

25. Deutscher Materialfluss-Kongress

mit VDI-Fachkonferenz Routenzugsysteme



VDI-Berichte 2275

VDI-BERICHTE

Herausgeber: VDI Wissensforum GmbH

25. Deutscher Materialfluss-Kongress

mit VDI-Fachkonferenz Routenzugssysteme

TU München, Garching, 17. und 18. März 2016



VDI-Berichte 2275

Bibliographische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliographie; detaillierte bibliographische Daten sind im Internet unter <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Bibliographic information published by the Deutsche Nationalbibliothek

(German National Library)

The Deutsche Nationalbibliothek lists this publication in the Deutsche Nationalbibliographie

(German National Bibliography); detailed bibliographic data is available via Internet at <http://dnb.ddb.de>.

© VDI Verlag GmbH · Düsseldorf 2016

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 978-3-18-092275-1

Inhalt

	Seite
Vorwort	1

Industrie 4.0

G. Wehberg	Industrie 4.0 – technikverliebt oder strategisch? Über digitale Betriebsmodelle zum Triple Longtail®	3
J. Behling, G. Follert, D. Ramers	Flexibilität trotz Automatisierung – Neuartiges Fahrerloses Transportsystem für Behälter und Kartons	23

Innovative Anwendungen

V. Glöckle, B. von Rosenberger	Präzise Kenntnis der Objekteigenschaften als Basis für durchgängig hoch performante Materialfluss-Systeme	33
C. Thoma	SAP-EWM-Migration auf SAP HANA – Herausforderungen einer Umstellung im laufenden Betrieb	41
W. Radtke, M. Kromm	Nationales Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP) – Demonstrationsbetrieb BZ-Flurförderzeuge Mercedes-Benz Werk Düsseldorf	45

Logistik + IT

M. Klaiber	Industrie 4.0 – SCHUNK auf dem Weg zur Digitalisierung	59
F. Heistermann, C. Herzer	Die digitale Supply Chain – Collaboration über eine zentrale Plattform – Digitalisierung, moderne IT, Collaboration entlang der Supply Chain	69

Best Practice

H. Prieschenk	Integrierte End-to-End-Logistik für Online-Handel und Food Multi-Channel – Hocheffiziente Logistik-Lösungen im Food- und NonFood-Bereich	73
V. Jungbluth	Best in Class: Multichannel-Logistik für Marktführer bei Zubehörlösungen – Ausgeklügelte Kombination aus Shuttle-Lager, Orderline- und Versandpuffer trägt den künftigen Anforderungen Rechnung	85

Innovative Technologien

J. Beutler, G. Fischer	Spike Cargo – schnell wie eine Achterbahn – Hochgeschwindigkeitsfördertechnik für Großladungsträger	93
D. Liekenbrock	Shuttle-systeme und Klein-RBG – Leistung und Energiebilanz im Vergleich	103

F&E

G. Kartnig, M. Eder	 Geometrieoptimierung von Shuttle-Systemen mit Hilfe eines analytischen Berechnungsmodells	113
H. Stichweh, M. Theßeling, S. Sohrt, A. Heinke, L. Overmeyer	Intelligent routen, fördern und verteilen: Die Conveyor Matrix für die kognitive Produktion der Zukunft	127
M. Spindler, T. Aicher, B. Vogel-Heuser, W. A. Günthner	Effiziente Erstellung von Steuerungssoftware für automatisierte Materialflusssysteme basierend auf einer Zwei-Schichten-Architektur	143

Wissenschaft

<i>H. Thamer, C. Uriarte, M. Freitag</i>	Celluveyor – Zellulare Fördertechnik für hochflexible Materialflusssysteme	149
<i>C. Lieberoth-Leden, D. Regulin, W. A. Günthner, B. Vogel-Heuser</i>	Effizienter Informationsaustausch durch Cluster-Koordinatoren in dezentral gesteuerten Materialflusssystemen – Kommunikationseffiziente Steuerung in hochflexiblen Materialflusssystemen mit kollaborativer Auftragsdurchführung	159

Mensch + Technik

<i>J. Beuth, T. Fohrmann</i>	Lifelong LEArNing – Wie Lean Management die Auswirkungen des demographischen Wandels in der Intralogistik aktiv mitgestalten kann	167
<i>P. Stock</i>	Humanorientierte Arbeitsorganisation als Erfolgsfaktor für die digitalisierte Intralogistik	177
<i>A. Bächler</i>	Vorstellung eines Augmented Reality basierten Assistenzsystems – mit dem Namen pick-by-projection – für leistungsgeminderte Mitarbeiter in manuellen Kommissionierprozessen	183

VDI-Fachkonferenz "Routenzugsysteme 2016"

<i>D. Wustmann, T. Schmidt, I. Meinhardt</i>	Softwaregestützte Routenzugplanung – „Best Practice“ anhand von Beispielen aus der Automobilindustrie	191
<i>C. Keuntje, W. A. Günthner</i>	Forschungsprojekt IntegRoute – Integrierte Planung von Routenzugsystemen	203

	Seite	
<i>P. Fitschen</i>	Einführung eines Routenzuges in eine bestehende Fertigung – Ein Praxisbericht	215
<i>M. Seiler, M. Kelterborn, M. Guggemoos</i>	Ergonomie im Fokus: Routenzugversorgung in der LKW-Produktion	223
<i>M. Schneider</i>	Routenzug 4.0 – Digitalisierung der Bewegungsdaten von Routenzügen durch Echtzeitortung	227

Vorwort

Sehr geehrte Kongress-Teilnehmerinnen und Kongress-Teilnehmer,

das Thema Industrie 4.0 beherrscht nach wie vor die fachliche Diskussion auf Fachtagungen und Entwicklerkonferenzen. Neben vielen, zum Teil weit in die Zukunft reichenden Visionen werden aber bereits auch eine Vielzahl Erfolg versprechender Lösungsansätze eingeführt. Die Intralogistik ist dabei in besonderem Maße betroffen und in vielen Bereichen Vorreiter auf dem Weg zur „intelligenten Fabrik“.

Unter dem Thema „Logistik in einer digitalen Welt“ wird sich daher der 25. Deutsche Materialfluss-Kongress Mitte März 2016 schwerpunktmäßig mit diesem Themenfeld befassen. Neben neuen Innovationsthemen vor allem erste bewährte Lösungsansätze im Vordergrund. Darüber hinaus werden wieder in bewährter Weise neue Entwicklungen rund um das Thema Lager- und Materialflusstechnik aufgezeigt und diskutiert.

Zum Abschluss wird der Astrophysiker Hans-Peter Nollert mit seinem Vortrag „Mit dem Computer durch die Welt des Albert Einstein“ relativistische Effekte simulieren und visualisieren. Die Raumzeit wird dadurch nicht einfacher verständlich, aber zumindest sichtbar.

Nutzen Sie daher den Kongress, um sich gute Lösungsbeispiele anzusehen, um sich einen Überblick über neue Entwicklungen zu machen und in konstruktiven Diskussionen neue Ideen und Anregungen zu finden. In den Pausen sowie bei der Abendveranstaltung findet sich genügend Zeit für eingehende Gespräche und neue Kontakte.

Ich freue mich Sie beim 25. Deutschen Materialfluss-Kongress in Garching begrüßen zu dürfen und mit Ihnen viele spannende und interessante Unterhaltungen führen zu können.

Im Namen des Programmausschusses

Ihr

Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wi.-Ing. Willibald A. Günthner

Leiter des Lehrstuhls für Fördertechnik Materialfluss Logistik (fml), Technische Universität München und Vorsitzender des Programmausschusses

Industrie 4.0 – technikverliebt oder strategisch?

Über digitale Betriebsmodelle zum Triple Longtail[©]

Dr. **Götz Wehberg**, Autor des Buchs „Logistik 4.0“, Königswinter

(aus: VDI Wissensforum (Hrsg.), 25. Dt. Materialfluss-Kongress, im Erscheinen, München 2016)

Kurzfassung

Unternehmensführer müssen mit einer zunehmenden Markt- und Umweltkomplexität umgehen, wenn sie die Wettbewerbsfähigkeit ihres Unternehmens erhalten und stärken wollen. Die Industrie 4.0 bietet hierzu Möglichkeiten, darf aber nicht auf rein technische Machbarkeitsaspekte reduziert werden. Unternehmen wie Bosch, Siemens, Wittenstein, u.a. haben sich deshalb auf den Weg gemacht, diese Möglichkeiten zu nutzen. Aus geschäftlich-strategischer Sicht spielen vor allem zwei Ansatzpunkte eine entscheidende Rolle, die Einführung datenbasierter Betriebsmodelle sowie digitaler Geschäftsmodelle. Datenbasierte Betriebsmodelle bauen auf Mustererkennung (Big Data Analytics), flexiblen Netzwerkstrukturen und Selbstorganisation auf. Das Herzstück ausgereifter digitaler Geschäftsmodelle ist die Triple Longtail[©]-Strategie, welche über individualisierte Produkte und Dienstleistungen sowie differenzierte Preisstrukturen Mehrwert generiert. Etablierte B2C-Unternehmen wie Amazon, eBay, iTunes, Netflix und Rhapsody zeigen dabei die Richtung auf und bieten Analogiepotential für Industriegeschäfte (B2B) an.

1 Industrie 4.0 braucht mehr als IT

Industrie 4.0 ist zur Zeit die „Sau, die durchs Dorf getrieben wird“. Handelt es sich dabei um eine vorübergehende Mode, um alten Wein in neuen Schläuchen? War der Einsatz von IT nicht immer schon wichtig? Oder wird hier etwas substantiell Neues diskutiert? Um die Möglichkeiten der Industrie 4.0 zu verstehen, sollte man sich dem Thema vom Markt nähern, nicht nur technisch. Auch andere Länder wie die USA zeigen mit dem Industrial Internet Konsortium (IIC) hohe Ambitionen. Wenn Deutschland seine Pionierrolle behalten will, bleibt für „Happy Engineering“ keine Zeit.

Klar ist, die Märkte werden komplexer. Megatrends wie Nachhaltigkeit, Globalisierung, individualisierte Konsumstile, etc. sind die Treiber dieser Entwicklung und sind branchen-spezifisch anzugehen. Bereits vor zwanzig Jahren wurde erkannt, dass diese Entwicklung eine zunehmende Koordinationsintensität wertschöpfender Prozesse zur Folge hat [1] und sich eine Art Zeitschere für Unternehmen öffnet [2], wenn diese nicht angemessen reagieren. Eine Tendenz zu Insellösungen ist dann die Folge (Bild 1) [3].

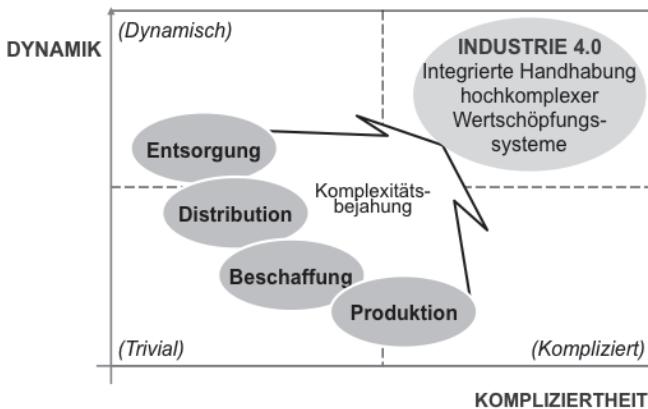


Bild 1: Integrationslücke und Industrie 4.0 [4]

Die Industrie 4.0 bietet geeignete Ansatzpunkte, derartigen Insellösungen entgegen zu wirken. Industrie 4.0 heisst, Wertschöpfungsnetzwerke flexibel und ganzheitlich zu managen und hierzu neue Technologien wie cyberphysische Systeme (CPS), Cloud Computing und kostengünstige Sensorik zu nutzen [4]. CPS und Co. sind demnach notwendige Bedingung für die Machbarkeit, jedoch nicht hinreichend im Sinne der Wirtschaftlichkeit. Die anfängliche Technikverliebtheit im Zuge der 4.0-Diskussion hat deshalb einem Nutzen- und Wettbewerbsdenken zu weichen. Im Folgenden werden die zwei wesentlichen Ansatzpunkte der Industrie 4.0 aus strategisch-geschäftlicher Sicht beleuchtet. Dies sind datenbasierte Betriebsmodelle sowie digitale Geschäftsmodelle (Bild 2).



Bild 2: Perspektiven und Potentiale der Industrie 4.0 [5]

2 Datengetriebe Betriebsmodelle steigern die Effizienz des Unternehmens

Im Zuge der Digitalisierung ist es naheliegend, die operativen Prozesse eines Unternehmens digital abzubilden und dadurch effizienter zu gestalten. Eine solche Digitalisierung findet bereits in vielen Unternehmen statt, zum Beispiel in Form von Omni-Channel-Konzepten des Vertriebs, Mitarbeiter-Portalen des HR-Bereichs, Einkaufsplattformen der Beschaffung, etc. Sie schafft Transparenz und bietet Effizienz durch Automatisierung und Beseitigung von Schnittstellen. Das Potential einer Digitalisierung in diesem Sinne ist allerdings begrenzt, wenn es lediglich den Stand der Dinge elektronisch abzubilden versucht (Bild 3). Datenbasierte Betriebsmodelle gehen hierüber hinaus und nutzen die Möglichkeiten sogenannter Großer Daten (Big Data), relevante Muster des Systemverhaltens zu erkennen. D.h. datenbasierte Betriebsmodelle bilden nicht nur den Stand existierender Abläufe digital ab, sondern entwickeln diese durch neue Technologien qualitativ weiter, um komplexe Markt- und Umweltanforderungen besser zu handhaben. So hat z.B. DHL durch prädiktive Analytik seine Ressourcenplanung verbessert, indem erkannt wurde, dass bei einer Grippe welle in Deutschland krank geschriebene Arbeitnehmer zuhause im Internet einkaufen und eine höhere Nachfrage nach KEP-Diensten auslösen [6]. Neben der Mustererkennung fußen datenbasierte Betriebsmodelle vor allem auf offenen, netzwerkartigen Strukturen und der Selbstorganisation. Das Potential solcher Betriebsmodelle liegt in vielen Fällen bei 10 - 20 Prozent des Unternehmensergebnisses.

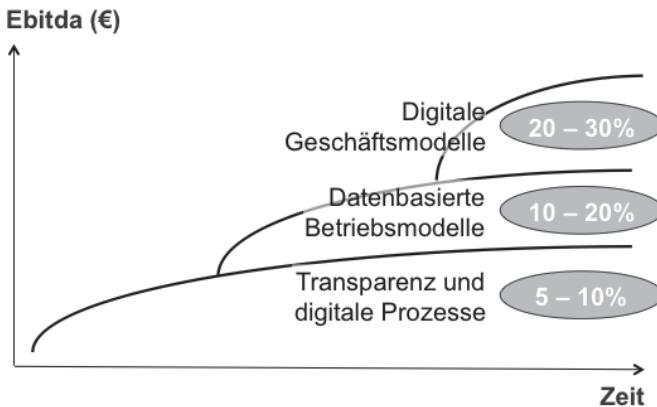


Bild 3: Ansatzpunkte und Potentiale der Digitalisierung von Unternehmen [7]

Mustererkennung

Die Menge digital gespeicherter und online verfügbarer Daten nimmt seit Jahren signifikant zu [8]. Von ca. 10 Exabytes im Jahr 2000 steigt das entsprechende Datenvolumen auf schätzungsweise 10.000 Exabytes weltweit bis 2020. Und auch die Kapazität, Daten zu erheben und zu analysieren, wächst deutlich. Allein die Anzahl vernetzter Objekte steigt in den kommenden 10 Jahren von derzeit 10 Milliarden (primär Mobiltelefone) auf rund 100 Milliarden weltweit an, wobei der Industrieanteil von einem Viertel auf die Hälfte überproportional wächst [9]. Datengetriebene Betriebsmodelle zielen darauf, aus diesen Möglichkeiten der Datengewinnung, -Speicherung und -Verarbeitung einen betrieblichen Nutzen zu ziehen, indem das Verhalten von Märkten, Kunden, Wettbewerben, etc. besser verstanden, prognostiziert und gehandhabt werden kann. Es kommt also nicht darauf an, möglichst viele Daten, sondern die richtigen Informationen zu gewinnen.

In komplexen Märkten ist ein vollkommenes Erfassen aller unternehmensrelevanten Detailinformationen nicht möglich. Zu viel Analyse führt schnell zur Paralyse. Anstelle der detaillierten Abbildung aller Sachverhalte tritt deshalb das Erkennen von Mustern (Patterns). Dieses beinhaltet das Erfassen der Ordnung unternehmensrelevanter Sachverhalte [10]. Die Mustererkennung geht mit einem Wechsel von deterministischen zu probabilistischen Methoden einher (hierzu und im Folgenden [4]). Aus diesem Grund bietet entsprechende Business Intelligence-Software wie HANA von SAP und SPSS von IBM umfangreiche

Statistik. Allerdings reicht Methodik alleine nicht aus, weil auch operatives Wissen von den betrieblichen Abläufen, die verbessert werden sollen, erforderlich ist.

An dem Beispiel eines Fußballspiels zeigt sich die Mustererkennung u.a. in dem Verständnis der Mannschaftstaktik. Die deutsche Fußballnationalmannschaft hat Methoden der Mustererkennung genutzt, um sich auf die Weltmeisterschaft in Brasilien vorzubereiten und das Turnier zu begleiten. Mittels geeigneter Sensorik konnten das Bewegungsprofil eines jeden Spielers nachvollzogen, die Taktik des Teams verbessert und etwaige Schwächen zeitnah angegangen werden. Datentransparenz und Informationsqualität für Trainer und Spieler wurden erheblich verbessert, was den Gewinn des Weltmeistertitels unterstützte. Demgegenüber hätten Detailanalysen, beispielsweise Zeitlupenaufnahmen von Torschüssen, wenig zum Verständnis der taktischen Teamfertigkeiten als Ganzes beigetragen. Auch wenn der Vergleich zwischen einem Fußballspiel und einem Unternehmen nur bedingt trägt, so verdeutlicht er doch, worauf es bei der Mustererkennung ankommt. Das Management hat sich mit den sich ändernden Regeln des Marktes vertraut zu machen. Muster können dabei beispielsweise in den Produkterwartungen, Lieferserviceanforderungen, Auftragsänderungen und dem Bestellverhalten von Abnehmern sowie Auslastungsgraden von Fertigungskapazitäten zum Ausdruck kommen. Bild 4 zeigt exemplarisch, wie das Verfahren der Mustervorhersage die Prognosequalität der Bedarfsplanung (Sales & Operations Planning) steigern kann. Im Kern geht es bei der Mustererkennung darum, die dahinter liegenden Treiber bestimmter Zielgrößen besser zu verstehen und effektiver zu managen.

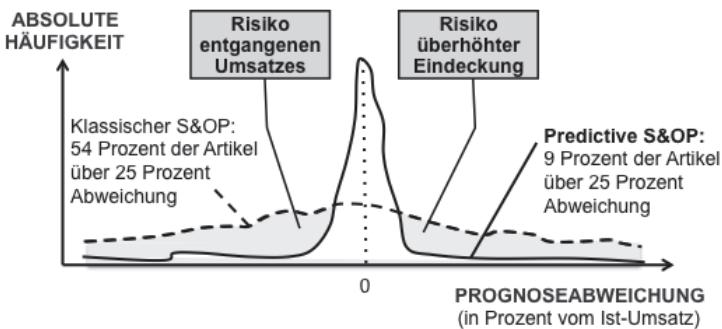


Bild 4: Beispiel einer vorausschauenden Bedarfsplanung [4]

Netzwerkstrukturen

Die Industrie 4.0 ist zu einem gewissen Grad Generalist. Ein Generalist kann viele Dinge vernünftig bewerkstelligen und ist flexibel. Ein Teil dieser Flexibilität entsteht über Netzwerke, d.h. durch Zusammenarbeit mit Dritten nach Bedarf (hierzu und im Folgenden [4]). Dabei sind netzwerkartige Strukturen facettenreich. Ein „Herzstück“ flexibler Wertschöpfungsnetzwerke bilden gemeinsame Werte und das passende räumliche Netzwerkdesign:

Eine gewisse Toleranz unterschiedlicher Verhaltensweisen auf Basis gemeinsamer Werte kann die Intelligenz eines Netzwerks steigern [11]. Beispielsweise Siemens lebt dies mit einer Kultur von internem Unternehmertum und Diversität vor. Der Ausbau und die Pflege eines offenen und kooperativen Wertesystems sind deshalb gerade in turbulenten Umfeldern und im Zuge der Industrie 4.0 geboten (Bild 5). Die Bedeutung gemeinsamer Werte ergibt sich aber auch aus der Tatsache, dass im Zuge der Industrie 4.0 „der normative Bereich des Management und der operative, echtzeitnahe Bereich der Maschinen und des physischen Materialflusses entkoppelt“ werden [12]. Eine Lenkung ist dann primär indirekt, quasi über „Leitplanken“ möglich, welche gerade über Werte und Normen gesetzt werden.

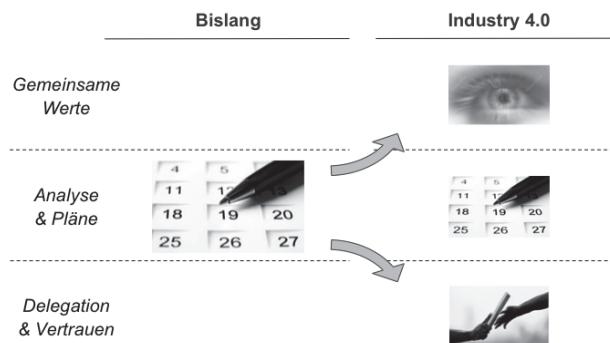


Bild 5: Führungsinstrumente in der Industrie 4.0 [5]

Viele unternehmerisch geführte Organisationen wie zum Beispiel ThyssenKrupp und Kühne & Nagel sind über Jahrzehnte erfolgreich gewachsen, indem das Geschäft in verschiedenen Zielländern service- und vertriebsorientiert ausgebaut wurde. Wenn diese Länder im Laufe der Zeit die G&V-Verantwortung übernommen haben, um ein hohes Maß an Kundennähe zu gewährleisten, kann eine solche dezentrale Führungsphilosophie im Einzelfall der Realisierung von Synergien im Wege stehen. Die teilweise Einführung einer grenzüberschreit-

tenden Steuerung bietet sich dann an, um Synergien zu heben und das Unternehmen auf eine nächste Optimierungsebene zu führen. Eine solche Führungsphilosophie kann als Vorstufe für eine virtuelle, netzwerkbasierte Struktur im Sinne der Industrie 4.0 gesehen werden, weil sie die notwendigen Standards setzt und auf gemeinsamen Werten beruht. Dies zeigt auch, wie wichtig die Führungsphilosophie für die Integration der Wertschöpfungskette und den Erfolg des Unternehmens ist.

Das Design des Netzwerks kennzeichnet die räumliche Anordnung wertschöpfender Aktivitäten in ihrer Gesamtschau. Greift man die klassische Theorie der allgemeinen Standortfaktoren nach Weber [13], auf, so lassen sich grundsätzlich eine ressourcen-, arbeits-, konsum- und transportorientierte Netzwerkstrategie unterscheiden [14]. Diese Sichtweise ist in Zeiten der Industrie 4.0 jedoch insofern überholt, als über das Netzwerkdesign weitgehend flexibel und verteilt entschieden wird. Das Design ist ständig im Fluss. Nicht das Netzwerk als Ganzes, sondern einzelne Objekte (z. B. Produkte, Paletten, Transportmittel) erfahren im Zuge eines Trial-and-Error-Prozesses laufend Service-Verbesserungen (z.B. Fertigungsstraßen, Routen, Umschlagsplätze), welche als Lernprozesse an den Rest des „Schwarms“, also die anderen Objekte weitergegeben werden. Im Zuge der Industrie 4.0 löst sich das „Diktat des Standorts“ für die Verfügbarkeit von Produkten langsam auf und wird vom Grundsatz her durch „Märkte ohne Grenzen“ ersetzt [15]. Dies ergibt sich aus den sinkenden Transaktionskosten, der steigenden Transparenz von Angeboten sowie der Überall-Erhältlichkeit (Ubiquität) von Gütern und ist am Beispiel des stark wachsenden e-Commerce-Marktes für Kurier- und Expressdienste (kurz KEP) aktuell beobachtbar. In der Extremform werden entsprechende Netzwerke dann als Crowd-Service abgebildet, wie zum Beispiel bei MyWays von DHL. Die Industrie 4.0 hat folglich feingliedrigere und verteilt agierende Netzwerke mit höherem Outsourcing-Anteil zur Folge, die eine hohe Flexibilität und Skalierbarkeit von Ressourcen bieten (Bild 6).

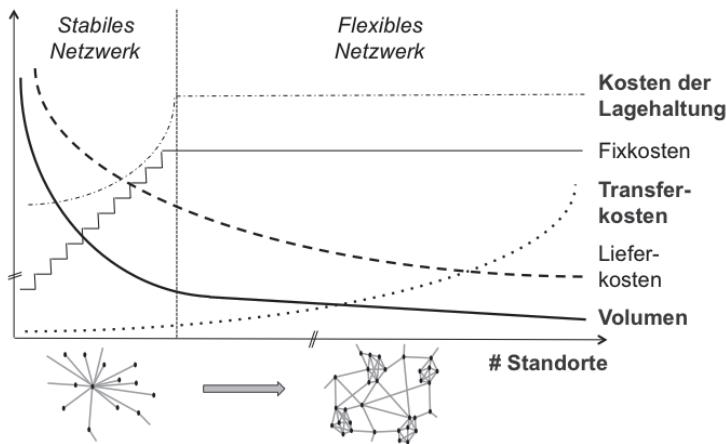


Bild 6: Flexible Netzwerkbildung in der Industrie 4.0 auf Basis von Outsourcing [5]

Selbstorganisation

Die Selbstorganisation nutzt die zuvor beschriebenen Möglichkeiten flexibler Netzwerke, indem sie die Teilsysteme der Wertschöpfung effektiv und effizient koppelt. Bereits die Fraktale Fabrik von Warnecke und die Modulare Fabrik von Wildemann nutzen das Prinzip der Selbstorganisation für Fertigungsteams (nochmals [1]). Aktuelle Beispiele für die Selbstorganisation sind selbstfahrende LKWs von Daimler und das autonome Parksysteem von Serva. Die Selbstorganisation ist dabei stets durch ihre rekursive, autonome, redundante und selbstreferentielle Anlage charakterisiert ([4] und die dort vorgestellten Grundlagen):

- Rekursiv, weil bestimmte Eigenschaften selbstorganisierter Einheiten auf unterschiedlichen sachlichen Ebenen einander ähnlich, d. h. wiederkehrend sind. Solch modulare Strukturen helfen u.a., die Kommunikation und Kompatibilität verschiedener Einheiten („Plug-and-Serve“) zu gewährleisten.
- Autonom, weil sich diese Einheiten zu einem gewissen Grad selbst steuern und sich hierzu eigene Wege suchen, ohne dass es eine zentrale Einheit hierfür gäbe. Auch kann die Steuerung durch viele Einheiten wahrgenommen werden, sozusagen durch einen „Schwarm“.

- Redundant, weil grundsätzlich jene Einheiten steuernd eingreifen, die jeweils über die besten Informationen verfügen. Steuerungsrelevante Informationen werden demnach „geteilt“ (shared), d. h. offen ausgetauscht.
- Selbstreferentiell, weil das Verhalten solcher Einheiten auf diese auch immer selbst zurückwirkt und die Basis für weiteres Verhalten bildet. Ursache und Wirkung gehen ineinander über. Eine agile Entwicklung in kleinen Schritten und Vermeidung von Übersteuerung sind geboten.

Selbstverständlich ist die Industrie 4.0 nicht durch eine völlige, allumfassende Selbstorganisation gekennzeichnet. Vielmehr werden ausgewählte Funktionen selbstorganisiert wahrgenommen. Es handelt sich immer um eine Selbstorganisation in einem gewissen Rahmen. Der entsprechende Rahmen, also die Leitplanken oder Spielregeln werden unter anderem durch die oben bereits angesprochenen Unternehmenswerte gesetzt, die Verhaltensregeln selbstorganisierter Einheiten durch spezifische Steuerungsalgorithmen definiert. Der viel zitierte Ameisen-Algorithmus ist eine Metapher hierfür.

Datenbasierte Betriebsmodelle bieten demnach ein besseres Verständnis der Anpassungsbedarfe und eine höhere Flexibilität, um hiermit umzugehen. Die Effizienz solcher Betriebsmodelle in komplexen Umfeldern ist entsprechend hoch und geht über eine bloße digitale Abbildung bestehender Abläufe hinaus. Neue Wachstumsmöglichkeiten ergeben sich mit der Entwicklung digitaler Geschäftsmodelle der Industrie 4.0.

3 Digitale Geschäftsmodelle bieten Wachstum und Innovation im Triple Longtail[®]

Welche Wachstumschancen durch neue Produkte, Dienstleistungen und Kompetenzen bietet die Industrie 4.0? Um diese Frage zu beantworten, muss man sich den Kern der Industrie 4.0 vor Augen führen. Was ist also das eigentlich Neue aus Kundensicht? Welche marktrelevante Fähigkeit macht Industrie 4.0 aus? Hierzu lassen sich zunächst einige wesentliche Charakteristika digitaler Geschäftsmodelle zusammenfassen (Bild 7).

	Nicht-digital	Digital
Markt & Portfolio	<ul style="list-style-type: none"> • Wettbewerb in der Industrie • Imitation Wettbewerber • Patente als USP • Fokussiertes Portfolio 	<ul style="list-style-type: none"> • Konvergenz • Inspiration durch B2C • Daten und SaaS als USP • „Longtail“-Angebote
	<ul style="list-style-type: none"> • Hohe Wertschöpfung • Produktions-Team 	<ul style="list-style-type: none"> • Virtuelle Netzwerke • Demokratie der „Maker“
Betriebliche Ressourcen	<ul style="list-style-type: none"> • Gebündelte Ressourcen • F&E-Team • IT Suiten und Lizenzen • Discounts 	<ul style="list-style-type: none"> • Schwärme und „Crowds“ • Offene Innovation • Service orientierte IT • Freemium

Bild 7: Ausgewählte Charakteristika digitaler Geschäftsmodelle [5]

So ist der Wettbewerb in Märkten mit digitalen Geschäftsmodellen oftmals durch Konvergenz ganzer Industrien gekennzeichnet. Telekommunikations-Unternehmen wie die Deutsche Telekom versuchen beispielsweise in der Rolle des Plattformbetreibers in Logistik-, Gesundheits- und Unterhaltungsmärkte einzutreten. Und Online-Händler wie Amazon treten derzeit in den Lebensmitteleinzelhandel ein. Während in konventionellen Geschäften der Wettbewerb ein wesentlicher Treiber für Innovationen ist, finden digitale B2B-Geschäfte oftmals Inspiration im B2C-Segment. Denn bei letzterem ist die Experimentierfreudigkeit und Zahl der Marktteilnehmer ungleich größer. Viele Konsumenten sind zudem wenig sensibel, wenn es um Datenschutz geht, anders als Industrieunternehmen. Und auch innerhalb eines Segments kann Analogiebildung helfen. Übersetzt man etwa das Geschäftsmodell von MyWays zur Crowd-Logistik auf den Personentransport führt dies zu Taxi-Diensten wie von Uber. In digitalen Geschäftsmodellen kann das Wissen über die jeweiligen Abnehmer eine (vergleichsweise) wichtige Rolle als Markteintrittsbarriere spielen, weshalb relevante Daten und Algorithmen auch als „digitales Gold“ bezeichnet werden. Das Teilen (Sharing) dieses Wissens führt zur Vermehrung seiner selbst und ist durch eine kritische Größe charakterisiert. Die Intelligenz entsprechender Dienste steckt in der Cloud, sodass durch das Teilen kein unternehmenseigenes Know-how preisgegeben wird. Die Marktpenetration vieler neuer digitaler Geschäftsmodelle ist oftmals dadurch getrieben, dass bestimmte Basisleistungen kostenfrei angeboten, Zusatzleistungen mit darüber hinausgehendem Nutzen jedoch in Rechnung gestellt werden. Dieses Vorgehen wird auch als „Freemium“ bezeichnet, also als Kombination aus „Free“ und „Premium“.

Individualisierte Produkte im Long Tail

Wie bereits erwähnt ist eine zentrale Eigenschaft der Nutzung von Internet-Technologien wie CPS und Cloud die signifikante Senkung von Transaktionskosten [16], d.h. der Kosten der Inanspruchnahme des Marktes. Aufgrund dieser Eigenschaft sind digitale Geschäftsmodelle in hohem Maße geeignet, Nischenprodukte zu vermarkten (hierzu und folgend [15]). Zu beobachten ist deshalb, dass in digitalen Geschäften, wie z.B. von Amazon, Netflix und Rhapsody, die klassische 80:20-Regel (80 Prozent Umsatz mit 20 Prozent der Produkte) keine Gültigkeit mehr hat. Stattdessen findet sich eine sog. 98-Prozent-Regel, nach der eine Vielzahl von Nischenprodukten einen großen und profitablen Umsatzanteil ausmachen (Bild 8). Amazon hat beispielsweise rund 3,7 Millionen Buchtitel, im Vergleich zu einer gut sortierten Buchhandlung mit rund 100.000 Buchtiteln. Netflix führt rund 55.000 DVD-Titel gegenüber einer Blockbuster-Filiale mit rund 3.000 DVDs. Rhapsody bietet rund 1,5 Millionen Musiktitel im Vergleich zu Walmart mit 55.000. Usw. Die ABC-Kurve des Umsatzes zeigt ein sehr langes Ende (Long Tail) von Nischenprodukten, die einen Geschäftsbeitrag leisten. Die digitale Welt erlaubt eine deutlich höhere Vielfalt des Angebots und Individualität der Nachfrage. Die niedrigeren Transaktionskosten, d.h. Kosten der Suche, des Ausprobierens und des Bereitstellens, ermöglichen ein solch breites Angebot digitaler Geschäftsmodelle, ohne dessen Wirtschaftlichkeit in Frage zu ziehen. Der Ergebnisbeitrag derartiger Geschäftsmodelle kann 20 - 30 Prozent des Unternehmenserfolgs ausmachen.

