters berechnen. Damit dies schnell und zuverlässig funktioniert, werden 3D-Sensoren über der Kiste oder an den Greifern genutzt. Sie erzeugen eine Punktwolke des Kisteninhalts und die Software gleicht diese mit den eingelernten CAD-Daten der Werkstücke ab. Je nach Greifpunkten und möglicher Weiterverarbeitung des Werkstücks passt die Software auch die Roboterbahn für ein lagerichtiges Ablegen an. Der Dual-Arm Bin Picking Roboter ist in Bild 02 dargestellt.

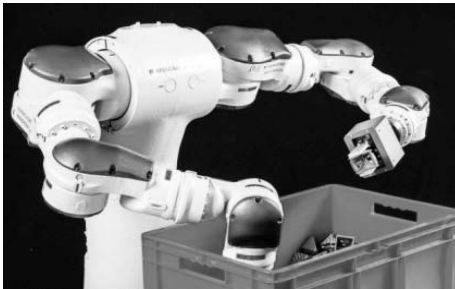


Bild 02: Ein zweiarmiger Demonstrator vereinzelt ungeordnet herumliegende Werkstücke.

Den erfolgreichen Griff-in-die-Kiste ermöglicht die Software bp3. (Foto: Fraunhofer IPA/ Rainer Bez)

In der Servicerobotik haben die Experten vom Fraunhofer IPA unter anderem Technologien für die Warenlager- und Einzelhandelslogistik entwickelt. Hier wurden die Einsatzpotenziale eines mobilen Roboters analysiert, der das Ladenbild überprüft. Dabei inspiziert eine mobile Roboterplattform, die mit entsprechender Kamera- und 3D-Sensorik ausgestattet ist, die Warenregale und prüft, ob sich die ausgestellten Waren am vorgesehenen Platz befinden und ob im Regal leere Kartons zu entfernen sind. Bereits ohne spezielle Optimierungen kann diese Technologie den Großteil des Warensortiments, darunter über 90 % der Waren ab einer Größe von Puddingpulvertüten und größer, sicher erkennen und falsch platzierte Waren zügig identifizieren. Zudem haben die Forscher vom Fraunhofer IPA den Versuchsaufbau für den Kommissionierroboter rob@work 3 für den Einzelhandel und komplexe Warenlager entwickelt. Da-

für haben sie ein Versuchslager mit Einzelhandelswarenregalen eingerichtet, in denen verschiedenste Produkte stehen. Aufgabe des rob@work 3 ist es, sich gemäß einer Kundenbestellung frei durch das Lager zu bewegen und die gewünschten Produkte in ein Paket zu kommissionieren.

3. Einsatz maschineller Lernverfahren

Das „Lernen aus der Erfahrung“ ist eine Komponente von Kognition, welche Roboter mit Hilfe von maschinellen Lernverfahren verliehen wird. Im Folgenden wird auf zwei Forschungsarbeiten eingegangen, die relevant für den Einsatz im Materialfluss sind:

Das Dexterity Network (Dex Net) der Universität von Kalifornien in Berkely ist eine Forschungsplattform, welche über 10 000 3D-Werkstückmodelle und 2,5 Millionen zugehörige Griffe mit einem Zweifingergreifer bereitstellt. Ziel der Plattform ist es, Algorithmen zur Planung von robusten Griffen für ein breites Artikelspektrum wie sie im Haushalt, Beruf und der Industrie vorkommen zu entwickeln. Die Aktivität zeichnet sich dadurch aus, dass eine öffentlich zugängliche Datenbasis geschaffen wird, die zum Training von neuronalen Netzen verwendet werden kann. Die Fähigkeiten der Plattform entwickeln sich kontinuierlich weiter. In Dex Net 1.0 wurden Griffe berechnet, deren Robustheit anhand einer Metrik in Dex Net 2.0 bewertet werden. In Dex Net 3.0 wurde das Greifprinzip um Vakuumgreifer erweitert. Diese Algorithmen sind insbesondere für das Single Item Picking in der Logistik relevant, da dort ein sehr breites Artikelspektrum gehandhabt werden muss und die Bestimmung der Greifpunkte objektspezifisch online erfolgen muss.

Die Arbeiten von Google [3] zeigen den Einsatz von neuronalen Netzen für das Greifen von unbekannten Objekten in einer Kiste. Sie verwenden ein tiefes neuronales Netz, das als Eingang ein Kamerabild der Kiste mit Objekten erhält und als Ausgang die Wahrscheinlichkeit für ein erfolgreiches Greifen prädiziert. Für das Training dieser Netze wurden 800 000 Greifversuche auf 14 Robotern aufgenommen. Das resultierende Verfahren konnte Fehlerraten von 10-20 % erreichen. Vor dem Hintergrund, dass die Roboter keinerlei Vorwissen über die Objekte in der Kiste besaßen, ist das Ergebnis sehr vielversprechend. Gleichzeitig zeigt das Experiment auch den Bedarf nach vielen Datensätzen, die zum Trainieren der neuronalen Netze notwendig sind. Für den Einsatz in der industriellen Praxis stellt sich daher die Frage der Lernumgebung. Mit Hilfe von realitätsnahen Simulationen, die beispielsweise virtuell Gitterboxen chaotisch mit Objekten füllen und Sensordaten erzeugen, lassen sich neuronale Netze ohne langwierige und teure reale Experimente trainieren. Die so gelernten Netze lassen sich anschließend auf die reale Roboteranwendung transferieren (Transfer Learning).

Der Ansatz von virtuellen Lernumgebungen wird im Projekt DeepGrasping (Fraunhofer IPA, Universität Stuttgart) auf den roboterbasierten Griff-in-die-Kiste, also das automatisierte Ver- einzeln von ungeordnet gelagerten Werkstücken, untersucht. Deshalb entsteht aktuell eine virtuelle Lernumgebung in Form eines Simulationsmodells, deren Ergebnisse exemplarisch in Bild 03 dargestellt sind. Damit werden bereits vor der Inbetriebnahme viele Greifprozesse mit dem benötigten Werkstück virtuell durchgeführt. Ein neuronales Netz, also eine Vielzahl an vernetzten Recheneinheiten auf verschiedenen Abstraktionsebenen, lernt aus vielen simulierten Griffen und verbessert sein Prozesswissen kontinuierlich. Die vortrainierten Netze werden dann auf den realen Roboter übertragen.

Die Objekterkennung via Machine Learning (ML) ist für viele Anwendungsfälle eine Schlüssel- technologie, etwa in der Logistik, damit Roboter in Warenlagern Einzelobjekte aus großen Sortimenten erkennen und korrekt greifen können. Ziel ist es, ML für das automatische Erken- nen und Erfassen bisher nicht gesehener Objekte zu nutzen.

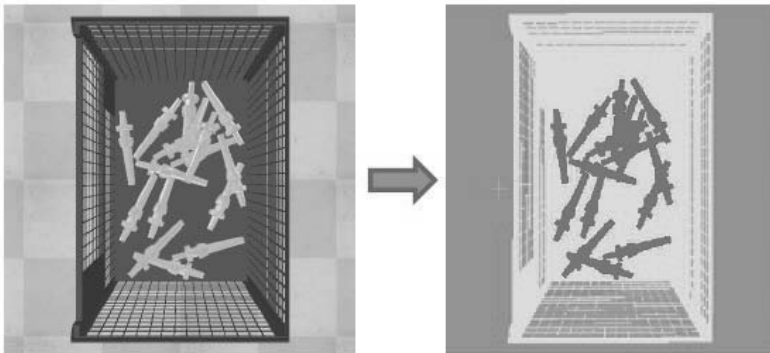


Bild 03: Über Punktwolken erkennt ein Roboter einzelne Bauteile in einer Kiste. (Grafik: Fraunhofer IPA/Marc Teschner)

4. Mobile Manipulation für die Intralogistik

Mobile Manipulatoren halten derzeit verstärkt Einzug in die Logistik. Dabei handelt es sich um klassische Industrieroboter mit Greifer, die auf eine fahrbare Plattform montiert sind. Die International Federation of Robotics schätzt, dass zwischen 2018 und 2020 allein in der Logistik weltweit fast 190 000 industrielle Serviceroboter im Wert von über 5,8 Milliarden US-Dollar neu

angeschafft werden [1]. Der demografische Wandel, steigende Warenumsätze im Online-Verbandhandel, kürzere Lieferzeiten und Mitarbeiterfluktuationen sind die Haupttreiber für diesen Trend. Gleichzeitig verbessert sich das Preis-Leistungsverhältnis von Roboterlösungen stetig.

Das Greifen: Eine Schlüsseltechnologie

Das Greifen ist daher gewissermaßen eine der Schlüsseltechnologien auf dem Gebiet der Servicerobotik. In der Praxis weit verbreitet sind Vakuumbreifer, denn sehr viele Objekte bieten Ansatzpunkte für Saugnapfe, besonders diejenigen mit großen ebenen Oberflächen. Speziell für weiche oder zerbrechliche Ware gibt es die sogenannten „Soft Grippers“, elastische Greifer aus Gummi oder mit integrierten Luftpolstern, welche die Form des zu greifenden Objektes annehmen.

Ein viel versprechender Ansatz ist auch der Kommissionierroboter mit Aufwältzgreifer, den Premium Robotics, eine Ausgründung des Fraunhofer IPA, derzeit zur Marktreife führt: In einer raschen Schwenkbewegung fährt der mobile Manipulator seinen Aufwältzgreifer aus. Motorbetriebene Rollen vereinzeln eine Vorratspackung Getränkedosen von einer Palette und befördern diese auf den Greifer. Der Roboter navigiert zu einer leeren Palette und lädt das Paket dort ab. Der Vorgang wiederholt sich mit anderen Produktgruppen – der Kommissionierroboter arbeitet seine Bestellliste ab. Nach und nach stellt er eine Mischpalette aus ganz verschiedenen Produkten zusammen.

Der Aufwältzgreifer ist flexibel genug, um die über 100 000 verschiedenen Artikelgruppen, die üblicherweise in Zentrallagern vorrätig sind, greifen zu können. Damit kommt der Aufwältzgreifer dem Universalgreifer vergleichsweise nahe. Zudem ist er wirtschaftlicher als eine nachgebaute menschliche Hand, denn der Preis für Greifer steigt mit der Zahl seiner Freiheitsgrade. Mobile Manipulatoren arbeiten deshalb heute spezialisiert und sind je nach Aufgabengebiet mit anderen Greifern ausgerüstet. Denn jedes Objekt stellt andere Anforderungen an einen Greifer.

Mobile Plattformen: Wendig und kommunikativ

Ähnlich variantenreich wie die Greifer sind die mobilen Plattformen, auf denen der Manipulator installiert ist. Wichtig ist zunächst, dass ein mobiler Manipulator möglichst nahe an das Objekt heranfahren kann, das er greifen soll. Dabei haben sich in den engen Gängen von Lagerhallen besonders omnidirektional manövrierbare Plattformen bewährt, die seitwärts fahren und sich auf der Stelle drehen können. Es sind folglich weniger Rangierflächen nötig, wodurch der Anteil von Ausstell- und Lagerflächen entsprechend zunimmt.

Bis heute besteht in den allermeisten Fällen eine zeitliche Trennung zwischen Mobilität und Manipulation. Ein mobiler Manipulator bewegt Arm und Greifer also erst dann, wenn er vollständig zum Stehen gekommen ist. Gleichzeitiges Fahren und Greifen ist technisch zwar durch die softwareseitige Synchronisierung der Arm- und Plattformantriebe möglich. Allerdings ist dann der Griff ins Regal ohne zusätzlichen Aufwand heute noch nicht so präzise wie in der Logistik gefordert.

Um sicher durch die dynamische Umgebung einer Werkshalle navigieren zu können, sind mobile Plattformen mit Sensoren wie beispielsweise Laserscannern ausgestattet. Mit dieser Hardware lokalisieren sie ihren gegenwärtigen Standort, erkunden ihre Umgebung und erkennen spontan auftretende Hindernisse. Eine Software plant den Weg des Roboters durch die Werkshalle und legt, sofern gewünscht, eine Ausweichroute fest, sobald ein Hindernis auftritt. Die einzelnen mobilen Manipulatoren sind über WLAN mit einem zentralen Management-System verbunden. Dieses weist jedem einzelnen Roboter Aufgaben zu und berechnet die Routen.

Für die Bewegungskoordination: „Robot Operating System“

Damit ein mobiler Manipulator ein Objekt greifen kann, muss er zunächst einmal sicher an dessen Standort navigieren. Danach richtet er Arm und Greifer in einer genau festgelegten Bewegungsabfolge auf das zu greifende Objekt aus. Die Bewegungskoordination regeln dabei Codes, die bisher häufig in komplexen, herstellerspezifischen Programmiersprachen verfasst sind.

Doch inzwischen beginnt sich die Open-Source-Software „Robot Operating System“ (ROS) allmählich in der Industrie durchzusetzen, die auch am Fraunhofer IPA verwendet und weiterentwickelt wird. Einen Teil ihrer Entwicklungen stellen die IPA-Experten der ROS-Community kostenlos zur Verfügung. Andere fassen sie zu umfangreichen „Libraries“ (Bibliotheken) zusammen, in die die Erfahrungen aus vielen verschiedenen Forschungs- und Industrieprojekten einfließen. Über Lizenzverträge stellt das Fraunhofer IPA seine Libraries der Industrie zur Verfügung.

Um die Verbreitung von ROS in der Industrie weiter zu fördern, ist am 1. Januar 2017 das Forschungsprojekt „Qualitätsgesicherte ROS-Industrial-Softwarekomponenten für die Robotik“ (ROSIN) angelaufen, an dem das Fraunhofer IPA und fünf weitere Partner beteiligt sind. Erreichen wollen die Forscher ihr Ziel mit drei Hauptaktivitäten: die Gewährleistung industriereifer Softwarequalität, die Bereitstellung von 33 % des Projektbudgets für Nutzer und Entwickler businessrelevanter Anwendungen sowie Weiterbildungsangebote für Studierende und Industriepartner. Die Europäische Union fördert das Projekt mit mehr als 7,5 Millionen Euro.

Schließlich ist die Automatisierung der Intralogistik mit untereinander vernetzten mobilen Manipulatoren ein wichtiger Schritt in Richtung Industrie 4.0.

5. Von der Cloud-Navigation von fahrerlosen Transportsystemen zum digitalen Schatten

Fahrerlose Transportsysteme (FTS) sind in den allermeisten Einsatzumgebungen noch immer unflexibel: Die einzelnen Fahrzeuge folgen fest vorgegebenen Routen. Einmal eingerichtet, lässt sich das System nur noch mit Aufwand an neue Gegebenheiten anpassen. Um Leitlinien auf dem Boden und andere starre Installationen zu überwinden, gibt es unter anderem Cloud-basierte Ansätze zur freien Navigation von fahrerlosen Transportfahrzeugen (FTF). Diese befähigen die FTF, sich zuverlässig, sicher und flexibel ihren Weg durch dynamische Umgebungen zu bahnen. Das ermöglicht einerseits die wandlungsfähige Produktion. Andererseits liefert Cloud-basierte Navigation reale Daten für Materialflusssimulationen und Digitale Schatten.

Ein Ansatz der Cloud-Navigation vom Fraunhofer IPA vernetzt alle FTF sowie die stationären Sensoren, wie etwa Laserscanner, in einer Werkshalle über die Cloud miteinander, wie es in Bild 04 skizziert ist. Das ermöglicht die kooperative Umgebungskartierung und Pfadplanung über einen zentralen Navigationsserver. Dieser berechnet die Bahnen jedes einzelnen FTF und bessert umgehend nach, sobald ein spontan auftretendes Hindernis registriert wird.

Kooperative Pfadplanung und -optimierung

Bestandteil der Cloud-basierten Navigation ist das eigens entwickelte Softwaremodul „Cooperative Longterm-SLAM“. SLAM steht dabei für „**S**imultaneous **L**ocalization and **M**apping“. Es handelt sich um ein Verfahren, bei dem sämtliche fest im Raum installierten Laserscanner und die Sensoren aller FTF zusammen fortlaufend Informationen über ihre Umgebung sammeln und daraus eine stets aktuelle Umgebungskarte generieren. Auf dieser Datengrundlage errechnet ein Cloud-basierter Navigationsserver die Routenkarten für jedes einzelne FTF derart, dass das globale zeitliche Optimum für die ganze Flotte erreicht wird. Dabei wird die Pfadplanung quasi in Echtzeit ständig kontrolliert, sodass die Routen der Fahrzeuge auch an neu auftretende Hindernisse angepasst werden.

Dennoch kann ein FTF während der Navigation jederzeit auf ein spontan auftretendes Hindernis treffen, etwa dann, wenn ein Mensch seine Bahn kreuzt. Bislang haben mobile Systeme in einer solchen Situation vor dem Hindernis angehalten und nach einer vorgegebenen Wartezeit auf ihre Situation aufmerksam gemacht. Doch nun berechnet das Softwaremodul „Predictive Driver“, entwickelt am Fraunhofer IPA, sofern gewünscht, einfach eine Ausweichroute und vermindert so Verzögerungen im Materialfluss.

Wie genau „Predictive Driver“ funktioniert, veranschaulicht ein mit Perlen besetztes Gummiband: Spannt man es von der aktuellen Position des FTF zu dessen Zielpunkt, beschreibt es im Idealfall eine exakte Gerade. Die Größe der Perlen symbolisiert dabei die Abmessungen des FTF zusammen mit dem Mindestabstand, den es aus Sicherheitsgründen stets einhalten muss. Ein potenzialfeldbasiertes Verfahren regelt, wie sich das perlenbesetzte Gummiband durch die Gänge eines Hochregallagers schlängelt: Von allen Objekten im Raum gehen abstoßende Kräfte aus, die das sogenannte „Elastic Band“ auf Abstand halten. Als entscheidende Komponente verwendet der „Predictive Driver“ nun noch die Zeit. Dynamische Hindernisse werden in ihrer Bewegung analysiert und ihre weitere Bewegungsrichtung und -geschwindigkeit extrapoliert. An diese „Vorhersage“ passt sich das „Elastic Band“ derart an, dass es entweder vor oder nach den Hindernissen eine Stelle passiert und es somit zu keiner Kollision kommen kann.

Einsparungspotenzial dank Cloud-basierter Navigation

Damit ermöglichen die beiden Softwaremodule „Cooperative Longterm-SLAM“ und „Predictive Driver“ die sichere, zuverlässige und flexible Navigation von FTF durch ein dynamisches Umfeld, ohne dass diese die rechenintensiven Navigationsalgorithmen, die dafür nötig sind, selbst ausführen müssen. Durch die Cloud-basierte Navigation werden FTS also zugleich leistungsfähiger und wirtschaftlicher, weil der Energiebedarf pro Recheneinheit um 70 % sinkt. Zudem ergeben sich in bestimmten Fällen bis zu 80-prozentige Kosteneinsparungen bei der Hardware, weil die einzelnen FTF dank der Cloud-basierten Navigation mit weniger Sensoren auskommen.

Materialflusssimulationen auf Grundlage realer Daten

Da vorhandene FTS jederzeit mit der Cloud-Navigation nachgerüstet werden können und so die Produktion schnell und kostengünstig wandlungsfähig gestaltet werden kann, findet diese Technik zusehends Anwendung in der Industrie. Aber auch für moderne Industrie-4.0-Anwendungen bieten vernetzte FTF interessante Perspektiven: Denn die Cloud liefert quasi in Echtzeit Daten. Daraus können Produktionsplaner einen Digitalen Schatten erzeugen und diese als Entscheidungsgrundlage für weitere Optimierungen oder Umplanungen zu Rate ziehen. Denn die Cloud-basierte Navigation ermöglicht erstmals Materialflusssimulationen auf der Grundlage realer Daten: Sogenannte NUC-PCs, leistungsstarke Kleinstrechner, simulieren virtuelle FTF. Gleichzeitig erfassen stationäre Laserscanner das gesamte Geschehen in einer Werkshalle. Mit einer solchen Installation lässt sich simulieren, wie echte FTF in einer dynamischen Umgebung zum Beispiel auf Menschen reagieren, die achtlos ihre Bahn kreuzen. Die

Visualisierung der simulierten Fahrzeuge kann entweder klassisch an einem PC oder auch durch Augmented-Reality-Brillen erfolgen.

Produktionsplaner können aus diesen Daten beispielsweise ersehen, welchen zusätzlichen Weg ein FTF im Falle eines dynamischen Hindernisses zurücklegen würde, wie groß die daraus resultierende zeitliche Verzögerung wäre, mit der es sein Ziel erreicht, und um welchen Faktor sich die Reichweite des Akkus vermindern würde. Zudem können dank solcher Simulationen dynamisch auftretende Staupunkte und andere kritische Stellen schon vorab und nicht erst im Testbetrieb identifiziert und behoben werden.

Die Cloud-basierte Navigation liefert also belastbare Daten, die den realen Bedingungen in der Werkshalle näher kommen als herkömmliche Materialflusssimulationen unter idealen Bedingungen.



Bild 04: Über die Cloud miteinander vernetzte fahrerlose Transportfahrzeuge erstellen gemeinsam eine Umgebungskarte und verständigen sich bei drohenden Kollisionen über Ausweichrouten. (Grafik: Fraunhofer IPA)

6. Zusammenfassung und Ausblick

Roboter sind in der Logistik auf dem Vormarsch. Damit sie sich in unstrukturierten Umgebungen mit auf den Menschen ausgerichteten Arbeitsabläufen und großer Variantenvielfalt zu Recht finden, müssen sie über kognitive Fähigkeiten verfügen. Wesentlich dafür sind drei Schlüsseltechnologien: sichere Objekterkennung, robustes Greifen und freie Navigation durch dynamische Umgebungen.

Um ungeordnet herumliegende Werkstücke oder Produkte erkennen zu können, erstellen Roboter entweder ein detailliertes 3D-Modell von jedem einzelnen Objekt oder sie verfügen über die jeweiligen CAD-Daten – für beide Varianten kann Machine Learning eingesetzt werden.

Dieses Maschinelle Lernen liegt häufig auch robustem Greifen von Objekten zugrunde: Entweder unternimmt ein Roboter in der Praxis eine Vielzahl von Greifversuchen bis er schließlich erfolgreich ist oder er simuliert das Greifen. In beiden Fällen speichert er den richtigen Griff für das jeweilige Objekt – und greift bei allen künftigen Einsätzen auf diesen immer größer werdenden Erfahrungsschatz zurück. Auch bei der Navigation ahmen mobile Manipulatoren und fahrerlose Transportfahrzeuge menschliches Verhalten nach und können darüber hinaus sogar noch enger kooperieren: Über die Cloud erstellen sie nicht nur gemeinsam eine Umgebungskarte, sondern verständigen sich auch bei drohenden Kollisionen über Ausweichrouten. Es sind diese kognitiven Fähigkeiten, die es Robotern ermöglichen, den Menschen von monotonen oder gesundheitsschädlichen Arbeiten zu befreien, und den Automatisierungstrend in der Logistik weiter beflügeln.

Literaturverzeichnis

- [1] Hägele, M.: World Robotics Industrial Robots. Statistics, Market Analysis, Forecasts, Case Studies, Frankfurt am Main 2017
- [2] Palzkill, M.: Heuristisches Suchverfahren zur Objektlageerkennung aus Punktwolken für industrielle Zuführsysteme (Dissertation), Stuttgart 2014
- [3] Levine, S. et al.: Learning Hand-Eye Coordination for Robotic Grasping with Deep Learning and Large-Scale Data Collection, o. O. 2016

Herausforderungen und Perspektiven der Materialbereitstellung im Kontext Industrie 4.0

M.Sc. **H. Bayhan**, B.Sc. **I. Hnida**,
Lehrstuhl für Förder- und Lagerwesen FLW,
Technische Universität Dortmund;
Prof. Dr. Dr. h. c. **M. ten Hompel**,
Inhaber des Lehrstuhls für Förder- und Lagerwesen FLW,
Institutsleiter des Fraunhofer IML und des Fraunhofer ISST

Kurzfassung

Die kundenindividuelle Fertigung und die Bewältigung einer großen Variantenvielfalt verlangen nach einer größeren Flexibilität und Anpassungsfähigkeit in der Produktion, um zukünftig wettbewerbsfähig zu bleiben. Produzierende Unternehmen begegnen den steigenden Anforderungen zunehmend mit dem Einsatz neuartiger Technologien aus dem Kontext Industrie 4.0. Neben der Optimierung von wertschöpfenden Prozessen liegt der Fokus nun auch auf der Optimierung von Unterstützungsprozessen wie der innerbetrieblichen Materialbereitstellung. Der vorliegende Artikel beschreibt die Anforderungen an die Materialbereitstellung und die spezifischen Herausforderungen, die sich im Kontext von Industrie 4.0 ergeben. Im Forschungszentrum „Innovationslabor – Hybride Dienstleistung in der Logistik“ in Dortmund wird ein Szenario entwickelt, das die Erforschung von Prozessen der Materialbereitstellung und die damit verbundenen hybriden Interaktionen von Menschen und Maschinen im Zuge des Internet der Dinge und Industrie 4.0 ermöglicht.

Entwicklung der industriellen Produktion

Der Einsatz neuer Technologien, veränderte Kundenbedürfnisse und Marktstrukturen beeinflussen die Produktion stetig. Im Zuge der aktuellen Veränderungen ist der Begriff „Industrie 4.0“ gesellschaftlich fest verankert. Unter Industrie 4.0 ist die vierte industrielle Revolution zu verstehen [1]. Die Entwicklungsstufen der Produktion (erste bis vierte industrielle Revolution) mit ihren zugehörigen Treibern und ihre Einordnung in den zeitlichen Kontext werden im Folgenden kurz beschrieben [2], [3], [4]:

- Die erste industrielle Revolution begann 1750 mit der Entwicklung mechanischer Produktionsanlagen mittels Wasser- und Dampfkraft.
- Darauf folgte seit der Wende zum 20. Jahrhundert die zweite industrielle Revolution, die von der arbeitsteiligen Massenproduktion auf Basis von elektrischer Energie bestimmt wurde. Insbesondere die Fließbandfertigung (Taylorismus, Fordismus) war prägend für diese Zeit.
- Die dritte industrielle Revolution ab den 70er Jahren wurde durch den Einsatz von Elektronik und Informations- und Kommunikationstechnologien vorangetrieben. Diese waren die Grundlage für die zunehmende Automatisierung von Produktionsprozessen.
- Treiber der vierten industriellen Revolution seit Ende des 20. Jahrhunderts ist das Internet der Dinge. Produktionsanlagen, Materialien, Logistiksysteme und Produkte sind über das Internet miteinander vernetzt und bilden ein cyber-physisches System (CPS). Beispiele für CPS sind intelligente Maschinen, Logistiksysteme und Betriebsmittel, die ihre Umgebung mittels Sensoren wahrnehmen, eigenständig Informationen austauschen und auswerten, Aktionen auslösen und sich dadurch selbstständig steuern können.

Mit der vierten industriellen Revolution haben die Komplexität von Produktionsprozessen und die Produktivität ihren bisherigen Höhepunkt erreicht (s. Bild 1). Flexibilität und Wandlungsfähigkeit spielen in der Produktion folglich eine so wichtige Rolle wie nie zuvor.

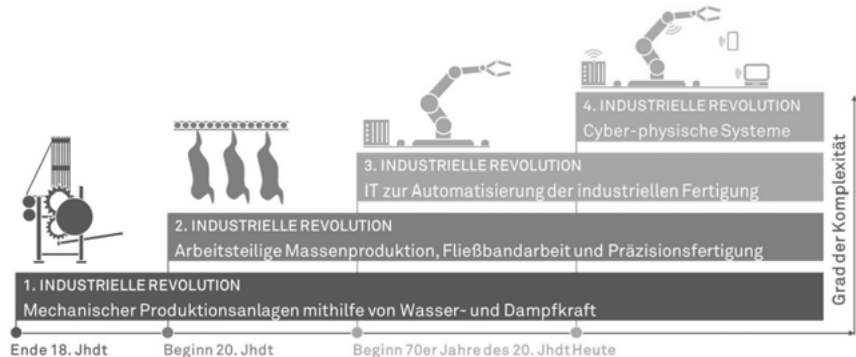


Bild 1: Zeitlicher Verlauf der industriellen Revolution [5]

Im internationalen Kontext wird unter Industrie 4.0 die Digitalisierung der Industrie verstanden. In Deutschland hat der Begriff Industrie 4.0 durch das gleichnamige Zukunftsprojekt im Rahmen der Hightech-Strategie 2020 der Bundesregierung an Bedeutung gewonnen. Ziel dieses

Projektes ist es, durch den Einsatz innovativer Informations- und Kommunikationstechnologien die deutsche Industrie auf die Produktion der Zukunft vorzubereiten und dadurch die Wettbewerbsfähigkeit des Produktionsstandortes Deutschland zu sichern. Dieses Ziel ist auch deshalb besonders wichtig, da der Industriesektor in Deutschland einen international überdurchschnittlichen Anteil von 25 Prozent am Bruttoinlandsprodukt ausmacht [1]. Die Produktion beeinflussenden Faktoren und die daraus resultierenden Herausforderungen, die es zukünftig zu bewältigen gilt, werden im Folgenden dargestellt.

Aktuelle Situation produzierender Unternehmen

Die Produktion der Zukunft ist von stärkeren Absatzschwankungen geprägt, bedingt durch die zunehmende Kundenauftragsproduktion und die internationale Vernetzung der Märkte. Der Trend geht in Richtung individualisierter Produkte unter Berücksichtigung kurzfristiger Kundenwünsche, die Variantenvielfalt steigt. In Folge dieser Entwicklung könnte die Individualproduktion die traditionelle Massenproduktion zunehmend ablösen. Die Produktion der Losgröße 1 wird in einigen produzierenden Branchen bereits realisiert. Um im globalen Wettbewerb auch zukünftig bestehen zu können, müssen produzierende Unternehmen ihre Produkte, Prozesse und Strukturen flexibel und wandlungsfähig gestalten [6]. Hierzu gehören die Verkürzung von Entwicklungszeiten, schnelle und flexible Reaktionen auf Kundenanfragen, Störungen und kurzfristige Veränderungen, sowie eine schnelle und flexible Entscheidungsfähigkeit. Kunden und Geschäftspartner sollen direkt in die Geschäfts- und Wertschöpfungsprozesse eingebunden werden. Eine Steigerung der Produktivität wird angestrebt. Anforderungen an die Produktionsgestaltung bestehen auch hinsichtlich des Ressourcen- und Energieverbrauchs [1].

In der Vergangenheit lag der Fokus auf der Optimierung von Wertschöpfungsprozessen in der Produktion. Als Reaktion auf die Entwicklung hin zu stark individualisierten Produkten mit großer Varianten- und Teilefertigung wurden beispielsweise die Teilefertigung oder die Montage optimiert. Der Trend geht nun zu der Verbesserung und zu der flexiblen Gestaltung von Unterstützungsprozessen wie der innerbetrieblichen Logistik [7], [8]. Nachfolgend werden der Prozess der Materialbereitstellung als Teilbereich der innerbetrieblichen Logistik, sowie seine Umsetzungsmöglichkeiten und Perspektiven, die sich im Kontext der Industrie 4.0 ergeben, genauer betrachtet.

Innerbetriebliche Materialbereitstellung

Die Aufgabe der innerbetrieblichen Materialbereitstellung besteht darin, die Materialien in einem Betrieb für die Arbeitsdurchführung in der vorgesehenen Menge und Art, zu einem spe-

zifischen Termin an einem Bereitstellungsplatz zur Verfügung zu stellen [9]. Die Herausforderung in Bezug auf die aktuellen Entwicklungen in der Produktion liegt in der Bereitstellung der Teilevielfalt in immer kleineren Losen [7]. Die Materialbereitstellung bildet einen Teilbereich der Produktionslogistik und besteht aus den Elementen Planung, Steuerung und Durchführung. Die Planung umfasst unter anderem die Auswahl einer geeigneten Materialbereitstellungsstrategie. Diese Strategien lassen sich nach Art der Bereitstellung (bedarfs- oder verbrauchsgesteuert), der Bereitstellmenge (stückzahlgenau oder gebindeorientiert) und der Form der Bereitstellung (bspw. zusammengefasste Aufträge, Gesamt-/Teilaufträge oder Einzelteile/Baugruppen) eindeutig charakterisieren. Die Planung der Materialbereitstellung umfasst außerdem die organisatorische Gestaltung von Transport-, Umschlags- und Lagerungsmaßnahmen sowie die Auswahl von Bereitstellungs- und Informationstechniken. Die Steuerung besteht aus dem Veranlassen, der Überwachung und dem Sichern der Durchführung der Materialbereitstellung. Zu den Aufgaben der Durchführung zählen die physischen Vorgänge wie Lagern, Kommissionieren, Transportieren und Handling am Arbeitsplatz [8].

Herausforderungen und Trends in der Materialbereitstellung

Die Materialbereitstellung hat großen Einfluss auf die Lieferzeit und Liefertreue als logistische Erfolgsfaktoren [9]. Durch eine effiziente Planung und Gestaltung der Materialbereitstellung lassen sich relevante Kostensenkungspotenziale generieren [7]. Im Rahmen einer jüngeren Studie mit produzierenden Unternehmen haben sich die Faktoren Kostenreduzierung, Verbesserung der Durchlaufzeiten, Optimierung der Liefertreue, Minimierung der Laufwege von Montagemitarbeitern, Steigerung der Materialverfügbarkeit, Orientierung der Materialbereitstellung am Montageablauf, Platzersparnis in der Montage, niedrige Bestände und eine ergonomische Bereitstellung als Zielsetzungen bzw. Anforderungen an eine effiziente Materialbereitstellung ergeben [7].

In der Praxis führen jedoch häufig verschiedene Faktoren dazu, dass die Materialbereitstellung beeinträchtigt wird. Große Auftragsschwankungen, hohe Flexibilitäts- und Variantenanforderungen sowie Ressourcenknappheit (personell, zeitlich) gehen als stärkste Beeinträchtigungen in der Materialbereitstellung aus der Studie hervor. Hinzu kommt, dass häufig keine standardisierten Planungsvorgehen verwendet werden. Die Gestaltung der Materialbereitstellung erfolgt intuitiv. Dies hat zur Folge, dass eine nachträgliche Anpassung der häufig starren Materialflusssysteme bei kurzfristigen Nachfrage- oder Variantenänderungen mit großem Aufwand verbunden ist. Insbesondere die Herausforderungen hinsichtlich der Flexibilität und Anpassungsfähigkeit in Prozessen der Materialbereitstellung gilt es deshalb zu bewältigen [7].

Bezogen auf die Flexibilitätsanforderungen in der Materialbereitstellung werden in der Literatur verschiedene Kategorien angesprochen [9], [10]:

- Layoutflexibilität: Anpassungsmöglichkeit des Bereitstellungssystems an veränderte Materialflüsse
- Durchsatzflexibilität: Anpassungsmöglichkeit des Durchsatzes an geforderte Produktionsleistungen und -schwankungen
- Fördergutflexibilität: Bereitstellung vorab festgelegter Produktspektren (Abmessung und Gewicht) bzw. Produktschwankungen

Zusätzlich sind „eine flexiblere Automatisierung, eine bessere Reaktionsfähigkeit von Prozessen, [...] sowie flexiblere Einsatzmöglichkeiten von Technologien in der Materialbereitstellung“ zu nennen [11]. Klassische Instrumente und Methoden werden in Zukunft bei der Bewältigung der beschriebenen Herausforderungen in der Materialbereitstellung an ihre Grenzen gelangen. Mögliche Lösungen für diese Problematik bietet der Einsatz Industrie 4.0 Technologien [6], [12], [13].

Verschiedene Forschungsprojekte haben sich bereits mit der Anwendung von Industrie 4.0 Technologien in der Materialbereitstellung auseinandergesetzt. Das Fraunhofer IML am Standort Dortmund stellte auf der LogiMat 2017 ein neues Fahrzeug (Emili: Ergonomischer, mobiler, interaktiver Ladungsträger für die Intralogistik) vor, das vollkommen autonom handeln und mit seiner Umgebung interagieren kann. Über Gestensteuerung ist eine direkte Kommunikation mit dem Menschen möglich. Dies funktioniert über Wearables, kleine Computersysteme, die der Mitarbeiter an sich trägt, etwa in Form eines intelligenten Armbands. Diese übermitteln die Gesteninformationen dann per Funk an Emili. Alternativ lässt sich das Fahrzeug auch über Smartphone, Tablet oder Smart Glasses ansteuern [14].

Das Low Cost Automated Guided Vehicle (LOCATIVE) ist ein vom Fraunhofer IML entworfenes Fahrzeug und ermöglicht eine individuelle Anpassung des Chassis, der Lastaufnahmemittel, der Steuerung oder der Kommunikation und lässt sich aus verschiedensten Bausteinen an die individuellen Ansprüche anpassen. Gleichzeitig werden niedrige Materialkosten gewährleistet [14].

Ein weiteres Projekt des Fraunhofer IML und des Lehrstuhls für Förder- und Lagerwesen FLW der TU Dortmund ist der intelligente Behälter inBin, der mit Mensch und Maschine kommuniziert, eigenständig Entscheidungen trifft, seine Umgebung überwacht und Logistikprozesse steuert. Er ist in der Lage den gesamten Kommissioniervorgang zu leiten und zu kontrollieren. Alle Schritte - von der Artikelanzeige über die Bestätigung bis hin zur Fehlermeldung - erfolgen dabei direkt am Behälter [14].

Im dem vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Verbundforschungsprojekt KARIS PRO soll ein Fahrerloses Transportsystem (FTS) den Materialtransport in der Produktion übernehmen. Das System verfügt über eine dezentrale Steuerung und Verfahren zur autonomen Bewältigung von Aufgaben in der Intralogistik. Durch den Plug&Work-Ansatz kann das System ohne Anpassung der Infrastruktur direkt vom Kunden in Betrieb genommen werden und ist robust gegenüber Veränderungen in der Umgebung. Pilotanwendungen des Systems erfolgten bei Bosch und Audi Sport [15]. Zahlreiche weitere Projekte beschäftigen sich ebenfalls mit autonomen Fahrzeugen wie zum Beispiel „FTF out of the Box“ (Situative Verhaltenssteuerung für interaktive, fahrerlose Transportfahrzeuge), „FTS-Selbststeuerung“ (Dezentrale, agentenbasierte Selbststeuerung von Fahrerlosen Transportsystemen) des Instituts für integrierte Produktion Hannover oder IntelliTrans (Intelligentes Transportsystem auf Basis innovativer Linearantriebe mit berührungsloser Energie- und Signalübertragung) des Projektträgers Karlsruhe und dem Karlsruher Institut für Technologie [16], [17]. Auch in der Unternehmenspraxis werden bereits neuartige Technologien in der Materialbereitstellung angewendet. Bei BMW im Werk Regensburg werden bspw. autonome Gabelstapler eingesetzt. Im Werk in Dingolfing versorgen zwei selbstständig navigierende Routenzüge das Montageband mit Material. Die Steuerung erfolgt über Lasersignale. Durch die Auswertung der Reflektionen erstellt der Routenzug in Echtzeit ein digitales 2-D-Raumprofil, das ihm die Wege durch die Montagehalle und die Logistikbereiche aufzeigt [18]. Im Produktionswerk von Mercedes-Benz in Ludwigsfelde erfolgt die Materialversorgung von Teilbereichen der Montage bereits ebenfalls vollkommen autonom. Warenkörbe aus den Logistik- und Kommissionierzonen werden mittels FTF für die Mitarbeiter am Band bereitgestellt und vollautomatisch entladen. Als Vorteile ergeben sich eine verbesserte Arbeitsplatzergonomie, verkürzte Laufwege, direkter Zugriff auf das Material, mehr Platz am Band und eine geringere Unfallgefahr durch Verzicht auf Gabelstapler [19].

Problematik bei der Integration von Industrie 4.0 in der Materialbereitstellung

Bei der Umsetzung von Industrie 4.0 Projekten in der Materialbereitstellung ergeben sich neben den bereits genannten Herausforderungen noch weitere, die sich nach der empirischen Analyse von Blöchl et al. [11] in die drei Dimensionen Mensch, Technologie und Prozesse gliedern lassen (s. Bild 2).

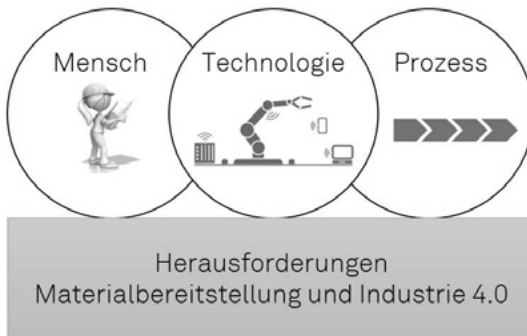


Bild 2: Herausforderungen der Materialbereitstellung im Kontext Industrie 4.0

In der Dimension *Mensch* sind vor allem fehlendes Wissen über den Einsatz und die Anwendung von Industrie 4.0 Technologien in der Materialbereitstellung, mangelnde Akzeptanz und unzureichende Qualifikation der Mitarbeiter zu nennen. Herausforderungen im Bereich *Technologie* sind die steigende Komplexität der technischen Systeme in der Materialbereitstellung und die häufig nicht ausgereiften Technologien, die im spezifischen Anwendungsfall eines Unternehmens keine ausreichende Flexibilität zulassen. In der Dimension *Prozess* besteht die Herausforderung in der Integration von Industrie 4.0 in die Prozesse der Materialbereitstellung. Mangelnder Informationsaustausch zwischen Anbietern und Anwendern von Technologien führt dazu, dass Technologien aus Industrie 4.0 nicht mit den Prozessen der Materialbereitstellung verknüpft werden. Das Wissen über die Gestaltungsmöglichkeiten und die Anwendungsbereiche der Technologien fehlt bei den Anwendern. Den steigenden Anforderungen in der Materialbereitstellung wird häufig nur mit der Einführung von neuen Technologien begegnet. Innovationen in der Prozessgestaltung und der Organisation der Materialbereitstellung werden nicht vorangetrieben, Potenziale der Industrie 4.0 Technologien bleiben deshalb ggf. ungenutzt [11].

Aus der beschriebenen Problematik resultiert die Fragestellung, wie sich die Prozesse und die Organisation der Materialbereitstellung zukünftig verändern werden. Neue Technologien aus dem Kontext Industrie 4.0 gibt es bereits. Die Herausforderung liegt in der effektiven Integration der Technologien in die Prozesse der Materialbereitstellung. Es gilt zu erforschen, ob und wie klassische Bereitstellungskonzepte in Kombination mit Industrie 4.0 Technologien noch funktionieren können und welche Verbesserungen durch den Einsatz derartiger Technologien

zu erzielen sind. Eine wichtige Rolle spielt dabei die Funktion des Menschen und seine zukünftigen Aufgaben in der Materialbereitstellung. Diesen Fragestellungen widmet sich das „Innovationslabor – Hybride Dienstleistung in der Logistik“ in Dortmund.

Innovationslabor Hybride Dienstleistungen in der Logistik

In dem durch das BMBF geförderten Forschungsprojekt „Innovationslabor – Hybride Dienstleistung in der Logistik“ wurde das europaweit größte Forschungszentrum für Industrie 4.0 am Standort Dortmund errichtet, das als neuartiges experimentelles Referenzfeld für innovative Dienstleistungen in der Intralogistik dient. Das Forschungszentrum ist mit unterschiedlichen modularen und frei skalierbaren Referenz- und Experimentiersystemen ausgestattet. Zu den Referenzsystemen gehören:

- Optisches Referenzsystem: Motion-Tracking-System zur Echtzeit-Lokalisierung von Menschen und Objekten
- Funkreferenzsystem: Analyse und Entwicklung von Funkprotokollen, Lokalisierungs- und Näherungsalgorithmen
- Laserprojektionssystem: statische und dynamische Darstellung virtueller Objekte, Markierungen, Hinweissymbole etc.
- Virtual-Reality-System: Abbildung der virtuellen Umgebung auf die Gegebenheiten der realen Umgebung

Zu den Experimentiersystemen zählen:

- Robotersysteme: Transportroboter und autonome Drohnen
- LR-WPAN und andere Drahtlosnetzwerke: u. a drahtloses Sensornetzwerk mit 550 Knoten im Hallenboden
- Vernetztes Rechensystem

Diese genannten Referenz- und Experimentiersysteme sind innerhalb des Forschungszentrums über ein Netzwerk miteinander verbunden und können zur Simulation von Szenarien in Echtzeit und zur Abbildung eines digitalen Zwillings verwendet werden. Auf diese Weise wird die Erforschung von hybriden Interaktionen von Menschen und Maschinen im Zuge des Internet der Dinge und Industrie 4.0 ermöglicht [20].

Diese innovative Form einer interdisziplinären, hybriden und prozessübergreifenden Forschungsumgebung soll zu Beantwortung der nachfolgend aufgeführten zentralen wissenschaftlichen Fragestellungen beitragen:

Durch die Entstehung hybrider Kooperationsnetzwerke, bei denen sich Menschen und Maschinen in einem gemeinsamen Arbeitsraum gegenseitig unterstützen und ergänzen, werden zwangsläufig neue arbeitspolitische und arbeitsorganisatorische Netzwerke entstehen [20].

Daher gilt es die Frage zu beantworten, wie ein verantwortungsvolles, sicheres und zielgerichtetes Handeln in der zukünftigen Mensch-Maschine-Interaktion gestaltet und organisiert werden kann.

Experten prognostizieren, dass bis Ende 2017 8,4 Mrd. vernetzte Geräte im Einsatz sein werden; dies entspricht einem Zuwachs von 31 % im Vergleich zum Vorjahr [21]. Die Folge dieser zunehmenden Vernetzung sowie der dezentralen Steuerung der Akteure eines hybriden Kooperationsnetzwerkes ist der Anstieg der zu verarbeitenden Datenmenge je Dekade etwa um den Faktor 1000 (vgl. [22]). Daraus ergibt sich die Frage, wie das aufkommende Datenvolumen sicher und in Echtzeit drahtlos übertragen werden kann.

In einem intralogistischen Umfeld können immer weiter ansteigende Datenmengen und die zunehmende Datenkomplexität einerseits zu einer Mehrbelastung der Mitarbeiter führen, zum Beispiel in Form von Überforderung oder Demotivation. Andererseits können die zur Verfügung stehenden Daten die Entscheidungsqualität der Mitarbeiter verbessern. Daher leitet sich die Frage ab, wie die menschlichen Fähigkeiten (Intelligenz, Kreativität, Erfahrung, Motorik, Flexibilität etc.) bestmöglich mit den Fähigkeiten technischer (Assistenz-)Systeme (Datenauswertung, -visualisierung etc.) kombiniert werden können.

Durch aussagekräftige Erkenntnisse darüber, wie technische Systeme beispielsweise mittels Big-Data-Analysen oder Verfahren der künstlichen Intelligenz ihre Umwelt intelligenter wahrnehmen, analysieren und bewerten können, soll die Forschung dazu beitragen, deren Anpassungsfähigkeit sowie deren Interaktionsfähigkeit mit dem Menschen und anderen Systemen zu erhöhen.



Bild 3: Struktureller Aufbau des Forschungszentrums (Laserprojektionssystem)



Bild 4: Intelligente Vernetzung von Objekten (FTS Roboter)



Bild 5: Intelligente Vernetzung von Objekten (Drohnen – Motion Capturing Kameras)

Versuchsfeld zur Erforschung von Materialbereitstellungsprozessen in Industrie 4.0

Aufbauend auf der neuartigen Forschungsumgebung im Innovationslabor des Lehrstuhls für Förder- und Lagerwesen FLW wird ein Versuchsfeld entwickelt, das mit virtuellen und realen technischen Systemen ausgestattet wird.

Das Ziel ist die Erforschung von aktuellen und zukünftigen Herausforderungen, die sich aus der Integration von innovativen Technologien im Kontext der Industrie 4.0 in die Prozesse, Organisation und Gestaltung der Materialbereitstellung für produzierende Unternehmen ergeben. Daher gilt es die folgenden Fragestellungen mithilfe des Versuchsfeldes zu beantworten:

- Wie werden sich die Prozesse, die Organisation und Gestaltung der Materialbereitstellung in der Zukunft verändern?
- Wie können Industrie 4.0 Technologien effektiv in die Prozesse der Materialbereitstellung integriert werden?

- Ob und wie können die klassischen Materialbereitstellungskonzepte in Kombination mit Industrie 4.0 Technologien noch funktionieren und welcher Mehrwert kann durch den Einsatz derartigen Technologien erzielt werden?
- Welche Rolle spielt dabei die Funktion des Mitarbeiters und wie werden seine zukünftigen Aufgaben in der Materialbereitstellung gestaltet?

Im Versuchsfeld des Lehrstuhls für Förder- und Lagerwesen FLW werden Szenarien entwickelt, die mit Hilfe von Cardboard-Engineering simuliert und durch die technische Ausstattung des Innovationslabors erfasst und ausgewertet werden. Das Cardboard-Engineering ermöglicht den Nachbau von Maschinen oder ganzen Fertigungszellen unter Verwendung von kostengünstigen Objektrepräsentationen wie beispielsweise Kartons. Auf diese Weise können die Prozessabläufe physisch simuliert werden [23]. Darüber hinaus können die Materialbereitstellungsprozesse durch digitales Cardboard-Engineering untersucht werden, um frühzeitig neue Arbeitssysteme ohne Aufbau physischer Versuchsmodelle zu simulieren. Abschließend werden verschiedene Lösungsszenarien nach relevanten Kriterien (Machbarkeit, Wege, Zeiten etc.) evaluiert.

Für den Aufbau und die anschließende Untersuchung von Szenarien werden die im Innovationslabor installierten hochmodernen Systeme verwendet. Die Lokalisierungssysteme mit 38 passivem Infrarot-Tracking und Hightech-Kameras (Motion Capturing) ermöglichen die Erfassung und Abbildung dreidimensionaler Bewegungen von Menschen, Maschinen und Objekten millimetergenau in Echtzeit. Mit Hilfe des Laserprojektionssystems können zum Beispiel die Materialflüsse visualisiert werden. Hierauf aufbauend werden Versuchssysteme, bestehend aus Fahrerlosen Transportsystemen (FTS) sowie verschiedenen Internet of Things (IoT) Geräten wie intelligente Behälter, Smart Labels sowie Wearables & Mobile Devices, integriert. Da die Systemkomponenten mobil und dezentral gestaltet sind, können mehrere Lösungsszenarien erzeugt werden, die sich beliebig erweitern lassen.

Ausblick und Fazit

Eine effiziente und produktionsgerechte Materialbereitstellung stellt einen wichtigen Wettbewerbsfaktor von Unternehmen dar. Um auf die individuellen Kundenwünsche und zunehmende Produkt- und Prozesskomplexität reagieren zu können, sind Unternehmen gezwungen, ihre Materialbereitstellungsprozesse effizient und flexibel zu gestalten. In Zukunft wird es unabdingbar Anpassungsmaßnahmen zu generieren, welche die Vorteile technologischer Innovationen mit den menschlichen Fähigkeiten kombinieren.

Im Zuge der vierten industriellen Revolution entstehen neuartige Formen der hybriden Interaktion von Menschen und Maschinen. Mit Hilfe von cyber-physischen Systemen wird eine kooperative Arbeitsumgebung errichtet, in der Menschen und Maschinen miteinander kommunizieren und gemeinsam Arbeitsaufgaben erledigen. Diese neue Form der Mensch-Maschine-Interaktion wird im Rahmen des Forschungsprojektes „Innovationslabor – Hybride Dienstleistungen in der Logistik“ untersucht und weiterentwickelt. Der neuartige und zentrale Erfolgsfaktor des Innovationslabors besteht in der interdisziplinären Zusammenarbeit von Experten aus den Fachbereichen der Logistik, IT, Ingenieur-, Wirtschafts- und Sozialwissenschaften. Dabei wird ein Versuchsfeld aufgebaut, welches (auch) zur Erforschung von Szenarien und Anwendungsfällen für die Umsetzung von Industrie 4.0 Projekten in der Materialbereitstellung herangezogen werden kann.

Literatur

- [1] Roth, A.: Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0 – Grundlagen, Vorgehensmodell und Use Cases aus der Praxis. Berlin, Heidelberg: Springer Gabler Verlag, 2016
- [2] Kagermann, H.; Lukas, W.; Wahlster, W.: Industrie 4.0: Mit dem Internet der Dinge auf den Weg zur 4. industriellen Revolution. VDI Nachrichten, Nr. 13, 2015, S. 2
- [3] Bauernhansl, T.; ten Hompel, M.; Vogel-Heuser, Birgit (Hrsg.): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik – Anwendungen, Technologien, Migration. Wiesbaden: Springer Vieweg Verlag 2014
- [4] Ramsauer, C.: Industrie 4.0 – Die Produktion der Zukunft. WINGbusiness, Nr. 3, 2013, S. 6-12
- [5] DFKI (Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz), 2011
- [6] Spath, D. (Hrsg.); Ganschar, O.; Gerlach, M. et al.: Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0. Stuttgart: Fraunhofer Verlag 2013
- [7] Adolph, S.; Metternich, J.: Materialbereitstellung in der Montage – Eine empirische Analyse zur Identifikation der Anforderungen an zukünftige Planungsvorgehen. ZWF (Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb), 111, 2016, S. 15-18
- [8] Bullinger, H.; Lung, M.: Planung der Materialbereitstellung in der Montage. Stuttgart: Teubner Verlag 1994
- [9] Lotter, B.; Wiendahl, H. (Hrsg.): Montage in der industriellen Produktion – Ein Handbuch für die Praxis, VDI-Buch. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag 2013, 2. Auflage
- [10] Günthner, W. (Hrsg.); Wilke, M.; Heinecker, M.: Modulare Materialflusssysteme für wandelbare Fabrikstrukturen. Schlussbericht zum AiF-Forschungsprojekt Nr. 14021 N für den Zeitraum 01.03.2004 bis 28.02.2006
- [11] Blöchl, S.; Schneider, M.; Stolz, K.: Industrie 4.0 – Eine empirische Analyse der Herausforderungen von Prozessplanern. ZWF (Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb), 112, 2017, S. 91-93
- [12] Botthoff, A.; Hartmann, E. (Hrsg.): Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0. Berlin: Springer Vieweg Verlag 2010
- [13] Huber, D.; Kaiser, T.: Wie das Internet der Dinge neue Geschäftsmodell ermöglicht. HMD (HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik), 52, 2015, S. 681-689
- [14] Fraunhofer IML: <https://www.iml.fraunhofer.de>
- [15] BMBF: KARIS PRO – Autonomer Materialtransport für flexible Intralogistik. Abschlussbericht des BMBF-Verbundforschungsprojektes, 2016
- [16] Institut für Integrierte Produktion Hannover (IPH): <https://www.iph-hannover.de>

- [17] <http://www.produktionsforschung.de>
- [18] Rumpelt, T.: Logistik 4.0 serienreif. Automobilindustrie, Nr.3, 2017, S. 53-55
- [19] Wöhrle, T.: Viele Ansätze für smarte Prozesse. DVZ Verkehrs-Zeitung, Heft BALO, 2017, S. 4
- [20] Zeidler, F.; Bayhan, H.; Venkatapathy, A. K. R.; ten Hompel, M.: Referenzfeld zur Erforschung und Entwicklung neuartiger hybrider Formen der Zusammenarbeit von Menschen und Maschinen in der Logistik. Logistics Journal: Proceedings, 2013, S. 1-8
- [21] Egham, Gartner Says 8.4 Billion Connected "Things" Will Be in Use in 2017, Up 31 Percent From, 2016, <http://www.gartner.com/news-room/id/3598917> –Überprüfungsdatum: 2017-07-31
- [22] ten Hompel, Michael; Kirsch, Christopher; Kirks, Thomas: Zukunftspfade der Logistik – Technologien, Prozesse und Visionen zur vierten industriellen Revolution. In: SCHUH, Günther; STICH, Volker (Hrsg.): Enterprise -Integration. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2014. – ISBN 978-3-642-41890-7, S. 203–213 [a]
- [23] Riascos et al.: Concurrent engineering in the 21st century. Foundations, developments and challenges, Springer, Cham, Heidelberg, New York, Dordrecht, London, 2015, S. 355-388

Autonome Routenzugentladung durch intelligente Robotersysteme

Christian Poss, M.Sc., Projekt Innovation und Industrie 4.0;
Dr.-Ing. **Thomas Irrenhauser**, BMW AG, München;
Dr. rer. nat. **Daniel Göhring**, FU Berlin

1 Einleitung

Im Zuge des gestiegenen Individualisierungsgrades von Automobilen auf globalen Märkten haben sich Aufwand und Komplexität in den Logistikketten der Fahrzeughersteller deutlich erhöht. Um sich auf den immer umkämpfteren Märkten behaupten zu können, liegt der Fokus verstärkt auf einer Optimierung der logistischen Prozesskette durch Innovationen.

Dabei geht der Trend insbesondere auf eine Automatisierung des Materialflusses in den Fahrzeugwerken. So waren hier in den letzten Jahren auf dem Gebiet der Transportautomatisierung verschiedene Ansätze, wie beispielsweise Fahrerlose Transportsysteme oder automatisierte Routenzüge aber auch erste autonome Transportsysteme auf dem Markt erhältlich. Eine ganzheitliche Prozessoptimierung kann jedoch nur erreicht werden, wenn der Fokus nicht nur auf dem Transport der Güter, sondern auch auf deren Handhabung zwischen den einzelnen Transportschritten gelegt wird. Dies wird im Rahmen der vorliegenden Veröffentlichung am Beispiel des „PlaceBots“ - einem Konzept zur Autonomen Entladung von Routenzügen ausgeführt. Hierfür wird zunächst der Materialfluss sowie die Charakteristika der verschiedenen Handhabungsschritte näher betrachtet. Darauf aufbauend werden die Anforderungen an ein autonomes System zur Routenzugentladung abgeleitet und ein diese erfüllendes Hardware- und Softwarekonzept vorgestellt. Am Beispiel der Objekterkennung wird dabei die Notwendigkeit intelligenter Algorithmen veranschaulicht, bevor abschließend zukünftige Forschungsschwerpunkte thematisiert werden.

2 Handhabungsschritte im automobilen Materialfluss

2.1 Materialfluss

Logistische Anlieferkonzepte werden in produktionssynchron sowie produktionsasynchron aufgeteilt. Während bei der produktionssynchronen Versorgung insbesondere die teuren Bauteile bereits in der richtigen Reihenfolge direkt an das Montageband geliefert werden, um zusätzliche Handhabung sowie Lagerfläche zu sparen, wird der Großteil der benötigten Materialien weiterhin produktionsasynchron über verschiedene Vereinzelungen, Lagerstufen sowie Kommissionierungen zum Montageband gebracht. Diese Prozesskette ist in Abbildung 2.1 dargestellt.

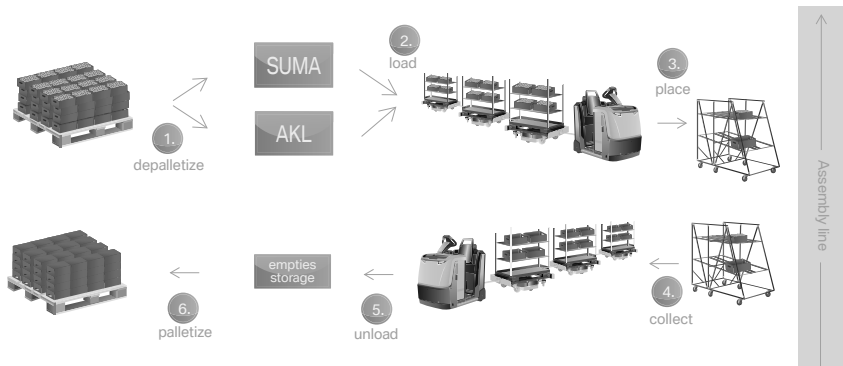


Abbildung 2.1: Materialfluss in Fahrzeugwerken

Die Paletten mit den Vollgutbehältern werden auf Lkws in den Wareneingang geliefert. Nach der Entladung werden diese manuell depalleteiert und eingelagert. Anschließend werden die eingelagerten Behälter bedarfsgerecht auf Routenzüge geladen, welche diese an die jeweiligen Bedarfspunkte am Montageband transportieren. Dort angekommen werden die Routenzuganhänger entladen und die Behälter in die Bereitstellregale übergeben. Parallel dazu werden die bereits geleerten Behälter eingesammelt und auf

die freigewordenen Plätze in den Routenzuganhängern platziert. Nach der vollständigen Verteilung der Vollgut-Behälter, wird das Leergut in die Leergutsortage gebracht. Dort werden die Behälter sortiert, palettiert und abschließend sortenrein an den Lieferanten zurückgeschickt.

2.2 Automatisierung der Handhabungsschritte

Ohne der Berücksichtigung von Transportprozessen, bereits automatisierten Handlungsschritten, wie beispielsweise die Auslagerung aus automatisierten Kleinteilelagern, verbleiben folgende vollständig manuellen Handhabungsschritte:

- Vollgut depalietieren,
- Einzelteile kommissionieren,
- Vollgut bereitstellen,
- Leergut einsammeln und
- Leergut palletieren.

Grundsätzlich lassen sich diese Handhabungsschritte hinsichtlich der zu manipulierenden Objekte in zwei Hauptcluster unterteilen - der Handhabung von Behältern sowie der Handhabung der darin enthaltenen Teile. Erstere stehen dabei im Rahmen dieser Ausführungen im Vordergrund und werden im Weiteren näher betrachtet.

Neben den Gemeinsamkeiten, der Handhabung des kompletten Behälterspektrums, stellen vor allem die unterschiedlichen Gewichte (Voll- vs. Leergut, dh. <15kg vs. <5kg) sowie die Freiheitsgrade des aufzunehmenden Objektes unterschiedliche Anforderungen an Automatisierungslösungen in den einzelnen Teilbereichen. Eine vollständige Prozessautomatisierung mit einer Roboterapplikation ist daher - selbst falls es technisch möglich wäre - zumindest wirtschaftlich nicht sinnvoll. Entsprechend wurden und werden bei der BMW Group spezialisierte Robotertypen für die einzelnen Handhabungscluster entwickelt. Der Roboter für die Bandbereitstellung sowie das Einsammeln des Leerguts wird dabei im folgenden näher betrachtet.

3 Automatisierung der Routenzugentladung

In diesem Kapitel werden zunächst die Anforderungen an eine Automatisierung der Routenzugentladung ausgeführt. Anschließend wird das davon abgeleitete Roboterkonzept vorgestellt.

3.1 Anforderungen an eine Automatisierte Routenzugentladung

Die Anforderungen an ein Robotersystem zur Automatisierung der Routenzugentladung werden in zwei Kategorien aufgeteilt. Der erste Teil der Anforderungen kann aus den zu erledigenden Aufgaben aus dem logistischen Prozessen im Werk abgeleitet werden. Der zweite Teil spezifiziert darüberhinaus die unterschiedlichen Rahmenbedingungen, unter welchen die technischen Funktionen von Kategorie 1 robust und prozesssicher ausgeführt werden müssen.

Die grundlegende Aufgabe im Rahmen der Bandbereitstellung ist das Greifen sowie das Transportieren der Behälter vom Routenzuganhänger zum Bereitstellungsregal für Vollgut und umgekehrt (A). Da hierbei ein vollständiger Voll- Leergutwechsel durchgeführt wird, muss der Roboter eine Traglast von mindestens 15 kg aufweisen (B).

Dieser Prozess der Behälterübergabe ist dabei nicht nur an einem Bereitstellungsregal auszuführen, sondern entlang der gesamten Montagelinie. Dementsprechend ist die Mobilität des Roboters sicherzustellen (C).

Die Bereitstellung der Bauteile am Montageband in Fahrzeugwerken ist insbesondere durch die permanente Anwesenheit von Menschen gekennzeichnet. Deshalb müssen in diesem Umfeld eingesetzte Robotersysteme für die kollaborative Zusammenarbeit mit den Mitarbeitern vor Ort geeignet sein. Dies umfasst sowohl die Implementierung diverser Sicherheitstechnik (D) als auch das transparente und intuitive zur Verfügung stellen prozessspezifischer Roboterinformationen über eine Mensch-Maschine-Schnittstelle.

Entsprechend des in der Einleitung spezifizierten Ziels, der ganzheitlichen Prozessoptimierung zur Einsparung von Kosten in der gesamten Logistikkette, ist bei der Konzeption des Roboters auf ein stimmiges Kostenbild zu achten (E).

Die hohen Automatisierungsgrade im Karosseriebau basieren auf einer Vielzahl von Fixpunkten, standardisierten Strukturen sowie einem gleichbleibenden Umfeld. Im Gegensatz dazu ist die Logistik durch eine hohe Varianz sowie ein stark dynamisches und kontinuierlich veränderndes Umfeld gekennzeichnet. Um stabile Prozessabläufe garantieren zu können, benötigen hier eingesetzte Robotersysteme einen gewissen Grad an Intelligenz, um selbständig auf diese Veränderungen reagieren zu können (F). Diese Anforderung bezieht sich hauptsächlich auf die Algorithmen der Systeme. Eine detailliertere Ausführung hinsichtlich dieser Herausforderungen sowie möglichen Lösungsstrategien erfolgt in Kapitel 4.

3.2 Konzept

Zur Erfüllung der Grundaufgaben, dem Greifen sowie dem Bewegen von Behältern existieren bereits verschiedene Technologien. Beginnend mit der klassischen Fördertechnik, großen Industrierobotern sowie seit einigen Jahren auch kleinere MRK-fähige, kollaborative Roboter.

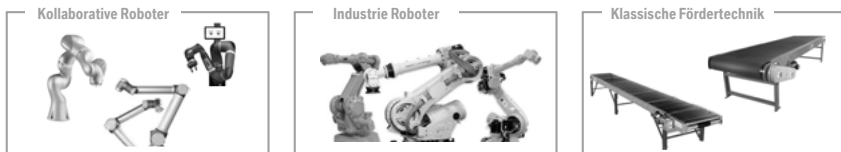


Abbildung 3.1: Technologien zum Greifen und Manipulieren von Objekten im industriellen Umfeld

Werden diese Systeme hinsichtlich der zu erfüllenden Anforderungen näher betrachtet, wie es in Tabelle 3.1 dargestellt ist, zeigt sich jedoch, dass durch keines der Systeme eine Automatisierung der Bandbereitstellung ermöglicht. Während kollaborative Roboter insbesondere hinsichtlich ihrer feinfühligsten Handlingseigenschaften von Objekten, der guten Mobilität aufgrund des geringen Systemgewichts sowie den kollaborativen Eigenschaften Vorteile aufweisen, sind sie wegen der limitierten Traglast nicht geeignet. Diese ist einer der Vorteile von großen Industrierobotern. Nachteilig wirkt sich bei diesen allerdings die stark eingeschränkte Mobilität, fehlende kollaborative Eigenschaften

sowie hohe Kosten aus. Entsprechend der Namensgebung können klassische Fördertechniken Aufgaben im Bereich des Transportes von Objekten erfüllen, weisen allerdings Limitationen in Bezug auf das Greifen von Objekten auf.

Tabelle 3.1: Handlungsbedarf

Anforderung	Kollaborative Roboter	Industrieroboter	Fördertechnik
Behälter greifen	+	+	-
Behälter manipulieren	o	o	+
Traglast 15kg	-	+	+
Mobilität	+	-	-
Kollaborativität	+	-	+
Wirtschaftlichkeit	o	-	+

Soll der Prozess der Routenzugentladung in naher Zukunft automatisiert werden, ohne auf technische Weiterentwicklungen wie beispielsweise MRK-Robotern mit erhöhter Tragkraft zu warten, muss ein neues, eigenständiges Robotersystem entwickelt werden. Ein Blick auf die Tabelle 3.1 zum Handlungsbedarf zeigt auch, dass es keine Anforderung gibt, die von keinem der Systeme erfüllt werden kann. Durch eine intelligente Kombination der jeweiligen Stärken der gezeigten Systeme wurde daher bei der BMW Group im Projekt „Logistics Robotics“ ein innovatives und neuartiges Roboterkonzept entwickelt. Dieses ist in Abbildung 3.2 gezeigt.

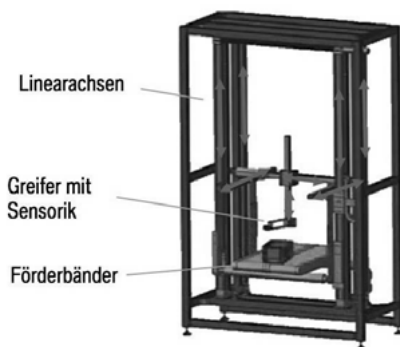


Abbildung 3.2: Systemskizze „PlaceBot“

Das Kernelement des „PlaceBot“ besteht dabei aus einem Greifer zur Aufnahme sowie zwei Förderbändern zum Drehen und zum Transportieren der Objekte. Um Behälter von

jeder Position im dreidimensionalen Raum greifen und übergeben zu können, ist die Fördereinheit an vier Höhenlinearachsen befestigt. Durch eine abweichende Ansteuerung der vorderen sowie der hinteren Achsen können diese zudem die Bänder kippen. Zur Ermöglichung eines von Robotern bekannten Greifprozesses ist darüberhinaus der Greifer an einem x-y-z-Linearachssystem zur größtmöglichen Flexibilität befestigt.

Zentrales Kernelement des Roboters sind seine Fähigkeiten zur Umgebungswahrnehmung. Die dazu notwendige Sensorik befindet sich ebenfalls im Greifer. Als Beispiel der dahinter liegenden Algorithmen wird im folgenden Kapitel näher auf die Detektion der zu erkennenden Objekte eingegangen.

4 Autonomisierung durch Einsatz künstlicher Intelligenz

4.1 Behältervielfalt

An allen der in Kapitel 2 erwähnten behälterbezogenen Handhabungsschritte (1, 3, 4 und 5) muss das vollständige Behälterspektrum abgearbeitet werden können. Da die Auswahl der Behälter in der Logistikplanung insbesondere mit Blick auf eine möglichst hohe Packdichte zur Reduzierung der Transportkosten erfolgt, findet sich im Materialfluss der Werke eine sehr große Behältervielfalt. Sowohl Standard- als auch Sonderbehälter können hierbei beispielsweise grundsätzlich hinsichtlich Material, Größe und Oberflächenbeschaffenheit differenziert werden.