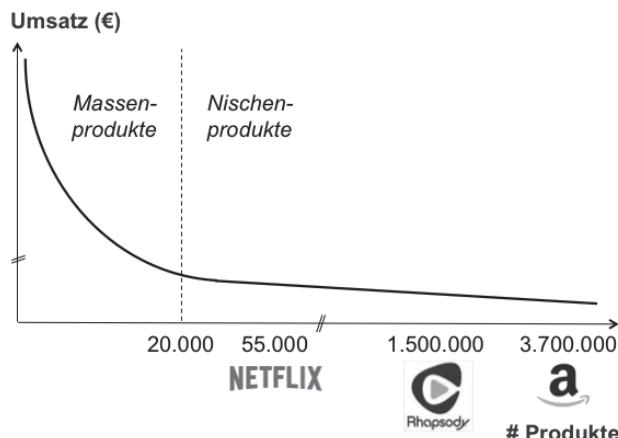


Bild 8: Das lange Ende der Nischenprodukte ([7] auf Basis [15])

Neue Technologien der Industrie 4.0 wie der 3-D Druck und Losgrößen der Fertigung von 1 steigern diese Möglichkeiten noch und sorgen dafür, dass diese Eigenschaft digitaler Geschäftsmodelle nicht auf den Handel beschränkt bleibt. Die Individualisierung von Produkten ist einer der großen Herausforderungen für die fertigende Industrie in den kommenden Jahren. Eine entsprechend flexible Fertigungsplanung und -steuerung der Industrie 4.0, zum Beispiel ein Dedizieren von Fertigungskapazitäten in der stetigen Produktion von Prozessindustrien sowie die Neupositionierung des Entkopplungspunktes unterstützen diesen Trend im Produktportfolio [4]. Denn sie sorgen dafür, dass die Komplexitätskosten der Individualisierung nicht überproportional wachsen und somit handhabbar bleiben. Dabei ist der Long Tail des Produktportfolios typischerweise durch eine hohe Volatilität gekennzeichnet (Bild 9). Und auch der Kunde selbst kann Teil der Produktion werden, wenn er vorhandene Produktmodule individuell zusammenstellt oder sogar selbst produziert. Anderson [17] fasst diesen Trend zur Crowd-Produktion unter der Überschrift „Maker“ zusammen. In diesem Zusammenhang ist auch der Begriff „Open Innovation“ von Reichwald und Piller [18] einzuordnen, wonach Neuentwicklungen zukünftig auch von Abnehmern in der Menge (sozusagen als Crowd Innovation) geschaffen werden. Der Long Tail hat Einfluss auf die gesamte Wertschöpfungskette.

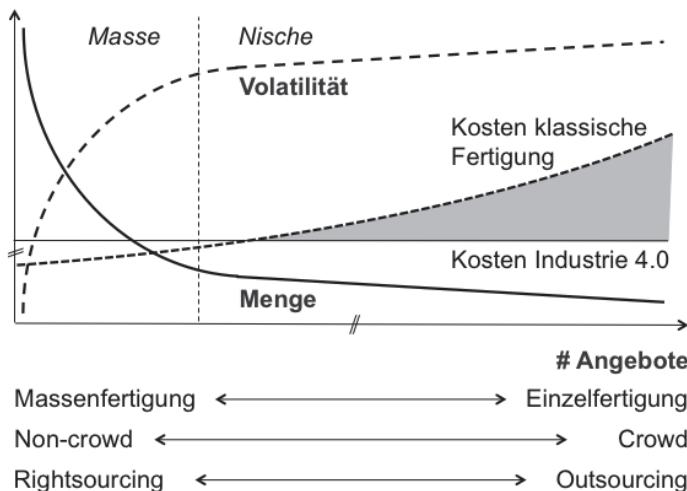


Bild 9: Volatilität der Nachfrage und Merkmale der Wertschöpfung im Long Tail [7]

Long Tail individualisierter Dienstleistungen

Viele Produktmärkte sind durch eine Commoditisierung gekennzeichnet, d.h. die Angebote werden zunehmend austauschbar. Gerade in diesen Märkten findet der Differenzierungswettbewerb über Sekundär- und Dienstleistungen statt, um dem mit der Commoditisierung einhergehenden Preisdruck etwas entgegen zu setzen [19]. Dieser Mechanismus der Abgrenzung findet z.T. auch umgekehrt in commoditisierten Dienstleistungsmärkten Anwendung, wenn proprietäre Hardware mehr oder weniger austauschbaren Diensten beigestellt wird, wie etwa im Bereich des Video-Streaming von Watchever, iTunes und Viewster in Form entsprechender TV-Boxen der Fall.

Für Produktmärkte finden sich grundsätzlich drei Gruppen von Dienstleistungen mit Differenzierungspotential. Dies sind Basis-, Mehrwert- und digitale Dienste (Bild 10). Basisdienste bieten Grundfunktionen, die ohnehin zur Lieferung von Produkten erforderlich sind und führen diese aus Kundensicht besser aus. Entsprechende Services betreffen beispielsweise den Online-Zahlungsverkehr, das Tracking von Lieferungen durch die Logistik und die vorausschauende Instandhaltung. Der Einsatz digitaler Technologien für entsprechende Funktionen von Basisdiensten kann einen Beitrag zur Differenzierung leisten, wenn mit ihr eine Pionierrolle einher geht.

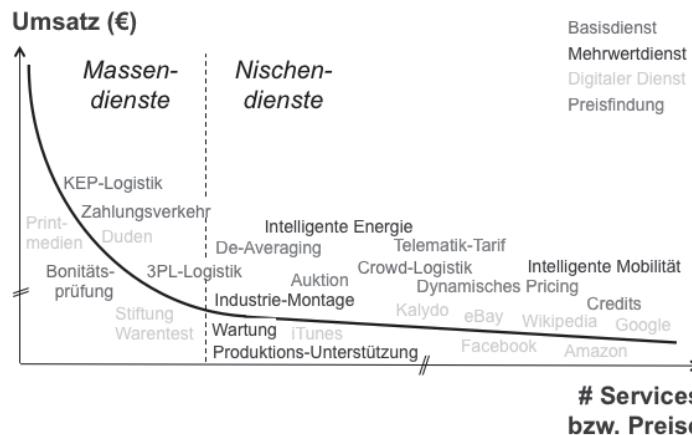


Bild 10: Der Long Tail beispielhafter Dienstleistungen und Preisstrukturen [7]

Mehrwertdienste überzeugen demgegenüber durch eine neue, zusätzliche Funktionalität. Beispiele für Mehrwertdienste sind der Heimlieferservice für Lebensmittel von Amazon, die C-Teile-Logistik von Würth, die Material Services von ThyssenKrupp und die Hon Card von Lufthansa. Viele Mehrwertdienste werden heute noch nicht in vollem Umfang digital unterstützt, sodass diese ein großes Potential bieten.

Ausgangspunkt von Individualisierung und Mehrwertdiensten ist stets der Kunde. Betroffen sind zum Beispiel auch die Service-Welten Gesundheit, Energie und Mobilität. So werden im Gesundheitsbereich in den kommenden Jahren individuelle Medikamente und Therapien entwickelt, die besser heilen. Die Wertschöpfungskette von Pharmaunternehmen wie Bayer, aber auch von Apotheken wird sich entsprechend ändern, nicht zuletzt auch, weil die Beratungsfunktion von Apotheken zukünftig computergestützt wahrgenommen wird. Im Energiebereich werden Effizienzdienstleistungen für die Industrie entwickelt, welche branchen-spezifische Lösungen und eine Integration des Energiemanagement mit der Produktionsplanung und -steuerung ermöglichen. Energieversorger wie E.ON und RWE bieten schon lange mehr als nur Kilowattstunden aus Strom oder Gas an. Sie entwickeln sich zu Effizienzdienstleistern. Und Automobilunternehmen wie BMW verstehen sich zukünftig als Mobilitätsdienstleister, welche durch vernetzte Lösungen Kundenwert und Markentreue schaffen. Dabei bieten sich in allen diesen Service-Welten nicht nur den Unternehmen der ersten Reihe (1st Tier) Chancen. Vielmehr werden Zulieferanten (2nd und 3rd Tier, etc.) schrittweise miteinbezogen. So ist beispielsweise in der Automobilzulieferindustrie die Industrie 4.0 ein heiß diskutiertes, strategisches Thema.

Nicht zuletzt bilden digitale Dienste sogenannte Werkzeug-, Filter- und Aggregator-Funktionen ab und unterstützen damit die Suche, Herstellung und Inanspruchnahme von Leistungen über das Internet [15]. Ein Produkt kann demnach austauschbar sein. Wenn es jedoch im Internet über geeignete Filter besser auffindbar ist, weil es beispielsweise bei Google ganz oben auftaucht, kann dies ein entscheidender Differenzierungsvorteil sein. Ebenso können gute Produktbewertungen und Rezensionen im Internet eine Filterfunktion darstellen, weil sie die Kundenwahrnehmung beeinflussen. Filter bringen Angebot und Nachfrage zusammen. Aggregatoren sammeln dann eine breite Auswahl an Angeboten und bereiten diese auf, sodass sie für Dritte verfügbar sind. Aggregatoren schaffen damit Marktliquidität. So ist Wikipedia ein Aggregator im Bereich Wissen für jedermann, Google im Bereich Werbung für kleinere Inserenten sowie eBay und Kalaydo im Bereich der Sachgüter

für Endverbraucher. Aggregatoren beschränken sich also nicht auf digitale Produkte. Deutlich wird, dass digitale Dienste eine Doppelfunktion haben, wenn sie die Vermarktung individueller Basis- und Mehrwertdienste unterstützen und auch selbst zur Differenzierung beitragen. Während Aggregatoren den Vertrieb demokratisieren, d.h. für jedermann ermöglichen, sorgen Werkzeuge für die Demokratisierung der Produktion. Beispiele für entsprechend hergestellte Crowd Services sind Kaggle für Algorithmen, Booking.com für den Kundenservice und ArtistShare für Finanzierungen.

Alle oben genannten Dienstleistungsarten lassen sich durch die Transaktionskostenvorteile des Internets individualisieren (Service Customization). Dienstleistungen werden also maßgeschneidert, indem sie einzelne Merkmale der sie in Anspruch nehmenden Kunden (stärker) berücksichtigen. Anders als bei Produkten wird die Individualisierung hier nicht über Produkteigenschaften erreicht. Bei Dienstleistungen wird die Individualisierung vielmehr im Zuge ihrer Erstellung realisiert. Entsprechende Individualisierungstreiber können Anlagen-, Prozess- oder Ergebnisbezug haben (Bild 11). So bieten performancebezogene Dienstleistungen ein bestimmtes Ergebnis als Leistungsversprechen an. Entsprechende Wartungsverträge versprechen eine Mindestverfügbarkeit und -Laufzeit von Maschinen und können auf Basis prädiktiver Analytik kundenindividuell eingestellt werden. Im Zuge einer solchen Strategie der Individualisierung von Dienstleistungen wird der Service zur „Waffe“ im Wettbewerb [7].

Anlagen	Prozesse	Ergebnisse
▪ Kapazitäten	▪ Häufigkeiten	▪ Mehrwert
▪ Kompetenzen	▪ Gewichte	▪ Zuverlässigkeit
▪ Daten & Wissen	▪ Volumen	▪ Durchlaufzeit
▪ Ressourcen	▪ Anzahl	▪ Kosten
▪ ...	▪ ...	▪ ...

Bild 11: Treiber der Individualisierung von Dienstleistungen [7]

Ähnlich wie bei der Produktherstellung wird auch die Individualisierung von Dienstleistungen zu einem gewissen Grad durch eine Modularisierung von Teilleistungen sowie durch ein Outsourcing an Kooperationspartnern getragen, weil es das bedarfsgerechte Bereitstellen bzw. die Skalierbarkeit entsprechender Infrastruktur ermöglicht. Dabei hängen die Outsourcing-Möglichkeiten auch an der Frage, inwieweit Aggregatoren für bestimmte Dienstleistungen

vorhanden sind. Der Aufbau von Aggregatoren bietet insofern besondere Chancen zur Profilierung im Markt. So ist z.B. zu erwarten, dass im Speditionsgewerbe (3PL) die Vermittlung von Transportkapazitäten zukünftig automatisiert über Internet-Plattformen läuft. Das klassische Broker-Geschäft gehört dann der Vergangenheit an, was für Schenker und Co. bedeutet, zeitnah den Aufbau geeigneter Plattformen prüfen zu müssen.

Der Triple Long Tail[®]

Neben individualisierten Produkten und Dienstleistungen ist die verursachungsgerechte Kostenallokation und differenzierte Preisfindung ein Erfolgsfaktor digitaler Geschäftsmodelle. Die zum Teil hohen Kosten individueller Leistungen müssen zunächst angemessen in der Kostenarten-, Kostenstellen- und Kostenträgerrechnung Berücksichtigung finden, d.h. eine etwaige Mittelwertbildung über Standardkosten ist geeignet aufzulösen (De-Averaging). Die zuvor beschriebenen Treiber der Individualisierung können in diesem Zusammenhang zu relevanten Kostentreibern werden, welche systemseitig abzubilden sind. Ergebnissesteigerungseffekte ergeben sich, wenn zu viel belastete Kosten nicht zu Preissenkungen, zu wenig belastete Kosten jedoch zu Preiserhöhungen genutzt werden. Die hinter der feinjustierten Preisstruktur liegende Kostentreiberlogik unterstützt dabei den Vertrieb, entsprechende Preisanpassungen beim Kunden durchzusetzen. Denn in Industrie-Geschäften (B2B) wie z.B. der Spezial-Chemie haben derartige Verhandlungen oftmals „open book“ ähnlichen Charakter. Die Vertriebsunterstützung von Unternehmen wie BASF, Evonik, Lanxess u.a. ist dann nachhaltig, wenn Preiskalkulations-Tools durch enge Verzahnung mit der Kostenrechnung die kalkulatorische Berücksichtigung der Portfoliokomplexität als Regelprozess umzusetzen helfen. Insoweit Produkte und Dienstleistungen im Long Tail von Dritten bezogen werden, ist die einfache systemtechnische Einbindung (plug-and-serve) solcher Angebote in Form sog. Business Objects entscheidend.

Je höher der Nutzen von Produkten oder Dienstleistungen desto wichtiger ist zudem die Preisbereitschaft des Abnehmers für die Preisbildung, d.h. der subjektive Wert eines Angebots aus Kundensicht. Derartige Preisbereitschaften lassen sich z.B. über Conjoint Measurement-Verfahren im B2C-Bereich bzw. über Wirtschaftlichkeitsanalysen (Business Case) im B2B-Bereich ermitteln. In der Umsetzung finden wertorientierte Preisstrukturen beispielsweise beim sog. Dynamic Pricing und in Online-Auktionen ihren Ausdruck. Das Dynamic Pricing, wie es z.B. Amazon oder eBay praktizieren, zielt darauf, über den Einsatz von Suchmaschinen im Internet eine bestimmte Preisposition im Vergleich zum Wettbewerb

durchzusetzen. Dabei helfen die Suchmaschinen, die aktuellen Angebotspreise des Wettbewerbs zu finden. Auf dieser Basis werden anhand von Preisalgorithmen die Angebote in Ist-Zeit aktualisiert. Online-Auktionen gibt es mittlerweile für zahlreiche Warengruppen. So versteigern eBay u.a. ganze Wohnhäuser im Bieterverfahren. Und viele Unternehmen stellen die Ausschreibung von Lieferantenleistungen über Online-Auktionen in den Wettbewerb. Zu erwarten ist, dass ein solches Vorgehen im Zuge wertorientierter Preisstrategien auch angebotsseitig im B2B-Segment eine stärkere Rolle spielen kann.

Solche und ähnliche Preismechanismen führen dazu, dass die angebotenen Preisstrukturen flexibler, individueller und differenzierter werden. Neben dem langen Ende individualisierter Produkte und individualisierter Dienstleistungen kann folglich im Rahmen digitaler Geschäftsmodelle auch ein Long Tail der Preise treten (Bild 12). Diese drei Größen machen die Strategie des Triple Long Tail[®] aus.

	Triple Long Tail [®]		
	Produkt Long Tail	Service Long Tail	Preis Long Tail
<i>Umfang</i>	<ul style="list-style-type: none"> Digitale Produkte Nicht-digitale Produkte 	<ul style="list-style-type: none"> Basis-Services Mehrwert- und digitale Services 	<ul style="list-style-type: none"> Wert- und kostenbasierte Preisstrukturen
<i>Hebel</i>	<ul style="list-style-type: none"> Individualisiertes Produkt Zusatzmarge 	<ul style="list-style-type: none"> Kundenbindung Ursachegerechte Kostenallokation 	<ul style="list-style-type: none"> Preisbereitschaft „De-Averaging“ „Dynamic Pricing“
<i>Voraussetzung</i>	<ul style="list-style-type: none"> Niedrige Transaktionskosten Flexible Fertigung / z.T. Outsourcing 	<ul style="list-style-type: none"> Niedrige Transaktionskosten Skalierbare Ressourcen 	<ul style="list-style-type: none"> Kostenkontrolle Kenntnis des Kundenwertes Preis-Algorithmen

Abb. 12: Strategie des Triple Long Tail[®] [7]

Die Strategie des Triple Long Tail ist eine Extremform digitaler Geschäftsmodelle, sozusagen die „reine Lehre“. Anstelle eines Schwarz-Weiß werden realiter oft Grautöne eine Rolle spielen. Nicht jedes Geschäft wird sich zudem komplett in dieser Form transformieren lassen, d.h. die Digitalisierung ersetzt nicht die herkömmliche Art und Weise, das Geschäft zu betreiben. Vielmehr tritt der Triple Long Tail an die Seite des etablierten Geschäftsmodells von Massenangeboten und einer vergleichsweise einheitlichen Preisfindung. Die Umsatz- und Ergebnisanteile können sich dann allmählich im Laufe der Zeit verschieben. Migration statt Revolution ist in diesem Fall das richtige Vorgehen. Neben der Frage, wie das Geschäft im Zielzustand aussieht, ist das richtige Timing deshalb erfolgskritisch.

4 Wer zu spät kommt ...

Die skizzierten Ansatzpunkte der Industrie 4.0 stehen noch am Anfang. Insbesondere die Umsetzungsplanung der Plattform Industrie 4.0 [20] hat hierzu wichtige Meilensteine zur Weiterentwicklung in den nächsten Jahren vordefiniert. Das „Training on the Job“ ist natürlich durch nichts zu ersetzen. Und selbstverständlich haben die hier vorgestellten Charakteristika datenbasierter Betriebsmodelle und digitaler Geschäftsmodelle keinen Anspruch auf Vollständigkeit, kennzeichnen vielmehr ganz wesentliche Inhalte der Konzeption. Insofern, es gibt noch viel zu tun (zur Umsetzung der Industrie 4.0 [4]).

Die Ausführungen verdeutlichen aber auch, dass die Ansatzpunkte der Industrie 4.0 bereits heute zu einem gewissen Grad umsetzbar sind. Industrie 4.0 kennt viele Reifegrade. Gerade in Zeiten ausgereifter Märkte, austauschbarer Produkte und verstärkten Servicewettbewerbs bietet sich den Pionieren der Industrie 4.0 die Chance, nachhaltig Wettbewerbsvorteile einzufahren. Es gilt demnach auch hier der Leitsatz: „Wer zu spät kommt ...“.

Literurnachweis

- [1] Warnecke H.-J., Die Fraktale Fabrik, Revolution der Unternehmenskultur, Berlin u. a. 1992; Wehberg G., Logistik-Controlling, in Jöstingmeier B. et al., Hrsg., Aktuelle Probleme, Göttingen 1994, S. 73–134; Wildemann H., Die Modulare Fabrik, 4. Aufl., München 1994.
- [2] Bleicher K., Das Konzept Integriertes Management, 3. Aufl., Frankfurt a.M., New York 1995; Wehberg G., Ökologieorientiertes Logistikmanagement, Wiesbaden 1997.
- [3] Klaus P., Jenseits der Funktionenlogistik: Der Prozessansatz, in: Isermann H., Hrsg., Beschaffung, Produktion, Distribution, Landsberg/Lech 1994, S. 331–348; Wehberg G., Logistik-Controlling, in Jöstingmeier B. et al., Hrsg., Aktuelle Probleme, Göttingen 1994, S. 73–134.
- [4] Wehberg G., Logistik 4.0, Berlin/Wiesbaden 2015.
- [5] Wehberg, G., Industrie 4.0, Vortrag an der Universität zu Köln vom 24. September 2015 (logistics40.de), 2015.
- [6] Kückelhaus, M., Big Data in Logistics, Bonn 2013; Innovation Center DHL, Bonn 2015.

- [7] Wehberg, G., Supply Chain Management 4.0, Vorlesungsreihe an der IUBH (logistics40.de), 2015.
- [8] Hilbert M., López P., The World's Technological Capacity to Store, Communicate, and Compute Information, in: *Science*, 332 (2011) 6025, S. 60–65.
- [9] IHS Technology, (technology.ihs.com) 2015.
- [10] Ulrich H., Probst G., Anleitung zum ganzheitlichen Denken und Handeln, 3. Aufl., Stuttgart 1991; Weick K. E., *The Social Psychology of Organizing*, New York u. a. 1969.
- [11] Simon, V., Soziale Unternehmensentwicklung, in: Seidel, E., D. Wagner, Hrsg., *Organisation. Evolutionäre Interdependenzen von Kultur und Struktur der Unternehmung*, Wiesbaden 1989, S. 339 – 352.
- [12] ten Hompel M., M. Henke, Logistik 4.0, in: Bauernhansl T., ten Hompel M., Vogel-Heuser B., Hrsg., *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik*, Wiesbaden 2014, S. 615–624.
- [13] Weber, A., Über den Standort der Industrien, I. Teil: Reine Theorie des Standorts, Tübingen 1922.
- [14] Schäfer, E., Die Unternehmung, 10. Auf., Wiesbaden 1980; Stahl, G., Konzeptionsmodelle für zu integrierende Verkehrssysteme – aber welche?, in: *Int. Verkehrswesen*, 46 (1994) 1/2, S. 43 – 50; Wehberg G., Ökologieorientiertes Logistikmanagement, Wiesbaden 1997.
- [15] Anderson, C., *The Long Tail*, Nischenprodukte statt Massenmarkt, München 2007.
- [16] Coase, R. H., The Nature of the Firm, in: *Economica*, 4 (1937) o. Nr., S. 386 – 405; Williamson, O. E., *Economic Institutions: Spontaneous Order and Intentional Governance*, in: *Journal of Law, Economics & Organisation*, 7 (1991) 7, S. 159 – 187; Williamson, O. E., *The Economic Institutions of Capitalism*, New York 1985.
- [17] Anderson, C. , Makers, Das Internet der Dinge: die nächste industrielle Revolution, München 2012.
- [18] Reichwald, R., F. Piller, *Interaktive Wertschöpfung*, 2. Aufl., Wiesbaden 2009.
- [19] Göpfert, I., Wehberg G., Ökologieorientiertes Logistik-Marketing, Stuttgart, Berlin, Köln 1995; Meier, R., F. Piller, Systematisierung von Strategien zur Individualisierung von Dienstleistungen, Arbeitsbericht Nr. 24 des Lehrstuhls für Allgemeine und Industrielle Betriebswirtschaftslehre der Technischen Universität München, 2001.
- [20] Plattform 4.0, Umsetzungsstrategie Industrie 4.0, Ergebnisbericht 2015.

Flexibilität trotz Automatisierung

Neuartiges Fahrerloses Transportsystem für Behälter und Kartons

Dipl.-Logist. **J. Behling**, Dipl.-Ing. **G. Follert**,
Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML, Dortmund;
B. Sc. **D. Ramers**, BITO-Lagertechnik Bittmann GmbH, Meisenheim

Kurzfassung

Im Rahmen einer Entwicklungskooperation zwischen BITO-Lagertechnik und Fraunhofer IML wurde basierend auf dem Prototyp eines „*Low Cost Automated Guided Vehicle*“ ein neuartiges Fahrerloses Transportsystem entwickelt. Es wurde konzipiert mit der Vorgabe zur Eignung für kostensensitive Anwendungen bei gleichzeitig hoher Flexibilität und Einfachheit. Wesentliches Differenzierungsmerkmal gegenüber am Markt vorhandenen Lösungen ist der Verzicht auf ein Leitsystem. Vielmehr wurde eine alternative Logik zur Beeinflussung des Systemverhaltens implementiert. Die Erprobung in Feldtests bestätigt die im Rahmen der Entwicklung getroffenen Entscheidungen und bietet einen Ausblick auf mögliche nutzbringende Erweiterungen.

1. Ausgangssituation

Ein Fahrerloses Transportsystem (FTS) ist nach VDI 2510 definiert als innerbetriebliches flurgebundenes Fördersystem mit automatisch gesteuerten Fahrzeugen und der primären Aufgabe des Materialtransports. Es besteht im Wesentlichen aus einem oder mehreren Fahrerlosen Transportfahrzeugen (FTF), einer Leitsteuerung, Einrichtungen zur Standortbestimmung und Lage erfassung, Einrichtungen zur Datenübertragung sowie Infrastruktur und peripheren Einrichtungen. [1]

1.1 Stand der Technik

Am Markt verfügbare Lösungen von FTS für Behälter und andere Kleinladungsträger sind insbesondere durch den Umfang des Technikeinsatzes und des erforderlichen Implementierungsaufwandes häufig nicht geeignet für den Einsatz in kostensensitiven Anwendungen. Sie adressieren primär Anwendungsfälle mit verzweigten Transportnetzwerken und einer Vielzahl zu koordinierender FTF. Kostentreiber sind bspw. eine vergleichsweise aufwendige Sensorik (Sicherheit und Lokalisierung), Lastübergabeeinrichtungen sowie Funkinfrastruktur und Leitsystem. Flexibilität in Bezug auf kurzfristige Anpassungen des Transportnetzwerkes

bzw. der Anordnung der zu bedienenden Quellen und Senken ist entweder nicht gegeben (Leitsystem) oder bedingen je FTF kostentreibende Lokalisierungseinrichtungen und Lernfahrten.

Das Fraunhofer IML hat mit dem „*Low Cost Automated Guided Vehicle – LOCATIVE*“ als Ergebnis eines Eigenforschungsprojektes im Jahr 2012 prototypisch die Umsetzbarkeit einer kostengünstigen Fahrzeugplattform zum Transport von Kleinladungsträgern vorgestellt (vgl. Bild 1). Die Weiterentwicklung und die Erprobung dieses Prototyps sind Gegenstand des nachfolgenden Berichts. Sie sind im Rahmen eines Projektes zur Auftragsentwicklung von der Firma BITO-Lagertechnik Bittmann GmbH und dem Fraunhofer IML bearbeitet worden.



Bild 1: Prototyp des LOCATIVE (Fraunhofer IML)

1.2 Entwicklungspartner

Die BITO-Lagertechnik Bittmann GmbH ist ein 1845 gegründetes inhabergeführtes Unternehmen. 2015 hat es mit ca. 900 Mitarbeitern in Deutschland sowie 14 Länderniederlassungen einen Umsatz von 190 Mio. Euro erzielt. BITO-Lagertechnik verfügt über zwei Fertigungsstandorte in Deutschland sowie ein Joint-Venture in Indien und ist Komplettanbieter im Bereich der manuellen Lagertechnik.

Das Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik berät Unternehmen aller Branchen und Größen in allen Fragen rund um Materialfluss und Logistik. Die Tätigkeiten reichen von der Beratung, Forschung und Planung in allen Bereichen der inner- und außerbetrieblichen Logistik bis hin zur Entwicklung von Lösungen in Soft- und Hardware. Das Fraunhofer IML setzt dabei auf unternehmensspezifisch maßgeschneiderte Lösungen und begleitet seine Kunden von der Planung bis zur Realisierung.

BITO-Lagertechnik und das Fraunhofer IML sind im Jahre 2013 eine Entwicklungspartnerschaft eingegangen, um ausgehend vom Prototyp des LOCATIVE ein FTS zu entwickeln, welches mit einfachen und klaren Funktionen bei einer großen Bandbreite verschiedener

Benutzer (Kunden von BITO-Lagertechnik) sowohl Akzeptanz als auch Anwendung findet und sich preislich sehr deutlich unterhalb vorhandener Lösungen platziert. Die Erprobung des Systems in einigen Feldtests begann 2015, die Vorstellung vor einer breiten Öffentlichkeit erfolgt 2016.

2. Systemverhalten unter Berücksichtigung der Einfachheit für den Anwender

Die geforderte Einfachheit des FTS als Abgrenzung gegenüber dem Stand der Technik lässt sich weiter untergliedern in die Bereiche Verkauf und Anwendung (vgl. Bild 2).

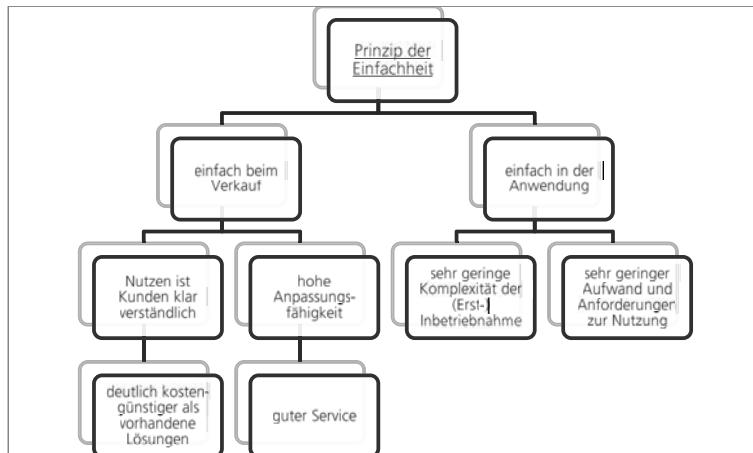


Bild 2: Differenzierung der Anforderungen an die Einfachheit des FTS

Die Herausforderungen bestanden somit zum einen in der Auswahl von Komponenten, die in erster Priorität die Funktionssicherheit des Systems gewährleisten und in zweiter Priorität dennoch dessen wirtschaftliche Anwendbarkeit in kostensensitiven Anwendungen ermöglichen. Zum anderen sollte das System bei Anwendern nahezu sofort betriebsbereit („out-of-the-box“), in seinem Verhalten klar nachvollziehbar und durch den Anwender selbst flexibel anpassbar sein.

Aus der Summe der vorgenannten Anforderungen resultiert die Nutzung einer optischen Spurführung mittels eines einfachen farbigen Klebebandes. Dieses ist vergleichsweise einfach und schnell änderbar und damit flexibel an erforderliche Änderungen des Fahrkurses anpassbar sowie kostengünstig hinsichtlich Spur und fahrzeugseitiger Auswertetechnik. Eine freie Navigation bspw. ausschließlich mit Umgebungsmerkmalen hingegen ermöglicht zwar

den Verzicht auf jegliche physisch vorhandene Spur, erfordert aber fahrzeugzeitig einen stark kostentreibenden Technikeinsatz und ggf. Einlernphasen.

Ein mittels Klebeband vorgegebener Fahrkurs ist allerdings nur dann tatsächlich flexibel, wenn dessen Änderung nicht auch gleichzeitig in einem Leitsystem (Software) erforderlich ist. Da ein Leitsystem zudem je Anwendungsfall zusätzlichen Implementierungsaufwand bedingt, wird in dem entwickelten FTS komplett darauf verzichtet. Stattdessen wird die gesamte Ablauflogik auf das FTF verlagert. Die Herausforderung bestand darin, dem Anwender im Rahmen der Ablauflogik dennoch elementare Eingriffs- und Konfigurationsmöglichkeiten zu bieten. Alternativ zum klassischen Leitsystem entspricht hier die nachfolgend beschriebene Ablauflogik der definitorisch zu einem FTS gehörenden Leitsteuerung. Nach *Ullrich* bedingt die Funktion der Leitsteuerung nicht notwendigerweise einen gesonderten Computer, sondern kann stattdessen auch auf den Fahrzeugrechnern ablaufen ([2], S. 130).

Die grundsätzliche Logik der einzelnen FTF besteht zunächst darin, dauerhaft der aufgeklebten Spur zu folgen. Dabei benötigen die FTF keine Kenntnisse des Fahrkurses. Der Fahrkurs besteht dabei aus einer beliebig geformten, geschlossenen Bahn, von der an optionalen Lastübergabestationen in Form einer parallelen Spur abgezweigt werden kann (vgl. Bild 3). Die Standardausführung von Lasterübergabestationen verfügt dabei über eine Einfahrseite zur Abgabe einer Last sowie direkt daran anschließend eine Ausfahrseite zur Aufnahme einer Last durch das FTF (vgl. *KammLAM*, Abschnitt 3.2).

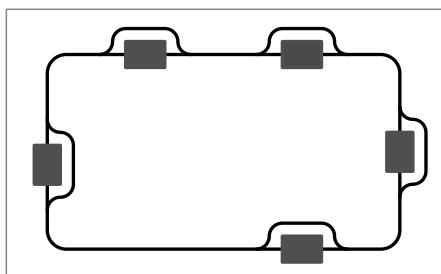


Bild 3: Prinzipskizze eines Fahrkurses (schwarz) mit mehreren Lastübergabestationen (blau)

Da bewusst auf die Notwendigkeit einer Funkinfrastruktur verzichtet wird, ist kein Rufsystem möglich. Eingriffsmöglichkeiten auf das Verhalten der FTF bestehen für den Anwender stattdessen in Form von unterschiedlichen optischen Markern (vgl. Bild 4), die neben der Spur auf dem Boden aufgebracht werden können.



Bild 4: Beispielhafter optischer Marker zur Anbringung neben der Fahrspur

Elementar ist bei der Nutzung von Lastübergabestationen mit davor befindlichen Verzweigungen eine Ankündigung in Form von Markern, welche Station (*Stations-ID*, Ortsmarker) sich in welchem der beiden folgenden Zweige befindet. Kombiniert mit der Information über die Belegung der Eingangsseite der Lastübergabestation resultiert daraus anhand der Ablauflogik des FTF die Entscheidung, welcher Fahrkurszweig weiter verfolgt wird. Ist das FTF unbeladen (ohne Ziel, Status *idle*), fährt es immer in die Station ein. Ist das FTF beladen, die angekündigte Stations-ID stimmt mit dessen aktuellem Ziel überein und ist die Eingangsseite der Lastübergabestation frei, fährt es ebenfalls in die Station ein. Sind dagegen die Eingangsseite der Station belegt und das FTF beladen oder entspricht die Stations-ID nicht dem aktuellen Ziel, umfährt es die Station.

Während ein FTF auf der Ausgangsseite einer Lastübergabestation eine Ladung aufnimmt, liest es zeitgleich einen weiteren auf dem Boden angebrachten Marker. Dieser beinhaltet die Information über das Ziel der Ladung. Wird dieser Marker in der Station gelesen, während keine aufzunehmende Last vorhanden ist, wird der Marker ignoriert und das FTF fährt weiter im Status *idle* (unbeladen und ohne Ziel), bis es in einer Station eine Last aufgenommen hat. Neben der Verwendung von Ortsmarkern zur Zielfindung können nach Bedarf sog. Aktionsmarker an nahezu beliebigen Positionen im Fahrkurs angebracht werden. Diese ermöglichen bspw. die Vorgabe unterschiedlicher Fahrgeschwindigkeiten, können optische sowie akustische Signale des FTF auslösen oder es für vorbestimmte Zeitspannen temporär (Pause-Marker) oder auch dauerhaft (Stopp-Marker) anhalten lassen. Darüber hinaus können durch Ergänzung um jeweils einen weiteren Marker die vorgenannten Aktionen auch selektiv nur dann durchgeführt werden, wenn ein FTF entweder beladen oder unbeladen ist.

3. Systemkomponenten

3.1 Fahrzeugbasis

Das FTF fährt standardmäßig mit einer Geschwindigkeit von 0,8 m/s. Es ist ausgelegt auf den Transport von Lasten bis zu einer Masse von 20 kg. Da die Gesamtmasse des beladenen FTF in Kombination mit der Geschwindigkeit einen vergleichsweise geringen Impuls

ergibt (woraus bei einer Kollision geringe Kräfte resultieren), ist die Nutzung eines zertifizierten Personenschutzsystems nicht erforderlich. Im unwahrscheinlichen aber möglichen Fall einer Kollision zwischen Mensch und FTF besteht keine Gefahr einer Verletzung. Dennoch ist das FTF mit einem vergleichsweise einfachen nicht zertifizierten und daher preiswerten Abstandssensor ausgestattet, der eine drohende Kollision in den meisten Konstellationen erkennen kann und durch entsprechende Signalisierung an die Antriebe vermeidet. Das Aussehen des in Feldtests verwendeten FTF (Fahrzeugbasis mit darauf befindlichem Lastaufnahmemittel) zeigt Bild 5.



Bild 5: FTF LEO LOCATIVE (Darstellung ohne Abstandssensor)

3.2 Lastübergabe

Die Lastübergabe in den Stationen erfolgt durch ein am Fraunhofer IML entwickeltes, patentiertes Lastaufnahmemittel [3], das wegen seines Aufbaus so genannte *KammLAM* (siehe Bild 5 oben). Dabei befindet sich die Last fahrzeugseitig auf Auflagestegen. Bei Durchfahrt der Eingangsseite einer Station befinden sich die fahrzeugseitigen Stege zwischen einer stationsseitig angebrachten kammartigen Struktur. Dabei wird die Last von den Stegen abgestreift (vgl. Bild 6). An der Ausgangsseite der Station befindet sich ebenfalls eine kammartige Struktur. Dort unterfahren die Auflagestegе des FTF zunächst die Last. Befinden sie sich vollständig darunter, klappt ein passiver, rein durch die Vorwärtsbewegung des FTF betätigter Hebelmechanismus einen fahrzeugseitigen Mitnehmer hoch, welcher die Last von der Station abstreift.

Die Vorteile dieses Prinzip liegen in der hohen Geschwindigkeit für ein Doppelspiel (kein Anhalten für Ent- und Beladung) bei gleichzeitig einfacher, rein mechanischer Ausführung. Die gesamte Lastübergabe benötigt weder fahrzeug- noch stationsseitig zusätzliche aktiv angetriebene Elemente. Zudem beeinflusst gerade die fahrzeugseitig einfache Ausführung positiv sowohl die Kosten als auch die Masse des FTF.

Nutzbar sind FTF und Stationen mit Kartons, Tablaren oder Behälter mit einer Grundfläche von bis zu 400 mm x 600 mm. Dabei ist es auch möglich, gleichzeitig zwei Lasten mit einer Grundfläche von jeweils 400 mm x 300 mm zu transportieren bzw. zu übergeben.

Die kammartige Eingangsseite der Station ist mit Schwerkraftrollen ausgestattet. Eine abgegebene Last rollt so selbsttätig in den daneben befindlichen schräg angeordneten Bereitstellbereich. Alternativ kann durch Verlängerung der Schwerkraftrollenbahn sowohl eingangs- als auch ausgangsseitig die Kapazität des selbst weitertaktenden passiven Puffers zusätzlich erhöht werden.



Bild 6: *KammLAM*: Eingangsseite der Lastübergabestation mit davor befindlichem FTF und Behälter auf Auflagegestegen des FTF

3.3 Benutzerschnittstellen

In Anwendungsfällen mit festen Quelle-Senke-Beziehungen sind im laufenden Betrieb Zieleingaben durch Benutzer nicht notwendig. Stattdessen können die Marker mit Zielinformationen für eine aus den Lastübergabestationen abgeholtene Last rein statisch ausgeprägt sein. Ist dagegen die Verteilung von einer Quelle auf mehrere unterschiedliche Senken vorgesehen, kann die Quellstation mit einem Terminal ausgestattet werden. An diesem Terminal kann ein Benutzer für die abzuholenden Lasten die Stations-ID der jeweiligen Senke einge-

ben. Dem FTF wird diese Information über einen in diesem Fall dynamischen Marker übermittelt. Eine Funkinfrastruktur ist auch hier nicht erforderlich.

Neben fest am Boden aufgebrachten Markern können insb. Aktionsmarker (vgl. Kapitel 2) auch spontan mobil neben der Spur positioniert werden. Insbesondere die Marker für temporäres oder dauerhaftes Anhalten ermöglichen bspw. das Befüllen von oder das Entnehmen aus einem auf dem FTF befindlichen Behälter an unterschiedlichen Positionen (am Regal, an Maschinen etc.).

Wenngleich die in Abschnitt 3.2 beschriebenen mechanischen Lastübergabestationen eine zeitliche Entkoppelung zwischen Ankunft eines FTF und Verfügbarkeit eines Benutzers ermöglichen, sind sie für die Grundfunktion des FTS nicht zwangsläufig erforderlich. Durch Stopp- oder Pause-Marker lassen sich auch rein manuelle Be- und Entladestationen realisieren. Ist an solchen Stationen ein FTF fertig be- oder entladen, ist ein optisch detekterter angedeuteter Fußtritt (Hände bleiben frei) der Trigger für die Weiterfahrt. Ein gesondert an dieser Station zu positionierender und in ein Leitsystem zu integrierender Taster ist nicht erforderlich. Stattdessen kann dieser Trigger an beliebigen Positionen des Fahrkurses dezentral direkt am FTF ausgelöst werden.

4. Ergebnisse aus Feldtests mit Anwenderfeedback

Das FTS wurde und wird in mehreren Feldtests eingesetzt, unter anderem im Bereich der Automobilzulieferindustrie. Verwendet wird es bspw. zum Transport von Halbfabrikaten zur Verkettung zweier Produktions- bzw. Montageschritte, welche sich in unterschiedlichen Gebäudebereichen befinden. In einem anderen Anwendungsfall wird der Wareneingang durch das FTS mit einem Lager verknüpft. In einer weiteren Applikation entsorgt das FTS mehrere Montagearbeitsplätze von in Behältern verpackten Fertigprodukten und bringt diese zu einem Lager. Die Beladung erfolgt hier an mehreren, jeweils durch einen Pause-Marker realisierten rein manuellen Stationen. Ist an einer Station bei Eintreffen eines FTF z.B. aufgrund der zeitlich relativ umfangreichen Montagetätigkeit aktuell keine Beladung erforderlich, fährt es nach einer durch den Pause-Marker vorgegebenen Wartezeit ohne Benutzereingriff zum nächsten Montagearbeitsplatz weiter. Eine Lösung mit mehreren mechanischen Lastübergabestationen zur Beladung ist zwar ebenfalls möglich, aber aufgrund der je Montagearbeitsplatz geringen Fertigstellungs frequenz nicht erforderlich. Die Entladung am Lager erfolgt dagegen mittels *KammLAM* auf eine mehrere Behälter puffernde Schwerkraftrollenbahn. Aufgrund des in der aktuellen Ausbaustufe geringen Durchsatzes wird mit weiteren bedingten Pause-Markern die Häufigkeit der Durchfahrt des kompletten Fahrkurses reduziert. Dies erhöht die Nutzungszeit einer Batterieladung auf mehrere Schichten. Zukünftig ist die Erweite-

rung um eine weitere Lastübergabestation geplant. Auch für die anderen bereits realisierten Implementierungen existieren Überlegungen der Anwender für den weiteren Ausbau.

In den mit Anwendern geführten Gesprächen wurde besonders die Möglichkeit hervorgehoben, das FTS eigenständig (also ohne Personal von BITO-Lagertechnik) auf- und umbauen zu können. Auch die schnelle Inbetriebnahme wurde positiv erwähnt. Die bisher nicht direkt vorgesehene Schnittstelle zu einem Lagerverwaltungssystem wurde als nicht notwendig und sogar als Beitrag zur Komplexitätsreduktion erachtet.

Die von Anwendern geäußerten Ergänzungswünsche betreffen eine automatische Batterieladestation (aktuell: Wechselakku) sowie das Ansteuern von Toren und Liften. Auch ein Rufsystem wurde genannt. Weitere Erweiterungsansätze betreffen eine zusätzliche Differenzierung hinsichtlich der Fahrkursoptionen (Struktur der Fahrwege) und der Verteillogik (Entscheidungskriterien an Verzweigungen).

5. Zusammenfassung und Ausblick

Die Herausforderung in der Entwicklung des beschriebenen FTS bestand nicht nur in der Auflösung des Spannungsfeldes zwischen vertretbaren Herstellkosten und zuverlässiger Funktionserfüllung, sondern auch in der Implementierung einer leitsystemlosen und dennoch den Praxisanforderungen gerecht werdenden Ablauflogik. Die konsequente Ausrichtung auf Einfachheit und Flexibilität wurde durch das Anwenderfeedback aus den Feldtests klar bestätigt. Der Verzicht auf ein Leitsystem durch die Beeinflussung des Systemverhaltens ausschließlich mittels Marker als Trigger ermöglicht dem Anwender eine schnelle Inbetriebnahme oder Anpassung ohne eine Abhängigkeit vom Lieferanten des FTS. Die wahrgenommenen Rückmeldungen entsprechen der von Ullrich beschriebenen Tendenz zu kleinen, zielgerichtet sowie flexibel einsetzbaren FTS (vgl. [4]).

Die geäußerten Erweiterungswünsche als Resultat der Feldtests sowie auch weitere eigene Ideen sind an der ursprünglichen Zielsetzung zu messen. Weder soll durch umfangreiche weitere Hardware die Eignung für kostensensitive Anwendungen in Frage gestellt werden, noch darf die Komplexität in der Bedienung steigen. Gut lassen sich aufgrund der Nutzung von Markern bspw. die in Kapitel 4 genannten Wünsche zur weiteren Differenzierung der Fahrkursoptionen und der Verteillogik realisieren.

Die Markteinführung des zuvor beschriebenen FTS ist als „*LEO LOCATIVE*“ ab Mitte 2016 vorgesehen.

- [1] VDI 2510: Fahrerlose Transportsysteme (FTS), 2005
- [2] Ullrich, G.: Fahrerlose Transportsysteme. Wiesbaden: Springer Vieweg 2014
- [3] DE 10 2008 039 764 B4
- [4] Ullrich, G.: FTS 4.0: Marktveränderungen verlangen den Einsatz neuer Technologien. Logistik für Unternehmen, 9-2015, S. 3

Präzise Kenntnis der Objekteigenschaften als Basis für durchgängig hoch performante Materialfluss-Systeme

Volker Glöckle, Wi.-Ing. Bernd von Rosenberger, SICK AG, Waldkirch

Kurzfassung

Der Vortrag befasst sich mit der These: Das Wissen über Objekteigenschaften und deren Veränderung tragen dazu bei, schwer vereinbaren Anforderungen wie z. B. „Durchsatz vs. Flexibilität“ moderner, hochautomatisierter Automatikläger besser gerecht zu werden.

Einerseits ermöglicht die Kenntnis der Objekteigenschaften eine reibungslose Automatisierung – andererseits erlaubt sie eine Verbesserung der Qualität und Kosten.

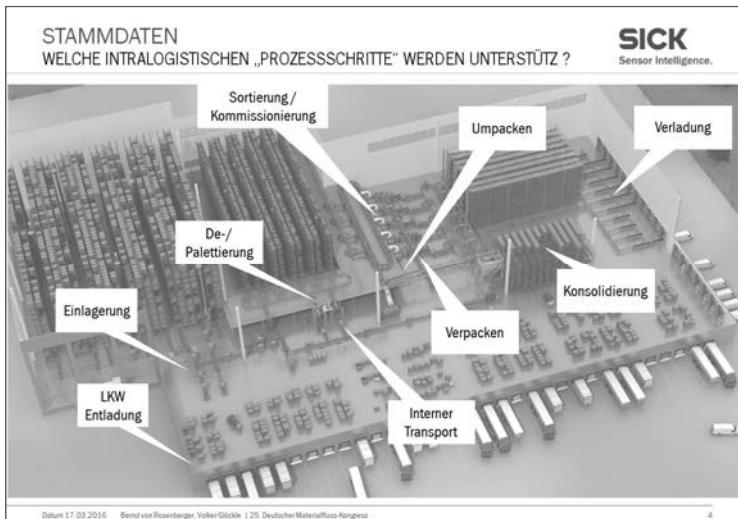
Jedoch ist die Vielzahl an Eigenschaften des Objekts, die ständige Veränderung der Stammdaten (z. B. vom Lieferanten), die Ermittlung sowie Speicherung und Vorhaltung dieser Daten, das Wiederauffinden dieser Daten und die Real-Time Verwendung im Prozess eine große Herausforderung, die mitunter aufwändig und damit kostspielig sein kann.

Der Vortrag erläutert den Stand der Technik in Bezug auf heute und mögliche Handlungsfelder für höher performante Materialfluss-Systeme der Zukunft.

1. Herausforderungen und Lösungsansätze zur Sicherstellung der Stammdatenqualität

Heute unterliegen logistische Prozesse und Abläufe einer ständig höher werdenden Komplexität. E-Commerce und weit zergliederte Supply-Chains sind hierfür maßgebliche Treiber. Nicht nur die Anforderungen an die logistische Leistung (schneller, pünktlich und gleichzeitig kosteneffizienter) nehmen dadurch zu, auch ein stark steigendes Retouren Aufkommen aus dem E-Commerce muss in Folge dieses Trends bei der Planung logistischer Systeme berücksichtigt werden.

Weiter führen Einflussgrößen wie „Losgröße eins“, „volatile Märkte“, „Flexibilität“, und „demographischer Wandel“ und nicht zuletzt Industrie 4.0 dazu, dass sich die Logistik vom eher konservativen Geschäftsfeld zu einem der Innovationstreiber entwickeln muss.



Der Grad der Automatisierung im Sinne von „Welche Arbeitsschritte sind automatisierbar?“ wird hier in den nächsten Jahren stetig zunehmen. Weitere Automatisierungsbemühungen erfordern jedoch mehr speziell für den Arbeitsschritt generierte Information oder generell vorliegendes a priori Wissen. Dieses Wissen bereitgestellt zu bekommen oder im Prozess zu erzeugen wird eine der großen Herausforderungen für zukünftige Logistiksysteme sein.

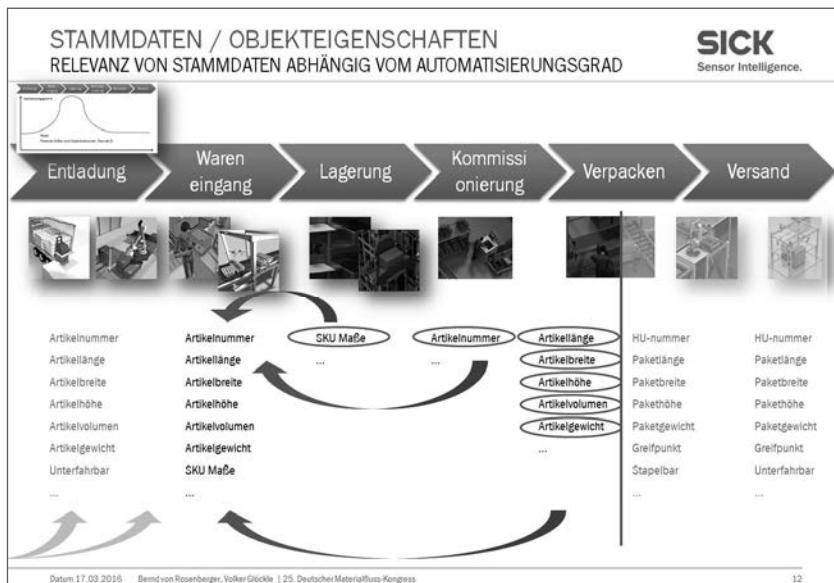
Nur so wird bei Erhöhung des Automatisierungsgrades die Balance zwischen Flexibilität, Durchsatz und Qualität in einem gegebenen Kostenrahmen gewährleistet und ist damit der Gradmesser für erfolgreiche Logistikkonzepte.

2. Auswirkungen von sich ändernden Objekteigenschaften

Wareneingangsseitig sind in Materialfluss-Systemen relevante Objekte entweder Handling-Units des Lieferanten oder das Produkt als solches. Objektdaten hierzu sind typischerweise nicht bekannt und müssen erfasst werden. Warenausgangsseitig im anschließenden Ver-

sandprozess werden Handling-Units selbst erzeugt, wodurch die einzelnen Objekteigenschaften bekannt sind. Demzufolge ist hier der Bedarf zur Objektdatenerfassung eher gering.

Im Weiteren konzentriert sich daher die Abhandlung auf Objektdatenerfassung im Wareneingangsbereich, im Einlagerungsprozess bis hin zur Lagerentnahme und Kommissionierung. Eine Abweichung der relevanten Eigenschaften vom erwarteten Zustand in diesem Bereich hat letztlich im logistischen und automatisierten Prozess erhebliche Auswirkungen:



Beispiel 1: Ändert der Lieferant (intern oder extern) die Objekteigenschaften (wie z. B. durch eine Marketingaktion „10 % mehr Inhalt“) ohne Vorankündigung für die spätere logistische Weiterverarbeitung, kann dies das automatische Handling und den logistischen Prozess negativ beeinflussen. Geplante Einlagerungsgrößen und -gebinde können nicht eingehalten werden, falsche Lagerplatzvorschläge verursachen Umlagerungen und Versandseinheiten verändern sich in Größe und Gewicht. Eine Artikelnummer kann heute zur gleichen Zeit unterschiedliche Objekteigenschaften (wie z. B. Größe und Gewicht) haben. Somit ist die Artikelnummer als Referenz im logistischen Prozess nicht eindeutig genug, um Objekteigenschaften sicher zu bestimmen.

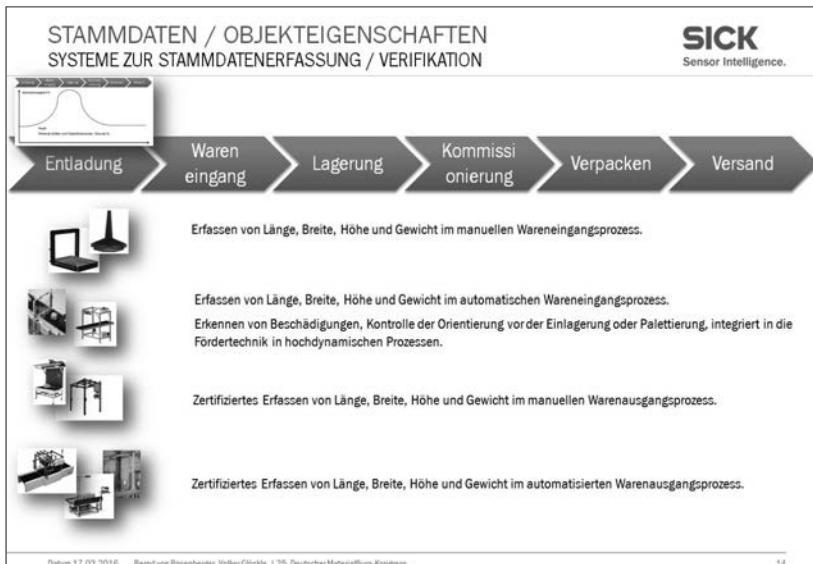
Beispiel 2: Werden Handling-Units des Lieferanten (z. B. Versandkartons) verwendet, um Ware im eigenen Lager einzulagern, ist die Beschaffenheit der Handling-Units in Bezug auf „Eignung für Fördertechnik“, „Eignung für Automatiklager“ etc. von elementarer Bedeutung. Diese Objekteigenschaften sind im eigentlichen Sinne keine Stammdaten des Produktes, für die reibungslose logistische Abwicklung aber von höchster Bedeutung. Meist werden Stammdaten oder Objekteigenschaften stichprobenartig erfasst/aktualisiert und sind somit nicht immer aktuell. Verlässt sich die logistische Abwicklung auf diese Daten sind Handling Fehler oder Mehraufwände vorprogrammiert.

Nur eine Dauerprüfung/-ermittlung der relevanten Stammdaten kann diese Fehler vermeiden. Diese Anforderung zu erfüllen erscheint aber heute in bestehenden Prozessen schwer möglich bzw. wirtschaftlich nicht abbildungbar. Damit sind weitere Automatisierungsvorhaben oft schwer umsetzbar.

3. Stand der Technik – Lösungsbeispiele

Setzen wir den heute gängigen Grad der Automatisierung voraus, so sind meist die Objekt-ID (Artikelnummer), die Objektgeometrie (wie Länge, Breite, Höhe) und das Objektgewicht für die meisten Prozessschritte ausreichend.

Im Folgenden sind beispielhaft Systeme und Lösungen aufgeführt, welche das Erfassen, Plausibilisieren und Speichern von Produktstammdaten und Objekteigenschaften ermöglichen. Heutiger Stand der Technik sind statische oder dynamische Lösungen, die sowohl das Gewicht wie auch das Volumen (im Sinne kleinster umgebender Quader) von Objekten erfassen. Die Lösungen unterscheiden sich zusätzlich in der minimal bzw. maximal erfassbaren Objektgröße bzw. Gewicht und können technologisch je nach Oberflächenbeschaffenheit des Objekts differieren. Mit diesen Informationen werden typischerweise Stammdaten in den ERP-, MES- und Lagerverwaltungssystemen aktualisiert.



Weitergehende 2D-Bild Informationen oder 3D-Objekt Informationen können von modernen Systemen ebenso bereitgestellt werden. Hierzu fehlen heute jedoch allgemeine Standards diese Daten einheitlich abzulegen. Moderne Vorverarbeitung der 2D- oder 3D-Information macht es möglich individuelle Auswertungen (Greipunkte, Flächenschwerpunkte, Fördertechnikeignung, Ausbauchung, Zählung von Gebinde Einheiten, OCR Klarschriftlesung etc.) der erfassten Daten vorzunehmen. Eine Ablage der erfassten 2D und 3D Rohdaten (für die spätere Weiter-/Nachverarbeitung oder Referenz/Fingerprint) findet zurzeit jedoch sehr selten statt.

Da Objektdaten einer Artikelnummer (z. B. EAN) zugewiesen werden müssen, werden in Verbindung mit der Objektdatenerfassung geeignete Ident-Technologien wie Kameras, Laserscanner oder RFID-Schreib-Lese-Einheiten verwendet. Diese bilden die Klammer und garantieren somit, dass die gewonnenen Informationen zur richtigen Zeit für das richtige Objekt aufgezeichnet werden und für spätere Prozesse eindeutig zur Verfügung stehen.

4. Durchgängige Verfügbarkeit von Stammdaten – Realität oder Vision?

Stand heute ist die Erfassung von Stammdaten oft aufwändig und deren Verfügbarkeit limitiert durch Unternehmensgrenzen, fehlende Standards für die Speicherung/Ablage, fehlende Regelmäßigkeit der Aktualisierung, sowie oft manuelle und damit fehlerträchtige Erfassung. Letztlich verursacht die Erfassung von Objektdaten Kosten meist im Wareneingang bzw. in der Qualitätssicherung. Die Einsparungen ergeben sich später in der Logistikkette durch verbesserte Prozesse, wie z. B. der Lagerortbestimmung, des Verpackungsmittelvorschlags und der Versandkostenvorausberechnung. Mit dem Wissen über Gewicht, Länge, Breite und Höhe des Objekts sind heute viele ROI Rechnungen positiv. Produkte und Systeme hierzu sind heute Stand der Technik und am Markt in hoher Varianz verfügbar.

Zukünftig werden für weitere Automatisierungsanforderungen jedoch, neben den Artikelstammdaten wie Gewicht und Größe, zusätzliche Stammdaten benötigt. Um Prozesse wie z. B. das Palettieren von nicht sortenreinen Paletten oder den „Griff in die Kiste“ in der Logistik zuverlässig zu etablieren, ist es unabdingbar, Informationen wie Greifpunkte, Stapelfähigkeit, Belastbarkeit etc. in einer verlässlichen Qualität verfügbar zu haben. Insbesondere wenn bei Automatisierungskonzepten, wie bei Industrie 4.0 angedacht, eigenständige Agenten die Bearbeitung, den Transport, die Weiterverarbeitung etc. anstoßen, werden diese Informationen von Bedeutung. Der Mensch als „fehlertoleranter“ und mitdenkender Logistikbaustein wird hierbei eine immer kleinere Rolle spielen.

Das Erfassen dieser zusätzlichen Informationen ist dabei aber nur ein Teil der zu lösenden Aufgabe. Für die weitere Automatisierung wäre es wünschenswert, einheitliche Standards zur Ablage und Speicherung der Objektdaten auch über Unternehmensgrenzen hinweg zu haben, so dass allen Partnern einer Supply Chain diese Daten (z. B. über eine Cloud) durchgängig zur Verfügung stehen. Hierbei müssen u. a. Regeln bei Datenänderung, Regeln der Echtzeitverfügbarkeit, die Daten Ownerschaft, Datensicherheit und Vereinheitlichung der Stammdatenablage bestimmt werden.

Die Identifizierung der richtigen Daten in einer Datenbank erfolgt heute über einen Identifier (wie z. B. die Artikelnummer), der per Codeleser erfasst wird. Eine Abfrage am Host-System mit diesem Identifier liefert die gewünschten Daten zurück. Hier werden zukünftig noch weitere Möglichkeiten nötig sein um z. B. per Fingerprint und Matching Verfahren Produkte auch ohne Barcode identifizierbar zu machen. Die Datenablage der 2D und 3D Informationen des

Objekts in großen Datacentern und die modernen Möglichkeiten diese große Datenmengen in quasi Echtzeit zu verarbeiten wird hierbei noch völlig neue Konzepte schaffen. Mit Hilfe dessen werden neue Automatisierungskonzepte möglich, die den Spagat zwischen effizientem, hoch performantem Materialfluss-System und einem Höchstmaß an Flexibilität zu erschwinglichen Kosten bewerkstelligen.

Die Grundsteine mit heutigen Sensor- und Sensorsystemlösungen, Stammdaten in der erforderlichen Qualität zu erfassen, sind bereits vorhanden.

Für durchgängige Datenverfügbarkeit und die Ablage weiterer Objektdaten kann Industrie 4.0 einen Beitrag leisten. Vielleicht sind wir der Vision bereits näher als wir ahnen.

SAP-EWM-Migration auf SAP HANA

Herausforderungen einer Umstellung im laufenden Betrieb

Christian Thoma (MBA), Kaeser Kompressoren SE, Coburg

Kurzfassung

Kaeser Kompressoren ist einer der weltweit führenden Kompressorenhersteller und Druckluftsystemanbieter. Das erfordert eine entsprechend leistungsfähige Supply Chain, dessen Herz das Distributions-Center in Coburg ist. Durch eine Umstellung auf das moderne SAP EWM mit SAP HANA konnte die Leistungsfähigkeit des Lagers um ein Vielfaches gesteigert werden – in jedem Bereich. Kaeser und **viastore** SOFTWARE waren dabei Vorreiter: Es war eines der ersten SAP-Projekte dieser Art weltweit. Der Nutzen: Angelieferte Waren werden um 20 Prozent schneller bearbeitet, die Abarbeitung von Picks wurde um 40 Prozent gesteigert, der Packvorgang ist um 50 Prozent schneller, Lageraktivitäten und Auswertungen erfolgen 20 Mal so schnell.

1. Die Ausgangslage

Die Druckluftanlagen des Coburger Familienunternehmens werden in mehr als 100 Ländern vertrieben, teils mittels eigener Niederlassungen, teils durch Partnerfirmen. Die effektive und effiziente Organisation der Supply Chain stellt die Grundlage für die weltweite Versorgung der Endkunden mit Produkten sowie Ersatz- und Wartungssteilen dar. Entstanden ist der Coburger Logistik-



Bild 1: Fahrerloses Transportsystem

komplex bereits in den Jahren 2001/2002, und schon damals wurde das Warehouse Management über SAP realisiert. Die Entscheidung einer vollständigen Integration der Fördertechnik und des Hochregallagers mittels SAP TRM (Task and Resource Management) und SAP LES setzte schon zum damaligen Zeitpunkt neue Maßstäbe.

Neben dem Hochregallager wurden im Laufe der Zeit 19 Lagerlifte, ein Kleinteilelager, das fahrerlose Transportsystem, die Fördertechnik, 6 Kleinteilpackplätze, 11 Palettenpackplätze sowie ein Pufferlager zur schnelleren Beladung der täglich bis zu 100 Lkw an das SAP-System angebunden. Doch seitdem haben sich die Ansprüche an die Logistik und die gesamte Supply Chain grundlegend verändert – weg vom Versand großer Mengen an eigenen Niederlassungen und Partnerfirmen, hin zu einer Direktbeschickung des Endkunden. Die



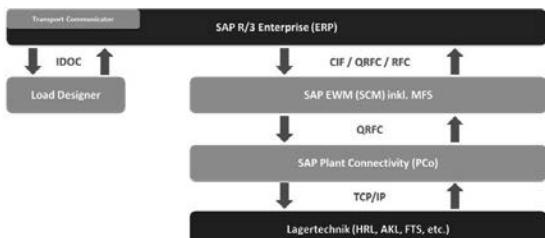
Bild 2: Pufferlager

Gründe hierfür sind vielfältig – neben der Einführung eines Servicelogistikkonzepts für Deutschland und Europa sind auch die gestiegene Variantenvielfalt und die hohen Anforderungen an die Er satzteilverfügbarkeit zu nennen. Die daraus resultierenden gestiegenen Anforderungen stellten die bestehende IT-Infrastruktur vor neue und zum Zeitpunkt der Kon

zipierung von SAP LES nicht berücksichtigte Herausforderungen. So führte u.a. die gestiegene Anzahl an Nachrichten zwischen den Systemen zu Synchronisationsproblemen, die teilweise nur durch eine Reduzierung der Meldepunkte und den daraus resultierenden ungewünschten Nebeneffekten gelöst werden konnte.

2. Die Gründe für SAP EWM und SAP HANA

Ein großer Vorteil von SAP EWM ist, dass die Steuerung der unterlagerten Systeme – automatische Paletten- und Kleinteilelager, Shuttles, fahrerlose Transportsysteme und Fördertechnik – direkt an die



Lagerverwaltung und das Materialfluss-System angebunden werden kann. Des Weiteren ermöglicht die neue Systemarchitektur (s. Bild 3) eine deutlich schnellere Kommunikation durch die Verwendung des neuen Nachrichtenprotokolls QRFC anstelle des veralteten Standards IDOC. Einen zusätzlichen

Vorteil bietet die Verwendung der Software SAP PCo (Plant Connectivity), die eine integrierte Standardplattform zur Hardware-Steuerungen im EWM-System darstellt. Ziel all dieser Maßnahmen war es durch Verwendung der von SAP zur Verfügung gestellten Standardfunktionalitäten die Anzahl an individuellen Erweiterungen so gering wie möglich zu halten und die Releasefähigkeit zu erhöhen.

Die Entscheidung für SAP HANA wurde hierbei im Zuge der strategischen Ausrichtung der Kaeser Kompressoren Gruppe getroffen. Die Einführung neuer Services (Predictive Maintenance) und die daraus resultierende exponentiell steigende Menge an zu verarbeitenden Daten, stellten den idealen Anwendungsort für SAP HANA dar. Die durch die Ablösung der Oracle-Datenbank erzielte Kostenreduktion war ein weiteres Argument für SAP HANA.

3. Migration von SAP EWM während des laufenden Betriebs

Um den besonderen Herausforderungen einer Migration im laufenden Betrieb gerecht zu werden, wurde ein dreistufiger Ansatz gewählt – nach einem Proof-of-Concept in der Niederlassung USA wurde zuerst die Migration von SAP EWM/MFS 7.1 durchgeführt, bevor in einem finalen Schritt das Projekt mit dem Upgrade auf SAP EWM/MFS 9.1 und die Migration der Oracle DB auf die SAP HANA DB abgeschlossen wurde.

Der Projektumfang umfasste hierbei, neben der Abbildung der automatischen und manuellen Läger, vor allem ein umfassendes Business Process Reengineering der Supply Chain Execution Prozesse – immer vor dem Hintergrund eines Business-to-IT-Alignements, d.h. der Überarbeitung von Businessprozessen mit dem Ziel der Verwendung von SAP Standardfunktionalitäten. Um gleichzeitig die Usability für die End-User garantieren zu können, wurden neben speziellen Arbeitsplatz-Dialogen auch angepasste RF- und Lift-Dialoge entwickelt, immer unter der Verwendung von SAP Standardtransaktionen.

Einen weiteren wichtigen Bestandteil des Projekts „SAP EWM“ bildete die Entwicklung eines Key-User-Konzepts, die Schulung der End-User und das von **viastore** durchgeführte Hypercare nach GoLive für die Begleitung des Zweischichtbetriebs.

4. Benefits SAP EWM mit SAP HANA

Zusammengefasst konnten durch SAP EWM und SAP HANA folgende Benefits erzielt werden:

- Deutliche Reduktion der Prozessbearbeitungszeit aufgrund signifikant geringerer Reaktionszeiten der DB
- Geringe Anzahl an manuellen Eingriffen und eine daraus resultierende höhere Mitarbeiterproduktivität bedingt durch angepasste Arbeitsplatz-Dialoge
- Reduktion der TCI und TCO

Nationales Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP) – Demonstrationsbetrieb BZ-Flurförderzeuge Mercedes-Benz Werk Düsseldorf

Erprobung und technische Bewertung des Einsatzes von Brennstoffzellenantrieben für Flurförderzeuge im innerbetrieblichen Werksverkehr

Dipl.-Ing. Wolfgang Radtke, Matthias Kromm,
Mercedes Benz Werk Düsseldorf, Daimler AG

Kurzfassung

Im Mercedes-Benz Werk in Düsseldorf wird zurzeit ein Demonstrationsprojekt durchgeführt, in dem 2 brennstoffzellenbetriebene Gabelstapler in der innerbetrieblichen Logistik zum Einsatz kommen. Ziel des Projektes ist, die Einsatzfähigkeit der Stapler im normalen Logistikalltag zu testen, um mögliche Vorteile, wie etwa die erhöhte Verfügbarkeit durch den schnellen Betankungsvorgang, zu prüfen.

Der Projektverlauf gestaltete sich langwierig, da auf Anbieterseite und im Genehmigungsprozess Herausforderungen zu bewältigen waren.

Auf dem europäischen Markt standen keine Anbieter für brennstoffzellenbetriebene Flurförderzeuge zur Verfügung.

Zudem gab es nur wenige Erfahrungswerte für die Genehmigung und Antragstellung eines solchen Projektes. Seit Dezember 2014 fahren die beiden BZ-Stapler in der Rohbau logistik im Einsatz.

1. Mercedes-Benz Werk Düsseldorf

Die Daimler AG ist ein weltweit erfolgreich agierendes Automobilunternehmen, dessen Geschäfte in 5 Feldern organisiert sind: Mercedes-Benz Cars, Daimler Trucks, Mercedes-Benz Vans, Daimler Buses und Daimler Financial Services.

Das Mercedes-Benz Werk in Düsseldorf ist eines von 8 Produktionsstandorten für Mercedes-Benz Vans weltweit.