In jedem Fahrzeugwerk befinden sich kontinuierlich ungefähr 400 verschiedene Behältertypen im Umlauf. Da in den jeweiligen Werken Fahrzeuge unterschiedlicher Produktlinien gefertigt werden, können sich diese Behältertypen darüberhinaus in Abhängigkeit der Produkte sowie der geographischen Lage signifikant voneinander unterscheiden. Abbildung 4.1 zeigt hier exemplarisch die häufigsten Behältertypen für die Werke Leipzig (kleine Fahrzeuge) sowie Spartanburg, USA, in welchem die X-Modelle gebaut werden. Des Weiteren ist in dieser Abbildung die prozentuale Häufigkeit der Behälter gezeigt. Nur die zehn häufigsten Behältertypen weisen dabei einen Anteil > 1% am gesamten Materialfluss auf. Um einen stabilen Prozessablauf in der Bandbereitstellung zu ermöglichen, muss allerdings gewährleistet werden, dass alle am Materialfluss beteiligten Behälter prozesssicher Gegriffen, Bewegt und an der Zielposition übergeben werden können.

Die Tatsache, dass in jedem Werk mehrere verschiedene Derivate gebaut werden, welche alle eigenen Entwicklungszyklen unterliegen, führt dazu, dass diese Behältervielfalt stark dynamisch ist und sich wöchentlich verändern kann mit Blick auf Häufigkeiten sowie neuartigen Behältervarianten.

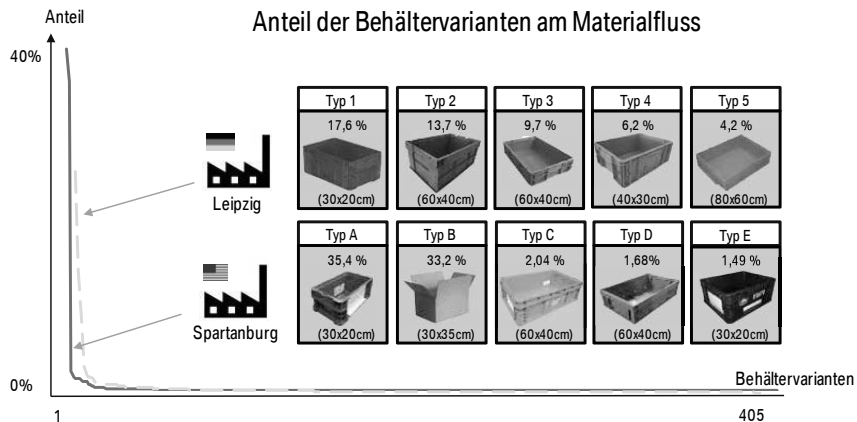


Abbildung 4.1: Prozentuale Behälterverteilung in ausgewählten Fahrzeugwerken

4.2 Umwelteinflüsse

Neben der geplanten Behältervielfalt kommt es durch die Einflüsse des industriellen Logistikumfeldes zu einer weiteren „Individualisierung“ der Behälter. Schmutz, Beschädigungen, Bezeichnungen sowie unterschiedliche Lichteinflüsse beeinflussen insbesondere das optische Erscheinungsbild des Behälters erheblich. Diese ungeplante Vielfalt wird in der Abbildung 4.2 verdeutlicht. Im oberen Bereich der Abbildung sind neue Behälter zu sehen. Exemplarisch für 3 Behältertypen sind im unteren Teil die Auswirkungen der industriellen Einflüsse zu sehen.

4.3 Lösungsansatz

Da diese Behälter auf keinen fix definierten Positionen zu finden sind, müssen sie vor jedem Handhabungsvorgang vom Roboter erkannt und präzise lokalisiert werden. Aufgrund der hohen, dynamischen und teilweise unvorhersehbaren Vielfalt im optischen Erscheinungsbild der Behälter ergeben sich hierdurch besondere Anforderungen an die Objekterkennung des „PlaceBots“.

Aufgrund dieser Varianz ist dieser Anwendungsfall zur Implementierung intelligenter Algorithmen in Form Neuronaler Netze prädestiniert. Ab einer ausreichenden Anzahl

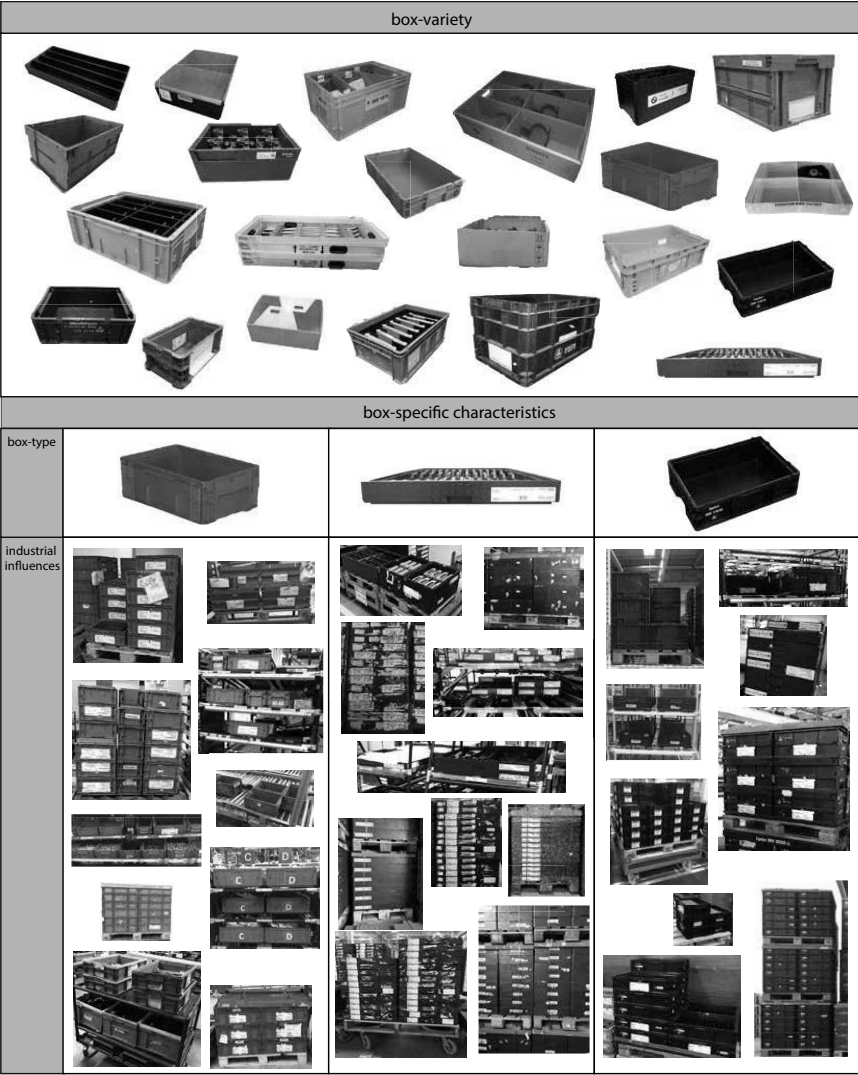


Abbildung 4.2: Überblick über geplante sowie ungeplante optische Behältervielfalt

an Trainingsdaten besitzen diese die Fähigkeit von den gesehen Bildern auf allgemein gültige Konzepte zu abstrahieren. Dies könnte somit die Roboter zur Handhabung zuvor ungesehener Objekte befähigen.

Durch die über die vergangenen Jahre kontinuierlich angestiegene Rechenleistung sowie die immer größer werdenden öffentlichen Datensätze konnten dabei immer beeindruckendere Ergebnisse erzielt werden. Bislang ungeklärt ist die Fragestellung, wie gut diese Netze in die Industrie transformiert werden können. Erste Tests haben hierbei zu dem Ergebnis in Abbildung 4.3 geführt. Diese zeigt einen Vergleich der Genauigkeit einerseits zu den Ergebnissen basierend auf den umfassenden (bis zu 120.000 Bilder) generischen Datensätzen (Pascal VOC, MS COCO). Andererseits wird zudem der Einfluss der Umgebungsbedingungen anhand der Gegenüberstellung der Ergebnisse in deutschen Werken mit denen amerikanischer aufgezeigt.

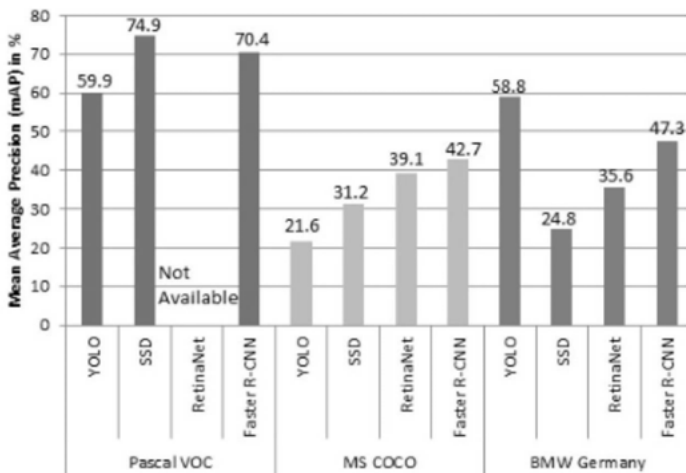


Abbildung 4.3: Performancevergleich Neuronaler Netze basierend auf öffentlichen sowie realen, industriellen Trainingsdaten

Zum Training der Netzwerke wurden 2.000 Trainingsbilder verschiedener logistischer Szenarien aus den Werken München, Regensburg und Leipzig aufgenommen. Die prozentuale Verteilung der fotografierten Behälter ist dabei kongruent zu den Häufigkeiten im realen Materialfluss. Mit diesen Daten wurden anschließend die Netzwerke aus den Challenges trainiert.

4.4 Handlungsbedarf

Der Vergleich mit den Ergebnissen der Challenges zeigt, dass die auf Basis realer Daten trainierten Netze noch nicht die selbe Genauigkeit aufweisen. Gründe hierfür können beispielsweise die geringere Anzahl an Trainingsdaten sowie unausgeglichene prozentuale Verteilung der zu erkennenden Objekte sein. Darüberhinaus kommt es durch die bereits thematisierten Einflüsse zu Fehldetektionen. Eine beispielhafte Auswahl in Abbildung 4.4 veranschaulicht dies.



Abbildung 4.4: exemplarische Fehldetektionen aufgrund von Einflüssen industrieller Rahmenbedingungen

5 Ausblick

Um in naher Zukunft Robotiksysteme zur autonomen Entladung von Routenzügen einsetzen zu können sind weitere Verbesserungen im Software-Bereich notwendig. Hier müssen die Neuronalen Netze zur robusten Objektlokalisierung im industriellen Umfeld auf Basis realer Daten kontinuierlich weiterentwickelt werden. Dazu werden in nächsten Analyseschritten weitere Einflussfaktoren bestimmt, um die Genauigkeit weiter in Richtung der geforderten 99,x % zu bekommen. Ansätze können hier beispielsweise die manuelle Aufnahme sowie die künstliche Erzeugung weiterer Trainingsdaten sein. Die bereits erzielten Ergebnisse sowie die Fortschritte vergangener Jahre stimmen dabei sehr zuversichtlich, dass diese Forschungslücken zeitnah geschlossen werden können.

Routenzug – Nach Plan wie die Bahn!

Dr.-Ing. **I. Meinhardt**, Prof. Dr.-Ing. habil. **T. Schmidt**,
Technische Universität, Dresden;
Dipl.-Ing. **D. Wustmann**, Dipl.-Ing. **M. Dörnbrack**,
LOGSOL GmbH, Dresden

Kurzfassung

In Produktions- und Montagesystemen werden zunehmend Routenzugsysteme eingesetzt. Dabei werden mehrere vorkommissionierte Ladungsträger bei einer Rundfahrt transportiert und bedarfsgerecht an definierte Verbrauchsstellen gebracht. Doch welches Konzept ist besser geeignet: der Einsatz von auf festen Routen und nach starrem Fahrplan verkehrenden Zügen oder eine vom Bedarf gesteuerte Lösung mit variabler Routenführung und damit mehr Flexibilität? Der Vergleich von Simulationsergebnissen für verschiedene Szenarien mit unterschiedlicher Intensität und Variabilität der Transportmengen und modifiziertem Transportwegenetz zeigt, was für viele Anwender die bessere Lösung ist.

1. Wie passen Routenzüge in agile Produktions- und Logistiksysteme von Morgen?

Die globalen Märkte unterliegen einem ständigen Wandel und führen aufgrund ihrer Dynamik zu großen Herausforderungen für Unternehmen. Insbesondere die zunehmend individuellen Anforderungen von Kunden bei gleichzeitig sinkenden Lebenszyklen der Produkte sorgen für ein volatiles Marktumfeld. Unternehmen müssen daher immer schneller auf Veränderungen im Marktumfeld reagieren und dementsprechend anpassungsfähig sein. Die Produktion lässt sich immer weniger standardisieren und die damit verbundenen Unsicherheiten erfordern eine höhere Flexibilität. Diese Entwicklung wird häufig als Veränderung der Massenproduktion hin zur Massenindividualisierung bezeichnet. Hinzu kommt, dass durch technischen Fortschritt ständig sowohl neue Produkte als auch neue Produktionstechnologien zur Verfügung stehen. Eine mögliche Antwort, um auf diese Entwicklung zu reagieren, ist der Einsatz agiler Produktionssysteme. Agilität beschreibt in diesem Zusammenhang die Fähigkeit des Systems, trotz der stärkeren Individualisierung und schwankender Losgrößen, eine kostengünstige Herstellung von qualitativ hochwertigen Produkten zu ermöglichen [1]. Agile Produktionssysteme sollen durch die höhere Flexibilität sicherstellen, dass Veränderungen in der Fertigung kostengünstig und zeitnah umgesetzt werden können.

Die agile Produktion wird oft als Weiterentwicklung des Lean-Managements verstanden, bei der neben des effizienten Einsatzes von Ressourcen nun auch der Fokus auf den Kunden

wieder stärker in den Vordergrund rückt. Der Einsatz der entsprechenden Technologie wird dabei als ein Bestandteil eines insgesamt agilen Unternehmens verstanden. Zusätzlich zur Infrastruktur müssen auch Mitarbeiter und die Organisation des Unternehmens die Idee der Agilität umsetzen. Dies wirkt sich auch auf die Logistik aus, welche ebenfalls an die neuen Bedingungen angepasst werden muss.

Routenzüge¹ werden bisher vor allem in getakteten Produktionen zum werksinternen Transport von Material zwischen Lagern und Bedarfsorten eingesetzt. Ein Routenzug besteht dabei aus einem Schleppfahrzeug sowie Anhängern und versorgt die Produktion bzw. entsorgt Material an vorgegebenen Haltepunkten entlang einer oder mehrerer definierter Routen. Häufig verkehren Routenzüge dabei zyklisch nach einer Taktzeit. Diese legt fest, wann welche Haltestellen entlang einer Route bedient werden [2]. In einem Umfeld mit starken Schwankungen in der Produktion kann dies jedoch zu einem ineffizienten Einsatz der Ressourcen führen. Hinsichtlich des Einsatzes von Routenzügen in agilen Produktionssystemen spielt daher insbesondere die dynamische Optimierung eine wichtige Rolle. Dabei wird die Planung der Routen permanent anhand von Produktionsdaten aktualisiert. Im Sinne der Industrie 4.0 erfordert diese Entwicklung die ständige Verfügbarkeit von Informationen und Daten und somit eine zunehmende Digitalisierung der Produktion sowie der Logistik. Dadurch soll auch während kurzfristigen Schwankungen in der Fertigung ein effizienter Einsatz der Routenzugsysteme gewährleistet werden.

2. Vorteile und Herausforderungen von getakteten Belieferungskonzepten

Ein wesentlicher Vorteil von Routenzugsystemen zur Belieferung von Produktions- und Montagesystemen wird beim Vergleich von Individualverkehr und öffentlichem Personennahverkehr (ÖPNV) ersichtlich: Bewohner in den städtischen Ballungsräumen nutzen Taxis nur gelegentlich, um z.B. am späten Abend nach Hause zu gelangen. Für das tägliche Pendeln zwischen Wohnung und Arbeitsplatz wird der ÖPNV genutzt, der Fahrten in regelmäßigen Abständen auf festgelegten Routen mit definierten Haltestellen anbietet. Neben der Kostenersparnis und der Reduzierung der Gesamtzahl an Fahrten ist insbesondere die bessere Planbarkeit (Startzeitpunkt, Fahrtdauer) als Vorteil hervorzuheben.

Die Übertragung auf den Routenzugeinsatz lässt ähnliche Effekte erwarten. Insbesondere die Planbarkeit bietet erhebliches Potenzial: So können Lagerbestände an den Bedarfsorten auf

¹ Die Begriffe Routenzug, Route, Tour usw. werden entsprechend der Definition in [3] verwendet und deshalb hier nicht weiter erläutert.

ein Minimum reduziert werden bzw. gänzlich entfallen, wenn die Termine für die nachfolgenden Belieferungen längerfristig bekannt sind oder zuverlässig geplant werden können. Idealerweise erfolgen Lieferungen bedarfsbezogen, d.h. sie orientieren sich am Ist-Bedarf anstatt an prognostizierten Verbrauchskennwerten. Das setzt jedoch voraus, dass Bedarfsmeldungen rechtzeitig genug erfolgen können, so dass das noch vorhandene Material ausreicht, um die Zeit bis zur nächsten Belieferung durch den Routenzug gerade noch zu überbrücken. In Montage- und Produktionsprozessen mit hohen Taktraten (z.B. OEM oder Zulieferer im Automotive-Bereich) ist die dafür erforderliche Vorlaufzeit nicht ausreichend, weil aufgrund der kurzen Materialreichweiten eine hohe Routenfrequenz notwendig ist. Deswegen kann in so einem Fall der Einsatz von Routenzügen nur auf der Basis von geplanten oder Soll-Bedarfen erfolgen. Unter diesen Bedingungen ist per se eine gute Planung und Umsetzung von essentieller Bedeutung für den Erfolg. Planung umfasst dabei sowohl die Festlegung von Abfahrzeitpunkten und genauer Routenführung (Fahrplan) als auch detaillierte Angaben zu Art, Menge und Reihenfolge der zu verladenden Ladungsträger (Verladeplanung). Sind mehrere Routenzüge (auf einer oder auf mehreren Routen) unterwegs, ist zusätzlich mögliches Konfliktpotenzial zwischen den Routenzügen in die Planung einzubeziehen:

- im Supermarkt und vorgelagerten Bereichen muss ausreichend Kapazität vorhanden sein, um bei Bedarf mehrere Routenzüge gleichzeitig beladen zu können,
- die zeitliche Auslastung von Routenzug und Fahrer kann durch Synchronisation (im Allgemeinen Verkürzung) von Routentakten und einmalige oder regelmäßige Verschiebung von Routenstarts deutlich verbessert werden [4],
- Verschiebung der geplanten Startzeitpunkte ist ggf. nicht zulässig, weil spätere Abfahrt mit der Einhaltung von Lieferterminen kollidiert, und frühere (vorzeitige) Abfahrt an nicht rechtzeitiger Materialbereitstellung für die Verladung scheitert.
- Routenzüge fahren teilweise identische Wege und werden dabei durch vorausfahrende Züge aufgehalten oder behindert (Kreuzungen, Entladung in schmalen Gassen usw.). Laut [5] sind GLT-Routen stärker von Behinderungen betroffen als KLT-Routen, weil bei letzteren ein hoher Anteil der Zykluszeit für das Handhaben der Ladungsträger aufgewendet wird und Behinderungen während der Fahrt weniger ins Gewicht fallen.

Doch wie verhält es sich in Einsatzfällen, wo weniger hohe Anforderungen hinsichtlich der Takt- und Zykluszeiten auftreten und der Zwang zu Fahrplan und minutiöser Verladeplanung nicht so offensichtlich ist?

Um hier belastbare quantitative Aussagen zu bekommen, wurden verschiedene Szenarien simuliert und ausgewertet. Dabei wurden sowohl vereinfachte Modell-Layouts für das Wegenetz

und die Haltestellen als auch ein reales Layout aus einem Produktionssystem zu Grunde gelegt. Analog wurden die Daten zum Transportbedarf aus dem Real-System als auch daraus abgeleitete, idealisierte Modelldaten verwendet. Auf diese Weise entstand ein Bild, mit dem der Titel dieses Artikels untermauert wird: Nach Plan wie die Bahn.

3. Einflussgrößen auf die Dimensionierung von Routenzügen

Die Einflussgrößen auf die Dimensionierung und konzeptionelle Ausgestaltung des Routenzugensatzes sind vielfältig, z.B. [3], [6]. Neben den technischen Merkmalen, die hier nicht weiter betrachtet werden, sollen vor allem die Auswirkungen organisatorischer Aspekte quantitativ bewertet werden. Als Bewertungskenngröße wird einzig auf die Anzahl der Routenzüge (sowohl das Maximum als auch eine Häufigkeitsverteilung) Bezug genommen.

In den Modellrechnungen wurde für den Vergleich eine identische technische Ausstattung für alle Varianten zugrunde gelegt². Das betrifft sowohl das Schleppfahrzeug als auch die Anhänger hinsichtlich Bauform, Tragfähigkeit, Prozesshaupt- und -nebenzeiten usw. Zudem wurde ein homogener Großladungsträgertyp (GLT) für alle zu transportierenden Materialien angenommen, so dass auch identische Handlingszeiten an allen Quellen und Senken vorliegen.

3.1 Grundsätzliches Vorgehen

Mit der VDI 5586 [3] steht ein Berechnungsmodell zur Verfügung, um für eine einzelne Route die Dimensionierung vornehmen zu können. Das Vorgehen basiert auf der Annahme von Mittelwerten und ist für einen mittelfristigen Planungshorizont (strategische Planung) konzipiert. Eine detaillierte Betrachtung im kurzfristigen (operativen) Bereich mit schwankenden Materialbedarfen, variablen Tourenstartzeitpunkten und dynamischer Routenbildung ist mit diesem Vorgehen nicht vorgesehen. Daher musste ein neuer Ansatz gewählt und ein statisches Simulationsmodell entwickelt werden. Ziel der Untersuchung war vor allem, den Einfluss verschiedener Parameter auf die Anzahl an Routenzügen (und damit Routenzugfahrer als wesentlicher Teil der künftig anfallenden Betriebskosten) zu bestimmen. Oberste Priorität für jegliches Planungsszenario wurde auf die Einhaltung der Versorgungssicherheit an allen Bedarfsorten gelegt. Das heißt sowohl die hinterlegten Steuerungsregeln als auch leistungsbestimmende Parameter wie der Routentakt wurde bei Bedarf in den einzelnen Varianten angepasst, so dass alle Materiallieferungen rechtzeitig an den Bedarfsorten ankommen konnten. Nicht berücksichtigt wurde jedoch der Einfluss von Behinderungen zwischen den einzelnen Routenzügen.

² Der Einfluss der technischen Parameter wird bereits in [3] ausreichend dargestellt.

Das Hauptaugenmerk war vor allem darauf gerichtet, zwei verschiedene Betriebsmodi für den Routenzugeneinsatz zu vergleichen: Zum einen der Einsatz auf festen Routen und nach starrem Fahrplan und zum anderen eine dynamische Variante, die vom Bedarf gesteuert wird und mit variabler Routenführung einen weitaus flexibleren Einsatz ermöglicht.

In dem nach Fahrplan verkehrenden Modus wird für jede Route eine Taktzeit ermittelt (z.B. nach [3]). Diese wird zunächst so gewählt, dass damit eine hohe Kapazitätsauslastung erreicht wird. Im Verlauf der Berechnung kann es erforderlich werden, diese berechnete Taktzeit zu verringern, um ausreichende Reserven zur Kompensation von Bedarfsspitzen zu haben.

Die Abfahrtszeit ergibt sich stets aus den für die Route festgelegten Taktzeiten. Sind zum Abfahrtszeitpunkt nicht genügend Materialbedarfe gemeldet, dann fährt der Routenzug teilweise leer, sind mehr Bedarfe gemeldet als Transportkapazität vorhanden ist, werden die Materialien mit den kürzesten Restreichweiten bei der Verladung priorisiert.

Im bedarfsgesteuerten Fall ergeben sich die Starttermine aus den eingegangenen Materialbedarfen und dem aktuellen Status der Beladung. Es wird jedes Mal geprüft, ob der späteste Starttermin für eine rechtzeitige Bereitstellung der verladenen Materialien bereits erreicht ist. Unter Umständen fährt der Routenzug dadurch nur teilweise beladen los, um den Termin einhalten zu können.

Bei jedem Start einer neuen Tour wird die Anzahl aller sich noch unterwegs befindlichen Routenzüge gezählt. Daraus lässt sich eine Häufigkeitsverteilung ableiten, die eine bessere Bewertung ermöglicht als die Beschränkung auf den bloßen Maximalwert.

Als Haupteinflussgrößen wurden neben den (für diese Studie invarianten) technischen Parametern folgende Teilaspekte formuliert:

- Betriebsmodus: Der Einsatz von Routenzügen erfolgt entweder im *Bus-Modus* (Tourenstart nach Fahrplan und auf festen Routen) oder im *Taxi-Modus* (variabler Tourenstart und dynamische Routenführung abhängig von der aktuellen Beladung),
- das einem Hallenlayout zugrunde liegende Transportwegenetz (abgebildet als Graph mit einer Entfernungsmatrix zwischen allen Haltepunkten),
- sowie unterschiedliche mittlere Materialbedarfe, mit denen sich sowohl ein unterschiedlicher Mix an Materialien, deren mittlere Verbrauchskennzahlen als auch deren konkrete Bestellzeitpunkte (statistische Verteilung der Zeitabstände) variieren lässt.

Es wurde ein ausreichend großer Zeitraum festgelegt, um auch zufällige Einflussgrößen mit entsprechender statistischer Sicherheit korrekt einfließen zu lassen. Beim Vergleich der Ergebnisse lassen sich eindeutige Tendenzen erkennen, die im Folgenden diskutiert werden. Dennoch sei davor gewarnt, die quantitativen Ergebnisse in irgendeiner Weise auf andere Einsatzfälle als die hier beschriebenen zu übertragen, um daraus numerisch Prognosen oder

Hochrechnungen abzuleiten. Dazu ist das zu Grunde liegende Parameterspektrum zu komplex und vielfach von projektspezifischen Restriktionen und kundenbezogenen Anforderungen an das Routenzugsystem geprägt. Außerdem ist die Wirkung einzelner nicht quantifizierbarer Einflussgrößen zum Teil nur punktuell bekannt.

3.2 Betriebsmodus

Die Begriffe *Taxi-Modus* und *Bus-Modus* orientieren sich am typischen Einsatz der gleichnamigen Verkehrsmittel im öffentlichen Straßenverkehr: Ein Bus fährt üblicherweise nach einem Fahrplan und auf einem vorgegebenen Weg. Er hält an einzelnen Haltestellen zwecks Ein- und Ausstieg der Fahrgäste. Auf diese Weise ist der Buseinsatz transparent und planbar, d.h. sowohl von Seiten des Betreibers ist der Aufwand leicht bestimmbar (Anzahl der erforderlichen Busse und Personaleinsatzplanung) als auch von Seiten der Passagiere ist der Zeitpunkt der nächsten Abfahrt an jeder Haltestelle bekannt.

Der Taxi-Einsatz kehrt dieses Verhältnis um: Aus einem Pool vorhandener Taxis wird auf Anforderung eines Passagiers und zu beliebigem Zeitpunkt (ohne Fahrplan) eine Fahrt zu einem Zielort gebucht. Dabei wird jedes Mal ein zeitlich oder entfernungsmaßig kürzester Weg bestimmt (dynamische Routenbildung), der zum Zielort und zurück zum Ausgangspunkt (Taxi-stand) führt. Für den Betreiber entsteht der Nachteil, dass keine zeitliche Einsatzplanung möglich ist. Es besteht keine Möglichkeit, die Fahrtwünsche zeitlich so zu beeinflussen, dass eine hohe Auslastung erzielt werden kann. Auf ein zeitlich begrenztes, höheres „Transportaufkommen“ im übertragenen Sinne (z.B. nach dem Ende der Theatervorstellung) kann nur durch einen vergrößerten Fahrzeugpool reagiert werden, wobei dadurch aber die Auslastung keinesfalls verbessert wird. Für den Passagier entstehen zwar teilweise erheblich höhere Kosten, der Vorteil liegt aber in einem Zeitgewinn, weil das Warten auf das nächste Fahrzeug laut Fahrplan ebenso entfällt wie die zusätzlichen Stopps an diversen Haltestellen sowie der verbleibende Fußweg zwischen Zielhaltestelle und eigentlichem Ziel.

Die Übertragung beider Szenarien auf den Einsatz beim Routenzug ist möglich und wird bei unterschiedlichen Anwendern praktiziert. Abweichend sind einige besondere Spezifikationen zu beachten: Material kann nur mittels Direktbelieferung angestellt werden (es gibt kein Umsteigen wie im routenbezogenen Busbetrieb). Daher wird das benötigte Material für einen Bedarfsort stets einer Haltestelle zugeordnet. Im *Bus-Modus* sind die Haltestellen zusätzlich sowohl einer Route zugeordnet als auch in ihrer Reihenfolge determiniert. Üblicherweise erfolgt die Beladung für diese Haltestellen in der Reihenfolge des Eingangs der Bestellungen (FIFO-Prinzip), das ist aber nicht zwingend erforderlich und kann bis kurz vor dem geplanten Startzeitpunkt verändert werden (zumindest theoretisch).

Anders beim *Taxi-Modus*: Hier erfolgt die Beladung zwangsweise in chronologischer Folge (FIFO). Der Routenzug fährt los, sobald keine weitere Transportkapazität mehr vorhanden ist, spätestens jedoch, wenn für irgendein bereits verladenenes Material die späteste zulässige Abfahrtszeit erreicht wurde.

Bei einem nach dem *Bus-Modus* organisierten Routenzugeneinsatz und mehreren Routen ist in aller Regel ein weiterer, übergeordneter Planungsschritt anzustreben [4]: Es geht um Fahrplanoptimierung durch Synchronisierung der Routentakte und ggf. Verschiebung der Routenstartzeitpunkte relativ zueinander, um einen besseren Einsatz von Routenzug und Fahrer zu ermöglichen. Damit sollen vor allem kurzfristige Überschneidungen von gleichzeitigen erforderlichen Fahrten reduziert werden, so dass es zu einer deutlichen Verbesserung der zeitlichen Auslastung der Routenzüge kommt. Allerdings wird dieser Vorteil aufgrund der kürzeren Routentakte und tendenziell häufigeren Fahrten zu einer reduzierten Kapazitätsauslastung führen.

Dieser Aspekt wird bei den hier vorgestellten Untersuchungen nicht berücksichtigt.

3.3 Einfluss des Wegenetzes

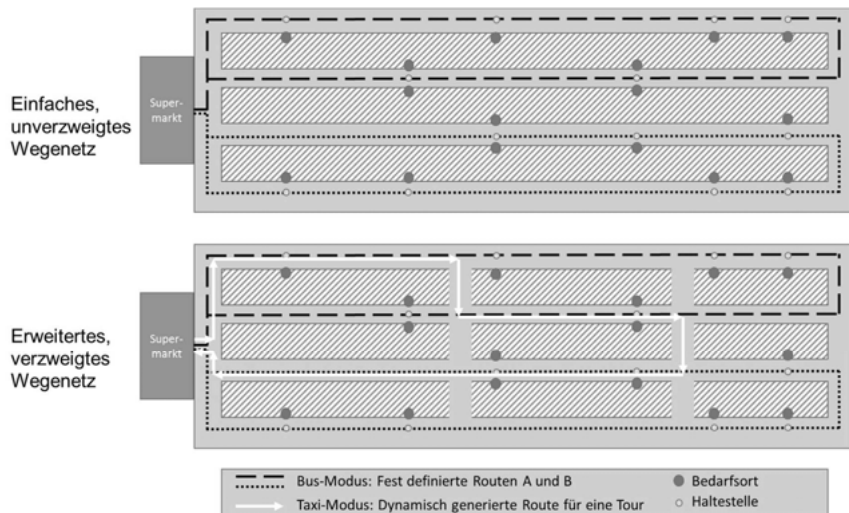


Bild 1: Modellierte Transportwege für ein Einfaches (oben) bzw. ein Erweitertes Layout (unten)

Durch die Abstraktion des Layouts auf ein Knoten-Kanten-Modell (gerichteter Graph) lassen sich Struktur und räumliche Gegebenheiten abbilden. Die Kanten entsprechen den jeweiligen Fahrwegen, die Knoten sind Kreuzungen oder Bereiche mit ausreichend Platz, an denen z.B. ein Wenden des Routenzuges möglich ist. Auf den Kanten befinden sich die Haltestellen.

Bild 1 zeigt im oberen Teil ein einfaches Wegenetz, das drei größere Flächen z.B. für Montageprozesse umschließt (*Einfaches Layout*). Im unteren Teil (*Erweitertes Layout*) sind diese Flächen durch zwei zusätzliche Transportwege aufgeteilt.

Da im *Einfachen Layout* keine alternativen Fahrwege existieren und somit keine kürzeren als die bereits existierenden Routen A und B möglich sind, führt das dynamische Routing entweder zu gleichen oder aber längeren Routen, wenn Haltepunkte von Route A und von Route B anzufahren sind. Dadurch legt ein Routenzug im Mittel eine größere Fahrstrecke pro Tour zurück und ist längere Zeit unterwegs.

Mit den zusätzlichen Transportwegen im *Erweiterten Layout* gibt es die Möglichkeit, dass kürzere Touren entstehen, wenn aufgrund der aktuellen Beladung keine der am weitesten entfernten Haltestellen anzufahren ist. Und da bei sinnvoller Routenbildung auch kaum längeren Touren entstehen, sinken im Mittel die Länge der Fahrstrecke und die Dauer einer Rundfahrt. Dadurch entsteht für den *Taxi-Modus*, der das dynamische Routing nutzt, ein Vorteil gegenüber dem starren und auf festen Routen verkehrenden *Bus-Modus*. Unter Umständen ist die Einsparung so erheblich, dass bei hohen Transportbedarfen die Zahl der gleichzeitig benötigten Routenzüge geringer ist als im *Bus-Modus*.³

3.4 Einfluss des Transportbedarfs

Für jedes zu transportierende Material sind Liefermengen in Ladungsträger pro Stunde (LT/h) bekannt. Daraus ergibt sich ein mittlerer zeitlicher Belieferungsabstand, aus dem ein Zeitfenster für die Belieferung abgeleitet werden kann. Bei Berücksichtigung des Zwei-Behälter-Prinzips darf eine Belieferung nicht vor einem definierten Zeitpunkt erfolgen, weil dann noch kein freier Pufferplatz für das Material vorhanden ist. Der späteste Termin entspricht dem Zeitpunkt für den vollständigen Verbrauch des Materials. Bis dahin ist eine erneute Belieferung zwingend notwendig, weil bei einer Verspätung der nachfolgende Produktions- oder Montageprozess nicht mehr ausführbar ist.

³ Diese Aussagen sind eher nur qualitativ verallgemeinerbar. Ein quantifizierbarer Einfluss kann nur anhand eines konkreten Layouts mit genauer Angabe aller Wege, Lage der Haltepunkte sowie sonstiger Merkmale wie z.B. mögliche Wendepunkte usw. bestimmt werden.