Mercedes-Benz Vans – ein weltweiter Produktionsverbund

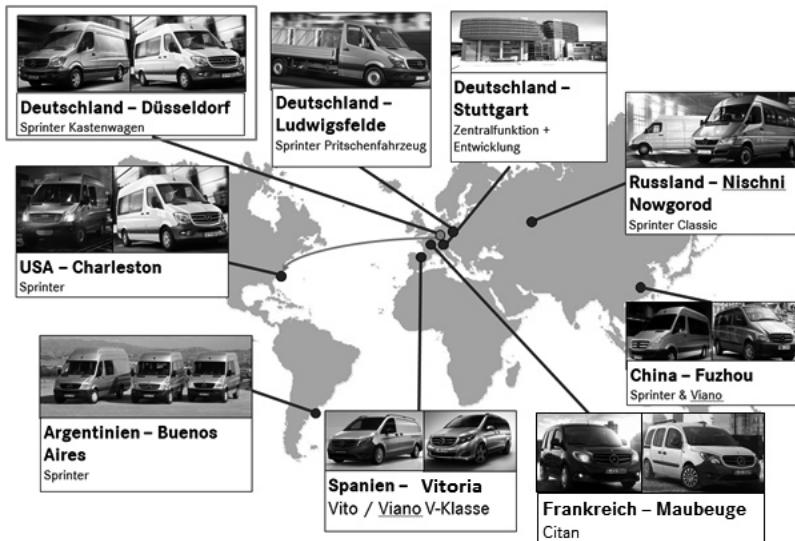


Bild 1: Produktionsstandorte weltweit

Insgesamt arbeiten etwa 6.500 der insgesamt 15.600 VAN Mitarbeiter im Werk Düsseldorf, von denen der Großteil in gewerblichen Abteilungen arbeitet. Im Werk können bis zu 740 Fahrzeuge je Arbeitstag in 3 Schichten gefertigt werden.

2. Entwicklungsgeschichte Wasserstoff-/ Brennstoffzellen-technologie im Unternehmen

Daimler ist Pionier in der Entwicklung des Brennstoffzellenantriebs. Seit Anfang der 90er Jahre arbeiten Forscher und Ingenieure an der praktischen Umsetzung dieser Technologie

im Fahrzeug. Mit der F-Cell World-Drive-Tour einer B-Klasse wurde der Entwicklungsstand eindrucksvoll unter Beweis gestellt.

Für den Konzern steht die Zukunft der Mobilität schon lange im Zeichen der Elektrifizierung. Schon heute bietet das Unternehmen weltweit eine breite Produktpalette elektrischer Fahrzeugmodelle mit Batterie oder Brennstoffzelle. Gerade die Brennstoffzellentechnologie bzw. Wasserstoff als Energieträger hat aus Unternehmenssicht großes Potenzial für die Mobilität der Zukunft. Daimler verfolgt weiterhin das Ziel, wettbewerbsfähige Elektrofahrzeuge mit Brennstoffzelle auf den Markt zu bringen und setzt auch in der innerbetrieblichen Logistik auf den innovativen Kraftstoff Wasserstoff. Außerdem bekennt sich Daimler nachdrücklich zu einem integrierten Umweltschutz an seinen Produktionsstandorten. Am Standort Düsseldorf kommt dem Einsatz von energiesparenden, emissions- und abfallarmen Technologien eine besondere Rolle zu, da das Werk direkt an Wohnbebauung und ein Wasserschutzgebiet angrenzt.

3. Projektbeschreibung

Das Mercedes-Benz Werk Düsseldorf verstärkt seine Nachhaltigkeits-Aktivitäten: Nach der erfolgreichen Inbetriebnahme des Blockheizkraftwerks im Jahr 2012 und dem Einsatz der Mercedes-Benz B-Klasse F-CELL im Fuhrpark erprobt das Transporter-Werk jetzt Gabelstapler mit Wasserstoff-Antrieb. Die 2 mit Brennstoffzellen ausgerüsteten Stapler werden zunächst bis Ende 2016 im harten Logistikeinsatz getestet. Gebaut wurden sie von der Firma Linde Material Handling GmbH, einem der weltweit führenden Hersteller von Gabelstaplern und Lagertechnikgeräten. Um die beiden Stapler zu betanken, wurde von dem Projektpartner Air Products auf dem Werksgelände eine mobile Wasserstofftankstelle errichtet, die von der Gesellschaft auch mit Wasserstoff beliefert wird.

Das Demonstrations-Vorhaben selbst ist Teil des geplanten Leuchtturm-Projektes „Lagertechnikfahrzeuge/ Material Handling/ Logistik“ und wird vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur als „Nationales Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP)“ gefördert. Um die CO2-Bilanz noch weiter zu verbessern und auch die Werkslogistik effizienter zu gestalten, führt das Mercedes-Benz Werk Düsseldorf mit seinen Partnern das NIP-Projekt durch. Das Projekt ist darüber hinaus richtungsweisend für den möglichen Einsatz dieser Technologie an weiteren Daimler Standorten. Die Erkenntnisse aus dem Langzeittest werden durch die Fachhochschule Hamm wissenschaftlich begleitet und dokumentiert.

Mercedes-Benz Werk Düsseldorf goes green!

|NIP- Entwicklungsvorhaben BZ-Flurförderfahrzeuge Daimler Werk Düsseldorf

Projektleitung:
Wolfgang Radtke VAN/PSM
Matthias Kromm VAN/PET

Demonstrationsprojekt Brennstoffzellenstapler
im Echt-Produktionsbetrieb

Wasserstofftankstelle

Brennstoffzellenstapler

Daten F-Cell Stapler

- Hersteller/Typ: Linde FC30 + GenDrive 1600-80-CE-A
- Leistung-BZ: 10-12 kW bei 80V
- Kraftstoff: Wasserstoff (H_2)
- Tankinhalt: 1,8 kg / 350 bar
- Betankungszeit: 3-5 min
- Einsatzzeit: 3-Schicht Betrieb
- Verbrauch: ca. 0,4 kg/h

Daten Wasserstofftankstelle

- Hersteller: Air Products
- Typ: S125 mit 4 Hochdruck Tubes Typ 230
- Kapazität: max. 204 kg gasförmiger Wasserstoff
- 4 Tubes à 38,5 kg bei 200 bar Wasserstoff (H_2)
- 2 Bündel à 25 kg bei 420 bar Wasserstoff (H_2)
- Tankdruck: 350 bar

DAIMLER

AIR PRODUCTS

NOW

nipl

PU

Bild 2: Mercedes-Benz Werk Düsseldorf goes green!

4. **H₂ als Kraftstoff**

Wasserstoff kann in der Energiewende eine entscheidende Rolle spielen. Er steht unter anderem in Form von Wasser(H₂O) in großen Mengen zur Verfügung und kann mit Hilfe einer Elektrolyse von dem Sauerstoff getrennt werden. Dazu kann die elektrische Energie genutzt werden, die von den Photovoltaik- und Windanlagen in Zeiten produziert wird, in denen kein Einspeisungsbedarf ins allgemeine Stromnetz besteht. Im Gegensatz zu Strom lässt sich der Wasserstoff technisch weniger aufwändig speichern.

Er lässt sich anschließend in BHKWs oder Brennstoffzellen wieder in elektrische Energie umwandeln und in das Stromnetz einspeisen. Alternativ kann Wasserstoff auch als Kraftstoff verwendet werden.

In einer Brennstoffzelle regiert Wasserstoff(H₂) mit Sauerstoff(O₂) aus der Umgebungsluft zu Wasser und erzeugt neben elektrischer Energie nur Abwasser und Wärme. Diese Wärme wird abgeführt und kann z.B. für die Beheizung des Innenraums eines Fahrzeugs im Winter genutzt werden.

Die Brennstoffzellen sind Energiewandler. Die zu ihrer Versorgung notwendigen Wasserstoffspeicher können in wenigen Minuten betankt werden. Zudem können die Fahrzeuge in Hallen und an Orten eingesetzt werden, an denen keine Abgase entstehen dürfen.

Die Verwendung von Wasserstoff als Kraftstoff ist deutlich attraktiver als ihn wieder verstromt in das Netz einzuspeisen, da hier auf einen weiteren Umwandlungsschritt und damit verbundene Reduzierung des Wirkungsgrades verzichtet werden kann.

Wasserstoff aus erneuerbaren Energien: Kraftstoff der Zukunft

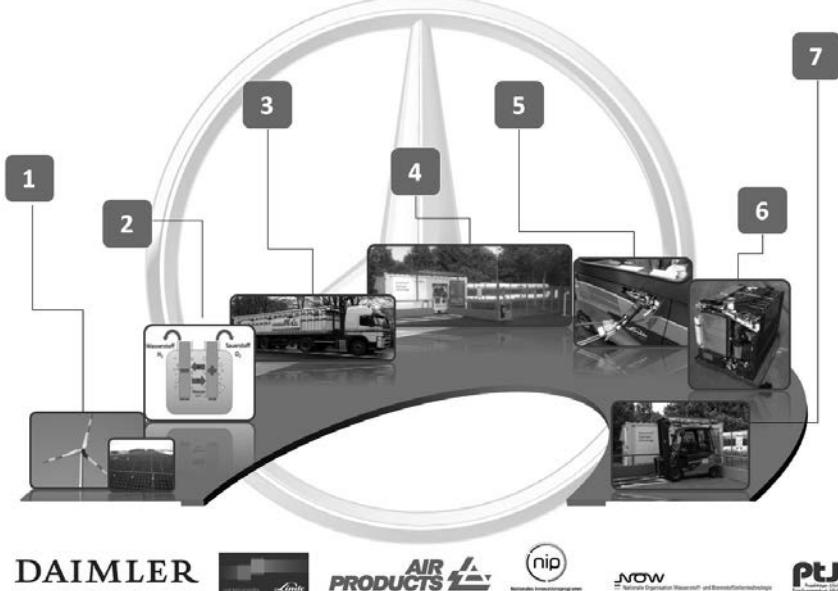


Bild 3: Ablaufplan- Wasserstoffproduktion bis zum Einsatz als Kraftstoff

1. Mithilfe von Wasserstoff lässt sich die von PV- oder Windanlagen erzeugte Energie speichern, wenn gerade kein Bedarf besteht. Damit kann Wasserstoff eine entscheidende Rolle in der Energiewende spielen.
Während des Demonstrationsprojektes stammt der verwendete Wasserstoff noch aus der Chemieindustrie. Auch hiermit lässt sich der CO₂-Ausstoß gegenüber herkömmlichen Treibstoffen bereits reduzieren. Setzt man erneuerbare Energien ein, sinkt der Treibhausgas-Ausstoß sogar fast auf null.
2. Der überschüssige Strom wird zur Elektrolyse genutzt. Mit dieser wird Wasser (H_2O) in Sauerstoff (O_2) und Wasserstoff (H_2) gespalten. Der Wasserstoff kann nun gespeichert und später als Kraftstoff verwendet werden.
3. LKWs transportieren den Wasserstoff von der Elektrolyse-Station zur H₂-Tankstelle. Die Speicher-Tubes werden dabei mit einem Druck von 200 bar befüllt.

4. Innerhalb der Tankstelle wird der Wasserstoff nochmals komprimiert und auf einen Druck von 420 bar gebracht, damit die Stapler per Überlaufverfahren mit 350 bar gefüllt werden können.
5. Bei dem Tankvorgang strömt der Wasserstoff aus dem Speicher in den Tank des Staplers.
6. In dem Gabelstapler ist eine Brennstoffzelle eingebaut, in der der Wasserstoff nun mit dem Sauerstoff aus der Luft zu Wasser reagiert. Die durch diese Reaktion entstehende Wärme wird über ein Gebläse abgeführt.
7. Die bei der Reaktion erzeugte elektrische Energie wird genutzt, um in Verbindung mit einer Lithium-Ionen-Batterie den Strom für die zwei Elektromotoren des Staplers zu liefern.

5. Projekt-Ziele

Die Daimler AG beabsichtigt mit dem Gesamtvorhaben die Erprobung und technische Bewertung sowie die Weiterentwicklung von Brennstoffzellenantrieben für Flurförderzeuge und deren wirtschaftlichen Einsatz im innerbetrieblichen Verkehr voranzutreiben

Im Einzelnen sollen folgenden Aktivitäten umgesetzt werden:

- Integration der Brennstoffzellentechnologie in Flurförderzeugen innerhalb der innerbetrieblichen Logistikkette,
- Durchführung eines Praxistests über 24 Monate mit zunächst 2 Fahrzeugen und perspektivischer Vergrößerung der Testflotte auf 10 Fahrzeuge,
- Sammlung von eigenen Erfahrungswerten und Validierung der Leistungsdaten,
- Realisierung von technologischen und operativen Verbesserungspotenzialen,
- Weiterentwicklung des Antriebs- und Betankungssystems mit den Partnern,
- Aufbau einer Wartungsinfrastruktur mit entsprechender Schulung der Mitarbeiter,
- Abbau von Berührungsängsten mit dem Kraftstoff Wasserstoff, Schaffung von Akzeptanz in der Belegschaft,
- Durchschreiten der Lernkurve um wirtschaftliche Nutzung im innerbetrieblichen Verkehr zu ermöglichen,
- Aufbau von Know-how mit H2-betriebener Intralogistik innerhalb der Daimler AG,

- Anreiz zur Erweiterung der Wasserstoffinfrastruktur im Raum Düsseldorf durch zusätzliche Fahrzeugpräsenz,
- Reduzierung der Emissionen durch Ersatz von Flurförderzeugen mit Verbrennungsmotor,
- Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen und Nutzerbefragungen zum Testbetrieb,
- Weitergabe der Erfahrungen über einen zentralen Expertenkreis für Flurförderzeuge im Daimler Konzern, perspektivisch: Konzernweite Einführung der brennstoffzellenbetriebene Flurförderzeuge in den Produktionsstandorten.

Das Projekt hat innerhalb des Daimler Konzerns Pilotcharakter und ist richtungsweisend für die weitere Einführung der Technologie an anderen Standorten.

6. H₂-Tankstelle

Die Firma Air Products hat die H₂-Tankstelle geliefert und aufgebaut. Die Anlage wird für die Dauer des Projekts geleast. Die Arbeiten zum Aufbau des Tankstellenstandortes im zentralen Bereich des Werks sind abgeschlossen. Die zuvor als Parkplatz genutzte Fläche ist zum Tankstellenstandort umgebaut worden und musste aus Sicherheitsgründen eingezäunt werden. Neben der Installation der Infrastruktur für die Tankstelle mit den benötigten Strom- und Druckluftanschlüssen ist die Anlage mit einem Datenanschluss zur Fernwartung ausgestattet. Es wurden Schulungsunterlagen zum Gebrauch der Tankstelle und zur Beseitigung von kleineren Störungen an der Anlage erstellt und das Personal eingewiesen. Für die Wartungsumfänge war die Beschaffung eines Gaswarngerätes speziell für den Wasserstoff notwendig.



Bild 4: Mobile Wasserstoftankstelle im Mercedes-Benz Werk Düsseldorf

Tabelle 1: Technische Daten der Wasserstoftankstelle

Hersteller	Air Products
Typ	S125 mit 4 Hochdruck Tubes Typ 230
Kapazität	Max. 204 kg gasförmiger Wasserstoff
Tankdruck	350 bar

7. Fahrzeuge

Die 2 Flurförderzeuge der neuesten Generation wurden Ende 2013 beim Lieferanten Linde Material Handling bestellt und im September 2014 ausgeliefert. Bei den Fahrzeugen handelt es sich um die aktuelle Baureihe 387. Diese Fahrzeuge sind für den Einsatz der Brennstoffzelle freigegeben und CE-Zertifiziert.

Tabelle 2: Technische Daten

BZ-Stapler

Hersteller	Linde MH
Typ	E 30/FC-600 HL
Baureihe	387
Antrieb	80V Drehstrom
Tragkraft	3-Tonnen



Bild 5: BZ-Stapler

8. Brennstoffzelle

Die elektrische Energie zum Betrieb der Fahrzeuge wird von einer Hypulsion Gen Drive Brennstoffzelle erzeugt.

Das integrierte System besteht aus den Komponenten Wasserstoffspeicher, Brennstoffzelle, Temperaturmanagementsystem und Leistungselektronik.

Die Tankkapazität von 1,8 kg Wasserstoff reicht für eine reine Betriebszeit von bis zu 5 h.

Die

Betankungsdauer dauert weniger als 5 Minuten.

Die Brennstoffzelle versorgt eine Lithium-Ionen Batterie und hält sie auf einem optimalen Ladezustand. Die Batterie treibt die Elektromotoren an, zur Überbrückung von Leistungsspitzen schaltet sich die Brennstoffzelle parallel hinzu.

Tabelle 3: Technische Daten Brennstoffzelle

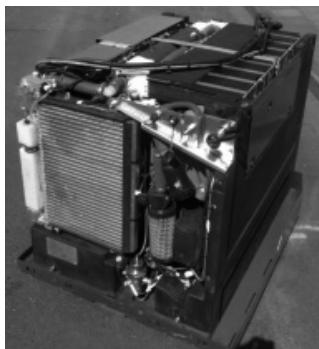


Bild 6: Brennstoffzelle

Hersteller	Plugpower GenDrive
Typ	1600-80CEA
Nennspannung	80 V
Abmessungen:	1025mm x 708mm x 722mm
Dauerleistung	10-12 kW
Verfügbare	27 kWh
Energiemenge:	
Gewicht	1558 kg
Tankkapazität	1,8 kg
Betankungssystem	350 bar
Betankungszeit	3-5 min

9. Schulung

Schulungsunterlagen mit ihren jeweiligen Schwerpunkten wurden für Fahrer, Service-Mitarbeiter und Werkfeuerwehr erarbeitet, um sie auf den Einsatz der Fahrzeuge im Alltagsbetrieb vorzubereiten.

Schulungsinhalte sind die Funktionsweise der Brennstoffzelle, die Bedienung des Staplers, die H₂-Betankung, Fehlerfälle, Sicherheitshinweise, Wartungsumfänge und First Level Support.

Zusätzlich hat die Werkfeuerwehr den Wasserstoff in ihren Gefahrenabwehrplan aufgenommen.

10. Genehmigung

Für die Wasserstofftankstelle im Werk mussten verschiedene Genehmigungen eingeholt werden.

1. Für den Betrieb von Tankstellen ist eine Erlaubnis nach der Betriebssicherheitsverordnung notwendig. Je nach Kraftstoffart sind unterschiedliche Paragraphen zu berücksichtigen. Da es sich bei diesem Projekt um gasförmigen Wasserstoff handelt, muss eine Erlaubnis nach § 13 BetrSichV eingeholt werden.
2. Eine Baugenehmigung ist bei der Errichtung von Gebäuden notwendig, sobald deren Raumvolumen den Wert von 30m³ überschreitet. Dies ist bei der zu errichtenden Tankstelle der Fall, da diese in einem 20 Zoll Container installiert ist.

3. Eine Prüfung nach dem Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG) ist notwendig, sobald eine Menge von 3t brennbaren Gasen gelagert wird. Wie in Tabelle 1 zu sehen ist, beträgt die maximale Menge an gelagertem Wasserstoff der Tankstelle, inkl. Zwischenspeicher, insgesamt 204kg. Da in der Nähe der Tankstelle keine weiteren brennbaren Gase gelagert werden, ist keine Prüfung nach dem BImSchV notwendig. Weitere Faktoren sind die Art der Wasserstoffbereitstellung und der Standort der Tankstelle. Da es sich um eine Outdoor Tankstelle handelt, für die der Wasserstoff mit einem LKW angeliefert, und nicht vor Ort produziert wird, ist auch hierdurch keine BImSchV-Genehmigung notwendig.

Tabelle 4: Betriebserlaubnis

Erlaubnis nach §13 BetrSchV	
Arbeitsaufwand	52 Stunden
Dauer	3 Monate

Tabelle 5: Baugenehmigung

Baugenehmigung	
Arbeitsaufwand	25 Stunden
Dauer	4 Monate

11. Fazit

Der Pilotcharakter des Projektes hatte ein vergleichsweise lange Vorlaufzeit zur Folge. Der gesamte Prozess zog sich über mehrere Jahre (siehe Tabelle) bis schließlich der Testbetrieb im Dezember 2014 aufgenommen wurde und erste Erfahrungswerte gesammelt werden konnten:

Tabelle 6: Zeiträume der unterschiedlichen Tätigkeiten

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Tätigkeiten	1	2	1	2	3	4	1
Beschaffung Bz-Stapler							
Vorbereitung							
Lieferzeit							
Beschaffung Betankungsinfrastruktur							
Vorbereitung							
Lieferzeit							
Genehmigung							
Genehmigungsverfahren							
Förderung							
Vorbereitung							
Bearbeitungszeit PtJ							
Interne Freigabe							
Interner Genehmigungsprozess							

Tabelle 7: Erfahrungswerte

Energieverbrauch	0,25 - 0,4 kg Wasser- stoff pro Betriebsstunde
Laufleistung	4-5 Betriebsstunden
Bisherige Gesamt- laufzeit	3000 Betriebsstunden

Tabelle 8: Einsatz BZ-Stapler

1-Schicht	Projektstart
2-Schicht	KW 13
3-Schicht	KW 43

Es wurden bereits verschiedene Optimierungsmaßnahmen durchgeführt:

- Brennstoffzelle: Reduzierung der Geräuschentwicklung des Kühlsystems
- Fahrzeug: Modifikation zur besseren Wärmeableitung
- Tankstelle: Erweiterung der Software zur Betriebsstundenerfassung der Fahrzeuge

12. Ausblick

Sobald weitere Daten der Stapler zu Verfügung stehen, wird der Einsatz der Fahrzeuge im Hinblick auf wirtschaftliche und ökologische Unterschiede zu batteriebetriebenen Staplern untersucht.

Bei positivem Gesamtergebnis ist die Durchführung ähnlicher Projekte in anderen Werken der Daimler AG vorgesehen.

Sicher ist es notwendig, die Weiterentwicklung des Brennstoffzellen-Marktes für Flurförderzeuge zu forcieren. Denn nur mit einem erforderlichen Wettbewerb lassen sich Verfügbarkeit und Prozesssicherheit im notwendigen Maße erhöhen. Hierzu zählen u.a. eine gesicherte Ersatzteilversorgung, für Stapler und Tankstelle und die Wasserstoffverfügbarkeit.

Wenn sich die ersten Erfahrungen im weiteren Projektverlauf bestätigen, ist es vorgesehen, die Option im Förderantrag zu nutzen, um die Flotte auf 10 Flurförderzeuge zu erhöhen.

Industrie 4.0 – SCHUNK auf dem Weg zur Digitalisierung

Deutscher Materialfluss Kongress 2016

Dr. **Markus Klaiber**, SCHUNK GmbH & Co. KG, Lauffen am Neckar



Industrie 4.0 – SCHUNK auf dem Weg zur Digitalisierung

Dr. Markus Klaiber, CTO

Manuskript - Deutscher Materialfluss Kongress 2016

17.03.2016

Agenda

1 | Herausforderungen für Produktion und Logistik

2 | Was bedeutet Industrie 4.0 für SCHUNK

3 | Auswirkungen auf die Produkt- und Portfolioentwicklung

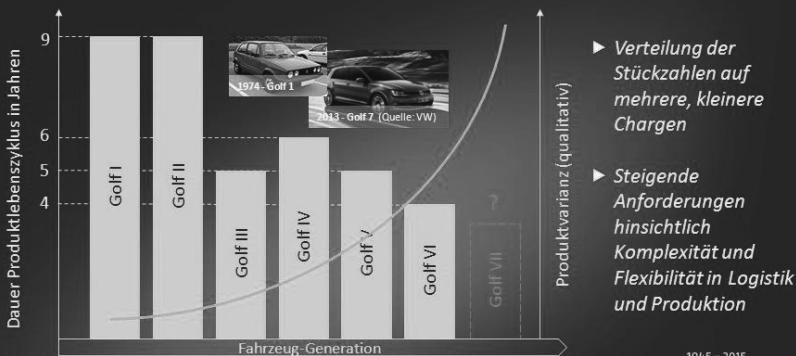
4 | Industrie 4.0 am Beispiel Intralogistik

1945 – 2015
70 Jahre

1 | Herausforderungen für Produktion und Logistik

Industrielle Marktrends - Varianz in der Automobilindustrie

► Beispiel VW Golf



1 | Herausforderungen für Produktion und Logistik

Herausforderungen und Ziele

Verkürzte
Lebenszyklen

Steigende
Varianz

Steigender
Kostendruck

Volatilität der
Märkte

Eine moderne Produktion und Logistik ermöglicht:

Flexibilität



Skalierbarkeit



Wandlungsfähigkeit



Transparenz



1945 – 2015
70 Jahre

1 | Herausforderungen für Produktion und Logistik

Die Vision vernetzter und intelligenter Produktionssysteme

- 
- ▶ Integrierte Produktion, QS und Intralogistik mit gemeinsamen Leitsystem
 - ▶ Losgröße 1 und stückgenaue Logistik ohne Prozessunterbrechung
 - ▶ Automatisierte Selbstkonfiguration von Arbeitsplänen
 - ▶ Autonome Prozessregelung, Inline-QS
 - ▶ Kommunizierende, sensible und flexibel adaptierbare Komponenten (Vorrichtungen, Greifer, etc.)

Agenda

1 | Herausforderungen für Produktion und Logistik

2 | Was bedeutet Industrie 4.0 für SCHUNK

3 | Auswirkungen auf die Produkt- und Portfolioentwicklung

4 | Industrie 4.0 am Beispiel Intralogistik

1945 – 2015
70 Jahre

2 | Was bedeutet Industrie 4.0 für SCHUNK

Ziele von Industrie 4.0

- Offene Kommunikation aller Elemente im Produktionssystem
- Dezentrale Intelligenz - sich selbst regelnde und intelligente Komponenten
- Höchste Flexibilität, Transparenz und Reaktionsfähigkeit
- Informationen in Echtzeit

Herausforderungen

- Industrie 4.0 hat kein „Wert“ an sich!
- Ist jedoch Befähiger für neue:
 - Produkte und Services
 - Geschäftsmodelle
 - Verbesserte Prozesse

Was ist zu tun?



Komponente + IT =
Funktion + Service

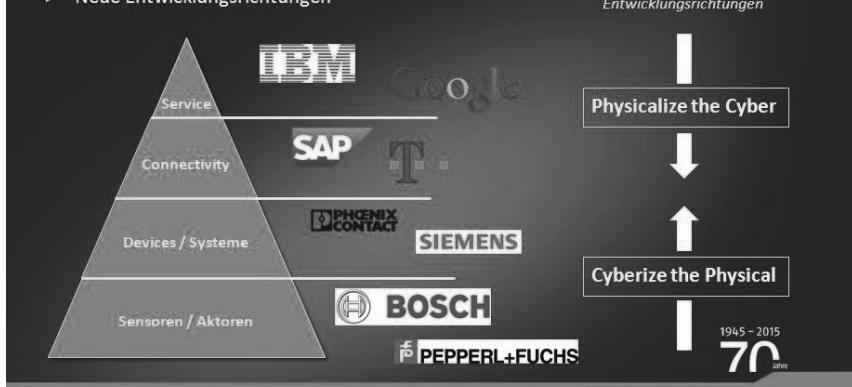


1945 – 2015
70 Jahre

2 | Was bedeutet Industrie 4.0 für SCHUNK

Die klassische Automatisierungspyramide verändert sich

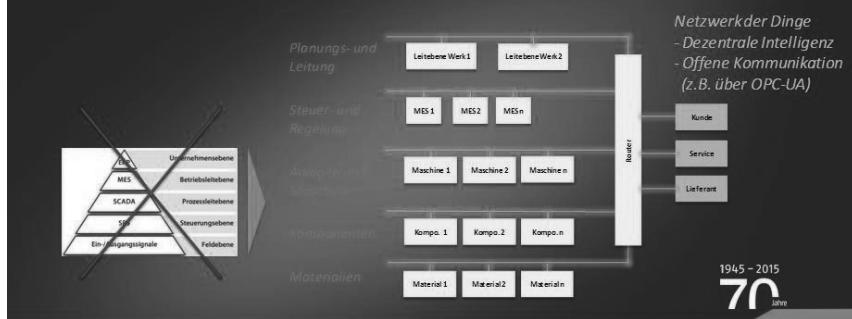
- Bisherige Hierarchiestufen werden durchbrochen
- Neue Entwicklungsrichtungen



2 | Was bedeutet Industrie 4.0 für SCHUNK

Die Automatisierungspyramide wird zum Netzwerk von Dingen

- Direkte Anbindung aller Maschinen und Komponenten in einem System ohne hierarchische Struktur (*offene Kommunikation*)
- Dadurch werden kleine, schnelle autonome Regel- und Steuerkreise möglich (*dezentrale Intelligenz*)

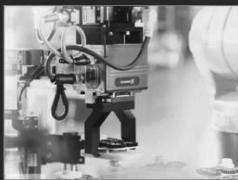


2 | Was bedeutet Industrie 4.0 für SCHUNK

Herausforderungen und Potentiale

- Industrie 4.0 ist Befähiger für neue:

Produkte



Geschäftsmodelle



Prozesse



- Industrie 4.0 stellt eine große Chance für mittelständische Unternehmen dar!
► Erfordert jedoch auch Aufbau neuer Kompetenzen und angepasste Organisation.
► Digitalisierung muss auf höchster Ebene und interdisziplinär verfolgt werden!

1945 – 2015
70 Jahre

Agenda

1 | Herausforderungen für Produktion und Logistik

2 | Was bedeutet Industrie 4.0 für SCHUNK

3 | Auswirkungen auf die Produkt- und Portfolioentwicklung

4 | Industrie 4.0 am Beispiel Intralogistik

1945 – 2015
70 Jahre

3 | Auswirkungen auf die Produkt- und Portfolioentwicklung

Welche Aufgaben und Elemente gibt es in intelligenten, vernetzten Systemen?

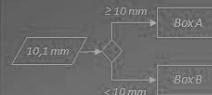
Wahrnehmung

- Ereignis wird wahrgenommen



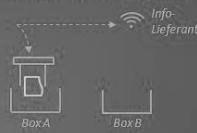
Planungsanpassung

- Ereignis wird bewertet und Reaktion definiert



Reaktion

- Reaktion wird ausgeführt



Kommunikation und Interaktion aller Elemente erforderlich



Leitstand



Anlagen und Maschinen



Komponenten

1945 – 2015
70 Jahre

3 | Auswirkungen auf die Produkt- und Portfolioentwicklung

Was bedeutet dies für SCHUNK Greifer?

Mechatronischer Greifer

- + Sensor

Intelligenter, mechatronischer Greifer

- + Kommunikation

Cyber-physisches System

- + Web-fähig

Smarter Greifer 4.0

1945 – 2015
70 Jahre

3 | Auswirkungen auf die Produkt- und Portfolioentwicklung

Beispiel – Integration von Sensorik und Funktionen

- Vom Näherungssensor zur Sensormatrix



Agenda

1 | Herausforderungen für Produktion und Logistik

2 | Was bedeutet Industrie 4.0 für SCHUNK

3 | Auswirkungen auf die Produkt- und Portfolioentwicklung

4 | Industrie 4.0 am Beispiel Intralogistik

4 | Industrie 4.0 am Beispiel Intralogistik

Beispiel VW Golf

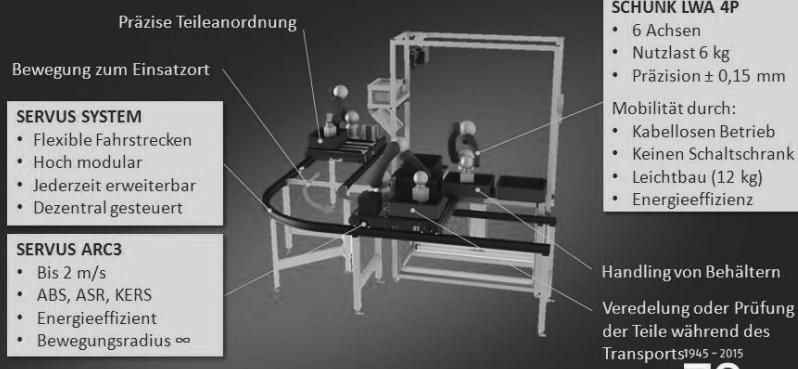
- Steigerung der Teilevarianz durch Modellwechsel
 - Herausforderung: Wirtschaftlichkeit und Flexibilität trotz Komplexität
- Manuelle Kommissionierung
 - Ergonomie (bereits verbessert)
 - Prozesssicherheit: Eintönigkeit führt zu Verwechslungsgefahr
- ▶ **Hohes Fehlerrisiko**
- ▶ **Hohe Personalkosten**



1945 – 2015
70 Jahre

4 | Industrie 4.0 am Beispiel Intralogistik

Flexible Disposition und Materialhandling mit einem bewegten Leichtbau-Knickarm-Roboter



4 | Industrie 4.0 am Beispiel Intralogistik

Eigenschaften und Vorteile des Ansatzes



Flexibilität und Mobilität

- Bewegung zur Aufgabe
- Keine redundante Hardware

► *Geringer Anlageninvest*



Transport und Handhabung

- Bauteilen und Behältern
- Logistik u. Handhabungsaufgaben

► *Präzision und Flexibilität*



Funktionsintegration

- Nutzung für mehrere Aufgaben
- Z.B. Sortieren, prüfen, etc.

► *Wertschöpfung in der Nebenzeitz*

- ✓ Prozesssicherheit
- ✓ Entlastung von Mitarbeitern
- ✓ Autonomie
- ✓ Höchste Produktivität
- ✓ Höchste Flexibilität
- ✓ Energieeffizienz
- ✓ Keine Verschwendungen
- ✓ Schnittstellen-Vermeidung

1945 – 2015
70 Jahre

Die digitale Supply Chain – Collaboration über eine zentrale Plattform

Digitalisierung, moderne IT, Collaboration entlang der Supply Chain

Frauke Heistermann, AXIT GmbH, Frankenthal;
Christian Herzer, DB Schenker Rail Automotive, Kelsterbach

Kurzfassung

Gestern Instrument der Daten- und Informationsverarbeitung, heute Wegbereiter von Prozessinnovationen: Die Rolle der IT hat sich rasant gewandelt. Sie ist zum Schlüsselfaktor geworden, um Herausforderungen in der Logistik erfolgreich bewältigen zu können. Themen wie die zunehmende Komplexität von Prozessen, sich dynamisch verändernde Marktstrukturen und wachsender Kostendruck verlangen nach IT-Systemen, die mehr ermöglichen.

1. Digitalisierung in der Logistik – Trends und Strategien

8 Thesen:

1. Die Zeit der starren Umsetzung von Pflichtenheften ist vorbei. Denn nicht selten überholen sich die seitenlangen Anforderungskataloge im Laufe der Umsetzungsphase grundlegend. Gestern formuliert und abgesegnet, morgen Schnee von gestern. „Rapid Prototyping“ ersetzt das eindimensionale Abarbeiten des bürokratischen Regelwerks. Moderne Software wird dabei zum dynamischen Gestaltungsinstrument; sie ermöglicht die Anpassung von Funktionen live, direkt im Kundendialog.
2. IT-Sprache ist keine Barriere mehr. Moderne IT-Lösungen erlauben die Übersetzung von Business-Anforderungen ohne Programmierkenntnisse. Designfunktionen und Oberflächen sind so angelegt, dass sie jeder auf Anhieb versteht. Anforderungen lassen sich einfach und sicher ohne Umwege umsetzen. Was es zum Erfolg der IT-Lösung braucht, bringen Logistiker ohnehin mit: Prozessverständnis.
3. Lange und aufwendige Implementierungsphasen sind ein Relikt vergangener Zeit. Moderne IT-Lösungen lassen sich sofort einsetzen. Sie liefern unmittelbar Ergebnis-

se. Denn niemand will das Risiko eingehen, IT-Projekte am Bedarf vorbei zu planen und umzusetzen.

4. Unternehmen und ihre Logistiker können und wollen sich keine teuren IT-Lösungen mehr leisten. Moderne IT, die höchste Kundenansprüche erfüllt, lässt sich mit schlanken Budgets umsetzen.
5. Wer die Komplexität in der Logistik reduzieren will, muss Prozesse standardisieren. IT von heute unterstützt Unternehmen dabei. Sie schafft Lösungen auf Basis standardisierter Leistungsmodule, die individuell konfiguriert werden können. Zum Standard wird der Prozess, der am besten zum Kunden passt.
6. IT Lösungen müssen einfach skalierbar und schnell verfügbar sein.
7. Eigentum wird durch flexible Nutzung ersetzt.
8. Die IT-Lösung wird zum Alleinstellungsmerkmal von Unternehmen. Es wird mittels frei gestaltbarer Software-Anwendungen und dem Know-how des Logistikexperten generiert.

2. Was müssen moderne IT Lösungen heute leisten

Kennzeichen der neuen IT-Generation ist ihre extrem hohe Flexibilität: Sie ermöglicht die Modifikation von Anwendungen für jedes denkbare Einsatzfeld auf Knopfdruck. In einer Welt, die ständig in Bewegung ist, muss sich die IT-Lösung uneingeschränkt anpassen lassen. Denn Entscheidungen von heute können morgen schon wieder anders aussehen. Moderne IT muss eine Agilität ermöglichen, die größtmögliche Handlungsfreiheit zu schlanken Budgets gewährleistet.

Die vier Hauptkriterien für eine neue Generation von IT Lösungen zum Management von Lieferketten:

- Flexible Standards
- Einfachste Umsetzbarkeit
- Modernste Technologie
- Schlüssel zu Collaboration

3. Mit flexiblen Standards auf die Agilität am Markt reagieren

Flexibler Standard bedeutet, dass mit ein und demselben IT-Modulbaukasten (= Standard) verschiedene Lösungen geschaffen werden können (= flexibel). *Wie im Beispiel der Automobilproduktion ist es dieselbe Produktionsstraße, die Autos durchlaufen - das Ergebnis der Produktion sind jedoch unterschiedliche Modelle. Der Produktionsprozess ist standardisiert, das Ergebnis reflektiert aber bis ins kleinste Detail den individuellen Wunsch des Kunden. Das verstehen wir unter „flexiblem Standard“.*

Auf die IT übertragen bedeutet dies: Nicht die IT gibt den Standardprozess vor, und nicht jeder muss diesem folgen. Denn dieser Ansatz führt hauptsächlich zu sehr aufwendigen und teuren Customizing Projekten. Sondern: Der Kunde definiert – unterstützt durch die Beratung der IT – den für sein Lieferketten-Management besten Prozess und dieser wird zum Standard für alle Beteiligten. Die IT produziert diesen Prozess dann mit Standardtools. Standardtools bedeuten dabei: einfache und schnelle Umsetzung mit schlankem Budget und geringem Risiko.

Flexible Standards sind gerade in der Logistik notwendig, in einer Branchenwelt, die sich ständig bewegt und verändert. Einen für alle geltenden Standardprozess kann es in dieser Welt nicht geben. Prozesse ändern sich. IT muss so flexibel und wandlungsfähig sein, Veränderungsprozesse schnell, einfach und mit schlanken Budgets gestalten zu können.

4. Collaboration entlang der Lieferkette am Beispiel der DB Schenker Rail Automotive

In der Lieferkette, die DB Schenker Rail Automotive für einen weltbekannten Automobilhersteller seit 2008 managt, kommt es darauf an, unterschiedlich denkende und handelnde Menschen, die in ihrer eigenen Systemwelt leben, zu Partnern zu machen.

Viele verschiedene Parteien arbeiten gemeinsam, eng abgestimmt – also kollaborativ – in einer Supply Chain. Dabei ist ein Kernpunkt, verschiedene Verkehrsträger auf dem Weg von

Europa nach Asien in die Supply Chain zu integrieren. Es gilt sprachliche, politische und zollrechtliche Grenzen zwischen der EU und Russland zu überwinden.

Dies setzt voraus, dass es ein Steuerungsinstrument gibt, das Möglichkeiten der standortunabhängigen, mehrsprachigen Kommunikation schafft und das die Komplexität des logistischen Gesamtprozesses auf Informationen verdichtet, die für den jeweiligen „Streckenabschnittsgefährten“ relevant sind. DB Schenker Rail Automotive hat dies vor acht Jahren in der IT-Plattform AX4 gefunden.

Alle Partner teilen über die Plattform Informationen und Wissen miteinander. Sie macht den Informationsfluss sichtbar, der parallel zum Transport verläuft. Diese unternehmensübergreifende Echtzeit-Verfügbarkeit von Informationen erzeugt bei allen Beteiligten das Bewusstsein, für einen wichtigen Part des Gesamtprozesses verantwortlich zu sein.

In der Praxis wird daraus ein kontinuierlicher Verbesserungsprozess. Denn AX4 ermöglicht den Blick über den Tellerrand. Rückmeldungen und neue Erkenntnisse werden in der Community unkompliziert geteilt. So lassen sich Lösungen aus der täglichen Umsetzungspraxis heraus weiterentwickeln. Der Zugang zu Informationen: er motiviert jeden, an der Optimierung vor- und nachgelagerter Prozesse mitzuwirken. Von diesem Denkansatz in kollaborativen Prozessen profitiert jeder.

Integrierte End-to-End-Logistik für Online-Handel und Food Multi-Channel

Hocheffiziente Logistik-Lösungen im Food- und NonFood-Bereich

Dipl.-Math. (FH) **Helmut Prieschenk**,
WITRON Logistik + Informatik GmbH, Parkstein

Der E-Commerce boomt wie kaum eine andere Branche in Deutschland. Signifikante Anstiege der Artikelvielfalt sowie Same-Day-Delivery sind im NonFood-Bereich längst Tagesgeschäft. Und auch der Food-Bereich verzeichnet von Jahr zu Jahr immer höhere Wachstumsraten.

Der Markt fordert intelligente Systeme mit einer hohen Flexibilität in Bezug auf Funktionalität, Mechanik und Nachhaltigkeit, also Lösungen, die eine effiziente Versorgung aller Vertriebswege aus einem zentralen Logistikzentrum gewährleisten – egal, ob die Ware in die Filiale, direkt an die Haustüre, in Drives oder sonstige Abholpunkte geliefert werden soll. Das Credo lautet: „Bündelung statt Atomisierung“.

Die Anwender verlangen nach zukunftsweisenden Software-Modulen, die beispielsweise Auftragsspitzen frühzeitig erkennen, Aufträge selbstständig auf die einzelnen Subsysteme verteilen, wieder konsolidieren und just-in-time zur Verladung im Versand bereit stellen. Gesteuert werden diese Module durch einen Leitstand, der aufgrund seiner Vernetzung mit zahlreichen internen und externen Schnittstellen das Logistikzentrum weitestgehend selbstständig steuert und zahlreiche Handlungsempfehlungen für den Betreiber erstellt – ganz im Sinne von Industrie 4.0 und Big Data – unter Berücksichtigung aller Einflussfaktoren innerhalb der digitalen Wertschöpfungskette.

Im Rahmen des 25. Deutschen Materialflusskongresses in Garching erläutert WITRON die Funktionsweise und Vorteile seiner Lösungen FMC (Food) und OFS (NonFood).

Food Multi-Channel – FMC

Die integrierte Multi-Channel-Lösung für Food-Retail



Bild 1: FMC: Die Belieferung aller Vertriebskanäle erfolgt aus einem zentralen Verteilzentrum.

Logistik-Erfolgskonzept FMC

In nahezu allen Branchen ist der E-Commerce auf dem besten Wege, dem stationären Handel den Rang abzulaufen. Nur die Lebensmittelbranche galt bis dato als die Ausnahme. Doch auch hier wird immer mehr Entwicklungspotenzial identifiziert: Experten rechnen für die nächsten Jahre mit einem signifikanten Anstieg online gekaufter LEH-Produkte. Lebensmitteleinzelhändler sind auf der Suche nach innovativen und vor allem wirtschaftlichen Logistik-Konzepten, um Konsumenten die im Internet bestellten Artikel zeitnah und zu marktgerechten Preisen bereitzustellen. Eine Lösung für diese Herausforderung bietet WITRON.

FMC Food Multi-Channel

Ein hochdynamisches Multi-Channel-Logistikzentrum (FMC) ist der Grundstein für eine leistungsfähige Supply-Chain. Aufgrund der WITRON-FMC-Strategie werden mit den gleichen Standardmodulen sowohl Filialaufträge als auch Click & Collect-Bestellungen kommissioniert sowie Online- / E-Commerce-Aufträge gepickt und gepackt, die der Verbraucher direkt nach Hause geliefert haben möchte. Oftmals reichen bereits geringe Anpassungen in den Prozessen und Materialflüssen aus, um verschiedene Vertriebswege effizient zu nutzen. Beispielsweise kann durch die Integration des WITRON-DPS ein hochflexibles Case- und Piece-Picking umgesetzt werden.

WITRON setzt Benchmarks in der Logistik des Lebensmitteleinzelhandels: Mit filialgerechten, fehlerfreien, volumenoptimierten und nachhaltigen Prozessen. Seit vielen Jahren sind ausgereifte, praxiserprobte Module weltweit erfolgreich im Einsatz und gewährleisten in verschiedenen Sortiments- und Temperaturbereichen maximale Verfügbarkeit. Diese große Erfahrung ist die Basis für die Innovation FMC.

Das FMC Distribution Center gewährleistet die effiziente Versorgung aller Vertriebswege des Food Retails, wie z.B. Filiale, Click & Collect, Drive, Haustür aus einem zentralen Food Multi-Channel-Distribution Center (FMC-DC). Aufgrund von Bestandsbündelung und integrierter Auftragsabwicklung unterschiedlicher Kanäle in einem DC-System werden sämtliche Synergien genutzt. Dies führt zwangsläufig zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit über alle Kanäle des Food Multi-Channels: „Bündelung statt Atomisierung“ ist hier der entscheidende Aspekt. Ein weiterer wichtiger Effekt ist die durchgängige Optimierung der gesamten Supply-Chain: Lieferanten / Distributionszentrum / Filiale / Click & Collect / Drive / Haustür.



Bild 2: Durchgängige Optimierung der gesamten Supply Chain

Food Retail: Modulare Automatisierung für Abholpunkte

Das Multi-Channel-Verteilzentrum FMC ermöglicht aufgrund innovativer Prozesse und Funktionalitäten ein optimales E-Commerce-Handling von online bestellten Lebensmitteln. Unabhängig ob diese in Verteilstellen unterschiedlicher Größe vom Konsumenten selbst abgeholt oder direkt an die Haustür geliefert werden. Eine hohe Wirtschaftlichkeit und Flexibilität in den Prozessen der Filialen, Drives, Pick-up-Points und Darkstores wird durch eine modular aufgebaute Mechanik im gesamten Materialfluss und an den multifunktionellen Arbeitsplätzen gewährleistet.



Bild 3: Modular aufgebaute Mechanik in den Abholpunkten

Definitionen der Multi-Channel-Vertriebswege:

Click & Collect, Drive, Pick-up-Point und Darkstore

Click & Collect:

Der Kunde bestellt seine Ware im Internet und holt diese **in einer Filiale** seiner Wahl persönlich ab.

Drive:

Der Kunde bestellt seine Ware im Internet und **holt diese noch am selben Tag an einer Abholstelle ab**. Digital bezahlt, verpackt in eine Einkaufstüte, von einem freundlichen Drive-Mitarbeiter in den Kofferraum geladen.

Pick-up-Point:

Abholpunkt: Bestehend aus dem Versandbereich eines Drives und wird aus vorhandenen Drives bzw. Darkstores beliefert.

Darkstore:

Statt die Waren abzuholen, bekommt der Kunde seine Einkäufe bequem aus einem regionalen Umschlagspunkt **direkt nach Hause geliefert**.

FMC Food Multi-Channel: Vielzahl an Strategien und Funktionalitäten

Das innovative FMC-Konzept umfasst eine Vielzahl an Strategien und Funktionalitäten, um alle Vertriebswege und -stellen des Lebensmitteleinzelhandels mit Ware zu versorgen. FMC bietet größtmögliche Vorteile durch die Nutzung der gesamten Infrastruktur eines Distributionszentrums für Filialbelieferung als auch für den Online-Händler – vom Warenausgang bis Warenausgang. Mit FMC werden Synergien geschaffen: Für die gleichen Kundendaten, die gleichen Artikel und die gleichen Bestände nutzt der Food-Multi-Channel-Händler eine Logistiktechnologie und die gleichen Funktionsbereiche ohne zusätzliche Investition: Vom Wareneingang, über Hochregallager, Nachschubprozesse und Umpackprozesse, bis zu den Kommissioniersystemen und dem Warenausgang. Durch diese Mehrfachnutzung erreicht er eine maximale Effektivität und Wirtschaftlichkeit. Bündelung statt Atomisierung ist hier der entscheidende Vorteil!

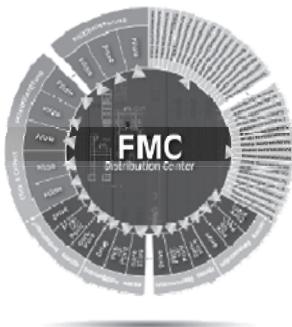


Bild 4: FMC-Konzept: Vielzahl an Strategien und Funktionalitäten, um alle Vertriebswege und -stellen des Lebensmitteleinzelhandels mit Ware zu versorgen.

Zukunftsweisender Multi-Channel-Leitstand

Für einen weitgehend eigenständigen Betrieb der Logistik-Anlage bereitet eine von WITRON entwickelte Leitstandssoftware eine Vielzahl an Informationen aus dem Lagerverwaltungssystem auf, stellt diese transparent dar und leitet daraus automatisch Aktions- und Entscheidungsempfehlungen für den Betreiber ab.

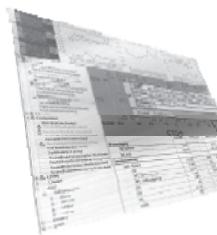


Bild 5: Aktions- und Entscheidungsempfehlungen für den Betreiber direkt durch den Leitstand

Kundennutzen:**Systemvorteile von FMC im Detail****Erhöhung der Integration:**

Integrierte Versorgung des stationären und digitalen Handels: Gemeinsame Nutzung von Systemen und Prozessen für ein effizientes Cross-Channel-Handling im Lebensmitteleinzelhandel (z. B. Equipment, Kommissionierung, Warenausgang, Prozesse, Artikelhandling, Bestandshandling, Manpower, Kunden, etc...)

Erhöhung der Wirtschaftlichkeit:

Nutzung sämtlicher Synergien eines hochdynamischen Vollsortiment-Logistikzentrums (Trocken, Frische, Tiefkühl, Sperrig-Teile, Saison-Ware) z.B. Reduzierung der Logistik-Kosten, Effiziente Auftragskonsolidierung, Einsparung von Transportkosten durch Netzwerk- und Strecken-Effekte, minimaler zusätzlicher Logistik-Invest für die Integration der Multi-Channel-Funktionalitäten

Erhöhung der Flexibilität:

Hohe Flexibilität bei Absatzschwankungen in den verschiedenen Vertriebskanälen. Höchste Transparenz durch den Einsatz eines innovativen Multi-Channel-Leitstandes. Höchste Funktionalität aufgrund der Nutzung von: Modernster Kommissionier-Technologie: Im Case-Pick- sowie im Piece-Pick-Bereich sowie modernster IT-, Steuerungs- und Wartungs-Tools

Drives und Click & Collect – Vorteile der Automatisierung**Erhöhung des Servicegrades für den Kunden:**

Kurze Wartezeiten, flexiblere Abholzeiten und schnelle Lieferzeiten.

Erhöhung der Wirtschaftlichkeit:

Mitarbeiterreinsparung von bis zu 60% im Vergleich zu einer konventionellen Lösung, höherer Durchsatz im Vergleich zu einer konventionellen Lösung, signifikant kleinere Logistik-Fläche im Vergleich zu einer konventionellen Lösung und Optimierung der Supply Chain zwischen Zentrale Lager und Drives

Erhöhung der Flexibilität:

Integration des kompletten Artikelspektrums (Schnellläufer, Langsamläufer, Trocken, Frische, Tiefkühl) in einem automatisierten Logistik-System, modulare Mechanisierung für Drives unterschiedlicher Größe, automatische Auftragskonsolidierung des kompletten Artikelspektrums sowie die Verkürzung der Durchlaufzeiten.

OFS – Order Fulfillment System**Das flexible E-Commerce-Logistik-Erfolgskonzept für den NonFood-Bereich**

Bild 6: E-Commerce erfordert flexible Logistik-Lösungen.

OFS – Order Fulfillment System

Das Order Fulfillment System von WITRON ist eine flexible Lösung für eine hochdynamische Branche. Hohe Wirtschaftlichkeit trotz Kleinstmengen-Kommissionierung, fehlerfreies Picken direkt in den Versandkarton, effiziente Auftragskonsolidierung, kürzeste Durchlaufzeiten, Same-Day-Delivery und ein transparentes sowie integriertes Retouren-Management – all diese Anforderungen erfüllt OFS. Darüber hinaus begleitet OFS auch Start-Up-Unternehmen im Online-Handel aufgrund seines modularen Aufbaus und seiner Flexibilität über alle Stationen einer Geschäftsentwicklung.

OFS: E-Commerce flexibel beherrschen

Handel heißt Wandel – und zwar immer und in allen Vertriebskanälen. Unternehmen müssen sowohl ihre Front-End-Logistik auf hohem Niveau halten als auch ihre Logistik auf kommende Anforderungen ausrichten – wobei sich Kundenwünsche, Trends und Mode täglich ändern. Die Logistik-Experten sind gefordert. Doch die Suche nach neuen Lösungen gestaltet sich alles andere als einfach, schließlich lassen sich die Planungsgrundlagen in einem so dynamischen Umfeld schwer definieren. Eine große Herausforderung – sowohl auf Lieferanten- als auch auf Betreiberverseite, die nur mit ganz neuen Konzepten zu lösen ist – oder? Dass das Rad nicht immer komplett neu erfunden werden muss und wegweisende Innovationen auf einem soliden Fundament von praxiserprobten Standardmodulen entstehen können, beweist die E-Commerce-Lösung OFS (Order Fulfillment System) von WITRON.



Bild 7: Multifunktioneller Arbeitsplatz

OPS als Basis

In dieser kompakten und klar strukturierten E-Commerce-Lösung fungiert das weltweit erfolgreiche WITRON-OPS-System (Order Picking System) als logistisches Kernelement, welches sowohl kleine, als auch mittlere und sehr breite Artikelspektren effizient managen kann. Hochdynamische Mechanik-Elemente sowie kleine, leichte und sehr schnelle Regalbediengeräte mit zweifach parallelen Lastaufnahmemitteln ermöglichen kürzeste Durchlaufzeiten mit Fokus auf Same-Day-Delivery bzw. Next-Day-Delivery. Multifunktionelle Arbeitsplätze gewährleisten höchste Flexibilität und die Erfüllung individueller Kundenwünsche. Integrierte Verpackungslinien und ein mit zahlreichen E-Commerce-Funktionalitäten ausgestattetes Lagerverwaltungssystem optimieren nachhaltig den Versand.

Maximale Auftragszusammenführung

Selbstverständlich sind auch großvolumige und nicht behälterfähige Artikel im Gesamtprozess berücksichtigt. Diese werden nach Wareneingang auf sogenannte Layer-Trays umgepakt und ermöglichen so eine statische und dynamische Bereitstellung von gleich mehreren verschiedenen Artikeln mittels Regalbediengerät in einem Palettendurchlaufregal. Die Kommissionierung erfolgt mittels Pick-by-Voice wegeoptimiert durch das WITRON-CPS (Car Picking System). Eine Auftragszusammenführung mit Aufträgen, die im OPS-Bereich kommissioniert wurden – und somit die Kundenbelieferung mit nur einem Versandkarton ist durch die WITRON-IT sichergestellt.

Retouren in den Griff kriegen

Eine große Herausforderung für den E-Commerce-Handel ist und bleibt das Retouren-handling. Diese Primär-Aufgabe wird durch das WITRON-DPS-System (Dynamic Picking System) gelöst. Aufgrund seiner vielfältigen Einsatzweise und einer hohen Prozess-Flexibilität ist DPS die ideale Lösung für den Retouren-Prozess. Alle eingehenden Retouren werden fördertechnisch zur Qualitätskontrolle und zum Umpacken an dafür vorgesehene Bearbeitungsplätze transportiert. Nicht beschädigte Produkte werden wieder in Lagerbehälter umgepakt und mittels Regalbediengerät im Retouren-Lager eingelagert. Anschließend erfolgt die Zusammenführung von Retouren-Ware mit sortengleicher Lagerware wie in einem „klassischen“ DPS-Kommissionierungsvorgang, bevor der verdichtete Lagerbehälter wieder in den OPS-E-Commerce-Prozess zurückgeführt wird.



Bild 8: DPS-Arbeitsplatz für das Retouren-Handling

Zukunftsweisender E-Commerce-Leitstand

Analog zur WITRON-FMC-Lösung ist auch im OFS ein speziell für diese Anwendung entwickelter E-Commerce-Leitstand integriert. Für einen weitgehend eigenständigen Betrieb der Logistik-Anlage bereitet eine von WITRON entwickelte Leitstandssoftware eine Vielzahl an Informationen aus dem Lagerverwaltungssystem auf, stellt diese transparent dar und leitet daraus automatisch Aktions- und Entscheidungsempfehlungen für den Betreiber ab.

Vorteile für den Anwender

Mit der **OFS-Lösung** zeigt **WITRON** auf, dass getreu dem Motto „**Innovation durch Tradition**“ für den Kunden anhand praxiserprobter Lösungen auch für neue und zukünftige Markt-Anforderungen viele **Vorteile** generiert werden:

Flexibilität bezüglich zukünftiger Geschäftsveränderungen wie Wachstum, Artikelanzahl, Volumen, Auftragsstruktur, Kundenwünschen und vielem mehr.

Gesamtwirtschaftlichkeit mit Blick auf Invest, Mitarbeiteranzahl, Gebäudegröße und Flexibilität des Gesamtkonzepts.

Die **Vermeidung von Kommissionierfehlern** mit all seinen nachfolgenden Kosten, Korrekturen und vor allem unzufriedenen Kunden. Die Versendung von nur einem Paket pro Kunde aufgrund der **wirkungsvollen Synchronisation** unterschiedlicher Systembereiche.

Integration eines modernen Retourenhandlings mit Fokus auf Geschwindigkeit, Genauigkeit, effektiver Lagerung und der sofortigen Wiederverfügbarkeit der Artikel für die Kommissionierung.

Best in Class: Multichannel-Logistik für Marktführer bei Zubehörlösungen

Ausgeklügelte Kombination aus Shuttle-Lager, Orderline- und Versandpuffer trägt den künftigen Anforderungen Rechnung

Dr.-Ing. Volker Jungbluth, Swisslog AG, Ettlingen

Kurzfassung

Das unaufhaltsame Wachstum des E-Commerce zwingt nicht nur den Handel, sondern zunehmend auch die Hersteller und Warenlieferanten zu einem grundlegenden Umdenken in der Logistik. Es gilt längst nicht mehr nur, komplette Palettensendungen pünktlich in den stationären Handel zu bringen. Es sind vielmehr hoch leistungsfähige und flexible Intralogistikstrukturen gefragt, die das parallele Bedienen unterschiedlicher Vertriebskanäle bei äußerst heterogenen Bestellmengen möglich machen. Mit dem Bau und der Inbetriebnahme eines neuen Kommissionier- und Versandzentrums hat sich Hama, der Elektronik- und Zubehörspesialist aus Monheim in Bayern, im Jahr 2014 fit für die Zukunft des Multichannel-Business gemacht. Die unter der Regie des Intralogistik Anbieters Swisslog GmbH, Dortmund, geplante und auf das parallele Bedienen unterschiedlicher Vertriebskanäle ausgelegte Anlage lebt vom perfektionierten Zusammenspiel von Menschen und modernster Automatisierungstechnik. Das dahinter stehende Konzept baut darauf auf, jegliche Komplexität aus den Versandprozessen zu verbannen. Zugunsten beschleunigter Durchlaufzeiten folgen im neuen Kommissionier- und Versandzentrum alle Artikel einem Prozess. Auf zeitraubende Umlagerungsprozesse oder das Einrichten unterschiedlicher Pickzonen für Schnell- und Langsamdreher wird in der neuen Logistikanlage vollständig verzichtet. „Durch den ausgeklügelten Prozess findet im Schnitt eine halbe Million Artikel Tag für Tag den Weg zu unseren Kunden“, lobt der Hama-Logistikleiter Roland Handschiegel die Umsetzungsleistung durch Swisslog. Zu den Technischen Highlights der neuen Anlage zählt das Lager- und Transportsystem SmartCarrier, ein vollständig automatisierter Orderline-Puffer sowie ein Versandpuffer für Speditionsware. Im Zusammenspiel der Lösungen bietet sich für Hama die Möglichkeit, sowohl in der Sortimentsbreite als auch in der Kommissionierleistung kontinuierlich weiter zu wachsen.

1. Ausgangssituation

Maximale Warenverfügbarkeit bei minimalen Lieferzeiten - mit diesem Anspruch sind bei Hama, dem Spezialisten für Zubehörprodukte in den Bereichen Foto und Video, Consumer Electronics, Computer, Gaming, Home Appliance sowie Schule und Freizeit die Anforderungen an die Logistik in den vergangenen Jahren stetig gewachsen. Das Unternehmen befindet sich auf einem beständigen Wachstumskurs. Als Innovationsführer gilt das Unternehmen seit Jahren insbesondere in der Entwicklung der Sortimentsbreite und -tiefe in der Branche als einzigartig. Doch der Expansionskurs offenbarte dem Unternehmen Anfang dieses Jahrzehnts auch einige Schwierigkeiten. Ursprünglich bewährt, stießen die Logistikkomponenten im Kommissionier- und Versandzentrum am Unternehmenssitz im bayerischen Monheim angesichts des stetigen Mengenwachstums, den steigenden Kundenansprüchen an die Liefergeschwindigkeit sowie der zunehmend heterogenen Bestellstruktur mit unterschiedlich großen Auftragspositionen zunehmend an ihre Grenzen. „Im manuellen Kommissionierlager hatte die Zahl der Pickplätze längst die Kapazitätsgrenze erreicht. Für die Verladung von Exportgütern oder die Kommissionierung von Sperrgütern musste die Logistik aus Platzgründen bereits in ein nahe gelegenes Außenlager ausweichen“, beschreibt Roland Handschiegel, Logistikleiter bei Hama, die Situation im Jahre 2011. „Insgesamt waren deutlich zu viele Umlagerungen nötig. Wir hatten dadurch immer wieder mit Pickfehlern sowie mit relativ hohen Auftragsdurchlaufzeiten und steigenden Prozesskosten zu kämpfen.“ Hinzu kamen die unaufhörlich wachsenden Anforderungen von Seiten des Marktes. „Die Lebenszyklen unserer technischen Produkte werden zunehmend kürzer, auch die Retourenquoten steigen“, erklärt Handschiegel. „Dies setzt ein außerordentliches Reaktionsvermögen voraus, für das wir eine zeitgemäße logistische Lösung finden mussten.“ Unter der planerischen Federführung des Intralogistikspezialisten Swisslog GmbH, Dortmund, entschied man sich deshalb im Jahr 2012, in eine hochmoderne und nach heutigen Maßstäben beispielhafte Kommissionier- und Versandanlage zu investieren.

2. Projektanforderungen

Multichannel-Logistik setzt eine gründliche Planung der Logistikstrukturen voraus. Um sämtliche Vertriebskanäle mit hoher Liefergeschwindigkeit zu bedienen, müssen alle Prozesse in der Versandlogistik nahtlos ineinander greifen. Es gilt, sämtliche Bruchstellen durch mehrfaches Picken von Artikeln oder manuelle Umlagerungstätigkeiten aus dem Workflow zu eliminieren. Für das Team um den Hama-Logistikleiter Roland Handschiegel, galt es daher als zentrales Kernziel des Projekts, die bis dato vorhandene Komplexität aus den Abläufen zu beseitigen. „Unsere Primäranforderung an Swisslog bestand in der klaren Strukturierung der

Prozesse“, sagt Handschiegel. „Insgesamt war es unser Anspruch, unsere Versandlogistik für künftiges Mengenwachstum zu rüsten, die Prozesskosten zu senken - gleichzeitig jedoch eine wesentlich homogenere Auslastung sämtlicher Bereiche in der Versandlogistik zu erreichen.“ In allen weiteren Überlegungen des Hama-Logistikleiters spielten im Wesentlichen ergonomische und wirtschaftliche Faktoren eine zentrale Rolle. So wurde als ein wichtiger Bestandteil der Projektplanung definiert, das bis dato umgesetzte Prinzip der Person-zur-Ware-Kommissionierung durch ein wesentlich ergonomischeres und schnelleres Ware-zur-Person-Kommissioniersystem zu ersetzen. Außerdem waren die Intralogistikexperten von Swisslog im Rahmen der Projektplanung gefragt, die Möglichkeiten für die Abwicklung von Direktversandkartons sowie eine integrierte Kommissionierung von Sperrgütern zu eruieren. Auch für die beschleunigte und in die laufenden Prozesse integrierte Rückführung retournierter Artikel galt es, eine zukunftsgerichtete Lösung zu finden. Der zentrale Pflichtbestandteil der Planung und Installation bestand zu guter Letzt zusätzlich jedoch auch darin, alle neuen Strukturen in die bereits bestehenden Logistikkomponenten in Form zweier vollautomatisierter Palettenhochregallager, eines automatisierten Kartonlagers und diverser manueller Bereiche zu integrieren. Das Ergebnis dieses umfangreichen Kombinations-, Ergänzungs- und Optimierungsprozesses ist eine ganzheitliche Lösung, die einen reibungslosen Materialfluss ermöglicht und in der Konzeption bis dato einmalig ist.

3. Multichannel-Logistik der Extraklasse

Schnelligkeit, Flexibilität und Effizienz sind die Kernattribute des im Jahr 2014 in Betrieb genommenen Lager-, Kommissionier- und Versandzentrums von Hama. Das perfektionierte Zusammenspiel von Mitarbeitern und modernsten technischen Komponenten ermöglicht selbst bei einem Auslieferungsvolumen von 10.000 Paketen pro Tag in Spitzenzeiten völlig reibungslose Versandprozesse. Um dies zu erreichen, weist das von Swisslog umgesetzte Konzept einige Besonderheiten auf: Alle Artikel folgen in dem Kommissionier- und Versandzentrum zum Beispiel ein und demselben Prozess. Es wurde vollständig auf herkömmliche Zoneneinteilungen für schnell bzw. langsam drehende Artikel verzichtet. Dies erspart Regelungszeiten und Umlagerprozesse und eliminiert somit den Zeitnachteil einer seriellen Auftragsbearbeitung. Die neue Versandlogistik funktioniert ebenso völlig unabhängig von den Bestellmengen und Auftragsgrößen. Aus welchen Artikeln sich ein Auftrag zusammensetzt, hat auf die logistische Abwicklung der Bestellung somit keinerlei Auswirkungen. Außerdem wurde auf eine Entkoppelung sämtlicher Arbeitsplätze Wert gelegt. Das heißt: Sämtliche Prozesse und Arbeitsplätze schlagen im neuen Kommissionier- und Versandzentrum von Hama ihren eigenen Takt. Die neue Versandlogistik von Hama erstreckt sich auf eine Fläche

von rund 25.000 m². Sie ergänzt Bestandssysteme, die im Jahr 1997 erstmals in Betrieb genommen wurden. Als Multichannel-Lösung konzipiert, fügen sich alle neu hinzugekommenen Logistikkomponenten in eine teils automatisierte, teils manuelle Infrastruktur ein. In der umgesetzten Ausbaustufe setzt sich die Hama-Versandlogistik unter anderem aus zwei vollautomatisierten Palettenhochregallagern, aus einem automatischen Karton- und Behälterlager, einem hoch dynamischen Shuttle-Lager, einem daran angeschlossenen Orderline-Puffer (OLP) sowie aus einem Versandpuffer für Speditionsware zusammen.

3.1 Kommissionierung nach dem Ware-zur-Person-Prinzip

Einer der Kernbestandteile der neuen Hama-Logistik ist das Shuttle-System. Zum Einsatz kommt der SmartCarrier von Swisslog, eine Lager- und Transportlösung für Kleinteile auf Basis von Behältern und Tablaren. Bei Hama umfasst das SmartCarrier-Lager 28.800 Stellplätze. Es ist mit sechs Gassen angelegt, beinhaltet 12 Lifte und operiert mit 60 Shuttles, den Swisslog-„Carriern“. Nach dem „Ware zur Person“-Prinzip dienen diese Carrier über Fördertechnik bis zu 2.400 Lager- bzw. Quellbehälter pro Stunde diversen Pick-Arbeitsplätzen an. Diese Arbeitsplätze sind in drei Kommissioniermodule à 5 Stationen unterteilt (in Summe 15 Pickplätze). Die Quellbehälter sind sowohl mit rein sortierten Hama-Artikeln als auch mit gemischten Retouren bestückt. An jedem Pick-Arbeitsplatz nimmt der Kommissionierer die für einen Auftrag benötigte Ware aus dem Quellbehälter heraus und legt sie in bereitstehende leere Orderline-Behälter. Nach möglichem Durchlauf aller drei Kommissioniermodule fährt der Quell-Behälter ins SmartCarrier-Lager zurück, während der Orderline-Behälter nach Beendigung einer Auftragszeile automatisch in einen an das System angeschlossenen Orderline-Puffer transportiert wird. Bei Bedarf werden an den Pick-Arbeitsplätzen außerdem „Value Added Services“ ausgeführt, um die Ware nach Kundenvorgaben zu individualisieren. Dies kann zum Beispiel die Anbringung von Sonderpreisen oder Sicherheitsetiketten sein.