Es stehen insgesamt drei Merkmale für eine detaillierte Definition des Transportbedarfs zur Verfügung:

- **Gesamtbelastung:** Diese erlaubt eine generelle Skalierung des Transportbedarfs und wurde beispielhaft mit den Stufen *Geringer Bedarf*, *Normaler Bedarf* und *Starker Bedarf* auf 60%, 100% und 200% eines angenommenen Lastszenarios festgesetzt.
- **Bedarfsfrequenz:** beschreibt eine Verteilung der mittleren Materialreichweiten und wird mit den Attributen *Normal* bzw. *Exponentiell* auf zwei Fälle eingegrenzt. Während *Normal* ein annähernd gleich häufiges Vorkommen von sogenannten Schnell- und Langsamdrehern generiert, kommt es bei *Exponentiell* zu einer Verschiebung der Häufigkeit zu Gunsten der Schnelldreher. Das führt dazu, dass mehrere Materialien extrem häufig benötigt werden und damit eine bestimmte Lieferfrequenz / Liefertakt erfordern, während andere nur extrem selten benötigt werden.

Mit der sonst üblicherweise verwendeten Pareto-Verteilung wird ein ähnliches Verhalten erzeugt, allerdings wären dazu zusätzliche Parameter erforderlich.

- **Materialreichweite:** Aus den beiden oberen Merkmalswerten ergibt sich eine mittlere Reichweite für ein bestimmtes Material. Mit dem Attribut *Getaktet* wird angenommen, dass das Material immer in einem konstanten Zeitabstand (Reichweite) benötigt wird, während *Ungetaktet* einer variablen Zeitspanne zwischen zwei Bedarfen entspricht, weil z.B. das betroffene Material eine Sonderbaugruppe ist und nicht in jedes Endprodukt einfließt.

4 Ergebnisse

Die Berücksichtigung der beiden Betriebsmodi führt erwartungsgemäß zu unterschiedlichen Anzahlen an erforderlichen Routenzügen. Bild 2 zeigt beispielhaft das Ergebnis für ein Szenario mit getaktetem Materialverbrauch im einfachen und weitgehend unverzweigten Layout 1. Während bei *Geringem Transportbedarf* nur unwesentliche Unterschiede auftreten, zeigt sich bei Zunahme der Transportbedarfe und damit der Häufigkeit von Touren ein deutlicher Vorteil für den auf fixen Routen und nach Fahrplan verkehrenden „Bussen“. Der Vorteil entsteht dadurch, dass die Transportbedarfe über die Haltestellen direkt den einzelnen Routen zugeordnet sind. Dadurch wird sichergestellt, dass sich bei jedem Tourenstart (zumindest im konkreten Fall des *Einfachen Layouts*) immer wegoptimale Rundfahrten ergeben.

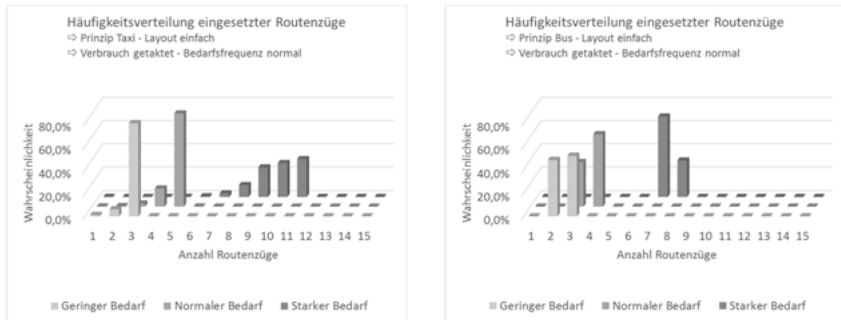


Bild 2: Auswertung Layout 1 – Taxi-Modus vs. Bus-Modus

Während sich die Anzahl der gefahrenen Touren in beiden Modi proportional zur gesamten Transportmenge verhält, verringert sich die mittlere Länge der gefahrenen Touren beim Taxi-Modus wegen der automatischen Routenbildung bei *Starkem Transportbedarf* um etwa 20% gegenüber dem *Normalen Transportbedarf*, weil immer häufiger Touren entstehen, die genau einer der beiden vorhandenen Routen entsprechen.

Ein tendenziell gleiches Verhalten zeigt sich, wenn Material nicht mehr in einem festen Takt, sondern zeitlich ungleichmäßig verbraucht wird. Im Modell werden dazu die Zeitabstände zwischen den Materialentnahmen als exponential verteilt angenommen. Das Ergebnis ist in Bild 3 dargestellt.

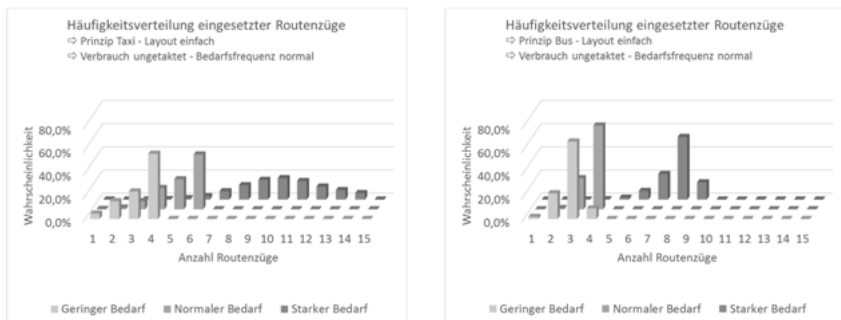


Bild 3: Ungetaktete Materialverbräuche vergrößern die Schwankungen und erfordern zusätzliche Routenzüge

Im Vergleich zum getakteten Fall (Bild 2) fällt zunächst die größere Schwankungsbreite auf: Bei ungleichmäßigem Bestelleingang eines spezifischen Materials kommt es zu Phasen mit überproportionaler Häufung von Transportbedarfen, was sich in kürzeren Taktzeiten und damit

steigenden Anzahl an gleichzeitig eingesetzten Routenzügen niederschlägt. Da sich die Gesamttransportmenge nicht ändert, entstehen ebenso Phasen mit geringeren Transport-

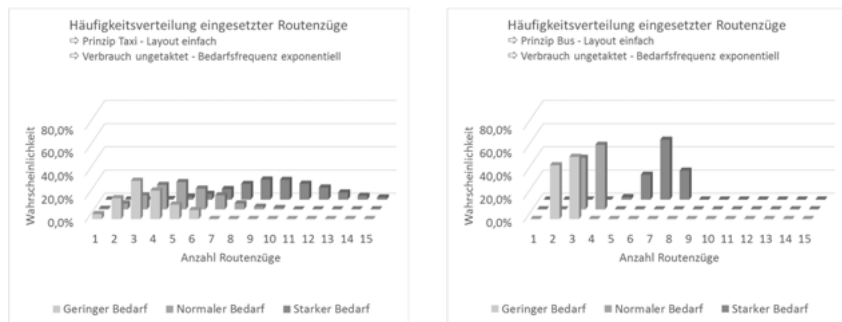


Bild 4: Zunahme der Bedarfsschwankungen aufgrund stärkerer Fokussierung auf Schnell- und Langsamdreher

anforderungen und damit weniger benötigten Routenzügen. Rein visuell scheint der *Bus-Modus* mit festen Routen und Fahrplan besser in der Lage zu sein, die Schwankungen zu kompensieren, tatsächlich gelingt dieser aber nur durch Verkürzung der Routentakten um ca. 10 bis 15 % (und damit mehr gefahrenen Touren bei gleichzeitig verringerter Auslastung). Bei den „Taxis“ bleibt die Anzahl der Touren annähernd konstant, dafür müssen in Spitzenzeiten ein bis fünf Routenzüge mehr zur gleichen Zeit im Einsatz sein.

Zusätzliches Ungleichgewicht entsteht bei Änderungen im Material-Mix, ausgelöst beispielsweise durch eine Häufung von ausgesprochenen Schnelldrehern (Bild 4). Bei *Starkem Bedarf* nimmt die Zahl der gefahrenen Touren zu: beim Bus um 3% (Getaktet) bis 15% (Ungetaktet), beim Taxi um 20 bis 22%. Ähnliches Verhalten auch bei *Geringem Bedarf*, allerdings variieren die Werte bloß um etwa 1 %. Generell heißt dies, dass in beiden Betriebsstrategien Abweichungen von regelmäßigen (getakteten) Belieferungen deutlich stärker wirken als ein Produktmix aus häufig und weniger häufig benötigten Materialien. Der Fahrplanbetrieb ist deutlich besser geeignet, die Schwankungen zu kompensieren.

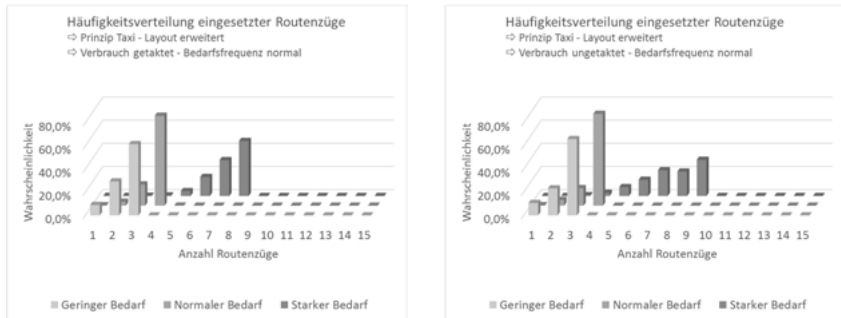


Bild 5: Das Erweiterte Layout mit stärker verzweigtem Wegenetz hat nur Auswirkung im Taxi-Modus

Der Einfluss des Layouts spielt beim *Bus-Modus* nur untergeordnete Rolle, solange weiterhin die gleichen Routen gebildet werden können (Allerdings beeinflusst die Routenbildung selbst als Zuordnung von Haltestellen zu Routen das Ergebnis in erheblichem Maße, siehe Bild 7). Im *Taxi-Modus* ergeben sich wegen der dynamischen Routensuche je Tour unterschiedliche, in den meisten Fällen aber kürzere Touren als mit dem unverzweigten Ausgangslayout (Bild 5 im Vergleich zu Bild 2). Das bedeutet kürzere Fahrzeiten und damit häufigeres Fahren in der gleichen Zeit. Dennoch verringert sich die Anzahl an maximal gleichzeitig benötigten Routenzüge: bei *Normalem Bedarf* von fünf auf vier, bei *Starkem Bedarf* von elf auf acht. Bei *Geringem Bedarf* kommt es ebenfalls zu Fahrzeitverkürzungen, diese sind aber zu gering, um zählbaren Erfolg zu bringen.

Diese Wirkungen gelten sowohl für den *Getakteten* und den *Ungetakteten Materialverbrauch* als auch den Fall mit überproportionalem Anteil von Schnelldrehern (nicht dargestellt). Tendenziell decken sich die Ergebnisse zum Einfluss des Layouts mit denen anderer Untersuchungen (z.B. [5]).

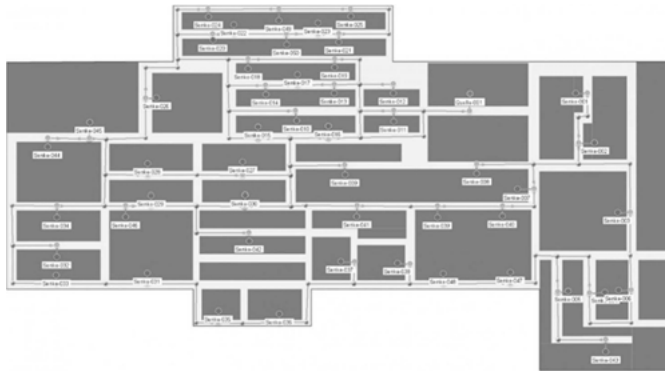


Bild 6: Layout eines Routenzugsystems (erstellt mit RoutMan, dem Routenzug-Planungstool der Logsol GmbH)

Abschließend wurden die entwickelten Verfahren auf ein Realsystem angewendet. Dazu wurde neben dem vom Kunden bevorzugten System im *Taxi-Modus* zum Vergleich ein Fahrplanbasiertes Modell mit zwei bzw. vier definierten Routen bewertet. Bei nur zwei Routen sind die Routen relativ lang und bewirken neben den langen Fahrzeiten auch das zwangsweise Passieren vieler Haltestellen in Randlagen, auch wenn diese nicht bedient werden müssen. Diese Variante kann also von vornherein als relativ ungeeignet angesehen werden. Die Ergebnisse bestätigen diese Vermutung: Insgesamt 12 Routenzüge sind permanent im Einsatz und damit die meisten aller drei Varianten. Die besten Ergebnisse brachte die Variante mit vier Routen, wobei diese eher intuitiv entstanden ist und Potenzial für weitere Verbesserungen (Routenbildung) bietet.

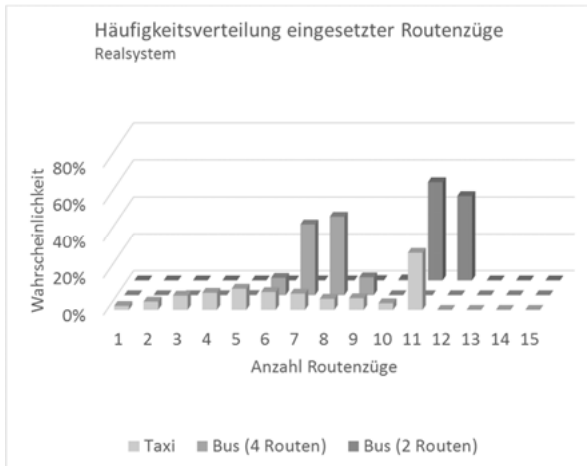


Bild 7: Planungsergebnis für ein reales System: im Taxi-Modus sowie im Bus-Modus auf 2 oder 4 Routen

5 Zusammenfassung

Sowohl die Modelldaten mit teilweise stark vereinfachten Annahmen als auch das untersuchte Realsystem bestätigen den Titel dieses Beitrages: „Nach Plan wie die Bahn!“ ist tatsächlich die bessere Betriebsweise für Routenzüge. Neben den Vorzügen der Planbarkeit und der Transparenz schlägt sich das auch vielfach in ökonomischen Kennzahlen wie Anzahl an Routenzügen (Investition) und Routenzugfahrern (Betrieb) nieder. Außer in Fällen mit *Geringem Transportbedarf* sind die Varianten mit Fahrplan tendenziell besser geeignet, um auf Schwankungen im Bedarf oder den Bedarfszeitpunkten zu reagieren. Die oftmals gepriesenen Vorteile dynamischer Routenbildung werden durch den FIFO-Ansatz für die Beladung zunichte gemacht, weil damit auch zufällig sehr ungünstige Routen gebildet werden.

Literatur:

- [1] Vokura, R. J.; Fliedner, G.: The journey toward agility, *Industrial Management & Data Systems*, 1998, S. 165-171.
- [2] Dörnbrack, M.: Entwicklung und Implementierung eines Verladungsalgorithmus für Routenzugsysteme unter Berücksichtigung von technikspezifischen Restriktionen von Anhängern und Ladungsträgern. Diplomarbeit. Dresden 2017
- [3] VDI-Richtlinie 5586, Blatt 1 und 2, Beuth Verlag 2016
- [4] Reith, K. B.: Entwicklung und Implementierung einer Heuristik zur Fahrplanerstellung bei zyklischen Routenzugsystemen. Diplomarbeit, Dresden 2016
- [5] Staab, T.; Galka, S.; Klenk, E.; Günthner, W. A.: Effizienzsteigerung für Routenzüge – Untersuchung des Einflusses der Routenführung auf die Auslastung und Prozessstabilität. In: 15. ASIM Fachtagung - Simulation in Produktion und Logistik, HNI-Verlagsschriftenreihe, Paderborn, 2013, S. 167-176
- [6] Martini, A.; Stache, U.; Trenker, F.: Automatisierung von Routenzugsystemen. In: *f+h*, 64(2014) Nr. 9 S.16-19 und Nr. 10, S. 10-13.

Condition Monitoring von Transportsystemen in der Halbleiterproduktion – am Beispiel Schienensystem

Condition monitoring of transport systems in semiconductor manufacturing – rail system example

Dipl.-Ing. (BA) **M. Richter**, Dipl.-Ing. **S. Hummel**,
GLOBALFOUNDRIES, Dresden;
Dipl.-Ing. **A. Siegel**, M.Sc., Dipl.-Ing. **A. Zhakov**,
Technische Universität Dresden, Dresden

Kurzfassung

Für den sicheren und schnellen Transport von Wafern werden in 300 mm Halbleiterfabriken vorwiegend Deckentransportsysteme eingesetzt. Diese bestehen aus einem Schienennetz und Fahrzeugen. Die Komponenten des Schienensystems unterliegen hohen Beanspruchungen durch die Fahrzeug-Bewegungsprozesse. Einzelne fehlerbedingte Ausfälle im Schienennetz können sehr hohe Verluste durch Produktionsausfall verursachen. Zur Vermeidung von Staus und Verzögerungen im produktiven System ist eine hohe Verfügbarkeit der einzelnen Schienenabschnitte sicherzustellen. Aus diesem Grund ist bei derartigen Systemen ein hoher präventiver Wartungsaufwand zu betreiben. In einem gemeinsamen Forschungsprojekt der Technischen Universität Dresden und GLOBALFOUNDRIES werden Konzepte erarbeitet, die ein automatisches Condition Monitoring erlauben. Im Ergebnis wird eine bedarfsgerechte, ressourcenschonende und effiziente Wartung im 24/7 Betrieb ermöglicht.

Abstract

In 300 mm semiconductor factories, normally overhead transportation (OHT) systems are used for a safe and fast transport of wafers. These systems consist of a rail network and OHT vehicles. The components of the rail system are subject to high stress through vehicle motion processes. Individual fault-related failures in the rail network can cause considerable damage and loss of production. Therefore, and in order to avoid serious delays in the production process, it is necessary to reduce the fault probability to a minimum. For this reason, extensive preventive maintenance should be used with such rail system. In a joint research project at the Technische Universität Dresden and GLOBALFOUNDRIES, approaches were developed that allow automatic condition monitoring. The result is a needs-based, resource-saving and efficient maintenance procedure in 24/7 manufacturing.

1. Einleitung

Die Produktion von Mikrochips unterliegt einem der komplexesten Fertigungsprozesse. Die Komplexität wird durch vielfältige Produktvarianten mit jeweils mehreren hundert Produktionsschritten und in sich mehrfach wiederkehrenden Prozessschrittfolgen sowie der großen Anzahl an Produktionsmaschinen (Tools) verursacht. [1]

Darüber hinaus sehen sich die Halbleiterhersteller mit immer stärkeren Forderungen nach Flexibilität in der Produktion, bedingt durch Technologiewechsel, kleineren Losgrößen und kürzeren Lieferzeiten konfrontiert [2, 3, 4 und 5]. Das innerbetriebliche Transportsystem (Automated Material Handling System (AMHS)) kann die gestellten Anforderungen nicht ohne Weiteres erfüllen, da es für eine konstante Transportlast geplant und installiert wurde [2, 4]. Als Transportsystem werden in 300 mm Halbleiterfabriken vorwiegend Deckentransportsysteme eingesetzt (siehe Bild 1). Diese bestehen aus einem Schienennetz mit mehreren Kilometern Streckenlänge und mehreren hundert OHT-Fahrzeugen (Overhead Hoist Transfer). Die Fahrzeuge transportieren jeweils bis zu 25 Wafer in sogenannten FOUPs (Front Opening Unified Pods) zwischen den Bearbeitungsmaschinen. Dabei werden Fahrgeschwindigkeiten von mehr als 3 m/s und Beschleunigungen von 2 m/s² sowie Verzögerungen von 3 m/s² erreicht. Aufgrund dieser hohen kinematischen Parameter während der Fahr- sowie Handlingsprozesse unterliegen die Komponenten der OHT-Fahrzeuge und der Fahrschiene hohen Beanspruchungen.



Bild 1: Deckentransportsystem in der Halbleiterindustrie [6]

Die zuverlässige Ausführung der Transportaufgaben an sieben Tagen die Woche und 24 Stunden pro Tag ist die Grundvoraussetzung für eine störungsfreie und effiziente Produktion. Einzelne fehlerbedingte Ausfälle können sehr hohe Einbußen durch den daraus resultieren-

den Produktionsausfall bewirken [7]. Daher ist zur Vermeidung von Staus mit schwerwiegenden Verzögerungen im Produktionssystem die Ausfallwahrscheinlichkeit auf ein Minimum zu reduzieren. Bei derartigen Systemen wird dafür typischerweise ein hoher präventiver Wartungsaufwand betrieben. Dennoch kommt es trotz aller Prävention zu ungeplanten Ausfällen, die eine korrektive Instandhaltung nach sich ziehen. Des Weiteren entsteht durch das schwankende Produktions- und Transportvolumen (vgl. [5]) das Ziel, die präventive Instandhaltung durch eine zustandsorientierte zu ersetzen. Dadurch können die Transportsystemkomponenten effizienter genutzt und ungeplante Ausfälle vermieden werden. Für die präventive Instandhaltung ist eine permanente Zustandserfassung erforderlich. Wird diese um eine Zustandsbewertung ergänzt, entsteht ein Condition-Monitoring-System, mit dem sich die präventive Instandhaltung umsetzen lässt. Die Entwicklung eines solchen Systems war der Ausgangspunkt zu einem gemeinsamen Forschungsprojekt der Technischen Universität Dresden und GLOBALFOUNDRIES.

Im Folgenden wird die Entwicklung des Zustandsmesssystems dargestellt. Das Messsystem wird im weiteren Verlauf des Forschungsprojektes in ein Condition-Monitoring-System überführt. Der Fokus des Artikels liegt auf der Beschreibung der Zustandserfassung des Schienensystems und gliedert sich in fünf nachfolgende Abschnitte. Zunächst wird die heutige Wartung des Schienensystems beschrieben. Daraus abgeleitet wird im nächsten Abschnitt das Konzept zum Condition Monitoring dargestellt. Danach erfolgt die Erläuterung des dazu erforderlichen Transportfahrzeugs, das zum Monitoringfahrzeug ausgestattet wurde. Abschließend werden das Messsystem, das auf dem Fahrzeug installiert wird, und erste Ergebnisse vorgestellt. Der Artikel schließt mit einer Zusammenfassung und einem Ausblick.

2. Wartung des Schienensystems

Das Schienensystem besteht aus sogenannten Intrainbay- und Intertrainbay-Steckenabschnitten. Die Intrainbay-Abschnitte dienen zur Versorgung der Bearbeitungsmaschinen während die Intertrainbay-Abschnitte die Intrainbay-Abschnitte verbinden. Typischerweise verlaufen jeweils zwei Schienenabschnitte pro Fahrtrichtung, sodass sich Fahrwege mit insgesamt vier parallelen Schienen ergeben (vgl. Bild 1). Diese sind durch Verzweigungen, Zusammenführungen und Kurven miteinander verbunden. (vgl. [8 S. 115 und 2]) Neben dem Fahrweg werden durch die Schiene berührungslos die Betriebsenergie und die Datenkommunikation zum Zentralrechner für die Fahrzeuge zur Verfügung gestellt.

Durch die ständige Überfahrt unterliegt das Schienensystem wechselnden Belastungen, in dessen Folge Komponenten ihre Funktion verlieren bzw. nur noch beeinträchtigt ausführen können. Zur Sicherstellung des störungsfreien Betriebes sind durch den Hersteller des

Transportsystems verschiedene Maßnahmen vorgegeben. Darunter fällt beispielsweise die Reinigung der Radlaufflächen sowie die Überprüfung der Befestigung aller Komponenten. Insbesondere sind die Positionen der Kabel für die Kommunikation und Energieversorgung auf ihre korrekte Lage zu kontrollieren. Je nach Komponente sind die Tätigkeiten alle sechs Monate oder jedes Jahr zu wiederholen.

Zur Durchführung der vorgeschriebenen Wartungen sind Teile des Schienensystems für die Fahrzeugüberfahrt zu sperren. Tools an diesen Streckenabschnitten können während der Sperrung nicht oder nur manuell mit FOUps versorgt werden. Zusätzlich entsteht ein erheblicher Personalaufwand, um den präventiven Wartungsvorgaben nachzukommen. Des Weiteren werden auf der Betreiberseite die Vorgaben des Herstellers durch eigene Analysen sowie Untersuchungen detailliert. Die FMEA-Unterlagen (Failure Mode and Effects Analysis) des Schienensystems zeigen insbesondere für die Kabel der Kommunikation und Energieversorgung eine hohe Risikopriorität. Diese begründet sich ebenfalls im Beseitigungsaufwand bei auftretenden Fehlern und deren verursachter Produktionsstörung.

Für den Betreiber eröffnen sich daraus drei Betriebsstrategien. Zum einen die Durchführung der präventiven Wartung mit dem Ziel, die Fehler zu reduzieren. Dies birgt aber das Risiko eines unnötig hohen Wartungsaufwandes. Zum anderen gibt es die Möglichkeit, auf die Wartung zu verzichten und korrektive Instandhaltung zu betreiben. Das Resultat sind schwer zu planende Wartungsaufwände und unkalkulierbare Auswirkungen auf die Produktion. Mit dem Forschungsprojekt wird die dritte Möglichkeit aufgegriffen, in der die Zustandsbestimmung der Schienenkomponenten möglichst periodisch wiederkehrend automatisch erfolgt. Im Ergebnis werden dadurch die Wartungsaufwände planbar und bedarfsgerecht durchgeführt, was zu einer besseren Nutzung der Ressourcen führt.

Nachfolgend wird das Konzept zur automatischen Zustandsbewertung des Schienensystems vorgestellt. Aufgrund der zuvor erläuterten Ursachen erfolgt dies am Beispiel zur Erfassung von Lage und Position der Kabel für die berührungslose Energie- und Datenübertragung.

3. Konzept des Condition Monitoring

Condition Monitoring beruht auf der regelmäßigen Erfassung des Anlagen- und Maschinenzustandes bzw. deren Komponenten durch Messung und Analyse von physikalischen Größen. Diese werden vom System mit einem Soll-Zustand verglichen und dienen als Grundlage der Diagnose. [9 - 11] Die Anwendung eines Zustandsüberwachungs-Konzepts ermöglicht die zustandsorientierte Instandhaltung, d. h. Wartungsmaßnahmen sind nur beim Erreichen eines kritischen Zustands (z. B. gelöste Kabel) erforderlich. Damit kann nicht nur die Betriebsdauer einzelner Komponenten optimal ausgenutzt, sondern auch die Sicherheit und

Effizienz des gesamten Systems sowie der Ressourceneinsatz verbessert und somit eine reibungslose Produktion sichergestellt werden.

Messort

Wie dargestellt, hat die Fehlerentdeckung an den Kabeln der Kommunikation und Energieversorgung eine hohe Priorität. Bild 2 zeigt die Gegebenheiten am Messobjekt. Es ist die Fahrschiene mit den im unteren Teil befindlichen Kabelhaltern für die Daten- und Energieübertragungskabel dargestellt. Im rechten Teilbild sind typische Fehler abgebildet. Während des Produktionsbetriebs können sich die Energieversorgungskabel aufgrund von Wärmeentwicklung in Längsrichtung ausdehnen. In Verbindung mit Erschütterungen kann es dazu kommen, dass sie sich aus den Kabelhalter lösen (siehe Bild 2, rechts oben). Sind die Energieversorgungskabel nicht in richtiger Position, passiert es, dass vorbeifahrende OHT-Fahrzeuge mit diesen kollidieren. Somit ist zum einen die Energieversorgung des betroffenen Schienenabschnitts gefährdet, zum anderen kann das Fahrzeug beschädigt werden und liegen bleiben oder weitere Abschnitte beschädigen. Ein weiterer, häufig auftretender Fehler ist die falsche Position der Kabelhalter selbst. Diese Fehler entstehen beispielsweise, wenn die Kabelhalter von beschädigten OHT-Fahrzeugen erfasst werden. Die Kabelhalter können dabei abbrechen, sich in Schienenlängsrichtung verschieben oder verdrehen (siehe Bild 2, rechts unten).

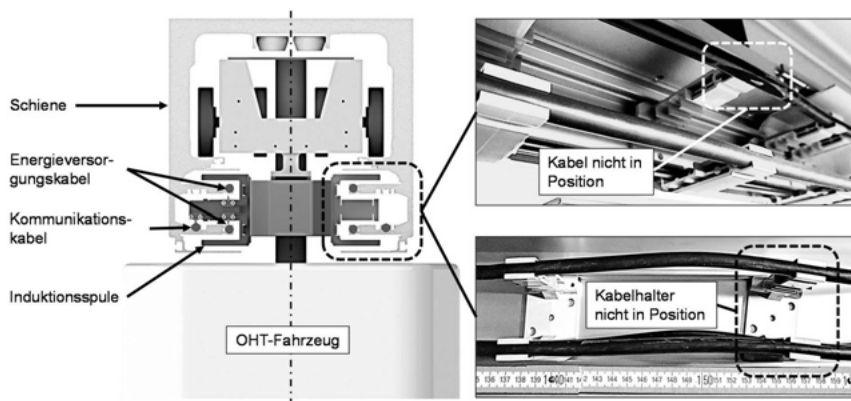


Bild 2: Querschnitt eines Deckentransportsystems (links); typische Fehler an Energie- und Datenversorgungskabeln (rechts)

Messprinzip

Um auftretende Fehler sicher detektieren zu können, wurden verschiedene optische Messverfahren, wie z. B. Punkt- und Linienlasertriangulation sowie bildbasierte Verfahren, untersucht und analysiert. Zur Auswahl eines Sensortyps sind die folgenden Hauptkriterien herangezogen wurden:

- Messbereich
- Messfrequenz
- Bauraum

Mit dem sensorgegebenen Messbereich muss sichergestellt sein, dass alle Kabel und die Kabelhalter auf weniger als $0,1 \pm 0,05$ mm genau und präzise erfasst werden. Außerdem ist eine Messfrequenz von mindesten 3,3 kHz erforderlich, um für jeweils einen Millimeter der Fahrzeugfahrt ($v=3,3$ m/s) ein Schienen-Profil aufzunehmen. Darüber hinaus muss der Sensor möglichst innerhalb der Schienenkontur montiert werden können, um aufwendige Spiegelkonstruktionen zu vermeiden. Tabelle 1 zeigt den Vergleich der untersuchten Verfahren.

Tabelle 1: Vergleich der Messverfahren nach den Anforderungen

	Messbereich	Messfrequenz	Bauraum
Punktlasertriangulation	gut	sehr gut	sehr gut
Linienlasertriangulation	sehr gut	sehr gut	gut
Bildbasierte Verfahren	gut	bedingt geeignet	gut

Es hat sich herausgestellt, dass Linienlasertriangulationssensoren (LTS) für die gestellte Aufgabe am besten geeignet sind. Mit diesen Sensoren lassen sich die Position und die Lage der Kabel sowie der Kabelhalter in der Vorbeifahrt des OHT-Fahrzeuges sicher identifizieren. Möglich wird dies durch die resultierende dreidimensionale Erfassung, die genauer und präziser als gefordert erfolgt. Darüber hinaus gestatten LTS durch das linienbasierte Messprinzip im Vergleich zu den punktbasierten Verfahren eine größere Toleranz zur Ausrichtung der Sensoren auf dem Fahrzeug und relativ zu den Kabeln der Energie- und Datenübertragung. Gegenüber bildbasierten Verfahren (z. B. Aufzeichnung mit High-Speed-Kamera) ist nicht nur die produzierte Datenmenge der LTS geringer, sondern auch die Datenauswertung effizienter möglich.

Abschließend konnte in der Sensorauswahl ein Sensormesskopf identifiziert werden, der die Anforderungen erfüllt. Davon sind zur Erfassung beider Kabel allerdings zwei Messköpfe notwendig. Dies ist erforderlich, da der Messbereich bei in der Schienenkontur montiertem Sensor zu gering ausfällt. Bild 3 zeigt die Gegebenheiten an der Messstelle. Es ist der untere

Teil der Fahrschiene mit den Kabelhaltern für die Daten- und Energieübertragungskabel dargestellt. Rechts sind die Lasertriangulationsmessköpfe zu erkennen, mit denen eine (zusammengesetzte) Profillinie des Querschnitts aufgezeichnet werden kann.

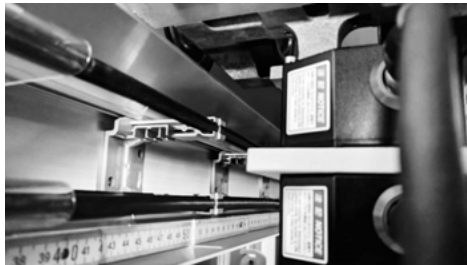


Bild 3: Messstelle in der Fahrschiene am Beispiel Daten- und Energieübertragungskabel

Lokalisation

Neben der Erfassung des Zustandes der Kabelhalter ist die permanente Lokalisation im Schienennetzwerk ein weiterer entscheidender Punkt. Nur so ist eine örtliche Zuordnung der Messung möglich. Zur Navigation nutzen die Transportfahrzeuge an der Schienenunterseite befestigte Barcodes. Diese werden in der Vorbeifahrt gelesen, sodass die Fahrzeugposition im Schienennetzwerk bekannt ist. Für das Zustandsüberwachungs-System, das autark von der Fahrzeugsteuerung funktioniert, ist die parallele Aufzeichnung der Barcodeübermittlung vorgesehen. Somit ist die eindeutige Zuordnung der Messdaten zu Positionen im Schienennetzwerk gegeben.

Nachfolgend wird die Integration der Zustandsüberwachungs-Komponenten auf einem Messfahrzeug dargestellt und erläutert.

4. Monitoringfahrzeug

Als Basis für das Zustandsüberwachungssystem diene ein Transportfahrzeug, wie es für die Halbleiterproduktion eingesetzt wird. Übliche Condition-Monitoring-Konzepte sehen die Anbringung der Sensorik auf dem Fahrzeug vor [12 bis 14]. Im Falle des Halbleitertransportfahrzeugs war dies aufgrund der kompakten Bauweise nicht möglich. Deshalb wurde zur Zustandserfassung des unteren Schienenteils ein OHT-Fahrzeug um ein Anhängersystem ergänzt (vgl. [15]). Dazu erfolgte die Konstruktion eines Anhängers auf der Basis von Fahrwerkskomponenten der Fahrzeuge. Auf dem Anhänger sind die oben beschriebenen Laserlinien triangulationssensoren montiert. Damit ist es neben der optimalen Positionierung der

Sensoren durch geeignete Adapter möglich, in Zukunft auch weitere Schienenprofilteile zu vermessen. Bild 4 zeigt den Aufbau des Transportfahrzeugs mit Messrechner sowie Anhängersystem mit Messsensoren.

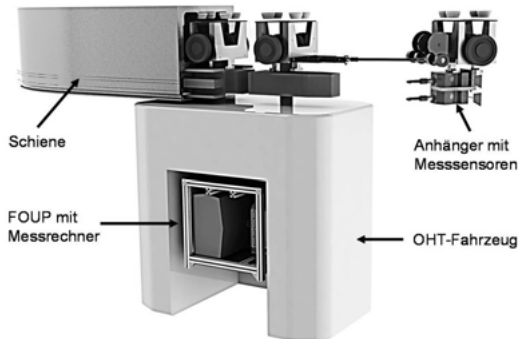


Bild 4: Aufbau der Zustandserfassung des Schienensystems

Die Steuerung der Messsensoren und Datenerfassung erfolgt autark vom Transportfahrzeug über einen im FOUF des Fahrzeuges installierten mobilen Rechner. Dieser zeichnet parallel ebenfalls die an das Transportfahrzeug angebotenen Barcodeleserdaten auf. Der modulare Aufbau des Monitoringsystems ermöglicht eine schnelle Umrüstung eines konventionellen OHT-Fahrzeugs zum Monitoring-Fahrzeug. Je nach Auslastungsgrad und Verfügbarkeit des Deckentransportsystems können ein oder mehrere OHT-Fahrzeuge in das Zustandsüberwachungssystem eingebunden werden, um Wartungsbedarf zu identifizieren. Dabei besteht die Aufgabe eines Fahrzeugs darin, in regelmäßigen Zeitabständen das Schienennetz abzufahren und Fehlstellungen der Kabel und -Halter sowie deren Orte festzustellen, während der Produktionsbetrieb ununterbrochen weiterläuft.