3.2 Orderline-Puffer für mehr Flexibilität in der Versandlogistik

Ein für die Gesamtfunktionalität der Logistik gleichermaßen wichtiger Bestandteil des neuen Hama-Systems ist der Orderline-Puffer (OLP). Hier werden alle Orderline-Behälter mit kommissionierter Ware sortiert gesammelt. Der OLP wird über die Pick-Arbeitsplätze gespeist und ist mit 15 Pack-Arbeitsplätzen, die den Pick-Arbeitsplätzen direkt gegenüberliegen, verbunden. Sobald die Systemsteuerung die Bereitstellung eines Versandkartons auslöst, liefert der OLP den Orderline-Behälter über einen nachgeschalteten Sequenzierer an den entsprechenden Pack-Arbeitsplatz. Der Orderline-Puffer ist in drei Module à 240 Kanäle (in Summe 720 Kanäle) unterteilt und bietet Platz für 7.200 Orderline-Behälter. Die Ein- und Auslage-

rung der Behälter in den OLP erfolgt über 36 automatische Verfahrwagen mit einer technischen Einzelleistung von 300 Behältern pro Stunde. Die Durchsatzleistung des OLP-Systems beträgt über 3.600 Behälter pro Stunde.

3.3 100%-ige Sequenzierung und automatische Palettierung

Im Anschluss an den Packprozess wird die für den Speditionsversand bestimmte Ware automatisch einem Versandpuffer zugeführt. Hier werden alle Kartons gesammelt, die noch palettiert werden müssen. Sind sämtliche Kartons für einen Auftrag eingelagert, erfolgt eine Packbildberechnung für die Zielpaletten. Das Logistik-System bestimmt, welcher Karton auf welche Palette palettiert wird und welche Position dieser Karton auf dieser Palette einnehmen soll. In Folge lagert der Versandpuffer die Kartons 100%-ig sequenziert, d. h. in exakter Reihenfolge zur automatischen Palettierung, über eine Fördertechnik aus. Drei Gassen à 1.000 Stellplätze umfasst der Versandpuffer. Die Ein- und Auslagerung erfolgt über Regalbediengeräte der Swisslog-Marke „Tornado“ mit dem Lastaufnahmemittel „Carton-Loader“. Die Fahrgeschwindigkeit der Tornados beträgt 6 m/s.

3.4 Automatisiertes Kartonhandling

Um den Verpackungsprozess zu beschleunigen, erfolgt auch das Kartonhandling im neuen Hama-Versandzentrum weitestgehend automatisch. Dazu sind vier Kartonaufrichter installiert, die sechs unterschiedliche Kartontypen für die Befüllung bereitstellen. In der Versandvorbereitung erfolgt der automatische Start sowie die selbsttätige Etikettierung und Zuweisung der Versandkartons für die Packplätze. Die Versandkartons werden am Packplatz mit den ausgelagerten Orderlinebehältern aus dem OLP synchronisiert. Gepackte Kartons unterliegen einer Bildkontrolle. Nach dem manuellen Befüllen durch den Kommissionierer am Pack-Arbeitsplatz erfolgt das automatische Verschließen und Deckeln der Kartons. Automatisiertes Anbringen der Versanddokumente und Versandetiketten, ggf. mit Gefahrgut-Kennzeichnung, schließen den Versandvorbereitungsprozess ab. Das Hama-Versandzentrum verfügt über eine automatische Palettierstation. Die aus dem Versandpuffer kommenden sequenzierten Kartons werden hier mit Hilfe eines Roboters auf Euro- oder Einwegpaletten gesetzt und im Anschluss daran automatisch foliert. Bei sehr heterogenen Ladungen kann die Palettierung auch per Hand erfolgen. Um diesen Arbeitsgang für den Mitarbeiter so arbeitsfreundlich wie möglich zu gestalten, ist die manuelle Palettierstation ergonomisch gebaut: Jede Palette wird auf Arbeitshöhe transportiert. Der Mitarbeiter kann die Kartons auf einer für ihn bequemen Ebene einfach auf die Palette schieben. Ist die erste

Lage komplett, wird die Palette abgesenkt, so dass die nächste Lage aufgeschoben werden kann. Die abschließende Folierung findet wiederum automatisch statt.

4. Fazit

Mit einem SmartCarrier-Lager, einem Orderline-Puffer, Versandpuffer für Speditionsware sowie mit vor-, zwischen- und nachgelagerter Lager-, Förder- und Versandtechnik weist das neue Logistikzentrum bei Hama nicht nur einen sehr hohen Automatisierungsgrad, sondern gleichzeitig auch ein Höchstmaß an Flexibilität auf. Ein ausgeklügeltes Lagerverwaltungssystem und eine neue Steuerung, die Komponenten von Swisslog und Hama kombiniert, schaffen die Möglichkeit, Lager-, Kommissionier- und Versandarbeiten nach kundenindividuellen Prioritäten zu filtern, zu lenken und zu kaskadieren. Statt streng auftragsbezogen zu arbeiten, ist die Logistikstruktur auf kurze Durchlaufzeiten von Orderlines ausgerichtet. Das bedeutet, dass bei Bedarf an mehreren Pick-Arbeitsplätzen viele verschiedene Orderlines eines einzigen Auftrags bearbeitet werden können. Je nachdem, welche Leistung vorrangig ist, wird priorisiert gearbeitet. Die großzügig bemessenen Pufferlager ermöglichen die Zwischenverwahrung von Orderlines und Versandware, sorgen für Nachschub oder machen den Platz frei für dringliche Aufträge. In der Spurze und bei personeller Vollbesetzung sind in der Anlage Bearbeitungskapazitäten von täglich bis zu 55.000 Orderlines möglich. Durch die Entkoppelung der Prozesse ist es in auftragsschwächeren Zeiten problemlos möglich, in der Anlage auch mit eingeschränkten Personalkapazitäten zu arbeiten. Ein und derselbe Mitarbeiter kann zum Beispiel zuerst picken, dann packen, und später den Versandprozess begleiten. Mit dem von Swisslog erstmals in dieser Form umgesetzten Orderline-Puffer-Konzept hat Hama nun eine Vorreiterrolle in der Multichannel-Logistik eingenommen: Das Unternehmen ist in der Lage, jeden nur denkbaren Mix in der Nachschubversorgung des Handels sowie in der Versandlogistik kleinerer Losgrößen zu fahren.



Bild 1: Hama Monheim



Bild 2: Lager- und Transportsystem SmartCarrier

Spike Cargo – schnell wie eine Achterbahn

Hochgeschwindigkeitsfördertechnik für Großladungsträger

Dipl.-Ing. **Jörg Beutler**, Dr.-Ing. **Gabriel Fischer**,
Beutler Transport Systeme GmbH, Holzkirchen

Kurzfassung

Müssen längere Strecken bei gleichzeitigen Höhenunterschieden zurückgelegt werden, stoßen herkömmliche Fördersysteme meist schnell an ihre Leistungsgrenzen. Mit einem neuen Hochgeschwindigkeitsfördersystem, das federführend von der Firma Beutler Transport Systeme aus Holzkirchen unter dem Namen Spike Cargo entwickelt wird, können diese Hindernisse überwunden werden. Dieser Beitrag beschreibt das Konstruktionsprinzip von Fahrzeug und verwendeter Schiene und stellt neben der installierten 50 m Teststrecke mögliche Einsatzfelder dieser neuartigen Fördertechnik vor.

1. Einleitung

Liegen beim Transport von Gütern größerer Abmessung und Gewicht weite Entfernung zwischen Quelle und Senke, kann die Transportaufgabe in intralogistischen Anwendungen i. d. R. nur durch Flurförderzeuge übernommen werden, um eine hohe Flexibilität zu gewährleisten. Herkömmliche Steigfördersysteme stoßen in diesen Fällen meist schnell an ihre Leistungsgrenzen, vor allem wenn zusätzlich Steigungen zu überwinden sind, um z. B. Fahrwege oder andere Produktionsanlagen zu überqueren. Die Beutler Transport Systeme GmbH (BTS) aus dem oberbayrischen Holzkirchen hat für diese Anwendungsfälle ein neuartiges Förderkonzept parat, dessen Ursprung in einer anderen Branche liegt. Als Serviceunternehmen aus dem Bereich der Amusement Rides hat die BTS vor vier Jahren den Entschluss gefasst, neuartige Achterbahn-Fahrzeuge mit eigenem Antrieb zu entwickeln. Damit können Streckenlayouts und Fahrgefühle realisiert werden, die mit herkömmlichen Schwerkraftbahnen nicht möglich sind. Schon früh zeichnete sich jedoch ab, dass mit dem angedachten formschlüssigen Antriebskonzept nicht nur zum Spaß Fahrgäste bewegt werden können, sondern dass zahlreiche Anwendungsmöglichkeiten beim Transport von Personen und Gütern möglich sind. Zusammen mit weiteren Entwicklungspartnern aus Industrie und Hochschulen initiierte die BTS ein Kooperationsprojekt über das Zentrale Innovationsprogramm Mittelstand des BMWi [1]. Im folgenden Beitrag werden die eingesetzte Technik, die Pla-

nungsmöglichkeiten zum Streckenlayout sowie die möglichen Einsatzfelder der Hochgeschwindigkeitsfördertechnik vorgestellt, die den Bereich der Großladungsträger fokussiert.

2. Komponenten der Hochgeschwindigkeitsfördertechnik

Bei der Hochgeschwindigkeitsfördertechnik handelt es sich um ein gleisgebundenes Flurfördermittel, bei dem sich einzelne Fahrzeugverbünde entlang einer fest verlegten Schiene bewegen. Wichtige Entwicklungsziele sind neben der hohen Dynamik der Anlage auch eine große Flexibilität in der zu erreichenden Streckenführung. So sollen horizontale Kurvenradien bis zu 3,0 m und vertikale Kurvenradien (Wanne/Kuppe) bis zu 5,0 m möglich sein.

2.1 Antriebskonzept

Schon zu Beginn der Entwicklung war auf Basis der Erfahrungen mit Achterbahnen klar, dass herkömmliche Reibradantriebe für die notwendigen Beschleunigungen auf Grund der damit zu erreichenden Kraftschlussbeiwerte nicht in Frage kommen. Das erforderliche starke Anpressen der Räder über lange Strecken und große Steigungen wäre zu verschleißbehaftet und zu wenig energieeffizient gewesen. Sowohl aus Kostengründen als auch wegen der Einschränkung, in Kurven Antriebsleistung zu übertragen, stellen Linearantriebe keine Alternative dar. Somit war klar, dass die Entwicklungsziele nur mit einem formschlüssigen Antrieb erreicht werden können, der sich auf dem Fahrzeug selbst befindet.

Der vorliegende Anwendungsfall ist – zumindest auf gerader Strecke – verwandt mit Zahnstangenanrieben. Zur Übertragung von Leistungen wird dabei meist die Evolventenverzahnung oder auch die Triebstockverzahnung, eine Abwandlung der Zykloidensorerverzahnung, eingesetzt [2]. Beide Verzahnungsarten werden hinsichtlich ihres Einsatzes in der Hochgeschwindigkeitsfördertechnik analysiert und bewertet. Die Triebstockverzahnung bietet dabei einen entscheidenden Vorteil: Sie ermöglicht eine drehbare Lagerung der Zähne, so dass auch bei schmierstofffreiem Betrieb ein geringer Verschleiß erzielt werden kann.

Bei der Triebstockverzahnung können die Triebstockbolzen entweder am Antriebsritzel oder an der Zahnstange angeordnet werden. Die Anordnung der Triebstockbolzen an der Zahnstange ermöglicht eine einfache Fertigung, führt aber bei Krümmungsänderungen des Bahnverlaufs stets zu Drehfehlern aufgrund der unveränderlichen Zahnflanken des Antriebsritzels. Ordnet man die Triebstockbolzen am Antriebsritzel an, kann dieses Problem vermieden werden. Dies erfordert jedoch ein geeignetes Konzept für eine „flexible“ Zahnstange, die eine Adaption an das Schienensystem auch auf gekrümmten und verwundenden Streckenabschnitten und gleichzeitig eine sichere Kraftübertragung zulässt. Diese Herausforderung wird durch die Entwicklung einer Zahnkette, die an das Prinzip einer Flyerkette angelehnt ist, ge-

löst. Bild 1 zeigt das Konstruktionsprinzip des Triebstockkitzels mit gelagerten zylinderförmigen Rollen (Triebstockbolzen), das sich in einem festgelegten Abstand von der Zahnkette, die fest mit der Schiene verbunden ist, entlang der Bahn bewegt. Die Lagerung der Triebstockbolzen verringert den Verschleiß der Zahnflanken und erlaubt einen schmierfreien Betrieb. Das Prinzip dieses formschlüssigen Antriebs dient als Namenspate für die Produktlinie Spike®.

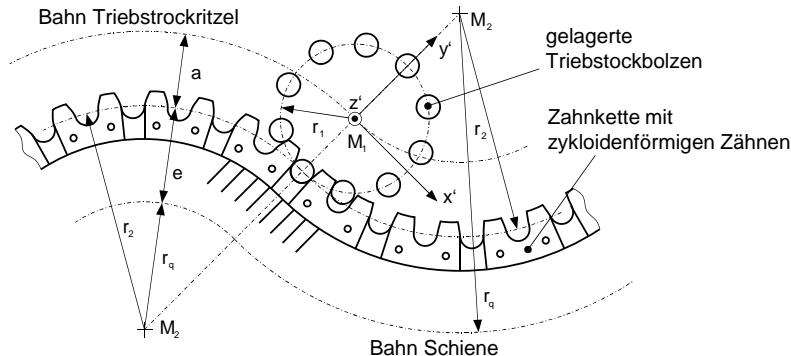


Bild 1: Konstruktionsprinzip des formschlüssigen Führungssystems

Die flexible Zahnkette besteht aus einem Kettenhalter, der zum einen formschlüssig mit der Schiene verbunden wird, um die Antriebskraft abzustützen, und der zum anderen selbst zykloidenförmige Zähne besitzt, in die die Triebstockbolzen eingreifen. Die Kettenhalter werden untereinander durch weitere Zahnsegmente mittels Bolzen verbunden, so dass in Verbindung mit dem eingestellten Spiel in den Verbindungen eine flexible Zahnkette resultiert, die durch ihre Formgebung auch an gekrümmten und verwundenen Streckenabschnitten montiert werden kann. Zur Geräuschminderung ist eine Kunststoffeinlage zwischen Zahnsegmenten und Halter vorgesehen. Bild 2 zeigt die Zahnkette mit ihren einzelnen Bestandteilen.

Der Antrieb des Triebstockkitzels erfolgt über einen Elektromotor samt Frequenzumrichter sowie ein dazwischengeschaltetes Getriebe. Um eine ununterbrochene Stromversorgung sicherzustellen, werden entlang der Bahn Stromschienen verlegt.

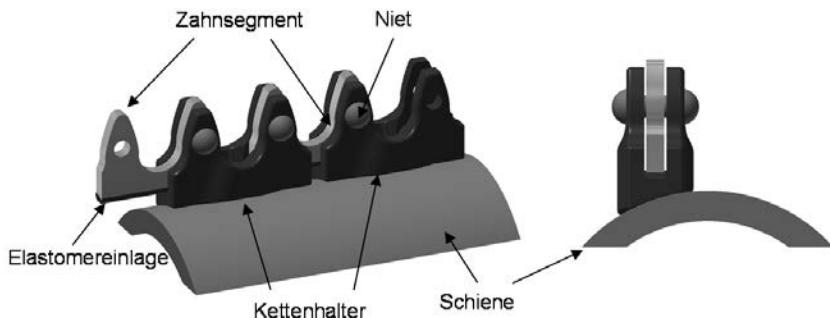


Bild 2: Zahnkette

Sollte aus sicherheitstechnischer Betrachtung eine Bremsung durch den Motor nicht ausreichend sein, kann das Fahrzeug zusätzlich mit einer mechanischen Notbremse ausgestattet werden. Im Notbremssystem stellt ein Überwachungssensor sicher, dass fest eingestellte Beschleunigungsgrenzen nicht überschritten werden, um ggfs. eine Beschädigung der transportierten Ware zu vermeiden.

Das gewählte Antriebskonzept ermöglicht eine variable Geschwindigkeitsvorgabe entlang des gesamten Bahnverlaufs, so dass stets die optimale Fahrgeschwindigkeit gewählt werden kann. Aktuell lassen sich Spitzengeschwindigkeiten bis zu 60 km/h erzielen.

2.2 Schiene

Auf Grund der geforderten Dynamik ist ein Schienensystem erforderlich, das die Abstützung des Fahrzeugs mit Gegen- und Seitenräder bei hohen Quer- und Radaufstandskräften ermöglicht. Bekannt sind hierfür in der Fördertechnik vor allem I-Profile, die auch in diesem Anwendungsfall prinzipiell einsetzbar sind. Im Bereich der Achterbahnen haben sich für flexible Streckenführungen die sog. Zweigurtschienen etabliert, bei denen zwei Rundrohre einzeln gebogen werden und durch rechteckige Querriegel miteinander zu dreidimensionalen Schienen verbunden werden. Auf Grund der geringen Fertigungstoleranzen, der geringeren Wärmeausdehnung gegenüber dem I-Träger sowie der Möglichkeit der Schienentorsion um die Längsachse und der vorhandenen Erfahrung mit der Zweigurtschiene wird diese als Basis für die Hochgeschwindigkeitsfördertechnik gewählt. Entgegen deren herkömmlichem Einsatz werden die Rundrohre vertikal zueinander zugeordnet, so dass das obere Rohr als Hauptfahrschiene dient und das untere Rohr die Funktionen der statischen Unterstützung des Rahmensystems übernimmt. Die Befestigung der Stromschiene erfolgt an den Querriegeln.

geln (vgl. Bild 7). Bild 3 zeigt diese Schiene in gerader Ausführung als Teil der aufgebauten Teststrecke mit einem Stützenkopf vor dem Lackieren.

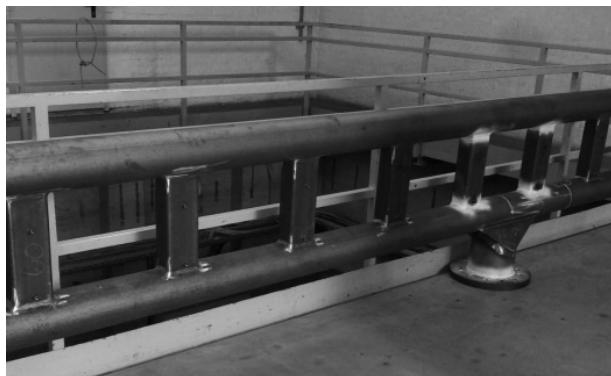


Bild 3: Zweigurtschiene für die Hochgeschwindigkeitsfördertechnik (unlackiert)

2.3 Fahrzeuge

Aus dem gewählten Antriebskonzept resultiert die Forderung nach geringen Verschiebungen der Verzahnung quer zur Fahrtrichtung bei Kurven-, Wannen- und Kuppenfahrt, so dass sich daraus der maximale Achsabstand der Lauf- und Gegenräder um die Antriebseinheit für ein verschleißarmes Fahrverhalten ableiten lässt. Mit dem Ziel, mehrere Paletten transportieren zu können, wird eine Unterteilung des Eingangs angesprochenen Fahrzeugverbunds bestehend aus einer Antriebseinheit und ein oder mehreren Mitlaufwagen erforderlich. Bild 4 zeigt das Fahrzeugkonzept mit dessen tragender Struktur ohne Verkleidung und Lastaufnahmeeinrichtung.

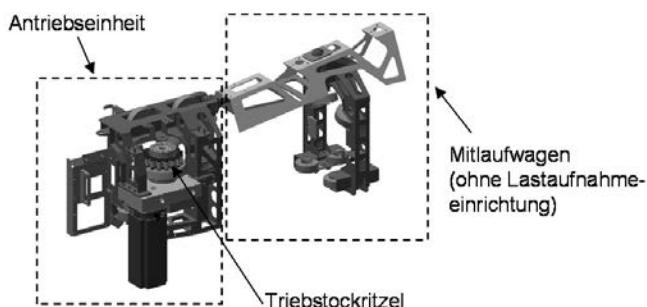


Bild 4: Fahrzeugkonzept

Die Antriebseinheit übernimmt in Analogie zum herkömmlichen Zug die Funktion des Antriebs, beinhaltet alle Komponenten der Antriebstechnik samt Steuerung und Stromabnehmer und kann selbst autark entlang der Schiene verfahren. Der Mitlaufwagen wird wie eine Rikscha an die Antriebseinheit gekuppelt und mit einer Lastaufnahmeeinrichtung ausgestattet. Er verfügt selbst nur über eine drehbar gelagerte Achse und benötigt somit stets einen vorausfahrenden Fahrzeugteil (Antriebseinheit oder anderer Mitlaufwagen). Mit dieser Kombination aus Antriebseinheit und Mitlaufwagen lassen sich die geforderten engen Kurvenradien (horizontal bis zu 3,0 m, vertikal bis zu 5,0 m) realisieren sein.

3. Planung und Auslegung der Förderstrecke

Bei der Planung und Auslegung der Förderstrecke kommt das Simulationstool XTRAC zum Einsatz, das in langjähriger Zusammenarbeit zwischen der Maurer AG mit der Universität Duisburg entwickelt wurde, seine Fähigkeit beim Bau herkömmlicher Achterbahnen schon zahlreich unter Beweis stellen konnte und von der BTS genutzt werden kann. Im Vergleich zur üblichen Layoutplanung solch hochdynamischer Fahrzeuge, bei der verschiedene Berechnungsprogramme und konventionelle CAD Entwicklungsoberflächen schrittweise über mehrere Schnittstellen (Design, Zeichnung und Berechnung) genutzt werden, erlaubt XTRAC eine drastische Beschleunigung der Designprozesse. Das Design des Schienenvorrauslaufs erfolgt parallel zur Berechnung der charakteristischen Geschwindigkeits- und Beschleunigungswerte von Fahrzeug und transportierter Last. Hierzu wird auch die über die Triebstockverzahnung aufgebrachte Antriebskraft in der Simulation berechnet.



Bild 5: Layoutplanung mit XTRAC

Durch Umgebungsmodelle, die in einer 3D-Umgebung eingelesen werden, können schon zu Beginn der Planung die räumlichen Gegebenheiten vor Ort im Design berücksichtigt und Kollisionsuntersuchungen durchgeführt werden. Eine Optimierungsroutine passt den Schienenverlauf so präzise an, dass die Belastungen auf die transportierte Last und das Fahrzeug (und somit auch Wartungs- und Instandsetzungskosten) bestmöglich reduziert werden. Die Simulation in XTRAC ermöglicht somit sowohl eine präzise Layoutplanung als auch eine verlässliche Berechnung des zu erzielenden Durchsatzes.

4. Demonstrator und Teststrecke

Um die geleisteten Entwicklungsarbeiten in der Praxis unter realen Bedingungen zu validieren, wurde in den Räumlichkeiten des Instituts für Fördertechnik und Logistik der Universität Stuttgart eine 50 m lange ovale Teststrecke aufgebaut und mit einem Versuchsfahrzeug ausgestattet (Bild 6). Die Planung des Schienenverlaufs erfolgte dabei mit der Software XTRAC. Um möglichst viele unterschiedliche Streckengeometrien realisieren zu können verfügt die Teststrecke auf kleinstem Raum über eine angewinkelte Steilkurve und eine geneigte Kurve, eine Hochgeschwindigkeitsgerade, eine S-Kurve sowie Strecken mit 45° Steigung und Gefälle. Somit sind sowohl Streckenbereiche mit und ohne Querneigung vertreten und in Konsequenz dessen auch Bereiche mit tordiertem Schienenverlauf.

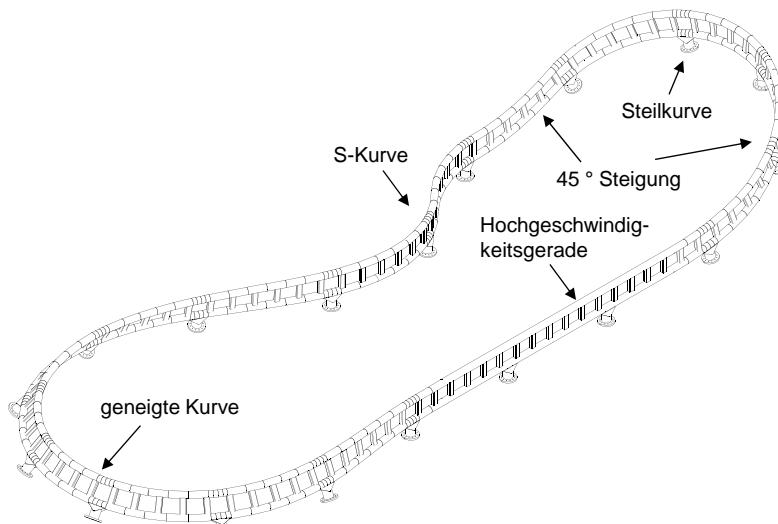


Bild 6: 50 m lange Teststrecke für Hochgeschwindigkeitsfördertechnik

Das Versuchsfahrzeug wird als Prototyp zunächst ohne Verkleidung mit den Baugruppen Antriebseinheit und Mitlaufwagen aufgebaut (Bild 7). Auf eine Lastaufnahmeeinrichtung wird zunächst verzichtet, stattdessen werden Gewichtsplatten am Mitlaufwagen befestigt, um die transportierte Last und die damit zu bewegende Masse abilden zu können.



Bild 7: Versuchsfahrzeuge auf Teststrecke

Ein wesentlicher Fokus bei der Durchführung des Test sowie der damit iterativen Überarbeitung der Konstruktion liegt auf den Fahrgeräuschen. Durch eine konstruktive Anpassung der Stromschieneübergänge mit angeschraubten Schienenstößen sowie eine passende Wahl des Triebstockbolzenmaterials können diese so stark minimiert werden, dass nur noch ein leises Surren das herannahende Fahrzeug ankündigt. Durch die gewählte Radanordnung wird zudem eine hohe Laufruhe auch bei großer Beladung gewährleistet. In den durchgeführten Tests kann die Funktionsweise der flexiblen Zahnstange mit gutem Ergebnis bestätigt werden. [3]

4. Einsatzgebiete der Hochgeschwindigkeitsfördertechnik

Die Hochgeschwindigkeitsfördertechnik Spike Cargo zeichnet sich auf Seiten der Dynamik durch hohe Beschleunigungen und Fahrgeschwindigkeiten aus und verfügt zudem über ein äußerst flexibles Streckenlayout, bei dem sich enge Radien und Steigungsstrecken bis zu 45° realisieren lassen. Diese Eigenschaften führen dazu, dass bei geringen bis mittleren Durchsatzanforderungen und weiten Transportentfernungen deutliche Vorteile gegenüber herkömmlicher Fördertechnik wie z. B. einer Elektrohängelbahn zu verzeichnen sind. Untersuchungen des Lehrstuhls für Fördertechnik Materialfluss Logistik der Technischen Universität München im Rahmen des Kooperationsprojekts [1] zeigen am Beispiel einer JIS-Bereitstellung in einer Automobilendmontage von einem Logistikzentrum außerhalb der Mon-

tagehalle, dass sich der geforderte Durchsatz mit deutlich weniger Fahrzeugen realisieren lässt als mit einer Elektrohängebahn.

Grundsätzlich führen die höheren Transportgeschwindigkeiten zu signifikant geringeren Durchlaufzeiten, was für die nachgelagerten Prozesse bedeutet, dass die Transportaufgaben später ausgelöst und das Fördergut später von den vorgelagerten Prozessen bereitgestellt werden muss. Für bestimmte Einsatzgebiete, in denen vor allem lange Strecken zurückgelegt werden müssen, wie z. B. die Versorgung einer Automobilendmontage oder auf Flughäfen, ergeben sich erkennbare Vorteile.

Die modulare Bauweise des Spike Cargo in Antriebseinheit und Mitlaufwagen ermöglicht eine flexible Anpassung der Fahrzeugverbände an das zu transportierende Produktspektrum. Neben der Kopplung unterschiedlich vieler Mitlaufwagen aneinander (Bild 8) sind zudem individuelle Lastaufnahmeeinrichtung auf dem Mitlaufwagen positionierbar.



Bild 8: Spike Cargo in unterschiedlichen Systemvarianten für den innerbetrieblichen Materialtransport

5. Zusammenfassung und Ausblick

Mit der neuen Hochgeschwindigkeitsfördertechnik namens Spike Cargo der Beutler Transport Systeme GmbH können bei langen Transportwegen dank der hohen Transportgeschwindigkeit hohe Durchsätze erzielt werden. Dies ermöglicht ein formschlüssiger mitfahrender Antrieb mit Spitzenleistungen von ca. 100 kW auf den einzelnen Fahrzeugverbünden. Das Fahrzeug- und Schienenkonzept erlaubt zudem eine äußert flexible Streckenführung mit kleinen Radien sowie Steigungs- und Gefälestellen.

In Zusammenarbeit mit den Forschern der Universität Stuttgart erfolgt eine fortlaufende Weiterentwicklung der Hochgeschwindigkeitsfördertechnik. So soll z. B. ein Weichensystem für zusätzliche Flexibilität sorgen. Beutler Transport Systeme ist für vielfältige Kooperationen offen und freut sich auf die Projektierung und Realisierung intralogistischer Herausforderungen.

- [1] Steinbach, H.; Rahn K.-P.; Mohe, H.; Puls, C.; Stab, T.; Schröppel, M.; Binz, H.; Ortmann, S.: Abschlussbericht „HGFS für Großladungsträger“, Chemnitz, Stuttgart, Karlsruhe, München, 2015
- [2] Zirpke, K.: Zahnräder. 13. Aufl., Leipzig: Fachbuchverlag, 1989
- [3] Katkow, A.; Schröppel, M.; Neuartiges Hochgeschwindigkeitsförderungssystem für den Palettentransport. Logistics Journal, Vol. 2015

Shuttlesysteme und Klein-RBG

Leistung und Energiebilanz im Vergleich

Dr.-Ing. **Dirk Liekenbrock**, Klinkhammer GmbH, Nürnberg

1. Kurzfassung

Automatische Kleinteilelager (AKL) sind für eine Vielzahl von Anwendungen die logistische Lösung der Wahl, um ein großes Artikelspektrum bei vergleichsweise hohen Zugriffshäufigkeiten kompakt zu lagern. In jüngerer Zeit haben sich eine Reihe technischer Umsetzungen etabliert, die eine kompaktere Lagerung oder höhere Durchsätze ermöglichen. Insbesondere Shuttlesysteme haben zu einem signifikanten Leistungssprung beigetragen. Zwischen konventionellen Bediengeräten und Shuttlesystemen ist damit eine feingranulare Abstufung des erforderlichen Lagerdurchsatzes möglich. Die Art der verwendeten Bediengeräte (RBG, Shuttle) und ihrem Leistungsvermögen hat wiederum Konsequenzen auf das nutzbare Lagersvolumen, betriebliche Aufwendungen und auf den Invest. Der vorliegende Beitrag leitet Zusammenhänge dieser Größen her, um die Projektierung automatischer Kleinteilelager zu unterstützen.

2. Einleitung

Für Lagerung und Kommissionierung kleinteiliger Ladungsträger werden in konventioneller Weise automatische Kleinteilelager eingesetzt. Der Umschlag der Ladungsträger erfolgt durch Regalbediengeräte (RBG). Ein RBG bedient den Arbeitsraum einer Regalgasse über die komplette Länge und Höhe des Regals. Auch wenn die verwendeten Antriebe vergleichsweise hohe Beschleunigungen und Verfahrgeschwindigkeiten der Achsen erlauben, ist die Systemleistung eines Gerätes (Anzahl der pro Stunde ein- und ausgelagerten Gebinde) beschränkt. Höhere erforderliche Leistungen können mit zusätzlichen Geräten und damit Gassen erzielt werden, die neben zusätzlichem Flächenbedarf aber auch entsprechend höhere Investitionen bedingen.

Shuttlesysteme, die ebenenweise horizontal in einem Regalkörper verfahren, sind eine in dieser Hinsicht interessante Alternative mit zunehmender Verbreitung. Ladungsträger werden von der Fördertechnik durch Heber (Behälter-Lift) in die jeweilige Lagerebene eines Shuttles angedient, an einem Übergabebereich in dieser Ebene an das Shuttle übergeben

und so ein- bzw. ausgelagert. Da Shuttles jeweils nur eine Ebene überdecken, bedingt die Übergabe von Ladungsträgern oder der Ebenenwechsel eines Shuttles einen zusätzlichen Vertikalumsetzer (Shuttle-Lift, vgl. Abb. 1), der das Shuttle aufnehmen und in eine andere Ebene oder den Übergabepunkt transferieren kann. Die Systemleistung wird wesentlich durch die Anzahl der Shuttles sowie die Leistungen des Vertikalumsetzers sowie der Heber im Ein- und Auslagerstrang bestimmt. Für Hochleistungssysteme lassen sich mittels Umlaufhebern in bestimmten Konfigurationen Leistungen in einem Bereich von 1.000 DS/h pro Gasse erzielen.

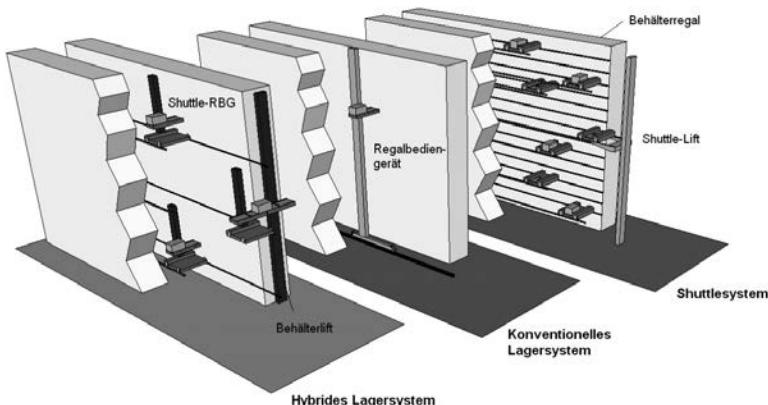


Bild 1: Gegenüberstellung der Systeme

Klein-RBG stellt eine hybride Lösung dar, welche die funktionalen Eigenschaften beider Systeme kombiniert. Entspricht ein Klein-RBG im Aufbau grundsätzlich einem konventionellen Gassengerät, erlaubt die geringe Bauhöhe den Einsatz mehrerer Geräte in einer Gasse übereinander. Die Ver- und Entsorgung der Ladungsträger in einer Arbeitsebene erfolgt wie bei Shuttle-Systemen, und auch ein Ebenenwechsel einzelner Klein-RBG ist möglich.

Die in einem AKL mit mehreren Klein-RBG erzielbare Leistung liegt zwischen derjenigen eines konventionellen AKL und der eines Shuttlelagers, wobei die unterschiedliche Dynamik der Geräte und der spezifische Arbeitsraum im Rahmen dieses Beitrages detaillierter betrachtet werden, um gleichsam eine Entscheidungshilfe bei der Projektierung zu schaffen.