5. Messsystem

Das vorgestellte Messsystem besteht im Wesentlichen aus den Komponenten Messrechner, Laserlinientriangulationsmessköpfe und Barcodescanner-Interface. Die Anbindung der Triangulationsmessköpfe an den Messrechner erfolgt per Ethernet. Das Barcodescanner-Interface ist über ein RS-232 Interface mit dem Transportfahrzeug verbunden. Alle übermittelten Codes werden parallel vom Zustandsüberwachungssystem mitgelesen. Die Zusammenführung und Aufzeichnung der Messsignale erfolgt in einer LabVIEW-Software-

Umgebung auf dem Messrechner. Hierbei besteht die Herausforderung darin, dass die Messköpfe mit jeweils 4 kHz betrieben werden und mit jeweils 800 Pixeln pro Laserlinie einen Datenstrom von je 2 Byte/Pixel erzeugen. Pro Liniensensor bedeutet dies eine Datenrate von etwa 6,4 MB/s bzw. ca. 20 GB pro Stunde. Aufgrund Reserven in der Präzision und Genauigkeit der Messwerte kann die Auflösung noch mindestens um die Hälfte reduziert werden. Allerdings ist auch dann aufgrund der Messfrequenz nur eine abschnittsweise Betrachtung und Auswertung der Daten möglich. Gleichzeitig ist eine Aufzeichnung der Daten nur an den Stellen angebracht, wo eine falsche Positionierung detektiert wurde. Ein Algorithmus zur online Detektion eröffnet die Möglichkeit zur weiteren Datenmengenreduktion. Bild 5 zeigt die ersten Messergebnisse am Versuchsstand der Technischen Universität Dresden. Hierfür wurde das Transportfahrzeug mit dem Messanhänger auf einem etwa 600 mm langen Schienenabschnitt bewegt. Bei der Fahrt erfolgte kontinuierlich die Aufzeichnung der Messprofile, sodass sich das dargestellte 3D-Profil ergibt. Gut erkennbar sind die Enden der Kabelhalter sowie die Befestigungen der Energieversorgungskabel. Das obere Kabel ist im Beispiel aus dem Halter genommen und ragt aus dem Messbereich heraus. Im Vergleich zeigt Bild 5 unten das Foto des betreffenden Schienenabschnitts.

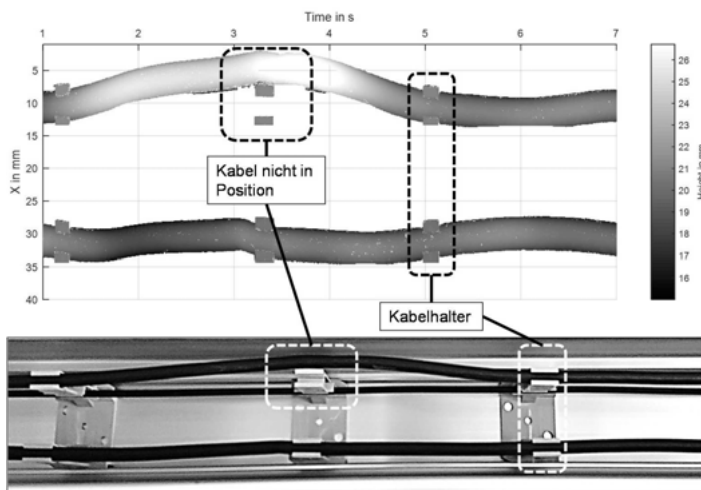


Bild 5: Messergebnis (oben) und Foto (unten) des Profils am Versuchsstand

Im weiteren Verlauf des Forschungsprojektes ist der Algorithmus für die automatische Identifikation der inkorrekten Kabel- und Halterlage sowie -Position zu entwickeln. Dazu wird ein Fehlerkatalog mit allen typischen Fehlstellungen aufgebaut.

In einem ersten Schritt kann die Fehlerdetektion anhand der Einzelprofiledaten erfolgen. So ist die Position des Kabelhalters im Vergleich zu Profilen, in denen nur die Kabel erfasst werden, durch einen breiteren Bereich mit gültigen Messwerten gekennzeichnet. Wurde an einem der beiden Kabel ein Halter identifiziert, sollte dieser spätestens in einem der nächsten zwei Profilaufnahmen am anderen Kabel identifiziert werden können. Andernfalls ist dieser verdreht. Des Weiteren kann auf geometrischer Basis eine Region of Interest definiert werden, innerhalb derer sich alle gültigen Messwerte befinden müssen. Beispielsweise sind Kabel, die in den Kollisionsbereich der Fahrzeuge reichen, so zu identifizieren. Darüber hinaus lassen sich mehrere Profile volumenbasiert auswerten, um den Verlauf der Kabel zu erfassen. Im Ergebnis bildet der Algorithmus die Grundlage eines Diagnose-Softwaretools, mit dem Fehler und Fehlerort identifiziert werden können.

6. Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen des Forschungsprojekts wurde ein Konzept zu Messwerterfassung für das Condition Monitorings von schienengebundenen Transportsystemen entwickelt. Dazu sind Module entstanden, die einen Umbau eines konventionellen OHT-Fahrzeuges zum Monitoring-fahrzeug ermöglichen. Die Entwicklung eines Fahrzeughängers gestattet die freie Platzierung und Ausrichtung der Messsensoren. Erste Versuchsergebnisse im Labor zeigen, dass die gewählte Messmethode geeignet ist, um den Zustand der Energieversorgungskabel, Kommunikationskabel sowie Kabelhalter im Schienensystem bei voller Fahrgeschwindigkeit zu erfassen und im Schienensystem zu lokalisieren. Zur Verwaltung, Synchronisierung und Visualisierung der Messdaten wurde ein LabVIEW-Framework entwickelt.

Aktuelle und anstehende Arbeiten betreffen die Validierung der Zustandserfassungsmethode sowie die Entwicklung der Zustandsbewertungsalgorithmen und des Diagnose-Tools. Anschließend wird das entwickelte Zustandsüberwachungs-Gesamtkonzept unter realen Bedingungen in der Halbleiterfabrik erprobt. Mit dem vorgestellten Konzept des Condition Monitoring soll der Wartungsbedarf am Schienensystem automatisch, sicher und zeiteffizient identifiziert werden, um die Halbleiterproduktion jederzeit sicherzustellen. Im Ergebnis kann die aufwendige präventive Instandhaltung des Schienensystems durch eine zustandsorientierte abgelöst werden.

Förderhinweis

Die Arbeit wurde im Rahmen des Forschungsprojekts "Erforschung von Grundlagen und Konzepten zur Gestaltung einer automatisch auf sich ändernde Anforderungen, hinsichtlich Produktionsvolumen und Produktmix, reagierende Halbleiterfabrik" (Responsive Fab) durch-

geführt und über die Sächsische Aufbau-Bank aus Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) und des Freistaates Sachsen gefördert.



Danksagung

Für die Unterstützung im Projekt bedankt sich das Entwicklerteam bei den Studierenden Frau Sophie Rees und Herrn Hailong Zhu, die durch ihre Arbeit zum Erreichen des Projektzwischenstandes beigetragen haben.

Literaturangaben

- [1] Mönch, L.; Fowler, J. W. und Mason S. J.: Production planning and control for semiconductor wafer fabrication facilities: modeling, analysis, and systems. New York, Springer, 2013.
- [2] Hammel C. u. a.: Empowering existing automated material handling systems to rising requirements: FA: Factory automation, ASMC 2016, S. 87–93.
- [3] Zarifoglu, E.; Hasenbein, J. J. und Kutanoglu, E.: Lot Size Management in the Semiconductor Industry: Queueing Analysis for Cycle Time Optimization, IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing, Bd. 26, Nr. 1, S. 92–99, Feb. 2013.
- [4] Rothe, J.; Georgi R.; Honold, A. und Teichmann, E.: Optimized performance of automated material delivery by improved exception handling, ISSM 2007, S. 1–4.
- [5] Aubry, M. und Renou-Maissant, P.: Investigating the semiconductor industry cycles, Applied Economics, Bd. 45, Nr. 21, S. 3058–3067, Juli 2013.
- [6] URL: https://images.anandtech.com/doci/11117/globalfoundries_semiconductor_fab1_cleanroom_space.jpg, Stand: 27.11.2017.
- [7] Ndiaye, M. A.; Dauzere-Peres, S.; Yugma, C.; Rulliere, L. und Lamiable, G.: Management of crisis situations in a large unified AMHS of a semiconductor manufacturing facility: IE: Industrial engineering, ASMC 2016, S. 106–109.
- [8] Agrawal, G. K. und Heragu, S. S.: A Survey of Automated Material Handling Systems in 300-mm Semiconductor Fabs, IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing, Bd. 19, Nr. 1, S. 112–120, Feb. 2006.

- [9] J. Kolerus und J. Wassermann: Zustandsüberwachung von Maschinen: das Lehr- und Arbeitsbuch für den Praktiker; mit 7 Tabellen und DVD-ROM, 4., neu bearbeitete und erweiterte Auflage Renningen: expert-Verlag, 2008.
- [10] Davies, A.: Hrsg., Handbook of Condition Monitoring. Dordrecht: Springer Niederlande, 1998.
- [11] Rao, B. K. N.: Hrsg., Handbook of condition monitoring, 1. Auflage Oxford: Elsevier, 1996.
- [12] Ward, C. P. u. a.: Condition Monitoring Opportunities Using Vehicle-Based Sensors, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit, Bd. 225, Nr. 2, S. 202–218, März 2011.
- [13] Li, P.; Goodall, R.; Weston P.; Seng Ling, C.; Goodman, C. und Roberts, C.: Estimation of railway vehicle suspension parameters for condition monitoring, Control Engineering Practice, Band 15, Nr. 1, S. 43–55, Jan. 2007.
- [14] Braum, M.; Bolender, S.; Koch, M. und Friedmann, A: Zustandsüberwachung von Intra-logistiksystemen, Abschlussbericht, 2016.
- [15] Mathissen, M.; Scheer, V.; Kirchner, U.; Vogt, R. und Benter, T.: Non-exhaust PM emission measurements of a light duty vehicle with a mobile trailer, Atmospheric Environment, Bd. 59, S. 232–242, Nov. 2012.

Intralogistik im Druckmaschinenbau

Theorie und Praxis aus Montagesicht

Dr.-Ing. **Markus Rehm**, Koenig & Bauer, Radebeul

Kurzfassung

Die Intralogistik ist als Unterstützungsprozess der Leistungserstellung essenziell für das Erreichen unternehmerischer Kosten-, Zeit- und Qualitätsziele. Ihr Anteil an den Selbstkosten ist zwar vergleichsweise gering, doch haben Funktionsdefizite oder Instabilitäten einen signifikanten Einfluss auf den Herstellprozess. Die Wechselwirkungen zwischen Produktion und Logistik bergen Chancen zur ganzheitlichen Weiterentwicklung entlang des Wertstroms sowie zur Optimierung unter Kosten- und Leistungsaspekten. Damit einher gehen jedoch auch Risiken, deren Beherrschbarkeit insbesondere in mehrstufigen Montagesystemen bei hoher Produkt- und Prozesskomplexität eine große Herausforderung darstellt. Der vorliegende Bericht möchte einen Beitrag zur kritischen Auseinandersetzung leisten und gleichsam Lösungsansätze aus Anwendersicht aufzeigen.

1. Wechselwirkungen und Voraussetzungen einer effizienten Intralogistik

Ein logistisches System ist funktional sowie organisatorisch Bestandteil einer vernetzten Prozesslandschaft. Dieses Subsystem unterliegt im Optimalfall einem in sich logischen und konsistenten Konzeptgedanken bestehend aus aufeinander abgestimmten Prinzipien, Methoden und Werkzeugen. Es können *acht wesentliche Grundprinzipien* identifiziert werden [1], [2], [3].

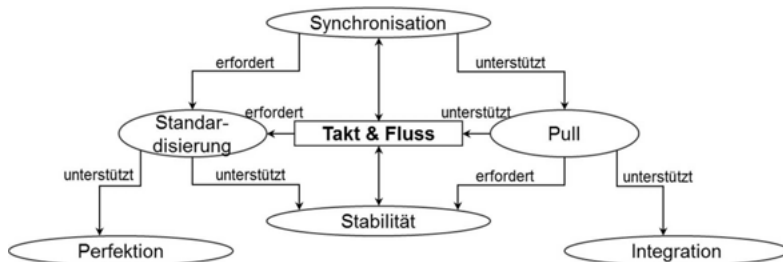


Bild 1: Grundprinzipien und deren Wechselwirkungen

Die Prinzipien *Takt* und *Fluss* bilden gleichsam Ausgangspunkt und Kern einer effizienten Intralogistik. Voraussetzung hierfür ist eine dem Fließprinzip unterliegende Montageform, womit die gesamte Prozesskette über die Verstetigung des Herstellprozesses einen planbaren Charakter erhält.

Stabilität kann hier ein Resultat sein, ist jedoch zugleich zwingende Voraussetzung. Überschreitet der Störpegel beispielsweise aufgrund von Volatilitäten im Durchsatz oder im Beschaffungsprozess eine spezifische Grenze, so kann zunächst von Überlastung und schließlich vom Zusammenbruch des Verbunds aus Montage- und Logistikprozessen ausgegangen werden.

Der Kundentakt als Eingangsgröße der Montage stellt den Schrittmacher der logistischen Prozesse dar. Das Schrittmäß ist durch die Produktionsplanung in Form der Auftragseinstellung in jenen Grenzen abzubilden, die sowohl eine markt- als auch montagegerechte Realisierbarkeit gewährleisten. Der kurz- und mittelfristigen Termin- und Kapazitätsplanung kommt demnach eine hohe Bedeutung zu.

Auf diese Weise ist zugleich die Grundlage der *Synchronisation* erzeugt, welche ihrerseits in starker Beziehung zu den Prinzipien *Standardisierung* und *Pull* steht. Ohne ein Grundmaß an Standards – sei es in Sachen Produktstruktur oder Ablauforganisation – ist zudem die Implementierung eines kontinuierlichen Verbesserungsprozesses entlang des gesamten Produktentstehungsprozesses erschwert. Der *Perfektionsgedanke* setzt dies als Grundlage voraus.

Ein durchdachtes Prozessdesign führt dabei einerseits zur Normierung, andererseits zur Skalierbarkeit von standardisierten Abläufen, womit Flexibilität und Adaptionsfähigkeit erhalten bleiben.

Ziehende Prozesse, die potentiell von einem hohen Grad der Synchronisation profitieren, stellen aus Sicht des Autors keine zwingende Bedingung dar. Ihnen kann jedoch dann eine hohe Geltung zugesprochen werden, wenn die *Integration* von Subsystemen wie einzelnen Arbeitsplätzen angestrebt wird. Diese wurden beispielsweise zuvor zentral und lagergesteuert versorgt, können dem Pull-Prinzip folgend aber dezentral organisiert sowie operativ gesteuert und damit entkoppelt werden. Hybride Systeme, die einen Mix aus Push- und Pull-Prinzipien darstellen, sind im vorliegenden Fall in Anwendung und gelten auch allgemein als sehr wirkungsvoll [4].

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass aufgrund der starken Korrelation zwischen Herstell- und Logistikprozessen eine ebenso große Kausalität in der Anwendung von Prinzipien besteht. Deren Implementierung in einem Teilsystem setzt die Nutzung in anderen Teilsystem voraus oder aber begünstigt zumindest den Einsatz. Es kann davon ausgegan-

gen werden, dass die Intralogistik im Sinne einer Kunden-Lieferanten-Beziehung auf zuvor implementierten Prinzipien aufbaut.

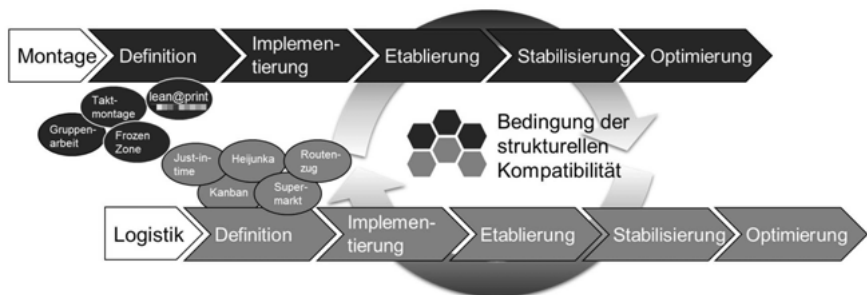


Bild 2: Phasenmodell zur Einführung von Prinzipien und Methoden

Nachdem ein neuer Prozess bzw. ein neues Konzept in Gestaltung und Funktionsweise der Elemente und hinsichtlich ihrer Systemgrenzen beschrieben und damit definiert worden ist, erfolgt die Implementierung. Dieser Vorgang stellt den Aufsetzpunkt zur Entwicklung der zwingend erforderlichen oder optional anwendbaren logistischen Elemente dar.

Im vorliegenden Anwendungsfall nutzt die Materialwirtschaft die über die Disposition übermittelten Informationen zum Aufbau eines Heijunka Boards. Zu den im Montageablauf festgelegten Taktzeitpunkten sowie die durch die Produktionsplanung vorgegebenen Reihenfolgen erfolgt die Materialbereitstellung. Speziell bei Erfüllung einer zeitpunktgerechten Materialanstellung nach der Just-in-Time Methode kann eine signifikante Verringerung des Umlaufbestands bei gleichzeitiger Verringerung von Nebenzeiten in der Montage beobachtet werden. Zudem sind hierbei Fehlmengen in Verbindung mit entsprechender Set-Bildung im Sinne des visuellen Managements wesentlich schneller identifizierbar – wenngleich der damit ausgelöste Problemlösungsprozess auf operativer Ebene nicht vermieden werden kann.

Den Neuprozess gilt es zunächst als Standard zu etablieren und auch unter Einflüssen von Störungen (Montageverzug, Fehlteile etc.) zu stabilisieren bzw. unmittelbar zu verbessern. Die Weiterentwicklung orientiert sich dabei erneut am strategischen Führungsrahmen zwischen Zeit-, Qualitäts- und Kostenzielen. Dabei ist zu prüfen, welche Methoden innerhalb der etablierten Systemumgebung anwendbar und gemäß Zielstellung effektiv sind.

2. Bildung von Varianten und Vergleiche von Versorgungskonzepten

Um Veränderungsprozesse im Bereich der Intralogistik systematisch umzusetzen, sind im Rahmen einer Zielplanung die notwendigen Schwerpunkte herauszuarbeiten. Steht die Kos-

tenminimierung im Mittelpunkt, so ist davon auszugehen, dass der Faktoreinsatz zur Aufrechterhaltung der Logistikleistung verringert oder dieser bei einer gesteigerten Leistungsfähigkeit konstant gehalten werden soll (Steigerung der logistischen Effizienz). Die drei nachfolgenden *Leistungsmessebenen* geben eine erste Orientierung [5].

Tabelle 1: Leistungsschichten und Leistungsmessebenen der Logistikleistung

Faktorbezogene Ebene	Prozessbezogene Ebene	Ergebnisbezogene Ebene
----------------------	-----------------------	------------------------

Die *prozessbezogene Ebene* beinhaltet hierbei die ausführenden Prozesse unter Nutzung von Personal, Lager- und Transporttechnik aus der *faktorbezogenen Ebene*. Die Effektivität dieses Faktoreinsatzes spiegelt sich schließlich in Kennzahlen wie Termintreue, Lieferzeit oder Fehlerrate aus der *ergebnisbezogenen Ebene* wider. Im Mittelpunkt steht die Erfüllung der allgemeinen logistischen Ziele: Das richtige Material in der richtigen Menge zur richtigen Zeit in der richtigen Qualität zu den richtigen Kosten am richtigen Ort bereitzustellen („6R“).

Die prozessbezogene Ebene ist als Mittelpunkt von Weiterentwicklungen anzusehen. Durch die Analyse entlang des Materialflusses von der Einzelteil-/Baugruppenquelle bis zur Senke in der Montage können die wesentlichen Prozessschritte identifiziert werden.

Ergänzt man diese um mögliche gestalterische Ausprägungen wie sie beispielsweise bei Installation eines Logistiksupermarkts zu beobachten sind, bildet sich ein *morphologisches Schema* heraus, welches sich als Grundlage zur Variantenbildung eignet [6].

Bereitstellprozess ↓	(1) Bereitstellung (aus Bgr.Mo.)	Palette	KLT + Palette	KLT + Regal
	(2) Transport	integriert (Routenzug/Stapler)	individuell (Hubwagen/Stapler)	ohne
	(3) Einlagern	sortenrein	auftragsbezogen	ohne
	(4) Umpacken	mit (Palette → Lagerbehälter)	mit (KLT in Regal)	ohne
	(5) Kommissionieren	integriert (mit Kaufteilen)	individuell (ohne Kaufteile)	ohne
	(6) Bereitstellen	zukommissionieren (zu Kaufteilen)	individuell (ohne Kaufteile)	ohne
	(7) Transport	integriert (Routenzug/Stapler)	individuell (Hubwagen/Stapler)	ohne
	(8) Bereitstellung (an Montage)	integriert (auf KIT-Wagen)	individuell (eigener KIT-Wagen)	eigenes Regal

Bild 3: Morphologisches Schema Bereitstellprozess (Ist-Konzept gepunktet)

Jeder der acht dargestellten Prozessschritte lässt sich nun individuell ausprägen, womit durch Kombination Varianten entstehen. Die jeweiligen Prozesse sind zu beschreiben und schließlich quantifiziert zu bewerten.

Im vorliegenden Fall entsprechen die jeweils links liegenden Ausprägungen dem Ist-Stand. Beispielsweise zeigt die durchgeführte Prozessanalyse im Falle des Umpackens (4), dass hier ein mehrstündiger Aufwand pro Tag existiert. Es wurde schließlich geprüft, was einer Prozessumstellung entgegenstehen würde. Die Möglichkeit der Verringerung oder vollständigen Vermeidung des Umpackens wird sodann mit den einmaligen sowie dauerhaften Umstellungskosten sowie notwendigen organisatorischen Voraussetzungen verglichen.

Einige Ausprägungen sind an eine Veränderung der Steuerungslogik und die Installation von Supermärkten gekoppelt. Diese Supermärkte setzen implementierte und etablierte Prinzipien voraus (vgl. Bild 1), um einen Bestandsaufbau über ein bestimmtes Maß a priori zu begrenzen und gleichzeitig die Teileverfügbarkeit abzusichern. Die Nachschubversorgung erfolgt hierbei pullgesteuert, während die taktbezogene Bildung von Sets bedarfsorientiert, terminiert und gepusht erfolgt. Standardisierte Abläufe sichern den reibungslosen Versorgungsprozess auch bei Abweichungen (ungeplante Serviceabrufe, fehlerhaftes Material etc.). Wird ein flächendeckender Paradigmenwechsel von einer zentral organisierten, lagergesteuerten Produktion zu einer dezentralen, operativen Steuerung angestrebt, so ist jedoch eine Vielzahl montagenaher Supermärkte erforderlich. Der damit reduzierbare Aufwand für Kommissionierung, Bereitstellung und Transport setzt eine hohe Flächenverfügbarkeit sowie die Akzeptanz erhöhter Umlaufbestände voraus. Diese Voraussetzungen sind im vorliegenden Fall insbesondere durch die gewachsene Fabrikstruktur und eine stark verdichtete Montage aktuell nicht gegeben, wenngleich der potenzielle Nutzen aus Logistiksicht enorm wäre.

Um dennoch Effekte im Hinblick auf verringerte Faktoreinsätze bei Aufrechterhaltung der bestehenden Logistikleistung zu erzielen, wird ein veränderter Transportprozess per Routenzug angestrebt. Diese Sammeltransporte reduzieren einerseits den Transportaufwand, andererseits führt dieser auf Fahrplänen basierende Prozess zu einer Umstellung der Einlagerungs- und Umpacksystematik.

Neutral vormontierte Baugruppen wurden bisher in den Wareneingang transportiert, umgepackt und im automatischen Hochregallager eingelagert. Dieser Schnittstellenprozess soll mittels eines geschlossenen Lagerbehälterkreislaufs bis in die Baugruppenmontage hinein umgestellt werden. Der Umpackaufwand pro Arbeitstag wird damit um die Hälfte reduziert. Dem entgegen steht ein einmaliger Investitionsaufwand für den erweiterten Lagerbehälterkreislauf.

Auf der Ausgangseite erfolgt in der Kommissionierzone das Umpacken von Standardtransporthilfsmitteln auf die für die Montagebereitstellung vorgesehenen KIT-Wägen. Dieser Vorgang wird dahingehend umgestellt, dass direkt auf die für die Routenzugbereitstellung neu definierten rollbaren Rungenstapel kommissioniert wird. Durch diese Standardisierung der Ladungsträger entfällt der Umpackvorgang zwischen Kommissionierzone und Montagebereitstellung im zentralen Marktplatz vollständig. Dieser ist hierfür umzubauen, da die routenzugfähigen Rungenstapel nicht im vorhandenen Regallager zwischengepuffert werden können.

In Verbindung mit der Eliminierung zuvor diffiziler Rangier- und Fädelarbeiten während des eigentlichen Bereitstellungsvorgangs kann schließlich eine Verringerung des Gesamtaufwands über alle acht Prozessschritte in Höhe von gut 30% realisiert werden.

Die Hauptfaktoren dieses Effektes sind zusammenfassend ein reduziertes Umpackhandling durch einen geschlossenen Behälterkreislauf sowie die Transportbündelung durch Routenzuganwendung. Der Routenzug zeigt sich hier demnach als Mittel zum Zweck, um den Gesamtprozess einer kritischen Überprüfung und Veränderung zu unterziehen.

3. Kritische Reflexion der Anwendbarkeit und alternative Gestaltungsmöglichkeiten

Der zugunsten gesteigerter Effizienz veränderte Bereitstellprozess wirkt sich aus Montagesicht bei idealem Ablauf neutral auf die Logistikleistung aus. Es besteht gar die Chance auf Leistungssteigerung durch Erhöhung der Bereitstellfrequenz oder einer Erweiterung des Kommissionieranteils.

Andererseits steigt das Risiko einer Über- oder Unterversorgung im Falle kurzfristig eintretender Abweichungen vom Planablauf. Die Folgen sind entsprechend kostenintensiv und zehren bei einem ausgeprägten Störpegel den Nutzen unter Umständen im Zeitverlauf auf. Nicht durchführbare Routenzugtransporte wirken sich naturgemäß stärker aus als Einzeltransporte per Gabelstapler.

Eine reine Inseloptimierung steht bei entsprechend schlechter Prozessgestaltung einer ganzheitlichen Verbesserung entgegen.

Die Erfüllbarkeit der logistischen Ziele (vgl. „6R“) ist von den statistischen Erwartungswerten der Funktionserfüllung an den Schnittstellen abhängig. Jene Schnittstellen sind innerhalb der logistischen Umgebung (Wareneingang, Einlagerung, Kommissionierzone etc.) an den Systemgrenzen zu weiteren Unternehmensfunktionen (Einkauf, Disposition, Teilefertigung etc) sowie bei Funktionen außerhalb der Organisation (Lieferant, Spedition etc) anzutreffen.

Vor- und nachgelagerte sowie flankierende Prozesse und ausführende Elemente sind strukturell als deterministisch anzusehen. Dies trifft ebenso auf das Versorgungssystem als Gan-

zes zu. Der fahrplanbasierte Versorgungsprozess ist zentral verankert, die beschriebenen Funktionsschnittstellen sind jedoch von mehr oder minder großer Unsicherheit und daraus resultierender Instabilität geprägt (vgl. Bild 4).

Versorgungscharakter	statisch, deterministisch	dynamisch, adaptiv
Versorgungslogik	starr	flexibel
Steuerungslogik	zentral, lagergesteuert	dezentral, operativ
Funktionselemente	deterministisch	stochastisch
Funktionsschnittstelle	stabil	instabil

Bild 4: Beschreibende Merkmale der Intralogistik

Es ist daher zu prüfen, inwiefern die Intralogistik die an sie gestellten Erwartungen jenseits von kosten-, orts- und artrichtiger Bereitstellung tatsächlich erfüllen kann – und welche Gestaltungsalternativen zur Vermeidung von Montagestillständen existieren.

Es sollte zunächst angestrebt werden, die unmittelbar im Bereich der Montage befindlichen *Schnittstellen* zu reduzieren. Hierfür wird die bereits erwähnte Supermarktmethode hinsichtlich Anwendbarkeit bewertet. Interne Untersuchungen zeigen, dass aus Kostensicht erst eine Vielzahl verbauortnaher *Supermärkte* zielführend ist. Aus Gründen von Flexibilität und Stabilität erscheint jedoch auch die Installation verbauortferner Supermärkte als zweckmäßig. Damit einher geht eine partielle Umstellung zu operativer und damit *dezentraler Steuerung* und die Etablierung *kurzer und reaktionsstarker Regelkreise*. Entscheidungen sind dort zu treffen, wo Informationen als ersten vorliegen – oder semantisch entstehen.

Die *Integration* logistischer Funktionen in die Montageorganisation ist hier eine ebenso gewünschte Folge wie der Aufbau begrenzt erhöhter *Umlaufbestände*. Dabei sollten bewusst *Freiheitsgrade* auf Shopfloorebene beispielsweise durch vorzeitige Abrufe von Ausgangsmaterial zugelassen werden. Das *Pullprinzip* kann und darf dabei durch einen erhöhten Entscheidungs- und Handlungsspielraum ausgehebelt werden.

Überdies sollten bei einer von Unschärfen geprägten Prozesslandschaft auch die Transportprozesse unbestimmter sein dürfen. Die Tourenplanung löst sich hierbei von festen Fahrplänen und orientiert sich am *Milkrun* im engeren Sinne, bei dem das aufgenommene Leergut aus dem Montageprozess den Impuls für die Nachschubversorgung gibt. Ehemals fest determinierte *Zeitpunkte werden zu Zeitfenstern* erweitert; die funktionale und zeitliche Zwangskopplung des Ver- an den Entsorgungsprozess wird aufgelöst, womit ein Montagerückstand nicht automatisch in eine blockierte und blockierende Routenzuganstellung mündet.

Darüber hinaus sind methodische Grundlagen im *Managementsystem* zu schaffen, um organisatorisch bedingte Ursachen von Prozessrisiken zu minimieren. Bewusste *Risikobewertungen* kritischer Vorgänge, die Durchführung von Konstruktions- und Prozess-Fehlermöglichkeits- und Einflussanalysen (*FMEA*) oder der Aufbau eines vollständig integrierten *Six Sigma* Systems können entscheidende Grundlagen für eine stabile Prozesslandschaft erzeugen. Das nachfolgende Bild 5 fasst die Ausführungen zusammen.

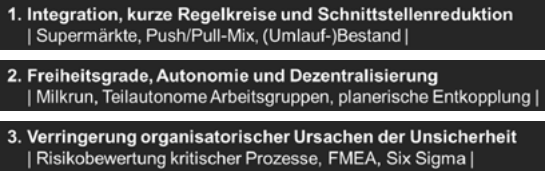
- 
- Das Diagramm besteht aus drei horizontalen Balken, die jeweils eine Gestaltungsmöglichkeit darstellen. Jeder Balken ist in zwei Teile unterteilt: ein oberer Teil mit der Nummerierung und dem Titel, und ein unterer Teil mit einer Liste von Beispielen.
- 1. Integration, kurze Regelkreise und Schnittstellenreduktion**
| Supermärkte, Push/Pull-Mix, (Umlauf-)Bestand |
 - 2. Freiheitsgrade, Autonomie und Dezentralisierung**
| Milkrun, Teilautonome Arbeitsgruppen, planerische Entkopplung |
 - 3. Verringerung organisatorischer Ursachen der Unsicherheit**
| Risikobewertung kritischer Prozesse, FMEA, Six Sigma |

Bild 5: Gestaltungsmöglichkeiten zur Beherrschung systemischer Unsicherheit

Es zeigt sich, dass allein strukturelle Kompatibilität zwischen den Elementen von Montage- und Logistiksystemen nicht ausreichend ist. Systemische Unsicherheit insbesondere an Schnittstellen überfordert die Beherrschbarkeit die auf der Grundlage von Stabilität und Prognostizierbarkeit aufbauenden Prinzipien und Methoden aus dem Bereich des Lean Thinking. Da sie nicht dem Selbstzweck, sondern dem höheren Ziel der ganzheitlichen und nachhaltigen Erfüllung unternehmerischer Ziele dienen, sind diese entsprechend robust zu gestalten und auszulegen. Die Akzeptanz punktueller Verschlechterungen (Leerfahrten, Umlaufbestände, Planungsunschärfen etc) kann dabei entscheidend sein, bedingt jedoch ein tiefgreifendes abteilungsübergreifendes Prozessverständnis.

Dynamische Systemumgebungen erfordern dezentrale Problemlösungskompetenzen und Entscheidungsfähigkeit. Entsprechend ausgestaltet kann die Implementierung von Methoden wie Milkruns oder Supermärkten zu einer signifikanten Effizienzsteigerung führen, die entlang des Leistungserstellungsprozesses einer komplexen Montageumgebung gerecht wird.

- [1] KLUG, F.: Logistikmanagement in der Automobilindustrie – Grundlagen der Logistik im Automobilbau. Berlin Heidelberg: Springer 2010
- [2] GRUB, R.: Schlanke Unikatfertigung: Zweistufiges Taktphasenmodell zur Steigerung der Prozesseffizienz in der Unikatfertigung auf Basis der Lean Production. Wiesbaden: Gabler 2010
- [3] VDI-Richtlinie 2870: Ganzheitliche Produktionssysteme – Grundlagen, Einführung und Bewertung. Düsseldorf: VDI-Verlag 2012
- [4] KLUG, F.: Optimaler Push/Pull-Mix bei der Produktionsplanung und -steuerung mit stabiler Auftragsfolge. In: GÖPFERT, I. (Hrsg.): Automobillogistik – Stand und Zukunftstrends. Wiesbaden: Springer Gabler 2012, S. 41-65.
- [5] GÖPFER, I.: Logistik Führungskonzeption – Gegenstand, Aufgaben und Instrumente des Logistikmanagements und -controlling. 2. Auflage. München: Vahlen 2005
- [6] LOGISTIKPLAN GMBH: Projektbericht „Routenzug“. Koenig & Bauer. Radebeul 2013

Materialhandling und Versorgung bei der Endmontage – Vergleich von Transportlösungen

Ein Gemeinschaftsvortrag von agiplan und Linde MH

Nicolas Noack, agiplan GmbH, Mülheim/Ruhr;
Andreas Mönk, Linde Material Handling, Aschaffenburg

Kurzfassung

Modellierung von Versorgungsprozessen

Lösungsraum technischer Transportalternativen

Automatisierungsgrad und digitale Anforderungen

Variantenbewertung mit Hilfe einer schlanken Prozesskostenrechnung

1. Modellierung von Versorgungsprozessen

1.1. Systemgrenzen und Granularität definieren

Montageversorgung. Wo fängt diese an? Beim n-2 Lieferant? Bei der LKW-Entladung im Wareneingang? Wie feingliedrig dimensioniere ich meine Prozessschritte und Tätigkeiten? Soll ich REFA, MTM-Methoden einsetzen?

Mit zunehmender Digitalisierung kann man inzwischen jeden Atemzug erfassen, abbilden, bewerten. Möglich ist alles – aber ist es auch sinnvoll und zielführend? Wie aussagekräftig und belastbar ist denn die zusätzliche Betrachtungsebene?

Bei der Auswahl des für das Projekt am besten geeigneten Detaillierungsgrads gilt es grundsätzlich darum die Antwort auf folgender Frage gerecht zu werden: Auf welcher Flughöhe werden Entscheidungen gefällt?

1.2. Prämissen abfragen und validieren

Weil es leider keine Allzweckwaffe „one-size fits all“-Transportlösung gibt, gilt es die relevanten logistischen Eckdaten zu berücksichtigen:

- Produktionsprogramm,
- Wachstum, Prognosen,
- Volumen, LHM (Ladehilfsmittel),
- Teile pro LHM, Stapelbarkeit,
- LHMs pro LKW, LHMs je Routenzug-Anhänger..

Um akkurat Aussagen über die Wirtschaftlichkeit treffen zu können müssen ebenso

- Produktionstage, Schichtmodelle,
- Verteilzeiten, Ausfallquoten,
- Wartung- und Energiekosten, Abschreibungsdauern

sämtlicher Ressourcen erfasst werden.

1.3. IST-Prozess Aufnahme

Ein wichtiger Schritt zur Validierung des Modells ist die 1:1 Abbildung des IST-Prozesses. Auf Basis des Mengengerüsts werden in erster Instanz durchschnittliche Prozesszeiten und –häufigkeiten dimensioniert und die aktuell eingesetzten Transportfördermittel prozesskostentechnisch bewertet. Erzielt man dadurch eine ausreichend hohe Trefferquote mit den tatsächlichen Volumen, Dynamik und Kosten, wird das Modell für SOLL-Betrachtungen freigegeben.

Später dient diese IST-Prozessabbildung als Benchmark dafür, wie hoch mögliche Einsparungen ausfallen könnten.

2. Lösungsraum technischer Transportalternativen

2.1. Linde Fleetplan – interaktiver Produktkatalog

Im Rahmen eines aktuell stattfindenden Optimierungsprojekts sind agiplan und Linde MH sich in genau dieser Fragestellung nähergekommen.

Linde hat für seinen Vertrieb eine webbasierte Anwendung entwickelt, welche auf einfacher Weise ermöglicht, Transportalternativen aus dem Linde-Produktkatalog zu vergleichen.

Auch erachten wir einen Exkurs zur Vorstellung der Benefits und Synergien aus diesem Tool als sinnvoll.

Dieses Online-Tool, welche durch seine sehr ansprechende bedienerfreundliche Oberfläche heraussticht, wird nun in Eckpunkten vorgestellt.

Ein besonderes Feature besteht darin, sich nach der Parametrierung eines Prozessschrittes (was muss wie oft wohin gefahren werden) lediglich die Fahrzeuge aus dem Katalog automatisch anzeigen zu lassen, die auch für diese Aufgabe geeignet sind.

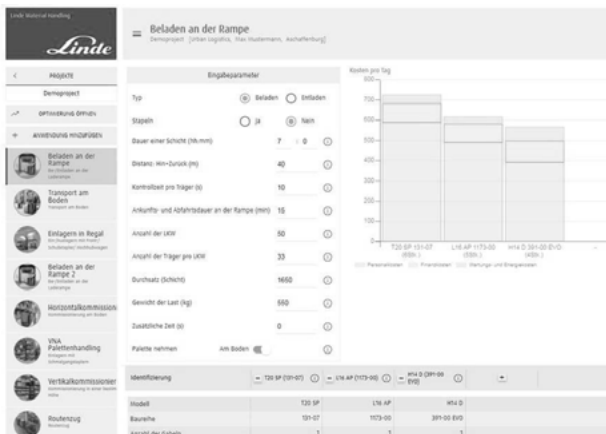


Bild 1: Screenshot der Linde Fleetplan Software – Fahrzeugvergleich beim LKW-Beladen

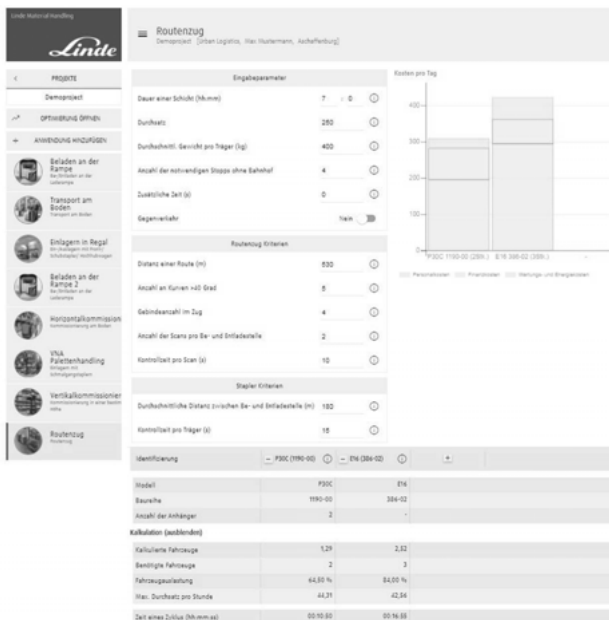


Bild 2: Screenshot der Linde Fleetplan Software – Fahrzeugvergleich beim Routenzug

2.2. SOLL-Modellierung – verbesserte Prozessschritte

Im Rahmen der SOLL-Modellierung gilt es, den IST-Prozess auf Schwachstellen kritisch zu untersuchen. Durch den Einsatz fortschrittlicher Technik können womöglich bisherige aufwendige Tätigkeiten entfallen. Man sollte selbstbewusst daraufhin zielen eine vergleichbare Leistung zu erreichen, und nicht die Fehler und Verschwendungen zu duplizieren! Vor allem in Hinblick auf dem informatischen Fluss sind keine Grenzen gesetzt und das planen auf einer grünen Spielwiese erlaubt.

2.3. Komplexe Kombinatorik

Es kommt nicht selten vor, dass ein bestimmter Prozessschritt so hohe Anforderungen hat, dass keine Lösung hundertprozentig zufriedenstellend ist. Allein beim Thema beidseitiges automatisches Be- und Entladen eines Routenzuges gehen viele Lösungen leer aus, zum Beispiel. An der Stelle könnte eine Kombination aus unterschiedlichen Transportlösungen diese Anforderungen meistern.












		VOLL- automatisch							
		Physischer Prozess (Fahren)	automatisch	automatisch	automatisch	automatisch	automatisch	automatisch	automatisch
		Physischer Prozess (Be- und Entladen)	automatisch	automatisch	automatisch	automatisch	automatisch	automatisch	automatisch
		Transportlösungen	Routing + Flex Turtle (notfahrend)	Routing + Flex Turtle (wartend)	Routing + smart Pallet shuttle (notfahrend)	Routing + L-Matic (wartend)	Flex Trolley Version + Flex Turtle (notfahrend)	Flex Trolley Version + Flex Turtle (wartend)	
Transport	Transporttechnik	Prozesse							
GLT Großladungsträger		indoor outdoor indoor	A	2	3	2	2	0	0
GLT Großladungsträger		indoor	D	3	3	3	3	3	3
Komm. Kommissionierwagen		indoor outdoor indoor	C	2	3	0	2	0	0
Komm. Kommissionierwagen		indoor	F	3	3	0	3	3	3

Bild 3: Transportlösungsvergleich: Kreative Kombinatorik und Eignung zum Fördergut

3. Automatisierungsgrad und digitale Anforderungen

3.1. Definitionsabgrenzung

Im Rahmen der Begriffsunsicherheit um Digitalisierung und Industrie 4.0, gilt es bei der Begriffsdefinition zumindest darum, für alle Projektteilnehmer die gleiche konkrete Vorstellung zu erreichen. Der erhoffte Quantensprung ist damit nicht erreicht wenn man einen suboptimalen Prozess automatisiert, oder wenn man dank Digitalisierung in Echtzeit ganz genau erfährt, wie

schlecht man wirtschaftet. Erst die intelligente Verknüpfung von Automatisierung und Digitalisierung erlaubt zum Beispiel autonomes Fahren. Dies kann allerdings sehr unterschiedliche Gestalt annehmen: Vom reinen vorwärts Fahren über Magnetstreifen bis hin zum 4-Wege la-sergeführten Turtle auf der Stelle drehend oder gar zur Unterflur-FTF mit Schwarmintelligenz sind die Unterschiede den erforderlichen Anforderungen seitens CPS-Bereitschaft betreffend gewaltig.

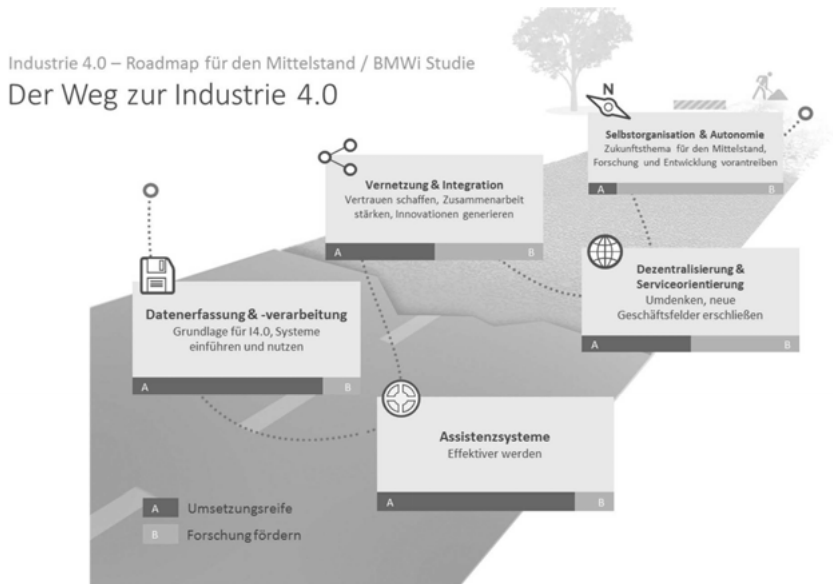


Bild 3: Industrie 4.0 als Zusammenspiel von Digitalisierung und Automatisierung

3.2. Abbildung im Prozesskostenrechnungstool

Verfolgt man die Idee im Vergleich der Transportlösungen auch automatische Flurförderzeuge aufzunehmen, darf man nicht nur die reinen Fahrzeugkosten anrechnen. Vielmehr geht es darum, die ganze notwendige Peripherie korrekt wertmäßig einzuschätzen und in der Berechnung einfließen zu lassen.

Welche Fixkosten für eine performante IT-Landschaft? Wie hoch sind Projektierungskosten, und der Inbetriebnahmeaufwand? Muss ich zusätzliche Mitarbeiter einstellen, die für die Wartung und Instandhaltung der feinmotorischen Geräte zuständig sind? Oder ein Schar an Informatiker?

3.3. Voraussetzungen im physischen und IT-technischem Umfeld

Liebäugelt man mit einer technisch anspruchsvollen Lösung gilt es, die Eignung im Umfeld auf Alltagstauglichkeit zu überprüfen:

- Verkehrswegbreiten, Hallenstruktur und Bereitstellungskonzept
- Bodenbeschaffenheit, klimatische Verhältnisse
- W-LAN Ausleuchtung, Navigationsmethoden, Schnittstellen zu IT-Hierarchieebenen
- Kennzeichnung und Identifizierung LHMs, Prio-Strategien
- Arbeitssicherheit, Personenschutz

4. Variantenbewertung mit Hilfe einer schlanken Prozesskostenrechnung

4.1. Prozesskostenrechnung, ROI, Rendite

Obwohl der Leitgedanke „wie teuer ist es?“ relativ eindeutig ist, sind die Möglichkeiten der Auslegung von Kosten zahlreich. Stellt sich nun die Frage „Wie bewerte ich?“

Je nach unternehmensinternen Controlling-Richtlinien wurden sämtliche Verfahren angewandt:

- Delta der laufenden Kosten über reine Personalkosten
- Umfangreiche Prozesskostenrechnung mit Abschreibungsdauern
- Zusätzliche Berücksichtigung der Flächenkosten
- ROI, Cash Flow und Rendite (Berücksichtigung des internen Zinssatzes)

Im Linde-MH Online-Tool Fleetplan besteht die Möglichkeit selbst über mehrgliedrige Prozessketten eine Kostenoptimierung per simplen Knopfdruck vorzunehmen. Die günstigste über alles kann errechnet werden, jedoch bildet dieses Optimum meistens keine rationale Entscheidung. Daher wurde auch die Optimierung hinsichtlich geringster Varianz der eingesetzten Flurförderzeuge implementiert.

4.2. Sensitivitäten, Break-even und Verallgemeinerung

Jetzt wo das Modell seine belastbaren Ergebnisse geliefert hat, kann man über sämtliche Schrauben drehen, um die Einflussgrößen besser zu greifen.

Lohnt sich ein autonom fahrender Routenzug noch wenn die Personalkosten sich halbieren? Macht die Einführung eines FTS noch Sinn wenn die Streckenentfernung sich verfünffacht? Solche What-If-Fragenstellungen und weitere Sensitivitäten können nun simuliert werden und in grafischen Darstellungen überführt werden, wo man die Break-Even-Werte erkennt.

Schließlich können allgemeingültige Aussagen getätigt werden, zum Beispiel ob man bei KLT-Routenverkehre lieber automatisch entlädt und manuell fährt oder umgekehrt.

4.3. Nicht-quantifizierbare Kriterien

Als Ausblick dient die Berücksichtigung von nicht monetären Kriterien. Bei der Entscheidung über den zukünftigen Einsatz von Flurförderzeugen spielen auch qualitative Kriterien eine bedeutende Rolle. Zum Beispiel kann aufgrund einer sehr schlechten Mitarbeiter-Akzeptanz eine auf dem Papier als kostenoptimalste Lösung in Wirklichkeit zum Desaster werden. Systeme die gar für die Sicherheit der Mitarbeiter gefährdend sein könnte, können sogar über KO-Kriterien ausgeschlossen werden.

Präsentiert man in einer Grafik auf zwei Achsen dargestellt z.B. Nettobarwert gegen NWA, hat man auf einem Blick die qualitativen und monetären Ausprägungen der Transportlösungen, und somit die beste Grundlage für eine Entscheidung, und sauber dokumentiert für die Nachwelt.

Effizienzsteigerung einer Montagelinie durch Data Analytics

Wie die Effizienz einer Montagelinie durch maschinelles Lernen um 30% gesteigert werden konnte

Dipl.-Ing. (FH) **Christoph Metzler**, evosoft GmbH, Nürnberg

Kurzfassung

SIEMENS entwickelt in Kooperation mit anderen Unternehmen die MindSphere Plattform, ein Betriebssystem für das Industrielle Internet der Dinge (IIoT). MindSphere ermöglicht die Entwicklung von skalierbaren Applikationen, die sich automatisch an aktuelle Anforderungen hinsichtlich Datenvolumen und Rechenleistung anpassen können. Organisationen können die Daten in der MindSphere nutzen, um tiefere Einblicke in ihre Produktionsanlagen zu bekommen und zusätzliches Potential für Optimierungen zu entdecken.

Die evosoft entwickelt eine ganzheitliche Lösung, die zeigt wie Nutzer der MindSphere die Leistungsfähigkeit einer physikalischen Anlage durch maschinelles Lernen steigern können. Demonstriert wird diese Lösung am Modell einer Montagelinie, deren Effizienz mit diesem System um 30% gesteigert werden konnte.

Ausgangspunkte der Optimierung sind die Verfügbarkeit der einzelnen Stationen auf der Montagelinie und die auftragsbedingt noch zu montierenden Varianten der Werkstücke. Ein Algorithmus berechnet mit diesen Parametern eine optimale Produktionsreihenfolge mit minimaler Produktionszeit.

Der Optimierungsalgorithmus wird durch ein selbstlernendes System gespeist. Dieses System nutzt die Daten der Automatisierung, um Abweichungen zwischen optimierter und realer Bearbeitungszeit zu erkennen. Anhand dieser Daten kann das System für den Algorithmus ein besseres Abbild des physikalischen Produktionsprozesses bereitstellen.

Die MindSphere lernt aus diesen Daten den aktuellen Zustand der Produktionsanlage und ermöglicht auf diese Weise eine Selbstoptimierung des gesamten Systems zur Laufzeit.

1. Anbindung einer Modellanlage an ein IoT Operating System

Im Betrieb einer Automatisierungsanlage können sich viele Daten ansammeln, z.B. von RFID Sensoren. Diese Daten enthalten wichtige Informationen, welche zur Analyse und Optimierung des Automatisierungssystems verwendet werden können. Um dieses Potential jedoch nutzen zu können, müssen die von der Automatisierung erzeugten Daten zunächst in geeigneter Form gespeichert werden. Ein Automatisierungssystem ist darauf aber oft nicht ausgelegt und muss nachträglich für diesen Zweck angepasst werden. Doch wo können die Daten gespeichert werden und wie kommen sie dort hin?

Viele Cloud Provider bieten ihre Plattformen als Speicherort für diese Daten an. Sie kümmern sich aber eher rudimentär um die Anbindung der Produktionsanlage, meist in Form von ARM basierten Einplatinencomputern. Diese sind aber wenig für den Shopfloor geeignet und bieten kaum Unterstützung bei der Anbindung der Sensorik.

Deshalb haben wir uns für die Verwendung der SIEMENS MindSphere entschieden. MindSphere stellt nicht nur eine Cloud Plattform für Automatisierungsdaten bereit, sondern ermöglicht auch eine industrietaugliche Anbindung der Automatisierung an dieses System. So kann der Zugriff auf die Daten der Steuerungen z.B. über OPC UA einfach und sicher realisiert werden. Die in unserem Beispiel verwendete Modellanlage wurde durch eine Connectorbox mit der MindSphere verbunden und die MindSphere kann auf die für den konkreten Anwendungsfall notwendigen Daten zugreifen.

2. Aufzeichnen und Auswerten der Automatisierungsdaten in der Cloud

Die Umsetzung eines Data Analytics Projekts beginnt mit dem Verständnis der in der Automatisierung verfügbaren Daten. Darauf aufbauend wird der für den Anwendungsfall spezifische Datensatz definiert und die Aufbereitung der Daten implementiert.

Im Gegensatz zu den gängigen Use Cases der Instandhaltung, denen in der Regel eine Schwellwertbetrachtung von laufenden Betriebsvariablen zugrunde liegt, ist im Fall der Effizienzsteigerung der Aufenthaltsort der Werkstücke auf der Montagelinie ausschlaggebend. Diese Daten sind im Allgemeinen nicht direkt aus der Automatisierung zu ermitteln, da sie für die Funktion der Automatisierung nicht erforderlich sind. Die Modellanlage ist mit RFID Sensoren ausgerüstet, die an bestimmten Punkten die Identifikation des Werkstücks gewährleisten. Diese Daten werden hier zur Berechnung herangezogen.

Die MindSphere zeichnet die Werte der RFID Leser als Zeitreihen auf. In der Datenverarbeitung werden aus diesen Zeitreihen Events erzeugt, so dass die Applikation jedem Werkstück genaue örtliche und zeitliche Aufenthaltspunkte zuordnen kann. Aus diesen lässt sich nun der genaue Aufenthaltsort eines Werkstücks in der Produktion und die Dauer bis zum Erreichen des nächsten Sensors prognostizieren. Dies geschieht zur Laufzeit, d.h. es werden automatisch aktuelle Rahmenbedingungen wie Umwelteinflüsse und Verschleiß berücksichtigt.

Der Optimierungsprozess erfolgt in zwei verschiedenen Systemen, einem Lerner und einem Optimierer. Durch den Vergleich der aktuellen mit den historischen Daten ist der Lerner in der Lage, den aktuellen Anlagenzustand immer genauer zu modellieren je länger das System läuft. Auch verschiedene Betriebszustände wie z.B. Anlagenstillstände oder Anomalien an den einzelnen Stationen kann der Lerner erkennen und berücksichtigen.

Ziel des Lerners ist es, dem Optimierer ein möglichst genaues Modell des aktuellen Zustands der Produktionsanlage zu übermitteln. Mit diesen Informationen und dem zu fertigenden Auftragsbestand ist eine automatisierte Optimierung der Produktion im laufenden Betrieb möglich.

3. Steigerung der Effizienz durch Lösung des Reihenfolgeproblems zur Laufzeit

Bei der evosoft Modellanlage handelt es sich um ein Automatisierungssystem zur auftragsbasierten Bearbeitung von Werkstücken.

Im Betrieb der Anlage konnte beobachtet werden, dass diese in bestimmten Situationen nicht optimal arbeitet. Bei Produktionsaufträgen mit gleicher Stückzahl aber unterschiedlichen Bearbeitungsschritten kam es teilweise zu großen Schwankungen in der Produktionszeit. Es stellte sich heraus, dass sogar identische Produktionsaufträge mit unterschiedlicher Bearbeitungsreihenfolge bis zu 70% länger bis zur Fertigstellung benötigen können.

Der Ursprung dieses Problems liegt darin, dass ein Werkstück die Anlage solange traversieren muss bis die entsprechende Bearbeitungsstation frei wird. Um dieses Problem zu verifizieren, wurde versucht die Auftragsreihenfolge von Hand zu optimieren. Dabei konnte bereits eine Senkung der Produktionszeit um bis zu 20% erreicht werden. Das Ziel war jetzt, ein automatisches Optimierungssystem zu entwickeln welches dieses Potential optimal und während der Laufzeit der Automatisierungsanlage ausnutzen kann.

Dieses Optimierungssystem passt die Auftragsreihenfolge so an, dass jedes Werkstück sofort an einer Station bearbeitet werden kann und keine „Extrarunde“ auf der Anlage drehen muss. Weiterhin wird auch die genaue Zeit berechnet, zu welcher jedes Werkstück in die Anlage eingespeist werden muss um seine vorherbestimmte Bearbeitungsstation ohne Wartezeit zu erreichen. Auf diese Weise kann eine konstante und optimale Auslastung der Bearbeitungsstationen gewährleistet werden.

4. Integration des Selbstlernenden Systems ins Auftragsmanagement

Aus Sicherheitsgründen haben wir uns dagegen entschieden, einen direkten Zugriff auf die Automatisierung aus der Cloud heraus zu ermöglichen, der steuernd ins Produktionssystem eingreift. Stattdessen haben wir einen Zugang zum Produktionssystem über das Auftragsmanagement gewählt.

Dadurch waren in der Produktionslinie keine Anpassungen für den Einsatz des Optimierers erforderlich. Der Operator der Produktionsanlage kann sich zwischen der ursprünglichen oder die durch die Applikation optimierte Auftragsreihenfolge entscheiden. Je nach Wahl wird dann die konkrete Auftragsliste erzeugt.

Die Optimierung wird zur Laufzeit in Echtzeit errechnet und ist jederzeit ein- und ausschaltbar. Die Effizienzsteigerung bei eingeschalteter Optimierung ist je nach Produktionsvorgabe unterschiedlich hoch, jedoch erreicht der Optimierer bislang immer eine Verkürzung der Produktionszeit.

Erwartungen an die FTS-Branche

Technologie und Innovation

Dr.-Ing. **Günter Ullrich**, Forum-FTS GmbH, Voerde

Kurzfassung

- Veränderte Kundenerwartungen bewegen die FTS-Branche
- All-Times-High bei den Bestellungen und der Nachfrage
- Standard-Leitsteuerungen für den Betrieb mehrerer Systeme
- 3D Sensorfusion als Bedingung für intelligente und sichere Roboter-Konzepte

1. Einleitung

Technologie und Innovationen prägen unsere Zeit und sind der Motor agiler Produktionsversorgungssysteme. In den mehr als dreißig Jahren der Arbeit im VDI Fachausschuss „Fahrerlose Transportsysteme (FTS)“ gab es nie eine Phase, in der das FTS so gefragt war wie heute. In fast allen Branchen kommen die Planer bei der Konzeption neuer Produktionsversorgungssysteme nicht am FTS vorbei. Die FTS-Hersteller produzieren mit Hochdruck, und ständig wächst die Zahl der Anbieter. Nahezu alle Unternehmen, die sich mit manuellen mobilen Systemen beschäftigen, erweitern ihre Bemühungen auf automatische Lösungen. In diesem Umfeld wachsen die Anforderungen der Kunden an das FTS:

- Wenn immer mehr FTS eingesetzt werden, müssen die Systeme miteinander kommunizieren.
- Der Einsatz unterschiedlichster Fahrzeuge von verschiedenen Herstellern verlangt mehr Standardisierung, insbesondere der Schnittstellen.
- Die angrenzenden Technologiegebiete, z.B. das autonome Fahren der Automobilindustrie und die Innovationen der Technologiekonzerne verlangen mehr autonomes und intelligentes Verhalten der Fahrerlosen Transportfahrzeuge (FTF).

Bild 1 zeigt die Zukunftsvision von Audi hinsichtlich der Fabrik der Zukunft. Sie wird geprägt von hochflexiblen Systemen, die fast alle beweglich/mobil sind. Das FTS, die mobilen Roboter, die mobilen Systeme werden Hochkonjunktur haben, was höchste Anforderungen an die Ansteuerbarkeit und Koordination der Systeme erfordert.



Bild 1: Vision einer agilen Produktion (Quelle: Audi)

Der Druck auf die FTS-Hersteller ist groß und die Erwartungshaltung der Kunden riesig: Aus der Computerwelt und aus den Medien sind wir daran gewöhnt, dass die Innovationszyklen immer kürzer werden und dass technisch scheinbar alles geht. Für die mittelständisch geprägte FTS-Branche sind das Herausforderungen, die kaum zu stemmen sind: Einerseits, weil die begrenzten Entwicklungsressourcen der Mittelständler auf die vielen laufenden Kundenprojekte begrenzt sind, andererseits, weil die Firmen, die von großen Unternehmen übernommen wurden, noch damit beschäftigt sind, sich in die administrativen Strukturen eines Konzerns zu integrieren.

2. Das autonome FTS als agiles Produktionsversorgungssystem?

Dabei ist das FTS seit jeher ein „agiles Produktionsversorgungssystem“, das Herzstück von Industrie 4.0 oder ehemals CIM (computer integrated manufacturing) [1]. Das FTS ist eine zuverlässige Automatisierungskomponente, die hochflexibel die Schlüsselfunktion der Intra-logistik erfüllt.

Das FTS sorgt für

- verlässliche und sichere Prozesse
- Ordnung und Sauberkeit
- Prozessdaten für eine aussagekräftige Statistik
- eine flexible Verkettung der Prozesse

Die „Agile Produktion“ soll dafür sorgen, dass ganzheitliche Produktionssysteme zum Einsatz kommen, die mehr als flexibel sind, nämlich „agil“: Für die agile Produktion ist das Management von statischen Maschinenspezifikationen, dynamischen Maschinendaten sowie Exper-

tenwissen ein wichtiger Ansatzpunkt, wobei in der Intralogistik das FTS wiederum eine zentrale Rolle spielen kann. Das FTS verkettet die Anlagen, und die Fahrzeuge „erleben“ die Fabrik; dabei entstehen die wichtigen Daten für zukunftssichere Produktionssysteme.

Der Ruf nach einem autonomen FTS bzw. nach autonomen FTF wird immer lauter. Die Fahrzeuge sollen selbständiger werden, mehr eigene Entscheidungen treffen und weniger übergeordnete Koordination benötigen. Die Fahrzeuge sollen sich selbst ihre Aufträge geben, sich die Wege suchen und sich untereinander absprechen. Das würde noch mehr der Idee der agilen Produktion entsprechen.

Nun sind diese Forderungen schnell formuliert, aber nicht so leicht zu realisieren. Die Gefahr liegt darin, solche autonomen Funktionen zu früh, also unfertig und unerprobt einzusetzen. Die Folgen wären eine Unberechenbarkeit hinsichtlich der Leistung der Anlage, hinsichtlich des Verhaltens der Fahrzeuge, was im Chaos enden könnte. Anhand der oft geforderten autonomen Funktion des „autonomen Ausweichens von Hindernissen“ soll das näher erläutert werden.

Die heute eingesetzten FTS verwenden proprietäre Leitsteuerungen und 2-dimensionale Sensoren, wodurch die Möglichkeiten hinsichtlich der autonomen Funktionen beschränkt werden. Die Leitsteuerung spricht nur mit den eigenen Fahrzeugen [2], und die Sensorwelt ist eine Scheibe [3].

Daraus resultieren ganz konkrete Probleme:

- Einschätzen der Tiefe des Hindernisses, Bsp. Palette oder stehender Routenzug
- Einschätzen der Dauer der Störung durch das Hindernis
- Einschätzen des Gegenverkehrs, insbesondere wenn es sich nicht um die „eigenen“ FTF handelt, sondern um Fußgänger, Radfahrer, Mitarbeiter mit Gabelhubwagen, Stapler, Routenzug, u.v.m.
- Überraschungen durch einbiegenden Querverkehr während des Manövers
- Einschätzung der Auswirkungen auf den Verkehrsfluss: Nicht berechenbar, es entsteht durch unvorhersehbare Manöver der FTF eventuell ein Verkehrschaos, insbesondere bei stark befahrenen Routen mit Gegenverkehr (Deadlock)

Bei mehreren FTS-Herstellern sind Versuche zur freien Navigation mit autonomer Bestimmung von Verkehrswegen gescheitert. Gründe:

- Mischbetrieb! Umgebungsverkehr führt zu Deadlock-Situationen.
- Vorhersehbarkeit des Verhaltens der FTF ist für die Mitarbeiter nicht mehr gegeben.
- Mangelnde Betriebssicherheit.

Aus sicherheitstechnischer Sicht ist ein Verlassen der normalen Fahrspur zum „autonomen“, d.h. selbstständigen Überholen gefährlich, vor allem, wenn die Fahrzeuge noch nicht einmal über einen 3D-Maschinenschutz verfügen. Bei der Layouterstellung muss es möglich sein, nicht nur die Fahrwege und die Positionen (Haltepositionen, Lastübergabepositionen, etc.) vorzugeben, sondern auch zugehörige Flächen, durch die sich die maximal-erlaubten FTF-Bewegungen ergeben.

Innerhalb dieser Flächen soll das FTF ein Hindernis umfahren können. Dazu muss das FTF mit seiner Sensorik das Hindernis einschätzen und selbst berechnen, ob eine Vorbeifahrt auf der erlaubten Fläche möglich ist. Mit der heute üblichen Sensorik und der 2D-basierten Software ist das nicht möglich. Da ist es sinnvoller, während der Layoutplanung ein Verkehrskonzept mit Ausweichrouten zu definieren und zu realisieren - eine seit langem bewährte Strategie.

3. Die Rolle der FTS-Leitsteuerung

Es gibt zahlreiche Gründe, Standards im Bereich der Leitsteuerung zu fordern. Aus Sicht der Anwender sind dies:

- In einer Produktionshalle gibt es zukünftig mehr als ein FTS.
- Anbindung mehrerer FTS-Leitsteuerungen an ein ERP-System ist aufwändig.
- Mehrere FTF-Flotten teilen sich ein Layout => Abstimmung ist erforderlich.
- Das klassische FTS-Projekt führt zur Abhängigkeit von einem Lieferanten.
- Standard-Schnittstellen sind längst überfällig!
- Zur Auswahl stünde ein riesiges Angebot an Fahrzeugen, was eine ungeahnte Flexibilität bedeutet.
- Übergeordnete Systeme, die mehrere Subsysteme wie FTS, Staplerflotten und Routenzüge koordinieren könnten, sind die Voraussetzung für die Weiterentwicklung von autonomen FTS

Es gibt mehrere Institutionen, die sich dieses Themas angenommen haben. Auch der VDI Fachausschuss „Fahrerlose Transportsysteme (FTS)“ nimmt seine Aufgabe diesbezüglich sehr ernst. Allerdings gibt es einige Herausforderungen zu bedenken:

- Das klassische FTS-Projekt umfasste die technische Auslegung, Lieferung und Montage des Gesamtsystems FTS und lag vollständig in der Verantwortung des FTS-Herstellers.
- Dazu gehörte die Verantwortung über die Sicherheit und Leistungsfähigkeit der Intralogistik-Lösung. Der Lieferant war ein kompetenter Systempartner...
- Wenn zukünftig die FTS-Komponenten einzeln eingekauft werden, muss IRGENDJEMAND die Rolle des Integrators übernehmen und den Kopf hinhalten. Der FTF-Lieferant wird das genauso wenig tun wie der Programmierer der Standard-Leitsteuerung. Diese Rolle ist bisher unbesetzt.
- Die Anbieter müssen ihre Rolle neu definieren.
- Horrorvision: Niedergang der FTS-Kultur und Einsatz von Billig-FTF aus China.

Wir haben an anderer Stelle [2] Ansätze gezeigt, wie so eine Standard-Leitsteuerung aussehen kann (Bild 2).

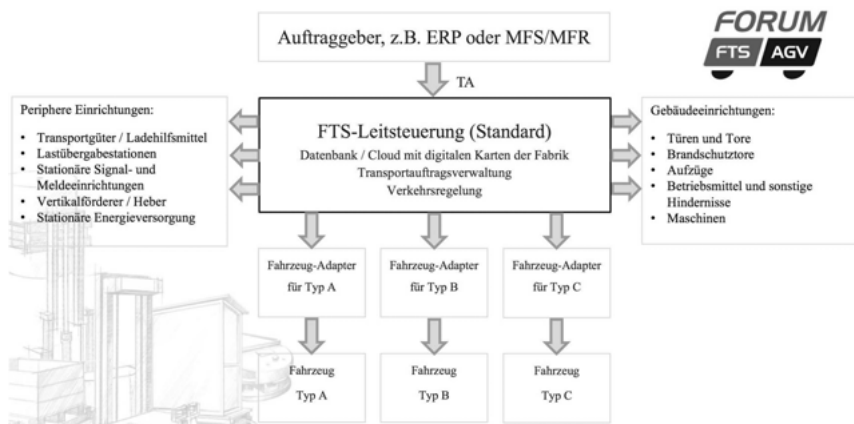


Bild 2: Systemkonzept einer Standard FTS-Leitsteuerung [2]

Zahlreiche Schnittstellen sind zu standardisieren, und zwar die Schnittstelle nach oben, also zum Auftraggeber und die zu den Gebäudeeinrichtungen und peripheren Einrichtungen. Viele dieser Schnittstellen sind weitgehend standardisiert, bzw. es gibt Quasi-Standards. Von zentraler Bedeutung sind die Schnittstellen zu den mannigfaltigen Fahrzeugen, die angebunden werden sollen. Hier wird es das größte Problem hinsichtlich einer Standardisierung

geben; aus diesem Grund haben wird in Bild 2 bereits drei FTF-Typen definiert, die entweder direkt oder aber mittels eines FTF-Adapters anzubinden sind.