3. Gerätekonzept Klein-RBG

Weisen konventionelle Regalbediengeräte typischerweise Hubhöhen bis hin zu etwa 20 m auf, ist die Hubhöhe bei einem Klein-RBG auf wenige Behälterebenen im Regal beschränkt. Bei dem von Klinkhammer entwickelten KlinCAT werden bei einer Hubhöhe von ca. 1,4 m bis zu sechs Behälterebenen erreicht. Das Lastaufnahmemittel des Geräts ist für zwei Behälter mit dem Grundmaß 600 x 400 mm bei einem Maximalgewicht von jeweils 50 KG pro Behälter ausgelegt. Die geringe Höhe ermöglicht eine kompakte, steife Konstruktion und den Einsatz eines spielfreien Spindelantriebs für den Hubmechanismus (vgl. Abb. 2).

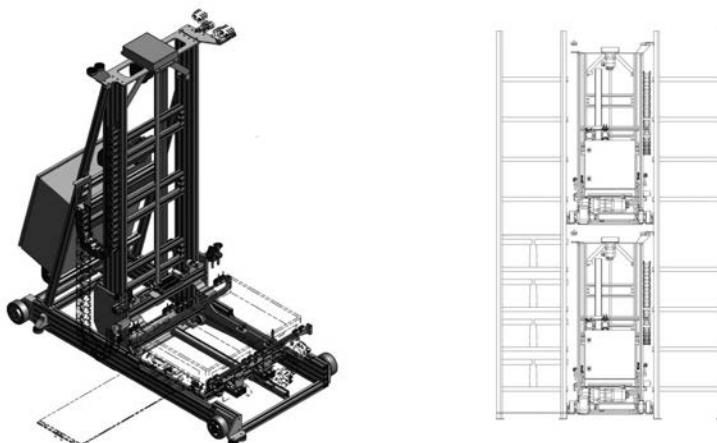


Bild 2: Klein-RBG KlinCAT

Der Fahrantrieb in der x-Achse ist als Reibradantrieb auf seitlich an den Regalkörper montierten Fahrschienen ausgeführt. Bezogen auf das Gerätegewicht beträgt der Nutzlastfaktor beim KlinCAT etwa 35%. Ein konventionelles RBG mit einer Bauhöhe von 12 m weist demgegenüber einen Faktor von etwa 5% auf, für ein einzelnes Shuttlefahrzeug sind etwa 50% anzunehmen.

Lagekorrekturmechanismen für eine eventuelle Pendeldämpfung sind hier auf ein Minimum reduziert und tragen zu einer ebenfalls reduzierten Zykluszeit des Lastaufnahmemittels bei Aufnahme und Abgabe von Ladungsträgern bei. Aufgrund der insgesamt leichteren Konstruktion sind Fahr- und Hubmotor mit geringeren Antriebsleistungen verwendet. Das Energiezuführungskonzept über Schleifleitungen vernetzt alle Antriebe in einer Gasse, um Rekuperation bzw. Rückspeisung zu ermöglichen.

Der bei mehrfach übereinander angeordneten Klein-RBG im Regal auftretende Leerraum zwischen der oberen Behälterebene eines Gerätes und der nächstunteren Behälterebene des darüber befindlichen Gerätes ist durch ein geringstmögliches unteres Anfahrmaß des KlinCAT optimiert (vgl. Abb. 2 rechts).

4. Leistungsbestimmung von Shuttlesystemen

Als dynamische Parameter können für die Leistungsermittlung der drei Bediengerätekonzepte die in Tabelle 1 aufgelisteten Beschleunigungen und Geschwindigkeiten für die Fahr- und Hubachse sowie die LAM-Zykluszeiten angenommen werden.

Tabelle 1: Fahrparameter von Regalbediengeräten und Shuttlesystemen

Parameter	RBG	Shuttle	Klein-RBG*	Shuttle-Lift
v_x, max	5 m/s	2 m/s	4 m/s	na
a_x	3 m/s ²	2 m/s ²	2 m/s ²	na
v_y, max	3 m/s	na	0,5 m/s	1 m/s
a_y	2 m/s ²	na	1 m/s ²	1 m/s
t_{LAM}	3s	3s	3s	8s

* angegeben sind Fahrparameter des KlinCAT

Fahrparameter der für Shuttlesysteme und Klein-RBG erforderlichen Behälter-Lifte sollen ergänzend als identisch zum Hubantrieb eines konventionellen RBG angenommen werden.

Bei gegebenen Gassenparametern wird die Leistung von Regalbediengeräten gemäß FEM 9.851 [1] und diejenige von Shuttlesystemen in Kombination mit Shuttle- und Behälter-Liften gemäß VDI-Richtlinie 2692 [2] berechnet. Für ein Klein-RBG wie das KlinCAT ist anhand der Fahrparameter ersichtlich, dass der Hub gegenüber der Horizontalfahrt als leistungsbestimmender Einfluss weitgehend vernachlässigt werden kann. Wie in der VDI-Richtlinie 2692 auch angemerkt, weisen Klein-RBG demnach im Arbeitsbereich eine zu Shuttlesystemen vergleichbare Charakteristik auf, und sind in der hier betrachteten Gerätegröße als Shuttles mit Hubvorrichtung zu behandeln.

Neben der in der VDI-Richtlinie 2692 hergeleiteten Berechnung der Spielzeit unter Einfluss von Ebenenwechseln auf den Durchsatz λ_s eines einzelnen Shuttles verweist die Richtlinie auch auf die Möglichkeit, das System aus Shuttle und Shuttle-Lift näherungsweise auch

durch Berechnungsvorschriften für Kanalläger gemäß VDI-Richtlinie 4480 [3] zu beschreiben. Auf diese Weise wird über ähnliche Anfahrpunkte eine Vergleichbarkeit mit der Spielzeitberechnung von RBG hergestellt.

5. Modell der Energieaufnahme

Eine modellbasierte Bestimmung der Energieaufnahme von Antrieben in intralogistischen Systemen ist Gegenstand einschlägiger Veröffentlichungen (u.a. [4]). Die bekannten Modelle basieren auf der Bestimmung der mechanischen Energie zur Beschleunigung und konstanten Bewegung der Massenanteile einer Achse. Voneinander unabhängig können so horizontal bzw. vertikal überlagerte Teilbewegungen eines Bediengerätes abgebildet werden. Anhand realer Wirkungsgrade der Komponenten einer Achse wird dann die elektrische Energieaufnahme des Gesamtgerätes in einem FEM-Spiel errechnet.

Maßgebliche Einflussgrößen der Energieaufnahme sind im Zusammenspiel mit den Fahrparametern das bewegte Leergewicht $m_{F,leer}$ eines Bediengerätes und die Nutzlast (Behältergewicht) m_B . Bei konventionellen und Klein-RBG ist das Gewicht m_{LAM} des vertikal bewegten Lastaufnahmemittels zu betrachten, für Shuttlesysteme und Klein-RBG zusätzlich noch die Lastaufnahmemittel der Shuttle- bzw. Behälterlifte mit $m_{SL,LAM}$ und $m_{BL,LAM}$.

Tabelle 2: Bewegte Massen an Regalbediengeräten und Shuttlesystemen

Parameter	RBG	Shuttle	Klein-RBG
$m_{F,leer}$	2.500 Kg	100 Kg	300 Kg
m_B	30 Kg	30 Kg	30 Kg
m_{LAM}	100 Kg	na	80 Kg
$m_{SL,LAM}$	na	80 Kg	120 Kg
$m_{BL,LAM}$	na	60 Kg	60 Kg

Mit den in Tabelle 2 angegebenen Gewichtskräften sind die Anteile der Beschleunigungsarbeit in einem Doppelspiel für einen Vergleich der Energiebedarfe zu ermitteln. Für ein Doppelspiel werden hier die Anfahrkoordinaten eines FEM-Spieles nach Fall 1 angenommen.

Da die im Folgenden betrachteten Lagerkonfigurationen der Shuttlesysteme nicht in jeder Ebene ein Shuttlegerät vorsehen, ist ein Versetzen des Gerätes auf die jeweilige Ebene der

in einem Spiel anzufahrenden FEM-Koordinaten zugrunde gelegt. In einem Spiel vollzieht ein konventionelles Regalbediengerät dann horizontal und vertikal drei Beschleunigungs- und Verzögerungsvorgänge, ggf. mit dazwischenliegenden Fahrten bei konstanter Geschwindigkeit und entsprechender Hub- bzw. Bewegungsarbeit. Ein Shuttle vollzieht in der Ebene demgemäß zwei Beschleunigungsphasen, im Gesamtspiel vier. Für den Shuttle-Lift sind wie beim RBG und beim Mini-RBG drei vertikale Beschleunigungsvorgänge anzusetzen, wobei diese Anteile beim Mini-RBG zusätzlich noch auf den Shuttle-Lift und das LAM aufzuteilen sind.

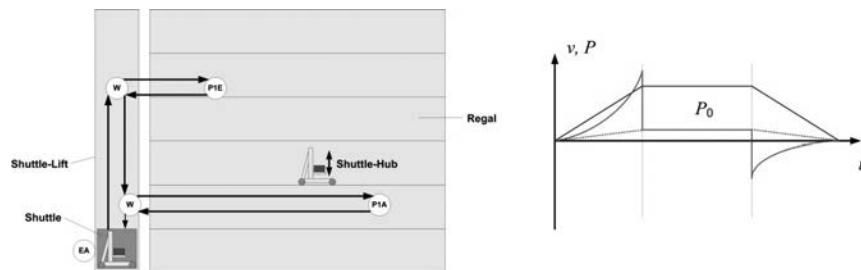


Bild 3: Fahrtenfolge Shuttle

Die Bewegungsabschnitte zwischen dem Übergabepunkt (EA), den Wechelpunkten (W) sowie den anzufahrenden Lagerkoordinaten für die Ein- (P1E) und die Auslagerung (P1A) zeigt Bild 3. Im rechten Teil des Bildes ist der Verlauf der Geschwindigkeit und der Antriebsleistung in den Phasen der Beschleunigung bzw. Verzögerung und der Konstantfahrt für eine Horizontalachse qualitativ dargestellt.

Für die elektrische Energieaufnahme in den Bewegungsabläufen werden die folgenden Formeln verwendet:

$$W_{B,el} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \cdot \eta^{-1} \quad (1)$$

$$W_{V,el} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \cdot \eta \quad (2)$$

Dabei ist m die bezogene Masse, und η der Gesamtwirkungsgrad der betreffenden Achse. Zu bemerken ist die Reduktion der gewandelten Beschleunigungsenergie bei der Verzögerung.

Für den - je nach Distanz anrechenbaren - Konstantfahrtanteil wird bei einer Horizontalfahrt zur Überwindung der Reibungskräfte ein Betrag von rund 10% der maximalen mechanischen Leistung veranschlagt.

Bei Konstantfahrt in der Vertikalbewegung ist neben Reibungskräften die Gewichtskraft zu überwinden und damit eine höhere Leistung erforderlich. Da die in Tabelle 1 angegebene Relativbeschleunigung der Hubwerke mit 1 bzw. 2 m/s² gegenüber der Erdbeschleunigung vergleichsweise gering sind, ist für die Konstantfahrt ein Betrag zwischen 85% und 90% anzusetzen.

6. Modellbasierter Vergleich

In einem Vergleich der drei Regalbedienkonzepte werden hier exemplarisch eine Geräteanzahl mit vergleichbarer resultierender Leistung d.h. Behälterdurchsatz des Gesamtsystems sowie eine entsprechend dimensionierte Regalanordnungen mit vergleichbarer Ladingsträgerkapazität für Behälter 600 x 400 x 320 mm betrachtet. Für alle Varianten werden eine identische Regalhöhe von 12 m mit einfacher Fachtiefe und Behälterorientierung in Längsrichtung (Fachbreite 420mm) festgelegt.

Tabelle 3: Ausgewählte Kombinationen von Kapazität und Durchsatz

Kombination	Kapazität	Durchsatz	Kombination	Kapazität	Durchsatz
Fall 1	5.000	300 DS/h	Fall 5	10.000	900 DS/h
Fall 2	5.000	600 DS/h	Fall 6	20.000	600 DS/h
Fall 3	10.000	300 DS/h	Fall 7	20.000	900 DS/h
Fall 4	10.000	600 DS/h	Fall 8	20.000	1200 DS/h

Die betrachteten Kombinationen zeigt Tabelle 3 auf. Aus dem geforderten minimalen Durchsatz lässt sich bei vorgegebener Regalhöhe eine eindeutige Regaldimensionierung nur für RBG-Systeme ableiten.

Im Unterschied dazu können bei Shuttlesystemen theoretisch Gassen- und Shuttleanzahl variiert werden, dabei aber zu einer unpraktikablen Lösung führen. Für Shuttlesysteme wird in den betrachteten Fällen eine Regaldimensionierung gewählt, die derjenigen des RBG möglichst nahe kommt und gleichzeitig nahe an den Durchsatzanforderungen liegt („best-

fit“). Ein Gassenwechsel ist in keinem der drei Bedienkonzepte vorgesehen, die Anzahl von Shuttlefahrzeugen wird im Hinblick auf die gleichmäßige Auslastung aller Gassen daher jeweils als Vielfaches der Gassenanzahl gewählt (vgl. Tab. 4) und führt auf einen Gesamt durchsatz λ_{GES} als Summe der einzelnen Geräteleistungen. Die Geräteleistung ist gemäß Abschnitt 4 bestimmt.

Tabelle 4: Resultierende Konfigurationen

	RBG			Shuttle			Mini-RBG		
	x	Gassen / Geräte	λ_{GES}	x	Gassen / Geräte	λ_{GES}	x	Gassen / Geräte	λ_{GES}
Fall 1	32	3/3	471	31	3/12	468	35	3/6	486
Fall 2	24	4/4	620	23	4/16	656	26	4/8	680
Fall 3	64	3/3	411	62	3/12	360	69	3/6	444
Fall 4	48	4/4	600	62	3/18	666	52	4/8	616
Fall 5	32	6/6	942	37	5/25	975	35	6/12	972
Fall 6	77	5/5	690	74	5/25	625	83	5/10	670
Fall 7	55	7/7	1.001	53	7/35	1.015	60	7/14	1.036
Fall 8	48	8/8	1.200	46	8/40	1.240	52	8/16	1.232

alle Durchsatzangaben gerundet

Der hier an ausgewählten Stützpunkten diskutierte Vergleich der Lagerkonfiguration für verschiedene Bedienkonzepte ist als geschlossene Lösung beschreib- und damit – beispielsweise in Verbindung mit einer Kostenfunktion - auch über einen größeren Parameterraum anwendbar.

Zusätzlich lässt sich für die gezeigten Fälle der Energieumsatz der Bediengerätesysteme pro Zeiteinheit bestimmen. Aus Gründen der Vergleichbarkeit wird der pro Fall angegebene Mindestdurchsatz (vgl. Tab. 3) als Berechnungsgrundlage verwendet. Mit den in den Abschnit-

ten 4 und 5 aufgestellten Parametern bzw. Formeln erhält man in einem Betrachtungszeitraum die in nachstehender Grafik gezeigten relativen Energieverbräuche:

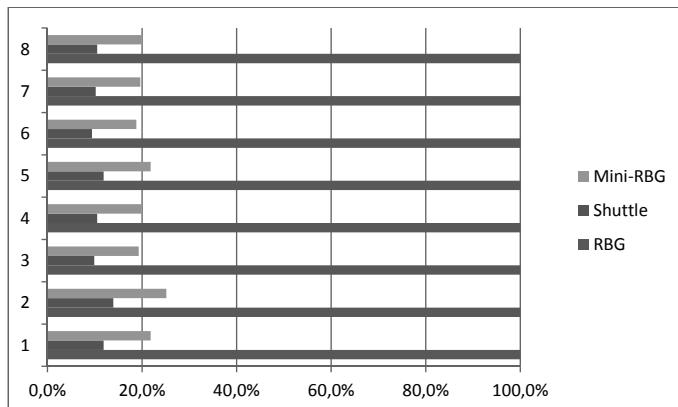


Bild 4: Energieumsätze

Das Verhältnis zwischen Mini-RBG und Shuttle ist in den vorliegenden Fällen auf den Einsatz eines Shuttle-Liftes und den Verzicht auf Behälter-Lifte zurückzuführen. Bei einem hier nicht betrachteten Vollausbau beider Systeme würden anstelle eines Shuttle-Liftes die Behälter-Lifte mit geringeren Massen bewegt und damit die Energieverbräuche der vertikalen Behältertransporte annähern.

7. Fazit und Ausblick

In dem vorliegenden Beitrag sind drei Bedienkonzepte für automatische Kleinteilelager im Hinblick auf Leistung und Energieumsatz untersucht worden. Sind Shuttlesysteme gegenüber konventionellen Regalbediengeräten im erzielbaren Durchsatz und auch im Energieumsatz prinzipbedingt vorteilhafter, ist bei der Systemwahl zwischen Investitionen und Betriebskosten abzuwagen. Eine unter diesen Aspekten zu betrachtende Alternative sind Klein-RBG als Shuttlesysteme mit vertikalem Hub insbesondere in mit ebenengebundenen Shuttles vergleichbaren Leistungsbereichen.

Literatur

- [1] FEM-Richtlinie 9.851: Leistungsnachweis für Regalbediengeräte – Spielzeiten, Juni 2003
- [2] VDI-Richtlinie 2692: Shuttle-Systeme für kleine Ladeeinheiten, März 2015
- [3] VDI-Richtlinie 4480, Blatt 4: Durchsatz von automatischen Lagern mit mehrfachtiefer Lagerung, Juli 2002
- [4] Bruns, R., Günthner, W., Furmans, K.: Analyse und Quantifizierung der Umweltauswirkungen von Fördermitteln in der Intralogistik, 2012

Geometrieoptimierung von Shuttle-Systemen mit Hilfe eines analytischen Berechnungsmodells

Dipl.Ing. **Michael Eder**,
Univ.Prof. Dipl.Ing. Dr. **Georg Kartnig**,
Institut für Konstruktionswissenschaften
und Technische Logistik TU Wien



Kurzfassung

Shuttle-Systeme werden in Hochleistungshochregallagern verwendet. Jede Ebene in so einem Lager wird von einem Shuttle bedient. An der Stirnseite des Lagers befindet sich jeweils ein Lift für das Ein- bzw. Auslagern. Zwischen Liften und Shuttles befinden sich in jeder Ebene ein oder mehrere Pufferplätze. Zu diesem Thema wurde von uns bereits beim 24. VDI Materialflusskongress ein Modell für die Berechnung der Umschlagleistung vorgestellt. Dieses Modell wurde nun um die Möglichkeit einer geometrischen Optimierung hinsichtlich der Umschlagleistung bei gegebenen Lagerplatzzahl erweitert. Dies kann nicht nur für einfachtiefe Lager erfolgen, sondern auch für mehrfachtiefe. Die Relevanz dieses Themas für Shuttle-Systeme liegt darin begründet, dass die Abmessungen (LxBxH) eines Shuttle-Systems Umschlagleistung und Raumnutzungsgrad entscheidend beeinflussen. Auf Basis dieses erweiterten Berechnungsmodells lassen sich nun auch die Kosten für Shuttle-Systeme abschätzen. So können Shuttle-Systeme geplant werden, die maximale Umschlagleistung bei minimalen Kosten aufweisen.

1. Einleitung und Aufgabenstellung

In der vorliegenden Arbeit wurde das nachfolgend beschriebene Shuttle-System hinsichtlich Umschlagleistung und optimaler Lagergeometrie untersucht. Die Berechnungen erfolgten analytisch und wurden mittels diskreter Simulation validiert. [2,3]

Im Einzelnen wurden folgende Forschungsfragen behandelt werden:

- Ermittlung der Umschlagleistung bei mehrfachtiefer Lagerung in Abhängigkeit vom Lagerfüllgrad

- Was ist – bei gegebener Lagerkapazität – die optimale Lagergeometrie hinsichtlich Umschlagleistung in Abhängigkeit von der Lagertiefe?
- Welche Investitionssumme können diesen Lagergeometrien zugewiesen werden?

2. Beschreibung des untersuchten Shuttle-Systems

Das hier behandelte Shuttle-System ist eines mit Behälterlift. An der Stirnseite des Regals befinden sich die Lifte, jeweils ein Lift für das Einlagern und einer für das Auslagern. Jeder Lift und auch die Shuttle-Fahrzeuge besitzen je ein Lastaufnahmemittel. Die Lifte führen Einzelspiele aus, die Shuttles Doppelspiele bzw. falls erforderlich Einzelspiele. An der Übergangsstelle zwischen den Shuttles und den Liften befindet sich in jeder Ebene je ein Pufferplatz für das Einlagern und für das Auslagern. Bild 1 zeigt diesen Lageraufbau.

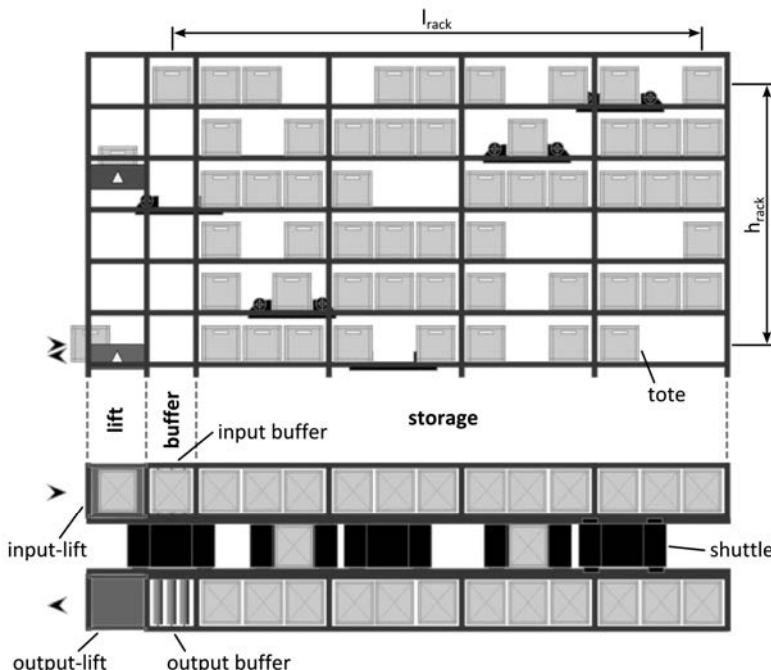


Bild 1: Aufbau des untersuchten Shuttle-System [4]

3. Analytische Berechnung der Umschlagleistung für Einfachtiefe Lagerung

Für die Ermittlung der Umschlagleistung wird der Einlagerprozess betrachtet. Nachdem der Auslagerprozess zwar in umgekehrter Richtung aber ansonsten gleich abläuft, gelten die Ergebnisse auch für diesen.

Die folgenden Betrachtungen beziehen sich immer nur auf eine Ebene des betrachteten Shuttle-Systems. Eine solche Ebene kann hinsichtlich der Warteschlangentheorie als ein offenes Warteschlangenmodell mit beschränkter Kapazität betrachtet werden. Zur Vereinfachung der Berechnung wird ein offenes M|M|1|K-Modell verwendet. Sowohl die Ankunftsrate als auch die Bedienrate seien als exponentialverteilt angenommen.

Der Durchsatz ϑ für ein solches Modell ergibt sich nach [1] zu:

$$\vartheta = \frac{1}{t_a} \cdot \frac{1 - \rho^K}{1 - \rho^{K+1}} \quad (1)$$

ϑUmschlagleistung einer Regalebene

t_aZwischenankunftszeit in der jeweiligen Regalebene

ρAuslastungsgrad einer Regalebene

KKapazität einer Regalebene

Der Auslastungsgrad ρ einer Ebene errechnet sich als Quotient aus Ankunftsrate λ und Bedienrate μ oder als Quotient aus Bedienzeit t_b und Zwischenankunftszeit t_a :

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{t_b}{t_a} \quad (2)$$

t_bBedienzeit durch das Shuttle

λAnkunftsrate in die Regalebene

μBedienrate der Regalebene

Die mittlere Zwischenankunftszeit t_a lässt sich aus der Spielzeit der Lifte errechnen. Die Bedienzeit t_b ist gleichbedeutend mit der Spielzeit der Shuttles. Der Faktor K in Gleichung 1 beschreibt die Kapazität des betrachteten Systems und setzt sich aus der Anzahl der Pufferplätze und der Ladeplätze pro Shuttle zusammen. Im vorliegenden Fall gilt $K=2$.

Um die Umschlagleistung des gesamten Shuttle-Systems zu erhalten, muss die Umschlagleistung einer Ebene mit der Anzahl der Ebenen multipliziert werden.

$$\vartheta_{\text{system}} = \vartheta \cdot n_{\text{Ebenen}} \quad (3)$$

$\vartheta_{\text{system}}$Umschlagleistung des gesamten Shuttle-Systems

n_{Ebenen}Anzahl der Regalebenen

Die Richtigkeit dieses Berechnungsansatzes wurde bereits in [2] und [3] nachgewiesen. Den nachfolgenden Berechnungen liegen die Daten entsprechend Tabelle 1 zugrunde. Dabei sind die Totzeiten in den Be- und Entladezeiten enthalten.

Tabelle 1: Kinematischen Daten des Shuttle-Systems.

Lift:	Shuttle:
Geschwindigkeit $v_{\text{Lift}} = 5 \text{ m/s}$	Geschwindigkeit $v_{\text{Shuttle}} = 2 \text{ m/s}$
Beschleunigung $a_{\text{Lift}} = 7 \text{ m/s}^2$	Beschleunigung $a_{\text{Shuttle}} = 2 \text{ m/s}^2$
Beladezeit $t_{\text{BeladenLift}} = 1,4 \text{ s}$	Beladezeit $t_{\text{BeladenShuttle}} = 4,4 \text{ s}$
Entladezeit $t_{\text{EntladenLift}} = 1,4 \text{ s}$	Entladezeit $t_{\text{EntladenShuttle}} = 4,0 \text{ s}$

Bild 2 zeigt die Ergebnisse, die für das beschriebene Shuttle-System mit diesem Berechnungsansatz berechnet wurden. Man sieht ein ausgeprägtes Maximum bei Höhen zwischen 6 und 12 m.

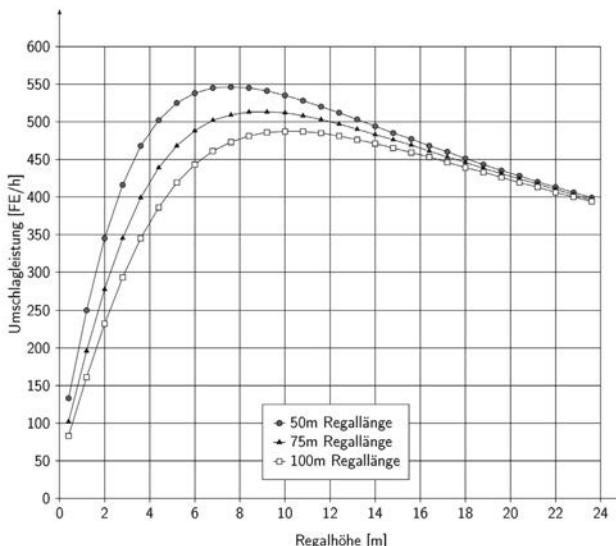


Bild 2: Umschlagleistung eines Shuttle-Systems über die Lagerhöhe

4. Analytische Berechnung der Umschlagleistung für doppelt tiefe Lagerung

Für mehrfachtiefe Regale kann im Wesentlichen derselbe Berechnungsansatz verwendet werden. Allerdings sind zusätzliche Umlagerzeiten – abhängig von Lagerfüllgrad und unterschiedlichen Be- und Entladezeiten je nach Position des Behälters im Regal – zu berücksichtigen (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2: Be- und Entladezeiten bei mehrfachtiefen Regalen.

Shuttle:
Beladezeit $t_{BeladenShuttle} = 4,4 - 9,0 \text{ s}$
Entladezeit $t_{EntladenShuttle} = 4,0 - 17,2 \text{ s}$

Im Allgemeinen kann die Berechnung der Shuttle-Spielzeit mit Doppelspiel in folgende Punkte gegliedert werden, die nacheinander abgearbeitet werden müssen:

- Erwartungswert für Be- und Entladezeiten der Shuttles ohne Umlagern
- Wahrscheinlichkeit, dass ein Umlagern erforderlich ist
- Erwartungswert des Weges, um den umgelagert werden muss
- Erwartungswert der Be- und Entladezeiten beim Umlagern

- Erwartungswert für die Fahrzeit beim Umlagern
- Erwartungswert der Zwischenankunftszeit = die Bedienzeit für die Berechnung der Umschlagleistung

Erwartungswert für Be- und Entladezeiten der Shuttles ohne Umlagern

Im Folgenden ist mit Be- und Entladen immer das Be- und Entladen des Shuttles gemeint. Die Übergabezeiten sind abhängig von der Behälterposition innerhalb eines Lagerslots. (Tabelle 2)

Nachfolgende Gleichung beschreibt den Erwartungswert der Zeit für das Be- und Entladen des Shuttles bei doppeltiefer Lagerung.

$$E(t_{Be-Entladezeit}) = t_{Beladen_Puffer} + f \cdot t_{Entladen_Regal-1} + (1-f) \cdot t_{Entladen_Regal-2} + \\ f \cdot t_{Beladen_Regal_voll} + (1-f) \cdot t_{Beladen_Regal-1} + t_{Entladen_Puffer} \quad (4)$$

$t_{Beladen_Puffer}$ Beladezeit aus dem Puffer

$t_{Entladen_Regal-1}$ Entladezeit in ein Regalfach, wo der erste Platz nicht belegt ist

$t_{Entladen_Regal-2}$ Entladezeit in ein Regalfach wo kein Platz belegt ist

$t_{Beladen_Regal_voll}$ Beladezeit aus einem vollen Regalfach

$t_{Beladen_Regal_1}$ Beladezeit aus einem Regalfach wo der erste Platz nicht belegt ist

$t_{Entladen_Puffer}$ Entladezeit in dem Puffer

f.... Lagerfüllgrad

Der erste Term steht für das Beladen aus dem Puffer, der zweite steht für das Entladen in den vorderen Platz eines Lagerslots. Dieser Term beinhaltet die Wahrscheinlichkeit (f), dass der hintere Lagerslot belegt ist. Der dritte Term dieser Gleichung stellt die Zeit für das Entladen in die hintere Position des Lagerslot dar. Diese beinhaltet die Wahrscheinlichkeit (1-f), dass dieser frei ist. Der vierte Term steht für die Zeit für das Beladen aus einem vollen Regal. Dieser beinhaltet die Wahrscheinlichkeit (f), dass diese befüllt ist. Der fünfte Term steht für die Zeit des Beladens aus dem hinteren Platz eines Lagerslots. Dieser beinhaltet die Wahrscheinlichkeit (1-f), dass der erste Platz nicht belegt ist. Der letzte Term steht für die Zeit des Entladens in den Output-Puffer. Bei der gesamten Gleichung wird angenommen, dass beim Entladen in einen Lagerslot immer ein freier Platz vorhanden ist und dass beim Beladen aus einem Slot immer eine Fördereinheit vorhanden ist. In Bild 3 sind die einzelnen

Terme grafisch dargestellt. Die Zahl in den Fördereinheiten spiegelt den Term in der Gleichung wider.

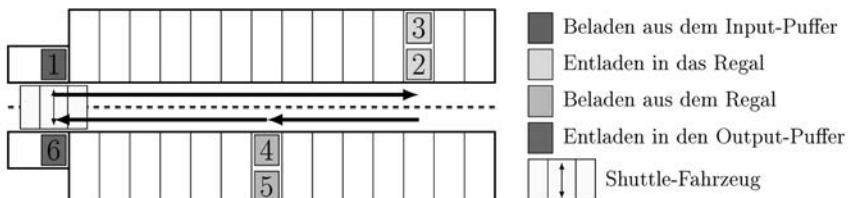


Bild 3: Draufsicht auf ein gefülltes Lager beim Be- und Entladen

Wahrscheinlichkeit, dass ein Umlagern erforderlich ist:

Nachfolgende Gleichung gibt bei doppelt tiefer Lagerung die Wahrscheinlichkeit an, dass ein Umlagern erforderlich ist.

$$w_{Umlagern} = \frac{1}{2} f^2 \quad (5)$$

Sie beinhaltet die Wahrscheinlichkeit, dass sich zwei Behälter in dem Lagerslot befinden (f^2). Diese wird noch mit der Wahrscheinlichkeit, dass der hintere Behälter genommen wird (1/2), multipliziert. In Tabelle 3 sind die Wahrscheinlichkeiten für die Anzahl an Fördereinheiten je Lagerslot aufgetragen sowie die Wahrscheinlichkeiten für die Anzahl der Umlagervorgänge. Diese Tabelle kann für höhere Lagertiefen erweitert werden. Daraus kann die Gleichung für die Wahrscheinlichkeit der Umlagervorgänge, entsprechend Gleichung 5, abgeleitet werden.

Tabelle 3: Wahrscheinlichkeit für Umlagern bei zweifachtiefer Lagerung.

Anzahl j der Fördereinheiten pro Lagerslot	Wahrscheinlichkeit, dass sich j Behälter im Lagerslot befinden	Wahrscheinlichkeit, dass Umlagern nicht erforderlich ist	Wahrscheinlichkeit, dass Umlagern erforderlich ist
0	$(1-f)^2$	0	0
1	$2 \cdot f \cdot (1-f)$	1	0
2	f^2	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$

Um die Zeit, die für das Umlagern benötigt wird, zu erhalten, muss noch die Fahrstrecke für das Umlagern errechnet werden.

Erwartungswert des Weges, um den umgelagert werden muss:

Zuerst werden hier die Wahrscheinlichkeiten für die Anzahl der Fächern, um die verfahren werden muss, berechnet und diese zum Schluss aufsummiert.

Im Bild 4 ist zu sehen, wie sich die einzelnen Gleichungen für den Umlagerweg ergeben. Kreuzschafrifft ist der Behälter dargestellt, der ausgelagert werden soll. Die vertikal schraffierte Fördereinheit steht ihm im Weg und muss umgelagert werden.

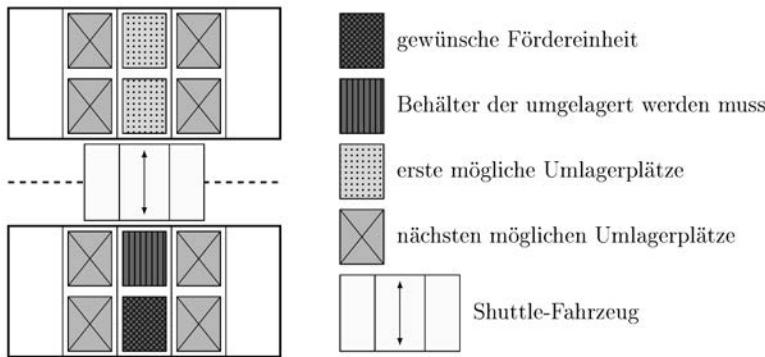


Bild 4: Draufsicht auf ein gefülltes Lager beim Umlagern

Die erste mögliche Umlagerposition ist der Lagerslot genau gegenüber dem Fach, aus dem der Behälter ausgelagert werden soll (gepunktet). Die Wahrscheinlichkeit, dass in diesen

Slot umgelagert werden kann, ergibt sich aus der Wahrscheinlichkeit, dass dieser nicht vollständig befüllt ist:

$$w(0) = 1 - f^2 \quad (6)$$

Sollte dieser Slot komplett befüllt sein, muss um eine Position weiter gefahren werden (ausgekreuzt). Die Wahrscheinlichkeit, dass dieser Fall eintritt lässt sich mit folgender Gleichung berechnen.

$$w(1) = f^2 \cdot [1 - (f^2)^4] \quad (7)$$

w(1).... Wahrscheinlichkeit, dass um eine Position verfahren werden muss

Diese Gleichung enthält im ersten Term (f^2) die Wahrscheinlichkeit, dass der gegenüberliegende Slot befüllt ist und im zweiten Term $[1 - (f^2)^4]$ die Wahrscheinlichkeit, dass die vier angrenzenden Slots nicht komplett gefüllt sind.