Zusammengefasst betrifft das folgende Schnittstellen:

- Standard-Schnittstellen zur Datenbank / Cloud
 - mit den digitalen Landkarten von allen (Fahr-) Wegen, Fahrspuren, Wegebreiten ...
 - Einrichtungen für die Navigation (Reflektoren, Magnete, Umgebungseinrichtungen, Indoor-GPS...)
 - Position der Tore, Brandschutztore, Aufzüge, Stationen, Ziele ...
 - Verkehrsregeln und Einrichtungen, wie Ampeln, Geschwindigkeitsvorgaben ...
 - Routen für dynamische Umleitungen bei Staus
 - Regeln und Routen für Eilaufträge
- Standard-Schnittstelle nach oben zum Auftrag generierenden System, z.B. ERP-System oder MFS/MFR
- Standard-Schnittstellen nach links und rechts zu den peripheren Einrichtungen und Gebäudeeinrichtungen
- Fahrzeug-Adapter Typ A für liniengeführte FTF (induktiv, optisch, Magnetband ...)
- Fahrzeug-Adapter Typ B für FTF mit freier Navigation auf virtueller Leitlinie (Laser- / Magnetpunktnavigation ...)
- Fahrzeug-Adapter Typ C für autonome FTF auf definierten Flächen (Umgebungsnavigation, Indoor-GPS ...)

Neben den Schnittstellen spielen die wesentlichen Funktionen der Leitsteuerung eine wichtige Rolle. Dazu gehört die digitale Karte mit der Verkehrsregelung. Ähnlich wie im Straßenverkehr einer Großstadt muss die FTS-Leitsteuerung eine genaue digitale Karte pflegen und darauf aufbauend mit bekannten Regeln die Verkehrsregelung der unterschiedlichen Verkehrsteilnehmer übernehmen. Bei der digitalen Karte wird es nicht mehr genügen, diese 2-dimensional, sondern 3-dimensional zu führen. Der damit verbundene Aufwand (Datenvolumen, Speicherplatz, Rechenkapazität, künstliche Intelligenz (KI)) ist immens und stellt die eigentliche Herausforderung bei der Realisierung der Standard-Leitsteuerung dar.

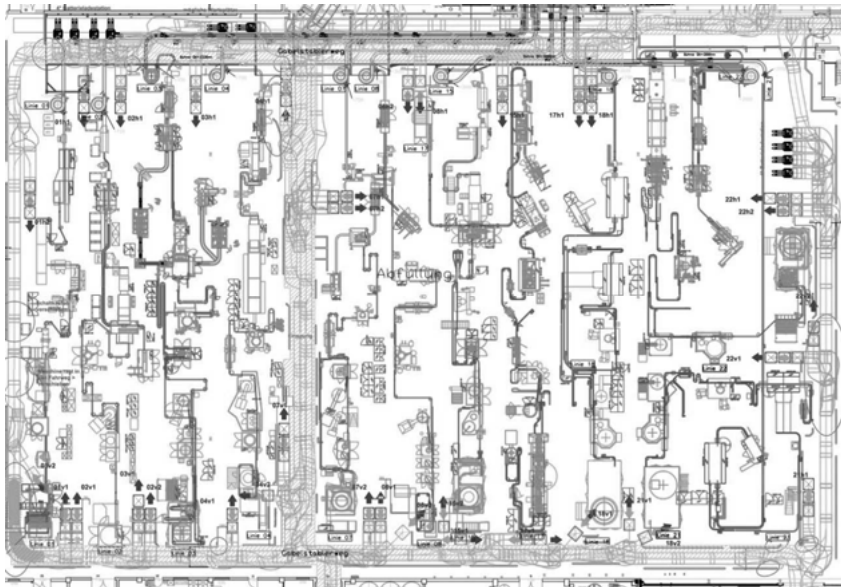


Bild 3: Die digitale Karte als Basis einer Standard-FTS-Leitsteuerung [2]

Wie sieht der Fahrplan für die erforderlichen Arbeiten auf dem Weg zur Standard-FTS-Leitsteuerung aus?

- Für viele Peripherie- und Gebäudeeinrichtungen gibt es bereits VDI-Richtlinien.
- Der VDI arbeitet an neuen VDI-Richtlinien für die einheitlichen Schnittstellen, die das neue Denken berücksichtigen werden.
- Das Forum-FTS wird die Aktivitäten unterstützen, sowohl strategisch als auch mit neu ausgerichteter projektbezogener Planung und Beratung.
- Es wird Standards geben für die FTS-Leitsteuerung und die Datenbank/Cloud mit den standardisierten Schnittstellen.
- Die FTF-Vielfalt kann steuerungstechnisch durch 3 Typen mit Adaptern (möglichst von den Lieferanten) abgebildet werden.

4. Die 3D-Sensorfusion

Die heute eingesetzte Sensortechnik, insbesondere der Personenschutz basiert auf 2-dimensionalen Sensoren. Insbesondere die bewährten Sicherheits-Laserscanner haben die Vorteile, dass sie für den Personenschutz zugelassen sind, erheblichen Mehrwert bieten und

aufgrund der eigenen Leistungsfähigkeit überschaubaren Aufwand bei der Einbindung in die Sicherheitssteuerung erfordern – aber eben alles auf 2-dimensionalen Basis.

Nun ist die Welt – auch die in der Intralogistik – nun mal keine Scheibe [1] [3]. Aus sicherheitstechnischer Sicht reicht es eben nicht mehr aus, sich auf den Personenschutz zu konzentrieren, sondern den Maschinen- oder Objektschutz mit einzubeziehen. Dazu gehört das Erkennen von schwebenden Lasten, Gabeln von Staplern, leeren Paletten, Leitern etc. Dafür werden 3D-Sensoren benötigt, eine Forderung, die auch heute schon in die Lastenhefte der FTS-Projekte Einzug hält.

Wenn diese Elemente schon von 3D-Sensoren erfasst werden, dann steht der Schritt an, diese nicht nur zu detektieren, um davor zu warnen, sondern diese auch zu erkennen. Erkennen meint hier zu spezifizieren, dass es sich bei dem Hindernis um eine Gabel, eine Leiter, einen Menschen oder eine Palette handelt – denn erst mit diesen Informationen wäre intelligenten Verhalten der Systeme (Leitsteuerung und/oder FTF) denkbar.

Wir wissen heute aus Erfahrung, dass es gar nicht leicht ist, Maschinenschutz-Sensoren zu konzipieren und zu kalibrieren, weil alle am Markt verfügbaren Sensoren Schwächen haben, so dass ein einzelner Sensor nicht ausreichen wird, um die Anforderungen der Zukunft zu erfüllen. Wir werden fusionierte Sensoren benötigen, was den Aufwand bei der Auswertung hinsichtlich Datenvolumen, Speicherplatz, Rechenkapazität und KI nochmal erheblich vergrößern wird. Fusionierte 3D-Sensoren in den FTF müssen dann mit ortsfesten Sensoren zur Überwachung zentraler Knotenpunkte kombiniert ausgewertet werden, was die Anforderungen an die FTS-Leitsteuerung zukünftiger agiler Produktionsversorgungssysteme auf den Punkt bringt.

5. Zusammenfassung

Gäbe es eine gemeinsame Standard-Leitsteuerung anstatt der proprietären systembezogenen Lösungen, müsste diese Leitsteuerung alle Verkehrsteilnehmer kennen (Transponder) und ansprechen können. Als übergeordnetes System steuert es alle Systeme, insbesondere verschiedene FTS, aber auch die Radfahrer, Mitarbeiter mit Gabelhubwagen, Stapler, Routenzüge usw. Dazu kommen ortsfeste Sensorsysteme (Kameraüberwachung) an neuralgischen Punkten, wie Kreuzungen, Kurven usw. Ortsfeste regelnde Einrichtungen wie Ampeln und Schranken komplettieren die Vision.

Beim der Annäherung eines FTF auf ein Hindernis könnte die übergeordnete Leitsteuerung Hinweise geben bzw. Voraussetzungen schaffen bzgl.

- Art des Hindernisses
- Tiefe des Hindernisses
- Dauer der Störung
- Freie Fahrt auf der Überholspur

Letztlich könnte die Leitsteuerung dann ermitteln, ob ein Ausweichen sinnvoll ist und die entsprechend notwendigen Maßnahmen einleiten; dazu können gehören: Zugangsverbote für den Bereich, in dem der Überholvorgang stattfindet – sei es direkt als Kommando an die Verkehrsteilnehmer oder in Form von Ampel- und/oder Schrankensteuerung.

Voraussetzungen für diese Vision:

- Die FTF müssen mit 3D-Sensoren ausgestattet sein.
- Ortsfeste Sensoren unterstützen bei der Einschätzung der Verkehrslage.
- Die Standard-Leitsteuerung muss alle im Layout agierenden FTS steuern.
- Die Standard-Leitsteuerung muss alle im Layout agierenden Verkehrsteilnehmer sowie alle Transportmittel kontrollieren.
- Alle Transportmittel, die im Layout agieren, müssen mit einem Transponder jederzeit identifizierbar sein; das bezieht sich auf: Fahrräder, Gabelhubwagen, Routenzüge samt aller Anhänger, Stapler, usw.
- Das zugrundeliegende Layout muss mindestens flächenbezogen, nicht nur fahrwegbezogen geführt werden. Für ein autonomes, intelligentes Verhalten ist eine 3D-Karte erforderlich.

Ob und wann diese Vision Realität wird, ist fraglich. Offen bleibt auch die Diskussion, ob die vollständige Überwachung der Mitarbeiter („Big Brother is watching you“) gewollt und erlaubt sein wird, bzw. ob es in dieser Welt noch Mitarbeiter geben wird. Sind wir auf dem Weg zu menschenleeren Fabriken?

Literatur

- [1] Ullrich, G.: Fahrerlose Transportsysteme. Eine Fibel – mit Praxisanwendungen – zur Technik – für die Planung. Springer Vieweg, Springer Fachmedien Wiesbaden 2011, 2014. ISBN: 978-3-8348-2591-9, ISBN: 978-3-8348-2592-6 (eBook). 2. Auflage (244 Seiten) erschienen im Dezember 2013
- [2] Ullrich, G., Osterhoff, W.: FTS mit kompatiblen Schnittstellen für morgen. Fachvortrag anlässlich des 6. Technologieforums „Fahrerlose Transportsysteme (FTS) und mobile Roboter – Chance, Technologie, Wirtschaftlichkeit“ am Fraunhofer Institut IPA Produktionstechnik und Automatisierung, am 20. September 2017 in Stuttgart. Tagungsband Fahrerlose Transportsysteme (FTS) und mobile Roboter, Fraunhofer IPA F335, Technologieforum 20. September 2017
- [3] Ullrich, G.: Die Welt ist keine Scheibe. Fachvortrag auf dem Logistikseminar „Produktionsversorgung der Zukunft“ am 12. Oktober 2017 an der TU München in Garching.

Entwicklung eines Industrie 4.0-Baukastens zur Digitalisierung von Produktionsprozessen am Beispiel eines vernetzten Materialwagens

Intelligente Vernetzung der überbetrieblichen Wertschöpfungskette bei einem kleinen und mittelständischen Unternehmen

Prof. Dr.-Ing. **Rainer Müller**,
Dipl.-Wirt.-Ing. (FH) **Matthias Vette-Steinkamp** M. Eng.,
Dipl.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. **Leenhard Hörauf**,
Dipl.-Ing. **Christoph Speicher**, **Dirk Burkhard** M.Sc.,
ZeMA – Zentrum für Mechatronik und Automatisierungstechnik
gemeinnützige GmbH, Saarbrücken;
Dipl.-Wirt.-Ing **Rouven Vierfuß**, Dipl.-Ing. **Ali R. Ahmadi**,
imperial-Werke oHG, Bünde

Kurzfassung

Der im Beitrag beschriebene Anwendungsfall betrachtet die Produktion von Weiß-Ware und den Materialfluss zwischen verschiedenen Produktionsbereichen und Zulieferern. Um die Produktion transparenter und die Produktionssteuerung reaktionsfähiger zu gestalten, erfolgt eine bedarfsgerechte Informationserhebung (Erfassung von Aufträgen und Beständen) in ausgewählten Bereichen der Produktion durch Aufrüstung bestehender Materialwagen zu Cyber-Physischen Systemen aus einem CPS-Technologiebaukasten. Die erhobenen Informationen werden der Produktionssteuerung in einem schlanken Manufacturing-Executive System wiedergegeben. Die Produktion erfolgt in hoher Wertschöpfungstiefe, sodass viele Fertigungs-, Vormontage- und Montagebereiche betrachtet und vernetzt werden müssen.

1. Einleitung und Eingrenzung des Anwendungsszenarios

Individualisierte, qualitativ hochwertige Produkte, ein erhöhtes Preisbewusstsein und die Forderung nach immer kürzeren Lieferzeiten sind die Herausforderungen der letzten Jahre. Daraus leiten sich für produzierende Unternehmen die entscheidenden Zielgrößen Qualität, Preis und Kosten, welche die Konkurrenzfähigkeit maßgeblich beeinflussen, ab. Hinzu kommt Zeit als weitere wichtige Zielgröße der Produktion [1]. Um angemessen auf zeitintensive Faktoren wie Produktionsänderungen und -störungen reagieren zu können, muss die Produktion flexibel

gestaltet werden. Dazu sind schlanke und reaktionsfähige Prozesse notwendig. Diese Reaktionsfähigkeit lässt sich allerdings nur auf der Basis von Informationen und Transparenz erzielen [2]. Informationen sind heute ein quantifizierbarer Bestandteil der Wertschöpfungskette von produzierenden und nichtproduzierenden Unternehmen. In der industriellen Produktion sind Informationen und Daten ein entscheidender Wettbewerbsvorteil.

Enterprise-Ressource-Planning (ERP)- und Manufacturing-Execution-Systemen (MES) werden bereits seit Jahren auch bei kleinen und mittelständischen Unternehmen eingesetzt. [3] Derzeitige Daten zur Produktionsplanung beruhen jedoch meist auf Plandaten und Annahmen (bspw. durchschn. Produktionsdauer) oder auf rudimentären Rückmeldungen mithilfe manueller medienbruchbehafteter Mitarbeiterangaben. Dementsprechend stellen ERP und MES nicht das tatsächliche Abbild der Produktion dar, sondern nur einen (veralteten) Planungsstand. Um eine annähernd echtzeitbasierte Planung und Produktionssteuerung zu ermöglichen, um auf Störungen sowie externe und interne Einflussfaktoren zu reagieren, sind echtzeitnahe Daten von der Shop Floor Ebene (Feldebene) notwendig. Genau dieser Weg zurück existiert heute aber in der Regel nur rudimentär und ungenügend. [4] Die Aufrüstung bestehender Betriebsmittel, Transportmittel, Zuführeinheiten etc. zu Cyber-Physischen Systemen (CPS) bietet sich an, um die Informationslücke zwischen Shop Floor und Top Floor zu schließen. Die Einführung dieser Technologien stellt jedoch gerade kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) vor sowohl ökonomische, personelle, technologische, als auch organisatorische Herausforderungen. Die Entwicklung einer bedarfs- und anforderungsgerechten Einführungsstrategie für Industrie 4.0, die es den Unternehmen ermöglicht, sich schrittweise dem Thema der Digitalisierung anzunähern ist entscheidend für eine erfolgreiche Umsetzung von Industrie 4.0 bei KMU. [5]

2. Problembeschreibung und Motivation im Anwendungsszenario

Die Firma Imperial-Werke oHG – ein Unternehmen der Miele Gruppe, produziert am Standort Bünde Kochfelder (Gas/Elektro), Wärmeschubladen und Dampfgarer. Die Dampfgarer werden aufgrund der zunehmenden Variantenvielfalt und -komplexität größtenteils manuell in Montagelinien oder werkstattähnlichen Baustellenmontagen montiert. Neben diesen Arbeitsplätzen im Bereich der Endmontage gibt es am Standort, in Folge der hohen Wertschöpfungstiefe, zahlreiche weitere Vorfertigungs- und Vormontagebereiche. So sind der Endmontage u.a. automatisierte Fertigungsbereiche, Werkvertragsunternehmen (WVU), Kabelkonfektion und Blechfertigung vorgelagert. Jeder Endmontagebereich (Kochfelder, Wärmeschubladen, Dampfgarer) greift auf die Kapazitäten der verschiedenen vorgelagerten Bereiche zu, was die

Komplexität intern zusätzlich erhöht. Die Koordination erfolgt heute größtenteils durch die Arbeitsvorbereitung und wird durch ein zentrales ERP System unterstützt. Aufgrund fehlender Echtzeitfähigkeit und fehlender Anbindung von Produktionsbereichen an bestehende Planungswerkzeuge (MES, ERP), sinkt die Transparenz der Produktionsplanung auf der Shop Floor Ebene, siehe Abb. 1.

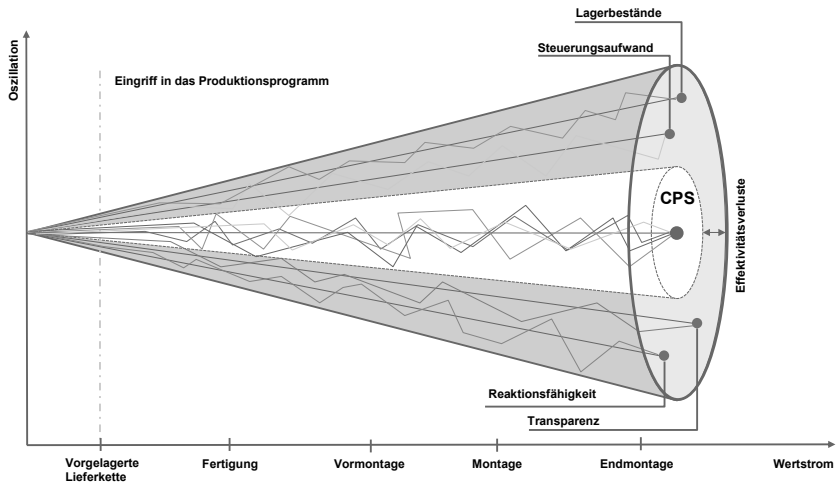


Bild 1: Problemstellung und Motivation im Anwendungsszenario

Durch die Intransparenz der Shop Floor Ebene, fällt die Reaktionsfähigkeit der Produktionsplanung auf kurzfristig erforderliche Eingriffe in das Produktionsprogramm. Die Folge sind nicht planbare und mit hohem Steuerungs- und Abstimmungsaufwand verbundene Reaktionen in der Produktion. Damit verknüpft sind u.a. Unterbrechungen und Ausfälle im Produktionsprozess und Auswirkungen auf angeschlossene Produktions- und Logistikbereiche. Die Rückmeldung des Auftragsstatus aus den Produktionsbereichen in die Planung erfolgt oftmals nur sehr rudimentär und zeitversetzt durch verschiedene Medien. Während bspw. die Prüfung automatisiert an übergeordnete, softwaregestützte Systeme angebunden ist und zeitnah Rückmeldung zu geprüften Geräten erfolgt, ist eine automatisierte und medienbruchfreie Rückmeldung in anderen Bereichen noch nicht implementiert. Die Rückmeldung aus der Garraumfertigung erfolgt bspw. nur zeitversetzt und auf analogem Weg. Folglich sind Produktions- und Auftragsstatus nicht ausreichend transparent für Planungsaufgaben. Insbesondere bei Störungen oder Änderungen im Produktionsablauf kommt es, infolge dieser fehlenden Transparenz im Produktionsverlauf, zu personalintensiven Abstimmungsrunden hinsichtlich Auftragsstatus und

Beständen, in denen zuerst die Situation und Fortschritte in den einzelnen Bereichen erfasst und anschließend eine Lösung gefunden werden muss. Es entsteht der dringende Bedarf, entscheidungsrelevante Informationen (bspw. Umplanung von Aufträgen bei Änderungen und Störungen) möglichst zeitnah zwischen einzelnen Bereichen und Personen verfügbar zu haben. Um dies umzusetzen, müssen Produktions- und Logistikprozesse mittels CPS-Hardware- und Softwarelösungen aufgerüstet werden.

Im Anwendungsszenario werden, beginnend bei der Garraumfertigung, Abläufe und notwendige Schritte zur Aufrüstung und Anbindung der Produktionsumgebung betrachtet. Als übergeordnetes zentrales System wird ein MES (XETICS Lean) zur Produktionssteuerung und -planung eingesetzt. In Planungstool werden relevante Informationen sowie Key Performance Indicators (KPI) der Produktion dargestellt, um auf Grundlage dessen im Störfall Produktionskapazitäten planen zu können. Ein Schwerpunkt, der in diesem Beitrag näher betrachtet wird, ist die Erfassung von Beständen in den einzelnen Bereichsbahnhöfen, um dadurch die Transparenz über Aufträge, vorhandene Bauteile / Baugruppen und Produktionsfortschritte zu gewährleisten. Durch die Aufrüstung von manuellen, unstetig fördernden Materialwagen zu CPS werden Bestände sowie deren Verortung in den Produktionsbereichen erfasst und in das MES übermittelt. Nachfolgend wird zunächst auf das Thema Analyse und Mensch-Technik-Organisation eingegangen bevor in Kapitel 4 die Sollprozesse im Anwendungsszenario skizziert werden. Ausgehend davon wird der Technologiebaukasten für den CPS-Materialwagen und die technische Lösung im Anwendungsszenario in Kapitel 5 beschrieben.

3. Wechselseitige Betrachtung von Mensch-Technik-Organisation

Die Einführung von I4.0-Lösungen wird durch die technischen Möglichkeiten zur Automatisierung getragen. Die Rolle des Menschen, demjenigen, der mit dem System im Produktionsumfeld interagiert und die Auswirkung der technischen Lösung auf dessen Arbeitsplatz, ist auch zu berücksichtigen. Nur eine wechselseitige Betrachtung von Mensch, Technik und Organisation kann zu einem langfristigen Erfolg der geplanten Maßnahme führen. Eine menschenzentrierte Entwicklung und Einführung von CPS, welche die Hemmnisse des Menschen gegenüber Veränderungen berücksichtigt und die Akzeptanz durch frühzeitige und aktive Einbindung sowie Aufklärung steigert, sollte daher im Fokus stehen. Gemäß der DIN EN ISO 9241-210:2011 sollte ein menschenzentrierter Gestaltungsansatz einige Grundsätze befolgen, siehe Bild 2. Die Gestaltung sollte auf einem umfassenden Verständnis der Benutzer, der Arbeitsaufgaben und der Arbeitsumgebungen beruhen. Zudem sollten die Benutzer ab der IST-Analyse und während der Konzeption und Entwicklung einbezogen werden. Der vorliegende Use-Case greift in etablierte Unternehmensprozesse ein. Das detaillierte Prozesswissen liegt

jedoch bei den beteiligten Facharbeitern und Teamleitern. In Interviews, Workshops oder mittels Fragebögen wird dieses Prozesswissen erhoben und durch verschiedene Modellierungstools dokumentiert.

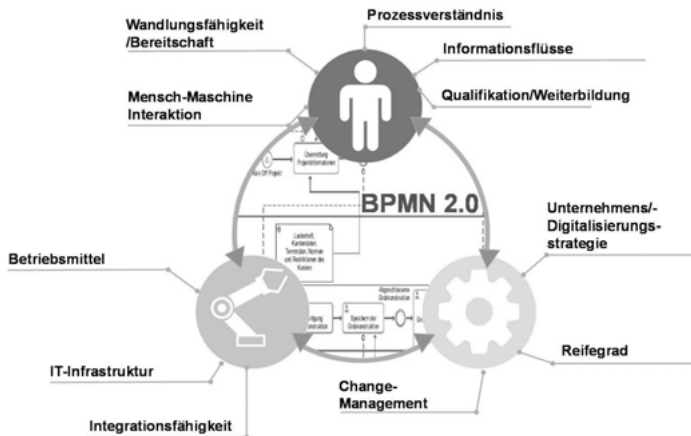


Bild 2: Mensch-Technik-Organisation in der Analysephase

Darüber hinaus werden die Ergebnisse für alle Beteiligten veröffentlicht, um den Anforderungen der DIN EN ISO 9241-210:2011 gerecht zu werden. Umfang und eingesetzte Werkzeuge sind dabei immer projektspezifisch. Um kritische Prozesse innerhalb einer Produktionskette zu identifizieren, ist es zunächst nötig, eine umfassende, transparente und leicht verständliche Darstellung des gesamten Produktionsablaufs zu erstellen. [6] Erst wenn alle Maßnahmen und Technologien zur Digitalisierung von Geschäftsprozessen gut aufeinander abgestimmt und in logischer Weise verknüpft sind, kann ein Mehrwert aus der Entwicklung generiert werden. Die klassische Wertstromanalyse beispielsweise hat sich in der Vergangenheit als geeignetes Werkzeug herausgestellt, um Produktionsprozesse, Materialflüsse und Informationsflüsse darzustellen und mit Kennzahlen über Qualität, Zuverlässigkeit und Ausstoß zu parametrisieren. [7] Mithilfe dieser Methode ist es möglich, kritische Prozesse mit u.a. hohen Stillstandzeiten, hohen Lagerbeständen oder vielen Medienbrüchen von der Top Floor auf die Shop Floor Ebene zu identifizieren und darzustellen. Die kritischen Prozesse werden einer detaillierten Analyse unterzogen. Um den Menschen in dieser Analyse in den Fokus zu rücken, werden die klassischen produktionstechnischen Kennzahlen um Kennzahlen wie die Wandlungsfähigkeit/Wandlungsbereitschaft, den IT-Reifegrad der Mitarbeiter erweitert. Zur detaillierten und standardisierten Darstellung von Mensch, Technik und Organisation in kritischen Prozessen

ist BPMN2.0 in ihrer aktuellen Version ein geeignetes Modellierungstool. In sog. Swimming-pools und -lanes werden alle am Geschäfts- / Produktionsprozess beteiligten Abteilungen, Akteure wie beispielsweise Meister, Facharbeiter oder Planungsmitarbeiter und deren Prozesse, Informationsflüsse und Materialflüsse untereinander abgebildet. Darüber hinaus können genutzte Betriebsmittel sowie verwendete IT-Infrastruktur mit relevanten Prozessparametern abgebildet werden. Die Analyse der Bereiche Garraumfertigung, Werksvertragsunternehmen, Endmontage sowie Endprüfung ergibt, dass, bis auf die Endprüfung, die Erfassung und Weitergabe von zahlreichen Informationen durch analoge Medien erfolgt. Die zeitverzögerte Rückmeldung dieser Informationen reduziert die Reaktionsfähigkeit der Planungsabteilung auf unerwartete aber erforderliche Änderungen im Produktionsablauf. Zur Steigerung der Transparenz auf den Shop Floor wurde als eine Maßnahme die Erfassung von Beständen definiert, die nachfolgend in Prozess- und technischer Ausführung erläutert wird.

4. Anforderungs- und bedarfsgerechte Vernetzung von Shop- und Top Floor

Das nachfolgende Zielbild beschreibt die erste Ausbaustufe zur Erfassung von Beständen und deren Verortung am Beispiel der automatisierten Garraumfertigung sowie im angrenzenden Bahnhof, siehe Bild 3. Der Soll-Prozess stützt sich dabei auf zwei wesentliche Entwicklungen und Implementierungen im Anwendungsszenario. Das Vorhandensein eines zentralen MES-Systems sowie die Aufrüstung der vorhandenen unstetig fördernden Materialwagen zu CPS. Im MES-System liegen bspw. Auftragsnummer, Artikelnummer und Menge vor. Es erfolgt die sortenreine Fertigung der Garräume in den automatisierten Roboterzellen. Sobald ein fertiger Garraum des aktiven Auftrags die Anlage verlässt **(1)**, führt der Mitarbeiter eine manuelle, visuelle Sichtprüfung der Garräume durch. Die als i.O. befundenen Garräume werden durch den Mitarbeiter in einen Materialwagen gelegt. N.i.O. geprüfte Garräume werden aussortiert. **(2)** Der Mitarbeiter entnimmt den Materialwagen vom Bahnhof der Garraumfertigung und stellt ihn an die Beladestation am Ende der automatisierten Roboterzelle. Integrierte Sensorik ermöglicht die Erfassung der Ortsänderung des Materialwagens, von Bahnhof zu Beladestation. Die Steuerung übermittelt die Informationen der Ortsänderung an das MES System. Die ID des Materialwagens wird mit dem aktiv geschalteten Auftrag verknüpft. Informationen wie Auftragsnummer, aktueller Bestand im Materialwagen und Materialnummer werden im MES erfasst, an eine Mensch-Maschine-Schnittstelle übermittelt und dort als Mitarbeiterinformation visualisiert. Der Mitarbeiter belädt den Materialwagen mit Garräumen, wobei die Belegung der einzelnen Slots von Sensoren erkannt und an das MES übermittelt wird. Die aktuelle Belegung der Slots wird ebenfalls an der Mensch-Maschine-Schnittstelle zurückgegeben.

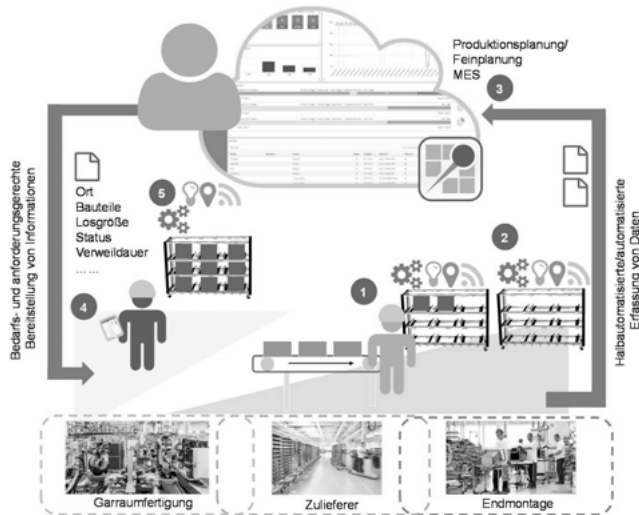


Bild 3: Zielbild im Anwendungsszenario

(3) Im MES werden der Produktionsplanung auftragsrelevante Informationen visualisiert und zur Feinplanung bereitgestellt. (4) Der Werker nimmt den Materialwagen und stellt ihn von der Beladestation auf den Bahnhof der Garraumfertigung, um ihn für einen Mitarbeiter des WVU (Werkvertragsunternehmen - Vormontagebereich) bereitzustellen.

(5) Der WVU-Mitarbeiter wählt sich einen Materialwagen entsprechend des momentanen Auftrags aus und überführt ihn zum Bahnhof des WVU. Die Ortsänderung wird ebenfalls automatisch detektiert und im MES als Entnahme und Fortschritt verbucht.

Anhand von IST-Analyse und identifizierten Restriktionen wird eine Auswahl von Technologien getroffen, die in den CPS-Technologiebaukasten aufgenommen werden. Diese Technologien und ihre Peripherie sind in die Domänen Identifikation, Vernetzung, Lokalisierung, Bestandserfassung, Mensch-Maschinen-Schnittstelle sowie Steuerung unterteilt. Unter Beachtung der Anforderungen und Restriktionen werden Technologien aus dem CPS Baukasten ausgewählt und für die Entwicklung des intelligenten Materialwagens verwendet.

Im Kontext von Industrie 4.0 wurden bereits einige „Leuchtturmprojekte“ durchgeführt. Eine große Anzahl dieser Technologien und Lösungen wurden auf der I4.0 Plattform des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie vorgestellt und veröffentlicht. Aus diesen Projekten werden Technologien identifiziert und deren Eignung zur Kopplung von Material- und Informationsfluss geprüft. [8] Des Weiteren werden Technologien in den CPS-Technologiebaukasten

aufgenommen, die noch keinen Einzug in die industrielle Anwendung gefunden haben aber für deren Einsatz geeignet erscheinen, siehe Bild 4. Als Beispiele sind der Bluetooth-Low-Energy (BLE) Beacon und Applikationen mit der Smart Watch zu nennen.

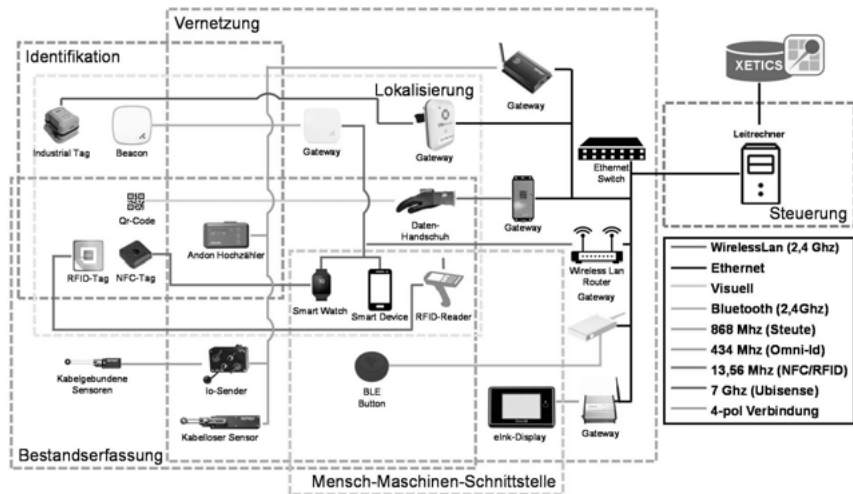


Bild 4: CPS Technologiebaukasten

Ausgehend vom Technologiebaukasten werden Technologien ausgewählt und im Materialwagen implementiert. Im Vordergrund steht dabei der Materialwagen als Technologieträger und Validierungsobjekt der verwendeten Technik für die gewählten Funktionen Bestandserfassung, Lokalisierung und MMS. Nachfolgend werden das Konzept und der Prototyp des intelligenten Materialwagens im Anwendungsszenario dargestellt:

Das zu entwickelnde System (Materialwagen) erfasst seinen aktuellen Materialbestand (Bestandserfassung) an Halbzeugen sowie seine aktuelle Position und Lokalisierung in der Produktion. Der Materialwagen ist eindeutig identifizierbar (Identifikation) und besitzt seine eigene ID. Über eine ergonomische Mensch-Maschine-Schnittstelle wird eine benutzerfreundliche Bedienung und Nutzung des CPS ermöglicht. Durch eine geeignete Steuerung werden die erhobenen Daten verarbeitet und anschließend über eine drahtlose Datenschnittstelle mit einem schlanken MES vernetzt. Mithilfe dieses MES werden die empfangenen Daten visualisiert, um eine Auftragsfortschrittskontrolle und Bestandsanalyse in den Bahnhöfen zu ermöglichen. Zur Bestandserfassung werden vorhandene Materialwagen mit Technologien soweit aufgerüstet, dass diese als Cyber-Physisches System eigenständig Bestand und Ort erfassen, mit einer eigenen Möglichkeit zur Identifikation mit Internet Protocol Version 6 (IPv6) erreichbar sind

und bidirektional mit MES kommunizieren (Internet of Things). Durch den mobilen und unstetig fördernden Charakter dieser Materialwagen ist eine klassische Energieversorgung mit einer stationären, meist kabelgebundenen Stromversorgung nicht möglich, so dass ein besonderes Augenmerk auf das Energiemanagement gelegt wird.

4. Entwicklung eines intelligenten Materialwagen

Im Folgenden werden Komponenten des CPS-Technologiebaukastens beschrieben, die innerhalb des Konzeptes zur Erfüllung der Zielstellung verwendet werden. Die Steuerung wird auf der Hardwareseite durch einen bereitgestellten Server gelöst. Die Peripherie der Vernetzung wird durch die Hardwarekomponenten direkt von den jeweiligen Herstellern bestimmt. Um destruktive Interferenzerscheinungen zu vermeiden, werden Technologien ausgewählt bei denen sich die Frequenzbänder möglichst nicht überschneiden.

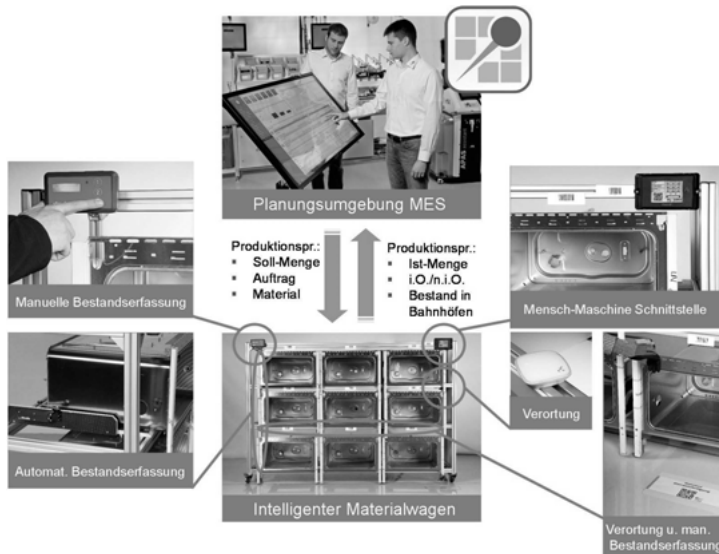


Bild 5: Intelligenter Materialwagen

In dem intelligenten Materialwagen, siehe Bild 5, wird die Bestandserfassung durch kabellose Positionssensoren gelöst. Die Identifikation und Lokalisation wird über einen Beacon und entsprechende Gateways umgesetzt. Die Mensch-Maschinen-Schnittstelle wird über ein E-Ink Display realisiert, das an jedem Wagen angebracht wird. Gleichzeitig kann das BLE Signal des Beacon von einem Tablet-PC empfangen werden. Der Mitarbeiter auf dem Shop Floor

bekommt über die ID des Signals den Digital-Twin des Materialwagens in XETICS Lean angezeigt. Relevante Prozessparameter werden bedarfs- und anforderungsgerecht auf dem Shop Floor ersichtlich. Zur Identifikation und Lokalisierung der Materialwagen werden Beacons eingesetzt. Sie sind an jedem Materialwagen befestigt. Die Gateways sind an den jeweiligen Bereichen angebracht und „überwachen“ dadurch einen vordefinierten Raum. Über die ausgesendete ID des Beacon wird jeder Materialwagen eindeutig identifiziert und lokalisiert. Die empfangenen Signalstärken werden von den Gateways an die Hauptsteuerung übermittelt. Dort wird eine Bereichszuordnung (Cell-of-Origin) durchgeführt mit der die Beacon und damit die Materialwagen den entsprechenden Bahnhöfen zugeordnet werden. Zur Kopplung von Auftrag und Materialwagen wird zusätzlich ein Gateway über der Beladestation angebracht. Ein Materialwagen, der sich in der Nähe dieses Gateways befindet, wird dann mit dem entsprechend aktiv geschalteten Auftrag verknüpft. Die Beacon sind Short-Range Devices, die über Bluetooth-Low-Energy auf dem 2,4 GHz Band kommunizieren. Dabei wird von dem Beacon, in regelmäßigen und konfigurierbaren Abständen, ein Bluetooth Signal nach dem Eddystone Protokoll von Google ausgesendet das eine eindeutige ID enthält. Dieses Signal wird von einem Gateway aufgefangen. Da die Stärke des ausgehenden Signals der Beacons bekannt ist, kann eine cloud-basierte Location-Engine aus den empfangenen Signalen den Receive Strength Signal Indicator (RSSI-Wert) berechnen. Durch den Einsatz von energiearmen Verfahren bei der Übertragung und geeignet dimensionierter Hardware können so Batterielebenszyklen von bis zu 4 Jahren realisiert werden. [9]

In dem intelligenten Materialwagen übernehmen kabellose Sensoren die Aufgabe der Bestandserfassung. Jede Schiene auf die ein Garraum aufgelegt werden kann, wird mit einem Sensor ausgestattet. Befüllt der Mitarbeiter eine entsprechende Schiene mit einem Garraum, schließt sich der Kontakt und die Bestandsveränderung wird über das Gateway an die Steuerung weitergemeldet. Dadurch kann die Be- und Entladung der Materialwagen im Kontext des gekoppelten Auftrags automatisiert erfasst werden. Die Bestände eines Auftrages werden zeitnah im MES angepasst. Die Kontaktschalter zur Bestandserfassung besitzen ein integriertes, drahtloses Kommunikationssystem zur Übermittlung der Daten. Bei Betätigung des Mechanismus sendet der Sensor ein Signal über ein Swave.net-Protokoll auf dem 868,3 MHz Band aus. Das Gateway empfängt die Nachricht und sendet sie an ein Gateway das mit Ethernet mit der Hauptsteuerung des Leitrechners verbunden ist. Um Ausfälle des Sensors rechtzeitig zu erkennen, werden Intervalle definiert, in welchen der Sensor seinen aktuellen Status übermittelt. Durch entsprechende Hardware kann der Sensor mit sehr hochwertigen Lithium-Thionylchlorid Batterien ausgestattet werden. Diese ermöglichen lange Lebensdauern von bis zu 10 Jahren. [10]

Das ViewTag ist die Kombination aus einem Electrophoretic-Display (EPD) und einem RFID-System. Mithilfe des Gateways (RFID Reader/Writer) werden Informationen von der Hauptsteuerung an das eInk-Display zur Visualisierung übertragen. Dabei wird über die aktive RFID Schnittstelle des eInk-Displays kommuniziert. Das bistabile Display benötigt ausschließlich bei Veränderung der Anzeige Strom. Um den Stromverbrauch noch weiter einzuschränken, ist der aktive Teil des Tags nur in kurzen Phasen aktiv. Diese Phasen werden durch verschiedene Trigger erzeugt. Die eInk-Displays werden als Mensch-Maschine-Schnittstelle verwendet. Jeder Materialwagen wird mit einem eigenen Display ausgestattet. Damit wird eine Kommunikation mit dem Werker direkt im Umfeld seiner Tätigkeiten möglich gemacht. Durch das Display werden dem Werker wichtige Informationen, wie beispielsweise die Auftragsnummer und das entsprechende Material, ersichtlich. Dadurch wird es möglich, dass beispielsweise der Werker des WVU einen Wagen entsprechend der Auftragsnummer auswählen kann und dadurch eine Auftragsfortschrittserfassung realisiert werden kann. Außerdem kann der Werker mithilfe des eInk-Displays eine Funktionskontrolle der verbauten Technologien und Steuerung vornehmen, indem das eInk-Display die Belegung der einzelnen Slots anzeigt. Darüber hinaus enthält das eInk-Display einen Beschleunigungssensor, der bei überschreiten bestimmter Werte den Aktivzustand steuert. Durch diese intelligente Steuerung werden Batteriewechselzyklen von über 3 Jahren erreicht. [11]

6. Zusammenfassung und Ausblick

Das in dem Beitrag beschriebene Anwendungsszenario beschreibt die Produktion von Weißware und den Materialfluss zwischen verschiedenen Produktionsbereichen und Zulieferern. Die Produktion erfolgt am Standort in hoher Wertschöpfungstiefe, sodass viele Vorfertigungs-, Fertigungs-, Vormontage- und Montagebereiche zum Produkt beitragen. Bis auf einige zentrale Punkte, wie die Prüfung, erfolgen Rückmeldungen aus der Produktion nur sehr rudimentär. Bei Störungen oder Änderungen im Produktionsablauf kommt es daher infolge fehlender Transparenz zu personalintensiven Abstimmungsrunden. Um die Produktion transparenter und die Produktionssteuerung reaktionsfähiger zu gestalten, wird eine bedarfsgerechte Informationserhebung in ausgewählten Bereichen der Logistik implementiert. In einer Analysephase werden durch eine wechselseitige Betrachtung von Mensch, Technik und Organisation wichtige Prozessparameter analysiert und für die Ableitung von Anforderungen an ein Konzept bereitgestellt. Das Konzept beschreibt eine Lösung zur transparenten Materialbereitstellung im Bereich der Garraumfertigung, sodass Informationen zu Beständen mit einem Manufacturing Executive System (MES) verknüpft werden können. Dazu werden manuelle, flurbundene und unstetig fördernde Materialwagen zu Cyber-Physischen Systemen aufgerüstet.

Diese intelligenten Materialwagen werden durch Technologien aus einem CPS-Technologiebaukasten (Identifikation, Vernetzung, Bestandserfassung, Lokalisierung, Mensch-Maschine-Schnittstelle, Steuerung und einer schlanken Planungsumgebung) ausgestattet, um eine Bestandserfassung, Lokalisierung, Identifikation, Vernetzung, Mensch-Maschine Schnittstelle und Informationsverarbeitung umzusetzen. Die erhobenen Informationen werden der Produktionssteuerung in einem schlanken Manufacturing-Executive System (MES) wiedergegeben. Der nächste Schritt ist weitere Technologien aus dem Technologiebaukasten in den intelligenten Materialwagen zu integrieren. Die Funktionalitäten zur Bestandserfassung, Lokalisierung, Identifizierung, etc. werden in verschiedenen iterativen Schleifen in einer Testumgebung getestet und evaluiert. Nach der Testphase, in einer produktionsnahen Testumgebung, wird der intelligente Materialwagen in einem Piloten bei der Firma Imperial umgesetzt, um es darauf aufbauend auf dem Shop Floor zu evaluieren.

Danksagung

Dieser Beitrag entstand im Rahmen des Forschungsprojektes „NeWiP“, welches vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) unter dem Förderkennzeichen 02P14B203 betreut wird.

Literaturverzeichnis

- [1] Kletti, J.: MES - Manufacturing Execution System. Moderne Informationstechnologie unterstützt die Wertschöpfung. Berlin, Heidelberg, GERMANY: Springer Berlin Heidelberg, 2015.
- [2] Kletti, J.; Schumacher, J.: Die perfekte Produktion. Manufacturing Excellence durch Short Interval Technology (SIT). Berlin: Springer, 2015.
- [3] Müller, R. et al. (2017). Development of a lean information and communication tool to connect and digitize company departments in small and medium-sized enterprises. In The thirteenth International Conference on Autonomous Systems. ICAS. Barcelona. 2017.
- [4] Hänisch, T.: Grundlagen Industrie 4.0. In: Andelfinger, V.; Hänisch, T. (Hrsg.): Industrie 4.0: Wie cyber-physische Systeme die Arbeitswelt verändern. Wiesbaden: Springer Gabler, 2017, S. 9–S. 32.
- [5] Reiß, T.: Zehn Thesen aus Sicht der Innovationsforschung. URL: http://www.isi-cmspflege.de/isi-wAssets/docs/profil/de/Industrie_4_0-Thesen.pdf [Stand:28.09.2017].
- [6] Erlach, K.: Wertstromdesign – Der Weg zur schlanken Fabrik. Heidelberg: Springer, 2010
- [7] Pfeffer, M.: Bewertung von Wertströmen. Kosten-Nutzen-Betrachtung von Optimierungsszenarien. Wiesbaden: Springer Gabler, 2014.
- [8] Christina Sasch: Industrie 4.0. Landkarte. URL: <http://www.plattform-i40.de/I40/Navigation/DE/In-der-Praxis/Karte/karte.html;jsessionid=F85FDC3A28E8E8A150FAB83694A9FC22> [Stand:27.09.2017].
- [9] Kontakt.io: API-Dokumentation. URL: <https://developer.kontakt.io/rest-api/api-guides/> [Stand:30.09.2017].
- [10] Steute: Startseite. URL: <http://www.steute.de/> [Stand:30.09.2017].
- [11] Omni-ID: Startseite. URL: <https://www.omni-id.com/> [Stand:30.09.2017].

Autonome Versorgungssysteme in der Produktion: Chancen und Herausforderungen beim Einsatz selbstnavigierender Systeme in komplexen Fertigungsumgebungen

Dr.-Ing. **Stefan Richter**, Dr.-Ing. **Karli Hantzschmann**,
FABMATiCS GmbH, Dresden;
Martin Däumler M.Sc., **Patrick Boden** M.Sc.,
TU Dresden

Kurzfassung

Die Bearbeitung von Halbleitern ist sowohl aus technologischer Sicht, als auch aus Perspektive des Materialflusses sehr anspruchsvoll. Aufgrund der kostenintensiven Fertigungsumgebung ist eine effiziente Belieferung der Produktionsanlagen unbedingt sicherzustellen. Dabei gewinnt der Einsatz von Automated Guided Vehicle (AGV) zunehmend an Bedeutung. Sie werden als Ergänzung zu bestehenden und auch als eigenständige Transportsysteme eingesetzt.

Die am Markt verfügbaren Fahrzeugtypen unterscheiden sich stark in ihren Eigenschaften und werden darüber hinaus, häufig kundenspezifisch konfiguriert. Für die Planung von AGV basierten Transportsystemen bietet sich daher die Durchführung einer Materialflusssimulation an. Dabei stellt insbesondere die Modellierung selbstnavigierender AGV, die sich unabhängig von vorgegebenen Leitlinien orientieren, neue Anforderungen.

Abstract

The processing of semiconductors is very demanding from technological and material flow perspective. Due to the cost-intensive production environment, it is essential to ensure efficient supply of material to the production equipment. Therefore, the use of Automated Guided Vehicle (AGV) becomes increasingly important. They are used both as supplement to existing and as independent transport systems.

The vehicle types available on the market differ in their characteristics and are often configured to customer specifications. As a result, it is useful to carry out a material flow simulation for the planning of AGV-based transport systems. In particular, the modeling of self-navigating AGVs, which orient themselves independently of given guidelines, poses new challenges.

1. Einleitung

200mm und 300mm Halbleiterfabriken (die Größe bezieht sich auf den Durchmesser der Wafer) stellen hoch komplexe (teil-) automatisierte Fertigungsumgebungen dar. Für Transport- und Handlingprozesse gelten aufgrund der Reinraumumgebung, der hohen Anforderung an die Ladungsträgerpositionierung und der nach SEMI Standards¹ konformen Integration, besondere Anforderungen. Für autonome Versorgungssysteme ergibt sich aufgrund ihrer Flexibilität und der Möglichkeit eines 24/7 Betriebs eine Vielzahl von potentiellen Anwendungsmöglichkeiten.

2. Die Halbleiterindustrie

Gegenstand der Halbleiterindustrie, ist die Bearbeitung von Wafern. Als Wafer werden hochreine, einkristalline Siliziumscheiben bezeichnet, auf denen funktionale Schichten aufgetragen werden, um mikroelektronische Schaltungen zu realisieren. Dieser Prozess wird auch als Frontendfertigung bezeichnet. [8] Die verwendeten Wafer haben dabei hauptsächlich Durchmesser von 200mm und 300mm. [10] Für die Strukturierung durchlaufen sie eine Vielzahl von Fertigungsschritten (bis zu mehreren Hundert) [11], wobei die Anzahl der zu realisierenden Transporte ein Vielfaches dessen beträgt. Bild 1 (li.) zeigt Prozesse für einen exemplarischen Arbeitsplan, die wiederholt durchlaufen werden. Die notwendigen Anlagen sind in der Regel technologiefein angeordnet. Auf der rechten Seite von Bild 1 sind die resultierenden Transporte ohne Leer- und Ausgleichsfahrten, wie auch Fahrten, die aus Zwischenlagerschritten resultieren in Form eines Chord-Diagramms dargestellt. In größeren Halbleiterfabriken fallen mehrere tausend Transporte pro Stunde an, wobei die Prozessfolge großen stochastischen Einflüssen unterliegt. Gleiches gilt somit auch für die zu realisierenden Transporte.

Die Arbeitsschritte werden in einer Reinraumumgebung durchgeführt, wobei Zuluft über die Decke eingeblasen und Abluft durch perforierte Bodenplatten abgesaugt wird. [9] Automatisierte Transportsysteme werden vor allem eingesetzt, da sie einen 24/7 Betrieb ermöglichen, weniger Partikel, als manuelle Transporte verursachen und eine Abhängung von der Decke erlauben und somit die benötigte, kostenintensive Reinraumfläche minimieren (*Zero Footprint*). [10]

¹ Semiconductor Equipment and Materials International – Für die Halbleiterindustrie geltende Standards

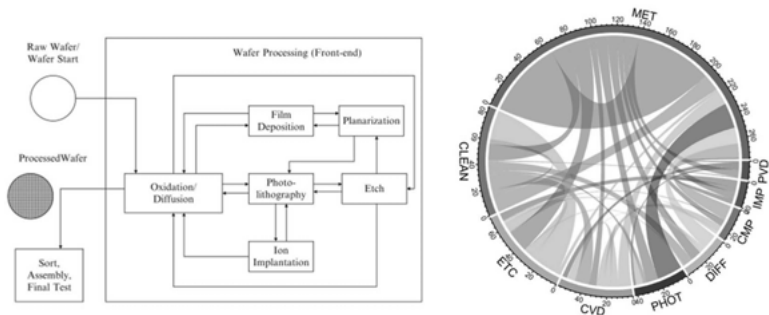


Bild 1: Exemplarische Prozessfolge im Frontend [li. 13], Darstellung von Transportströmen in einem Chord-Diagramm, die aus einem Beispielarbeitsplan resultieren [re. 14]

2. Transportsysteme in der Halbleiterindustrie

2.1. Transportgut

Der automatisierte Transport findet im Wesentlichen mit Hilfe von Conveyern oder einem Overhead Hoist Transport (OHT) System statt, siehe Bild 2. Dabei werden Wafer in sogenannten 200mm Smif (Standard Mechanical Interface) Pods oder 300mm Foups (Front Opening Unified Pod) transportiert. Diese enthalten bis zu 25 Wafer. In Abhängigkeit davon, wie weit die Bearbeitung der Wafer fortgeschritten ist, kann der Inhalt eines solchen Behälters 100.000 € und mehr wert sein. Gleiches gilt für die zur Strukturierung notwendigen Fotomasken (Reticle), die ebenfalls transportiert werden.

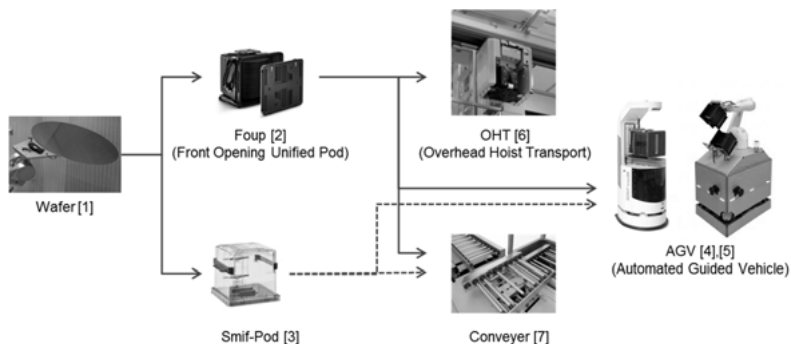


Bild 2: Exemplarische Darstellung von Ladehilfs- und Fördermitteln für den automatisierten Transport von Wafern

2.2. Konventionelles AMHS

Mit dem Aufkommen der ersten 300mm Fabriken, konnte sich das OHT System als Standardtransportsystem für den Transport von Foups durchsetzen. Dass von der Decke abgehängene System ermöglicht einen ausreichend hohen Durchsatz, um eine effiziente Versorgung der Produktionsanlagen sicherzustellen. In angegliederten Lagersystemen (z. B. Stocker) können die Foups zwischengelagert werden.

An die Produktionsanlagen sind sogenannte Loadports angeschlossen, auf denen Ladehilfsmittel, wie Foups punktgenau, von oben platziert werden müssen. OHT-Fahrzeuge benutzen dazu eine Abseilvorrichtung, die in jedem Fahrzeug verbaut ist.

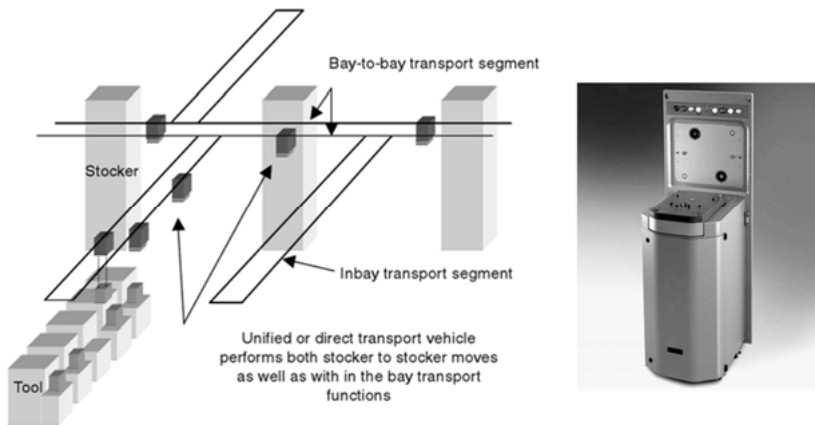


Bild 3: Links ist der Ausschnitt eines OHT-Systems und rechts ist ein Loadport zu sehen [15]

Conveyer werden sowohl in 200mm als auch in 300mm Fabriken eingesetzt, trotz geringerer Transportgeschwindigkeiten zeichnen sie sich durch einen hohen erreichbaren Durchsatz aus. Damit eignen sie sich als eigenständiges oder auch als ein OHT ergänzendes System. Die eingesetzten Fördermittel und Ladehilfsmittel müssen stets die SEMI Standards einhalten und sich beispielsweise auch SEMI-konform in der Kommunikation verhalten.

2.3. Einschränkungen für konventionelles AMHS

Ein OHT-System zeigt sich unflexibel bzgl. des Schienenlayouts, insbesondere da die Schienen unidirektional sind. Sollten Fahrzeuge an ungünstigen Stellen, wie Knotenpunkten liegen bleiben, können negative Einflüsse auf die Produktion der Fall sein. Die Fahrzeuge selbst können nur dezidiert für das entsprechende Ladehilfsmittel eingesetzt werden. Somit

bedeuten mehrere Ladehilfsmittel eine Unterteilung der Fahrzeugflotte (bspw. in Foup und Belichtungsmasken). Ein entsprechendes System ist insbesondere bei nachträglicher Installation sehr kostenintensiv, da zumeist die Reinraumdecke verstärkt werden muss und die Kosten für Arbeiten im Reinraum generell als hoch anzusetzen sind. Die Bindung an den Hersteller des Systems stellt einen weiteren Nachteil dar. Aufgrund der Tatsache, dass die Fahrzeuge stets die Ladehilfsmittel von der Decke herablassen, ergeben sich Einschränkungen in Bezug auf die Erreichbarkeit von Loadports.

Bei der Verwendung von Conveyern ist insbesondere in der Sequenzierung Aufwand zu treiben und es sind ergänzende Hebeeinrichtungen, wie Lifte erforderlich. Um einen Loadport final zu Be- oder Entladen ist darüber hinaus noch weiteres Handling-Equipment vonnöten. Auch bei Conveyern kann die fehlende Redundanz zum Problem werden.

Für AGVs ergeben sich daher verschiedene Einsatzmöglichkeiten, in denen sie ihre Flexibilität und Modularität mittels etwaiger Aufbauten ausspielen können.

3. Einsatzgebiete von autonomen Versorgungssystemen in der Halbleiterindustrie

Die Vielseitigkeit von AGV stellt sowohl Chance als auch Herausforderung dar. Spezifische Lösungen je nach Kunde und Problem stehen einer verhältnismäßig geringen Stückzahl von produzierten AGV gegenüber.



Bild 4: AGV *Hero® Fab* mit Roboterarm und vier Pufferplätzen zum Handling bis an die Maschine (li.) [17], AGV *Scout®* mit verschiedenen Aufbauten (re.) [16]

Ergebnis der heterogenen Anforderungen, die an FABMATICS gestellt werden, sind die AGV Modelle Scout und der Hero Fab. Beide AGV sind reinraumtauglich, unterscheiden sich jedoch hinsichtlich des Navigationsprinzips, der Nutzlast und der eingesetzten Handlingeinrichtung. Die modular aufgebauten Systeme erlauben somit eine Anpassung an die zu erfüllenden Aufgaben im Bereich Transport bis an die Maschine, Handling oder auch Messfahrten.

Im Folgenden wird geschildert, welche unterschiedlichen Aufgaben durch die AGV wahrgenommen werden können und wo sie eingesetzt werden.

Transport von Belichtungsmasken

Der Einsatz von AGV ist für den Transport von Belichtungsmasken von besonderer Bedeutung. Da die Loadports der Belichtungsmasken oftmals nicht an der Stirnseite der Maschine untergebracht sind, ist das Handling mittels OHT nicht, oder nur mit sehr großem Aufwand möglich. Teilweise sind die Maschinen zu hoch, sodass ein OHT-System nicht an der Decke verbaut werden kann. Für ein AGV sind die Anlagen in der Regel deutlich besser erreichbar. Die Belichtungsanlagen selbst besitzen Magazine zum Lagern mehrerer Belichtungsmasken. Auch hier eignet sich das AGV durch die Installation von Pufferplätzen auf dem Fahrzeug, wodurch mehrere Belichtungsmasken nacheinander gehandelt und im Anschluss transportiert werden können, besser als das OHT. Da die Vielfalt der benötigten Masken hoch und die Belichtungsanlagen sehr teuer sind, ist eine robuste und effiziente Belieferung unbedingt notwendig. Eine automatisierte Belieferung mittels AGV kann diese Vorgaben gewährleisten.

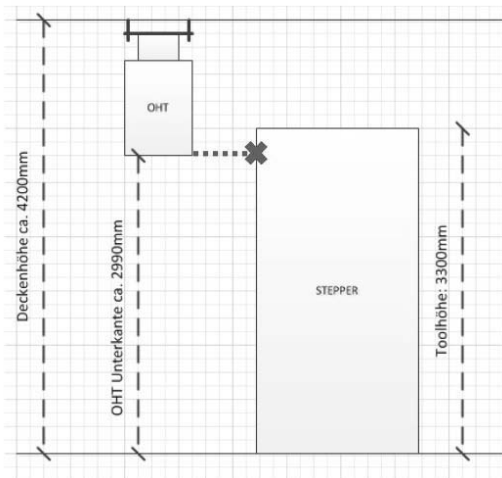


Bild 5: Skizze der Belieferung eines Steppers (Maschine zur Belichtung von Fotolackschichten auf Wafern) mit Belichtungsmasken

Belieferung von Anlagen mit geringen bis mittleren Durchsätzen

Die hohen Kosten für ein OHT amortisieren sich vor allem durch dessen Durchsatzstärke und die folglich geringen Kosten pro Transport. Dem gegenüber stehen ein hoher Installationsaufwand und Kosten für die Schieneninfrastruktur, die gerade in Bereichen mit geringen oder mittleren Durchsätzen einen signifikanten Anteil an den Gesamtkosten haben.

AGVs können hier durch ihre Infrastrukturarmut punkten und skalieren besser als ein klassisches OHT. Außerdem bietet die Möglichkeit des gleichzeitigen Transportes mehrerer Ladungsträger Synergieeffekte.

Interaktion mit manueller Belieferung

Soll nur ein Teil von Anlagen automatisiert beliefert werden, oder aber ein Soft-Rollout stattfinden, eignen sich AGV Systeme durch ihre Sicherheitseinrichtungen. Gerade der gemeinsame Zugriff auf Lagerplätze und die Redundanz durch autonom agierende Systeme, stellen hier entscheidende Vorteile dar. Wie in Bild 4 zu sehen ist, entnehmen Worker und AGV zu gleichen Zeit Smif-Pods aus einem Regal.

Zugriff auf nicht dauerhaft ortsfeste Lagerplätze

Durch häufiges Ein- und Ausbringen von Maschinen und nicht vorhandene Deckenkrane existieren einige Bereiche, in denen nicht ortsfeste Regale als Zwischenlager stehen. Der Zugriff auf diese Regale kann mittels AGVs erfolgen und bei Bedarf kann eine veränderte Position wieder eingeplant werden.

Weitere potentielle Aufgaben

Instandhaltungstechniker legen in Halbleiterfabriken teilweise immense Wege zurück. Insbesondere die Bereitstellung von Ersatzteilen und Werkzeugen an Maschinen kann Wege verkürzen und so wertvolle Arbeitszeit sparen. Auch der Transport von Regalen, mittels eines Unterfahr-AGV könnte sich für durchsatzstarke Transportbeziehungen bewähren.

4. Technische Herausforderungen für die Konstruktion halbleitergerechter AGV

Der Systemboden im Reinraum birgt einige Unwägbarkeiten für AGV. So existieren verschiedene Plattentypen, die unterschiedliche Lochmuster aufweisen oder aber durchsichtig sind. Je nach Lochmuster und Radgröße könne Vibrationen in die Fahrzeuge eingetragen werden. Durchsichtige Platten sind je nach verwendeter Sensorik schwer von fehlenden Platten zu unterscheiden. Letztere müssen zwangsweise detektiert werden, da ein AGV sonst in

ein Bodenloch fallen könnte. Es kann auch vorkommen, dass kleine Teile der perforierten Platten ausbrechen, was ebenfalls Schocks in die Fahrzeuge einträgt.

Beim Ein- und Ausbringen von Maschinen werden zum Schutz des Reinraumbodens große Metallplatten verlegt. Das AGV muss in der Lage sein, diese zu detektieren, oder mit voller Geschwindigkeit zu überfahren, ohne eine Schädigung des Transportgutes zu riskieren.

Zur Bedienung der Anlagen sind auch im Bereich der Fahrwege eine Vielzahl von herausziehbaren Bedienelementen, wie Computertastaturen, aber auch Stühle zu finden. Rein organisatorische Maßnahmen sind nicht zuverlässig genug, daher muss das AGV in der Lage sein im Notfall auch diesen Hindernissen auszuweichen, ohne dabei zu große Performance-Einbußen hinnehmen zu müssen.

5. Paradigmenwechsel für die Simulation von Halbleitertransportsystemen

Aus der Heterogenität der AGV ergeben sich vielfältige Anforderungen an die Simulation. Zum einen unterscheiden sich AGV, die gleiche Aufgaben erfüllen, aber technisch unterschiedlich sind in ihrem Verhalten und somit auch in der Modellierung für die Simulation. Beispielhaft seien hier frei navigierende Systeme genannt und Systeme, die auf virtuellen Schienen fahren. Problematisch sind dabei insbesondere hybride Systeme, die z. B. die Kombination des konventionellen OHT-Systems und eines frei verfahrens AGV-Systems darstellen. Ersteres wird klassischer Weise in Automod® simuliert, was wiederum keine echte Darstellung von frei verfahrens Systemen erlaubt. Beeinflussen sich allerdings die Systeme gegenseitig, sind sich auch beide entsprechend adäquat abzubilden.

Zum anderen muss die Simulation durch die Vielzahl an Aufgaben sehr unterschiedliche Fragestellungen beantworten. Während bei der Simulation von OHT-Systemen Fragen, wie die Lage von Bottlenecks und die Prognostizierung von Durchsätzen und Lieferzeiten im Vordergrund stehen, sind bei AGV auch Ladezyklen, Lage von Ladestationen, Verhalten des Roboterarms, die Beeinflussung durch Menschen und potentielle Deadlocks interessant.

6. Zusammenfassung und Ausblick

AGV-Systeme zeigen gerade in komplexen Fertigungsumgebungen ein großes Potential auf. Die heterogenen Anforderungen sind durch den modularen Aufbau beherrschbar und die Erschließung weiterer Aufgabengebiete wird zunehmen. Als Herausforderung erweist sich vor allem die Realisierung größerer Systeme, bis hin zu Schwärmen frei navigierender AGV. Die bisher verwendete Sicherheitsinfrastruktur (v.a. Laserscanner) stellt einen Kostentreiber dar, der in Zukunft durch adäquate Systeme ersetzt werden kann.

Förderhinweis

Die Arbeit wurde im Rahmen des Forschungsprojekts „Erforschung von Grundlagen und Konzepten zur Gestaltung einer automatisch auf sich ändernde Anforderungen, hinsichtlich Produktionsvolumen und Produktmix, reagierende Halbleiterfabrik“ (Responsive Fab) durchgeführt und über die Sächsische Aufbau-Bank aus Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) und des Freistaates Sachsen gefördert.



SAB
Sächsische AufbauBank

Literaturverzeichnis

- [1] <http://www.fabmatics.com/files/2016/10/hap-450mmWafergreifer-768x529.jpg>, abgerufen am 12.12.17
- [2] <https://www.entegris.com/shop/en/USD/products/wafer-handling/wafer-processing/300-mm-front-opening-unified-pods-%28foups%29/Spectra-FOUP-Accessories/p/SpectraFOUPAccessories>, abgerufen am 12.12.17
- [3] [https://entegris-h.assetsadobe.com/is/image/content/dam/product-assets/a200200mmsmifpod/product-a200smifpod-1.jpg?Preset580px\\$](https://entegris-h.assetsadobe.com/is/image/content/dam/product-assets/a200200mmsmifpod/product-a200smifpod-1.jpg?Preset580px$), abgerufen am 12.12.17
- [4] <http://www.fabmatics.com/de/produkte/transport/fahrerlose-transportsysteme-agv/hap-hero-fab/>, abgerufen am 12.12.17
- [5] <http://www.fabmatics.com/de/produkte/transport/fahrerlose-transportsysteme-agv/scout/>, abgerufen am 12.12.17
- [6] <https://www.muratec-usa.com/machinery/clean-room/storage/>, abgerufen am 12.12.17
- [7] <http://www.fabmatics.com/de/produkte/transport/conveyor/intellitrack/>, abgerufen am 12.12.17
- [8] Klemmt, A. (2012): Ablaufplanung in der Halbleiter- und Elektronikproduktion. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag — Springer Fachmedien. S. 5 f.
- [9] Hilleringmann, U. (2008): Silizium-Halbleitertechnologie. 5. Auflage. Wiesbaden: Springer Fachmedien. S. 168 f.
- [10] Doering, R. & Nishi, Y. (2008): Handbook of Semiconductor Manufacturing Technology. 2. Auflage. Boca Raton: CRC Press. S. 3 ff.
- [11] Brain, M. et al. (1999): Emerging Needs For Continuous Flow FOUP Transport. IEEE, Electronics Manufacturing Symposium (Handling).

- [12] Yurtsever, T. & Kutanoglu, E. & Johns, J. (2009): Heuristic Based Scheduling System For Diffusion in Semiconductor Manufacturing. In: Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference. IEEE, S. 1677 ff.
- [13] Moench, L. & Fowler, J. W. & Mason, S. J. (2013): Production Planning and Control for Semiconductor Wafer Fabrication Facilities. 1. Auflage. New York: Springer Science and Business Media, 52. S. 22
- [14] Däumler, M. & Turek, K. & Boden, P.: Bewertung der Leistungsfähigkeit automatisierter Transportsysteme auf verschiedenen Zeitskalen. In: Begleitender Tagungsband zum Forum Technische Logistik und Arbeitssysteme (2017), S. 85 ff.
- [15] Foster, L. & Pillai, D. (2007). 300 mm wafer fab logistics and automated material handling systems. In Y. Nishi & R. Doering (Hrsg.), Handbook of semiconductor manufacturing technology, second edition (S. 33-1 - 33-67). Boca Raton, Florida: CRC Press, Taylor & Francis Group. doi: 10.1201/9781420017663, S. 33-35 ff.
- [16] <http://www.fabmatics.com/de/produkte/transport/fahrerlose-transportssysteme-agv/scout/>, abgerufen am 14.12.2017
- [17] <http://www.fabmatics.com/de/produkte/transport/fahrerlose-transportssysteme-agv/hap-hero-fab/>, abgerufen am 14.12.2017