Sind diese Slots ebenso befüllt, muss um zwei Fächer verfahren werden. Die Wahrscheinlichkeit dafür ergibt sich zu:

$$w(2) = (f^2)^4 \cdot f^2 \cdot [1 - (f^2)^4] \quad (8)$$

Diese Gleichung enthält wie schon die vorige die Wahrscheinlichkeit, dass der gegenüberliegende Lagerslot und die vier Nachbarfächer voll sind und die vier übernächsten Fächer nicht vollständig gefüllt sind.

Man erkennt aus diesen beiden obigen Gleichungen, dass sie bis auf den ersten Term gleich sind. Daraus lässt sich eine Summenformel für die mittlere Zahl an Fächern, um die verfahren werden muss, berechnen:

$$n_{Umlagerpositionen} = \sum_{n=1}^{20} n \cdot f^2 \cdot [1 - (f^2)^4] \cdot [(f^2)^4]^{n-1} \quad (9)$$

$n_{Umlagerpositionen}$mittlere Anzahl an Positionen, um die umgelagert werden muss

Die Summenformel wurde auf 20 begrenzt, da es bei weiterer Erhöhung zu keiner signifikanten Änderung des Ergebnisses mehr kommt. Das heißt, es ist sehr unwahrscheinlich, dass um mehr als 20 Fächer verfahren werden muss.

Erwartungswert der Be- und Entladezeiten beim Umlagern:

Nachfolgende Gleichung für das Be- und Entladen beim Umlagern entspricht im Wesentlichen der Gleichung für das Be- und Entladen ohne Umlagern (Gleichung 4) nur ohne die Zeiten für das Be- und Entladen der Puffer.

$$E(t_{Be-,Entladezeit_Umlagern}) = f \cdot t_{Beladen_Regal_voll} + (1-f) \cdot t_{Beladen_Regal-1} + f \cdot t_{Enladen_Regal-1} + (1-f) \cdot t_{Enladen_Regal-2} \quad (10)$$

$E(t_{Be-,Entladezeit_Umlagern})$... Erwartungswert der gesamten Be- und Entladezeit des Shuttle für ein Umlagerspiel

Erwartungswert für die Fahrzeit beim Umlagern:

Die Fahrzeit für das Umlagern ergibt sich aus der mittleren Wegzeit, der Zeit, die für das Beschleunigen benötigt wird und der Zeit für das Be- und Entladen beim Umlagern

$$E(t_{Umlagern}) = \frac{2 \cdot n_{Umlagerpositionen} \cdot \Delta x}{v_{Shuttle}} + 2 \frac{v_{Shuttle}}{a_{Shuttle}} + E(t_{Be-,Entladezeit_Umlagern}) \quad (11)$$

$E(t_{Umlagern})$ Erwartungswert der mittleren Zeit, die für ein Umlagerspiel benötigt wird

Δx Teilung des Regals in horizontaler Richtung

$v_{Shuttle}$ Geschwindigkeit der Shuttle

$a_{Shuttle}$ Beschleunigung der Shuttle

Erwartungswert der Zwischenankunftszeit = die Bedienzeit für die Berechnung der Umschlagleistung

Die Shuttle-Spielzeit der Shuttle mit Doppelspiel und Umlagern ergibt sich nach [3] zu:

$$E(t_{Shuttle}) = 1 \frac{1}{3} \frac{l_{Regal}}{v_{Shuttle}} + 3 \frac{v_{Shuttle}}{a_{Shuttle}} + E(t_{Be-,Entladezeit}) + w_{Umlagern} \cdot E(t_{Umlagern}) \quad (12)$$

$$E(t_{Shuttle}) \dots \text{Erwartungswert der Spielzeit der Shuttle für ein Doppelspiel mit Umlagern}$$

$$l_{Regal} \dots \text{Länge des Regals}$$

Das Ergebniss dieser Gleichung ist gleichzusetzen mit der Bedienzeit in der Berechnung der Umschlagleistung mit dem Warteschlangensystem $M|M|1|K$

$$t_b = E(t_{Shuttle}) \quad (13)$$

Die weitere Berechnung der Umschlagleistung erfolgt nach [3].

In Bild 5 sind die Spielzeiten einer Ebene mit doppeltiefer Lagerung eingetragen. Hier ist zu sehen, dass die Differenz zwischen Simulation und analytischer Berechnung sehr gering ist. Der mittlere quadratische Fehler bei Füllgraden von 10 bis 90 Prozent beträgt gerade einmal 0,76 Prozent. Bei Füllgraden von 10 bis 98 Prozent verringert sich die Fehlerquote auf 0,74 Prozent.

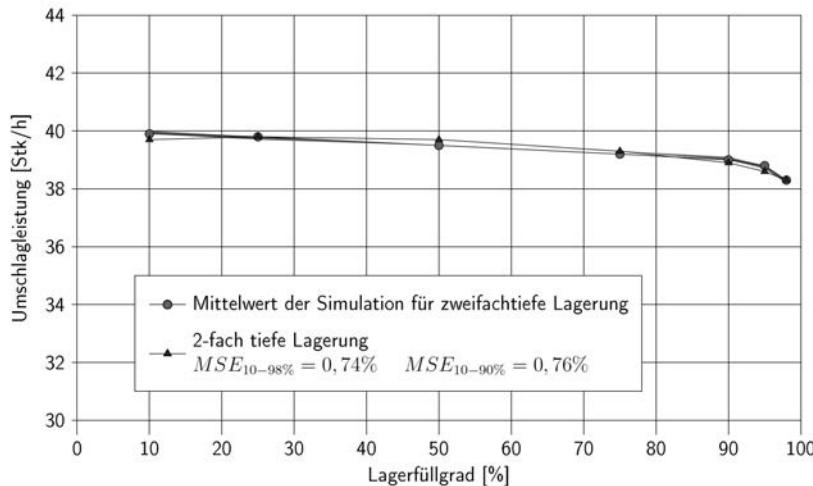


Bild 5: Spielzeit der Shuttle in einer Ebene über den Lagerfüllgrad

5. Ermittlung der idealen Lagergeometrie hinsichtlich der Umschlagleistung

Um nun die Geometrie des Lagers hinsichtlich Umschlagleistung zu optimieren, muss Gleichung 3 für jede einzelne Lagertiefe (einfachtief, zweifachtief, ... fünffachtief) einer linearen Optimierung unterzogen werden:

$$\frac{\partial \vartheta_{\text{system}}}{\partial l_{\text{Regal}}} = 0 \quad (14)$$

Bild 6 zeigt die Ergebnisse dieser Optimierung für Lagertiefen von 1 bis 5, bei einem Lagerfüllgrad von 95%. Man sieht hier, dass die optimale Länge der Lager mit steigender Lagertiefe stark abnimmt, wohingegen sich die Lagerhöhe nur um weniges verringert. Des Weiteren nimmt die Umschlagleistung (USL) bis zur dreifachtiefen Lagerung zu und bleibt danach annähernd konstant. Diese Resultate konnten bereits mittels Simulation bestätigt werden.

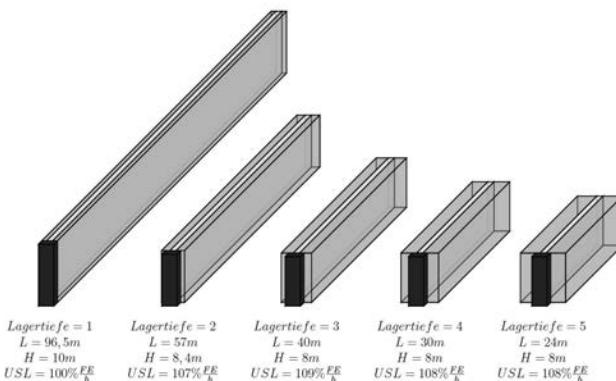


Bild 6: optimale Lagergeometrie in Abhängigkeit von der Lagertiefe bei konstanter Lagerplatzanzahl

6. Kostenanalyse bei mehrfachtiefen Lagern

Im Folgenden wird der Versuch unternommen, den Lagergeometrien Kosten zuzuweisen. Um die Kosten eines Lagers zu berechnen, wurden unter anderen folgenden Annahmen getroffen:

Preis je Lift = € 6000,- + € 2500,- je Lagerebene

Preis je Shuttle = € 3000,- + € 50,- je m Lagerlänge + progressive Kosten je Lagertiefe

Preis für Lagergrundfläche = € 300,- pro m²

Preis für Lagervolumen = € 1000,- pro m³

Ermittelt man nun alle oben erwähnten Kostenpunkte für die in Abschnitt 3 berechneten Lagerdimensionen, erhält man die benötigte Investitionssumme für das Lager bei jeweils maximaler Umschlagleistung. In Bild 7 sind diese Ergebnisse dargestellt. Man sieht hier, dass die Kosten bei dreifach tiefer Lagerung am niedrigsten sind. Der Rückgang der Kosten mit steigender Lagertiefe ist am stärksten von einfach auf zweifach tief, danach bleiben die Kosten relativ gleich. Diese Entwicklung spiegelt auch die Dimensionen des Lagers, die in Bild 3 dargestellt sind, wider. Auch hier sind Längen- und Höhenänderung von einfach tief auf zweifach tief am größten. Eine dezidierte Aussage, welche Lagertiefe die kostengünstigste ist, kann nicht getroffen werden, da die Kosten bei zwei- bis fünffach tiefer Lagerung sehr ähnlich sind. Klar ist nur, dass die einfach tiefe Lagerung die mit Abstand teuerste Variante darstellt.

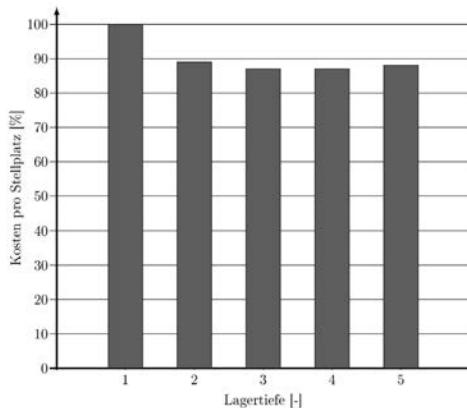


Bild 7: Kosten für ein Shuttle-System mit optimaler Geometrie für maximalen Durchsatz

7. Zusammenfassung und Ausblick

In der vorliegenden Arbeit wurde der analytische Ansatz für die Berechnung der Umschlagleistung von Shuttle-Systemen aus [2] und [3] um eine Optimierung der Lagergeometrie hinsichtlich Durchsatz und um eine Kostenabschätzung erweitert. Des Weiteren wurde ein genauer Einblick in die Berechnung der Umschlagleistung für mehrfach tiefe Lager gegeben. Die Ergebnisse der vorliegenden Berechnung zeigen, dass sich die höchste Umschlagleistung und die niedrigsten Kosten jeweils bei dreifach tiefer Lagerung ergeben. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen sollen in den nächsten Monaten noch weitere Berechnungsansätze für andere Shuttle-System-Konfigurationen (mehrfach hohe Shuttle, mehrere Lifte im Gesamtsystem,...) entwickelt werden, um so die gesamte Palette der angebotenen Systeme am Markt abzudecken.

8. Literaturangaben

- [1] Dieter Baum: Grundlagen der Warteschlangentheorie, Springer-Verlag, 2013
- [2] Georg Kartnig; Michael Eder: Spielzeitberechnung von Shuttle-Systemen, In: Tagungsband 24. VDI-Materialflusskongress, 2015
- [3] Michael Eder; Georg Kartnig: Throughput analysis of S/R shuttle systems and ideal geometry for high performance, In: Tagungsband XXI International Conference MHCL '15; 2015
- [4] Georg Kartnig; Jörg Oser: Throughput analysis of S/R shuttle systems, In: Progress in Material Handling: 2014

Intelligent routen, fördern und verteilen: Die Conveyor Matrix für die kognitive Produktion der Zukunft

Dr.-Ing. **Heiko Stichweh**, M. Sc. **Matthias Theßeling**,
Lenze SE, Hameln;
M. Sc. **Simon Sohrt**, Prof. Dr.-Ing. **Ludger Overmeyer**,
ITA, Hannover;
M.Sc. **André Heinke**, IPH, Hannover

Kurzfassung

Im Rahmen dieses Beitrags wird ein dezentral gesteuertes, intelligentes Materialflusssystem für die Produktion und Intralogistik vorgestellt. Die Aufgabe der Materialflussteuerung wird durch ein neuartiges Produktrouting realisiert, das dezentral in jedem Förderelement als integrierte Steuerung vorhanden ist und – im Austausch mit seinen jeweiligen Nachbarn – die Routenplanung der einzelnen Fördergüter durchführt. Aufgrund der dezentralen Intelligenz ist eine Erweiterung oder Anpassung der Produktionsanlage jederzeit ohne nennenswerten Konfigurationsaufwand möglich. Voraussetzung hierfür ist die durchgängige Vernetzung der einzelnen Förder- und Produktionsmittel, wodurch ein paralleler Fluss von Material und Informationen und eine Identifikation des Layouts der gesamten Anlage ermöglicht werden. Ein weiteres zentrales Kernelement ist die entscheidungsfähige Fördermatrix. Die Fördermatrix setzt sich aus kleinskaligen Fördermodulen zusammen, die – gesteuert durch das dezentrale Produktrouting – zu einer Flexibilisierung des Materialflusses beitragen. Im Zusammenspiel dieser Fördermodule können neben dem Transportieren, Ein- und Ausschleusen, Drehen und Puffern eine Vielzahl intralogistischer Funktionen gelöst werden. Für diese Fördermatrix wird eine antriebstechnische Lösung vorgestellt, die die Anforderungen hinsichtlich Funktionalität und Kompaktheit erfüllt.

1 Einleitung und Motivation

Die industrielle Produktion hat sich in den vergangenen 200 Jahren dramatisch verändert. Neben den klassischen Erfolgsfaktoren Qualität, Kosten und Zeit rücken die Faktoren Wandlungs-, Echtzeit- und Netzwerkfähigkeit von Produktionssystemen in den Fokus, um die gestiegenen Anforderungen hinsichtlich Produktvarianz, Losgröße, Produktlebensdauer usw. handhaben zu können. Heutige zentral gesteuerte Produktionssysteme genügen diesen Anforderungen jedoch nicht. Insbesondere bei verketteten Produktionssystemen sind Änderungen des Materialflusses oder die Erweiterung der Produktion um zusätzliche Anlagen nur mit

hohem Aufwand möglich. Zudem ist eine situationsabhängige Umplanung der Transportroute nur bedingt realisierbar. Ausfälle einzelner Systeme können daher zu einem kompletten Stillstand des Produktionssystems führen.

Ein ähnlicher Wandel ist auch im Umfeld der Intralogistik zu verzeichnen. Als Intralogistik wird hierbei die Organisation, Steuerung oder Regelung, Durchführung und Optimierung des innerbetrieblichen Materialflusses, der Informationsströme sowie des Warenaumschlags in Industrie, Handel und öffentlichen Einrichtungen bezeichnet [9]. Durch die Globalisierung des Handels und die Zunahme des E-Commerce wächst der Bedarf an effektiven und effizienten Logistikprozessen. Um einen reibungslosen Warenfluss sowie immer kürzere Lieferzeiten zu gewährleisten, wird die Anzahl an teil- und vollautomatisierten Lager- und Verteilsystemen in der Intralogistik zunehmen. Auch hier sind flexible, skalierbare Lösungsansätze gefragt, deren Leistungsfähigkeit mit vertretbarem Aufwand angepasst werden können, die eine höhere Robustheit gegenüber Ausfällen einzelner Systeme aufweisen und einen Beitrag zur Reduktion der Komplexität der Anlagen leisten [12].

Cyber-Physische Systeme (CPS) oder auch Cyber-Physische Produktionssysteme (CPPS), die eigenständig Informationen austauschen, Aktionen auslösen und sich gegenseitig selbstständig steuern, bieten Lösungsansätze, um den genannten Herausforderungen gerecht zu werden. Unter CPPS sind adaptive, sich selbst konfigurierende und teilweise dezentral selbstorganisierende, flexible Anlagen zu verstehen [10].

Im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Projektes „vernetzte, kognitive Produktionssysteme“ – kurz netkoPs - wird ein dezentral gesteuertes Materialflusssystem für die Produktion und Intralogistik entwickelt, das die Anforderungen eines CPPS erfüllt. Grundlage dieses neuen Materialflusssystems ist die durchgängige Vernetzung der Förder- und Produktionsmittel, die einen parallelen Fluss von Material und Informationen ermöglicht. Die Aufgabe der Materialflussteuerung wird durch ein neuartiges Produktrouting realisiert, das dezentral in jedem Förderelement als integrierte Steuerung vorhanden ist und – im Austausch mit seinen jeweiligen Nachbarn – die Routenplanung der einzelnen Fördergüter durchführt. Aufgrund der dezentralen Intelligenz ist eine Anpassung / Erweiterung des Layouts der Anlage jederzeit möglich, wobei auf eine übergeordnete, zentrale Materialflussteuerung verzichtet werden kann. Neben der Materialflussteuerung und der Vernetzung / Datenkommunikation stellt die entscheidungsfähige Fördermatrix ein Kernelement dieser cyber-physischen Fördertechnik dar. Die Fördermatrix trägt zur Flexibilisierung des Materialflusses bei und kann neben dem Transportieren, Ein- und Ausschleusen, Drehen, Sequenzieren eine Vielzahl intralogistischer Funktionen lösen.

2 Aufbau der dezentral gesteuerten Fördertechnik

Aus der Literatur kann entnommen werden, dass zukünftige Fördersysteme zum Einen modular aufgebaut sein sollten und zum Anderen sich das gesamte Fördersystem durch einfaches Zusammenfügen der einzelnen Förderelemente entstehen sollte [1]. Dezentrale Steuerungslösungen weisen hier gegenüber eher starren zentralen Steuerungsansätzen einen erheblichen Vorteil auf und ermöglichen eine einfache Anpassung des Layouts von Fördersystemen.

Im Projekt netkoPs wird ein derartiger Ansatz verfolgt. Die daraus resultierende Architektur des Fördersystems ist vereinfacht in der Bild 1 dargestellt. Jedes Förderelement innerhalb des Fördersystems sowie jede Produktions- bzw. Bearbeitungsmaschine wird hierbei als ein Modul verstanden und mit einem zusätzlichen netkoPs-Hardwaremodul ausgestattet. Diese Hardwaremodule sind parallel zum physischen Materialfluss untereinander vernetzt. Durch diese parallele Vernetzung ist während der Initialisierungsphase eine Rekonstruktion der gesamten Topologie des Fördersystems möglich.

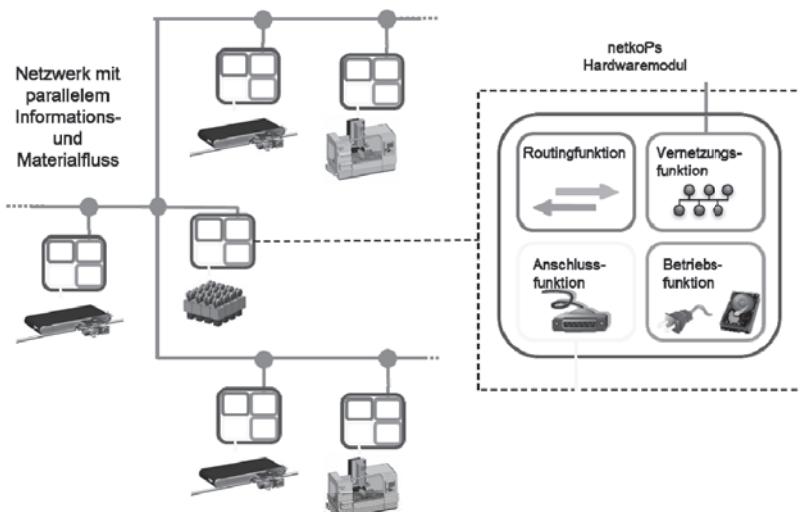


Bild 1: Darstellung eines netkoPs-Förder- bzw. Produktionssystems mit parallelem Informations- und Datenfluss nach [8]

Das Hardwaremodul wiederum bietet unterschiedliche Funktionen:

- 1.) Die Routingfunktionen ermöglichen eine dezentrale Steuerung des Materialflusses (siehe Abschnitt 3)
- 2.) Die Vernetzungsfunktionen setzen sich aus einer physikalischen Kommunikationsschnittstelle sowie einer standardisierten Datenschnittstelle zusammen (siehe Abschnitt 4).
- 3.) Die Betriebsfunktionen unterstützen bei der automatischen Vernetzung des gesamten Fördersystems sowie bei der Topologieerkennung. Ferner stellen sie Dienstleistungen bereit, die den Betrieb unterstützen.
- 4.) Die Anschlussfunktion realisiert die physikalische Schnittstelle zum Förderelement oder zur Produktions- bzw. Bearbeitungsmaschine. Über das Anschlussmodul können z.B. Steuerinformationen an die Förderelemente weitergegeben werden (z.B. Start eines Förderbands) oder auch Informationen zum individuellen Bearbeitungsauftrag (Informations schatten) weitergegeben werden. Im Gegensatz zu den ersten 3 genannten Funktionalitäten, die bei allen Förderelementen identisch sind, muss die Gestaltung der Anschlussfunktion sich individuell an den vorhandenen Schnittstellen des Förderelements oder der Produktions- bzw. Bearbeitungsmaschine orientieren. Weiterhin bietet die Anschlussfunktion Schnittstellen zum ERP-System.
- 5.) Als neues Element zur Flexibilisierung des Materialflusses wird die Fördermatrix eingeführt. Sie ermöglicht die Realisierung unterschiedlichster intralogistischer Funktionen (siehe Abschnitt 5).

In den folgenden Abschnitten werden die benannten Teifunktionen vorgestellt und näher erläutert.

3 Neuartige, dezentrale Materialflusssteuerung

Die Steuerung von wandlungsfähigen Förderkomponenten muss nach [1] folgende wesentliche Eigenschaften aufweisen:

- Jede Förderkomponente muss mit einer eigenen Steuerung ausgestattet sein, damit die Skalierbarkeit des Gesamtsystems garantiert werden kann. Die Steuerung des Gesamtsystems erfolgt somit dezentral durch die Kooperation der einzelnen Steuerungen.
- „What You See is What You Get“: Eine Veränderung des physischen Layouts der Förderanlage muss durch die Steuerungen selbstständig bemerkt werden und eine automatische Rekonfiguration auslösen.

Die im netkoPs-Projekt entwickelte Steuerung weist genau diese erforderlichen Eigenschaften auf: Jede Förderkomponente verfügt über eine eigene Steuerung, die sich selbstständig

rekonfiguriert, sobald eine Veränderung des Förderanlagenlayouts erfolgt. Im Rahmen des Projekts werden Steuerungsalgorithmen für Bandförderer und Matrix-Cluster entwickelt. Die Hardware ist für jede Förderkomponente baugleich und besteht aus einem Vernetzungsmodul, welches für die Kommunikation zu den benachbarten Förderkomponenten zuständig ist, und aus einem Routingmodul, welches Routen berechnet und die Antriebe der Förderkomponenten entsprechend ansteuert.

In [3] wird dargestellt, welche intralogistischen Funktionen durch das Routingmodul realisiert werden können. Die Grundlage für alle erweiterten intralogistischen Funktionen sind die Basisfunktionen „translatorische Bewegung“ und „Rotation“ (siehe Bild 2). Die notwendigen Schritte, um Pakete auf der Fördermatrix zwischenspeichern zu können, wurden in [2] und [4] dargestellt.

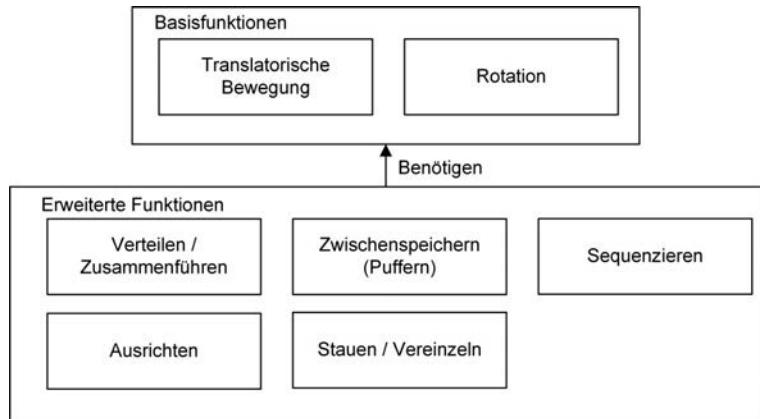


Bild 2: Intralogistische Funktionen der Fördermatrix [2]

Um die verschiedenen intralogistischen Funktionen durchführen zu können, durchläuft jedes Routingmodul die in der Bild 3 dargestellten Funktionsblöcke.

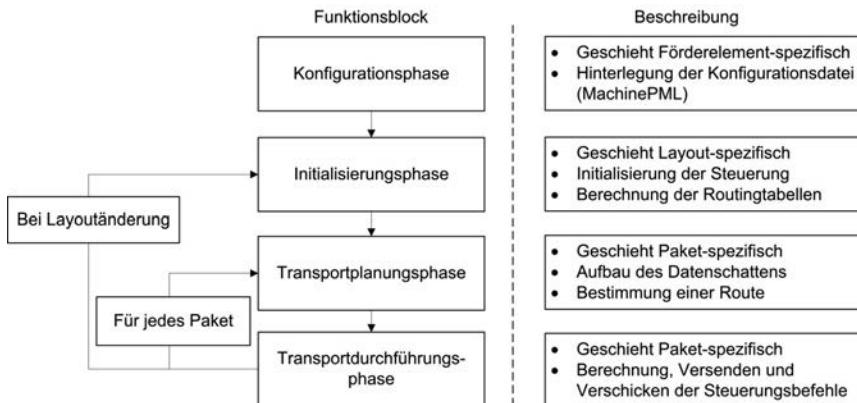


Bild 3: Funktionsblöcke der Steuerung, angelehnt an [3]

Beim Einschalten durchläuft jede Steuerung zunächst die Konfigurationsphase. Da die Steuerungen für alle Förderkomponenten hardwareseitig baugleich und mit der exakt gleichen Software ausgestattet sind, muss zunächst eine Konfigurationsdatei ausgelesen werden. Diese Konfigurationsdatei basiert auf der ProductionML (PML) und wird MachinePML genannt. Sie beinhaltet die Beschreibung der Hardware der Förderkomponenten (Matrixcluster oder Bandförderer, Abmaße der Bandförderer, etc.). Durch die Informationen aus der MachinePML ist die Steuerung in der Lage, in den nachfolgenden Funktionsblöcken die zwei verschiedenen Förderkomponenten Matrixcluster und Bandförderer korrekt anzusteuern.

Nach dem Abschluss der Konfigurationsphase beginnt die Initialisierungsphase. Die einzelnen Schritte der Initialisierungsphase werden in [2] dargestellt. Zunächst wird über das Vernetzungsmodul festgestellt, ob an den Verbindungsports der Förderkomponente benachbarte Förderkomponenten angeschlossen sind. Förderkomponenten, die an Bearbeitungsmaschinen oder angrenzende Fördersysteme angeschlossen sind, werden als Zielpunkte von Paketen erkannt. Ebenfalls werden Einschleusepunkte von Paketen auf diese Weise detektiert. Ausgehend von den Zielpunkten werden nun Routingtabellen erstellt. Für jeden Zielpunkt erstellt jede Förderkomponente einen Eintrag in ihrer Routingtabelle. Durch die Kommunikation mit den benachbarten Förderkomponenten werden die virtuellen Kosten errechnet, um ein Paket zu seinem Zielpunkt zu befördern. Die Erstellung der Routingtabellen ist an das Distance-Vector-Verfahren angelehnt (siehe [6]) und wird detaillierter in [4] und [5] beschrieben.

Für jedes Paket, das durch einen Einschleusepunkt in das System gebracht wird, beginnt eine Paket-spezifische Transportplanungsphase. Der erste Schritt innerhalb dieser Phase besteht darin, einen Datenschatten, der ProductPML genannt wird, aufzubauen. In diesem sind alle Informationen enthalten, die benötigt werden, um eine Route zu planen. Die wesentlichen Informationen sind hierbei, zu welchem Ziel das Paket bewegt werden muss und wie seine Abmaße sind. Ausgehend von dem Einschleusepunkt wird nun eine Route bis zum Zielpunkt geplant. Die Route befindet sich hierbei zunächst in dem Zustand „Planung“. Sobald die Route den Zielpunkt erreicht hat, wird sie ausgehend vom Zielpunkt bis zum Einschleusepunkt in den Zustand „Reserviert“ überführt. Dieser zweistufige Reservierungsprozess ist notwendig, um Kollisionen und Verklemmungssituationen zwischen mehreren gleichzeitig durch die Förderanlage verlaufenden Routen zu erkennen und zu vermeiden. Eine genauere Beschreibung der Routenreservierung ist in [4] und [2] dargestellt.

Nach Abschluss der Transportplanungsphase beginnt die Transportdurchführungsphase. In dieser werden die Pakete durch die einzelnen Förderkomponenten bewegt. Beim Bewegen der Pakete auf den Matrixclustern muss eine Synchronisierung der einzelnen Antriebe erfolgen, da die Pakete sonst von der vorher berechneten Route abweichen könnten. Um diese Synchronisierung zu erreichen, werden Steuerbefehle für die einzelnen Antriebe berechnet und verschickt, bevor das Paket in Bewegung gesetzt wird. Die Berechnung dieser Steuerbefehle geschieht durch einen der Matrixcluster auf denen das Paket momentan ruht. Die berechneten Steuerbefehle werden an alle Matrixcluster entlang der Route verschickt, bis wieder ein Haltepunkt erreicht wird oder das Paket die Fördermatrix verlassen hat.

4 Datenkommunikation

Um einen parallelen Transport von Material und Informationen und damit ein dezentrales Produktrouting zu ermöglichen, werden an die Datenkommunikation mehrere Anforderungen gestellt. Eine Auswahl von allgemeinen Anforderungen an die Datenkommunikation in einem dezentralen Materialfluss ist z. B.:

- der Datencontainer muss auf den jeweiligen Anwendungsfall anpassbar sein,
- die Kommunikation muss gleichermaßen zwischen Maschinen sowie Mensch und Maschine stattfinden können.

Weiterhin lassen sich spezifischere Anforderungen formulieren, die sich nach Produktionsmitteln und Produkten aufteilen lassen. Anforderungen an die Datenkommunikation zwischen Produktionsmitteln sind u. a.:

- das Produktionsmittel muss selbstständig identifiziert werden können,
- das Produktionsmittel muss Informationen über maximale Produktionsparameter liefern können,
- das Produktionsmittel muss Informationen über aktuelle Aufträge liefern.

Anforderungen an die Datenkommunikation von Produkten zu Produktionsmitteln sind :

- alle benötigten Daten zum dezentralen Produktrouting müssen bereitgestellt werden,
- die Rückverfolgbarkeit muss jederzeit sichergestellt sein,
- die zu transportierende Daten zum Produkt müssen minimal sein.

Diese Anforderungen an die Datenkommunikation werden mit der Entwicklung der Kommunikationssprache ProductionML (PML) erfüllt. Dabei handelt es sich um eine Beschreibungssprache auf Basis von XML. Dies ermöglicht die Anpassung des Datencontainers je nach Anwendungsfall. Als Datencontainer wird in diesem Zusammenhang die Gesamtheit der Datenfelder eines Objektes definiert. Zudem kann sie durch Mensch und Maschine verarbeitet werden. Weiterführende Informationen zum Aufbau sind in [7] beschrieben.

Die PML wird in die zwei Unterobjekte MachinePML und ProductPML untergliedert. Die MachinePML beinhaltet alle Daten zu einem Produktionsmittel. Dabei können diese weiter in statische und dynamische Daten unterteilt werden. Die statischen Daten werden in der Konfigurationsphase durch ein Routingmodul eingelesen (vgl. Abschnitt 3). Die dynamischen Daten, wie z. B. der Status des Produktionsmittels oder die derzeit in Bearbeitung befindlichen Produkte, werden in der Initialisierungs- oder in der Transportdurchführungsphase verändert (vgl. Abschnitt 3). Definierte Datenfelder ermöglichen eine Identifizierung des Produktionsmittels während der Initialisierungsphase (vgl. Abschnitt 3). Beispielhaft können hier ConveyorType und ProductMachine genannt werden. ConveyorType enthält einen definierten String zur Art des Förderelementes, wie z. B. „ConveyorMatrix“. ProductMachine sagt als Boolesche Variable aus, ob es eine Produktionsmaschine ist oder nicht. Zudem sind Datenfelder vorgesehen, welche das Produktionsmittel in seinen Abmessungen und maximalen Freiheitgraden hinsichtlich der Bearbeitungsparameter beschreiben. Neben den Datenfeldern zur Beschreibung des Produktionsmittels enthält die MachinePML Datenfelder zum Speichern aktueller Fertigungsaufträge. Beispiele hierfür sind u. a. eine Liste der Fertigungsaufträge und die spezifische Rüstzeit für einen Fertigungsauftrag.

Die ProductPML beinhaltet alle relevanten Daten zum Produkt und wird parallel zu diesem über das Materialflusssystem geführt. Damit die Datenmenge für die ProductPML so gering wie möglich ist werden zwei Ansätze verfolgt. Zum einen enthält die ProductPML lediglich 14 Datenfelder und eine Liste von benötigten Fertigungsschritten (Listen innerhalb der ProductionML: siehe [3]). Zum anderen wird die ProductPML auf einem Routingmodul innerhalb

des Materialflusssystems als informationstechnisches Abbild in Form einer Klasseninstanz einer Hochsprache geführt. Dies reduziert zusätzlich die zu übertragene Datenmenge und die Anzahl der Konvertierungszyklen von einer PML zu einem informationstechnischen Abbild. Lediglich zur Darstellung für den Menschen und beim Verlassen des Materialflusssystems wird die ProductPML in ihre eigentliche Form geparst. Trotz des Bestrebens zu einer minimalen Datenmenge muss die ProductPML für das dezentrale Produktrouting alle relevanten Daten enthalten. Die ProductPML ändert sich dabei dynamisch mit der Auftragsabarbeitung, um z. B. nach dem Zusammenführen zweier Halbzeuge zu einem neuen Produkt die neuen Abmessungen und die neue ID aufzunehmen (vgl. Bild 4).

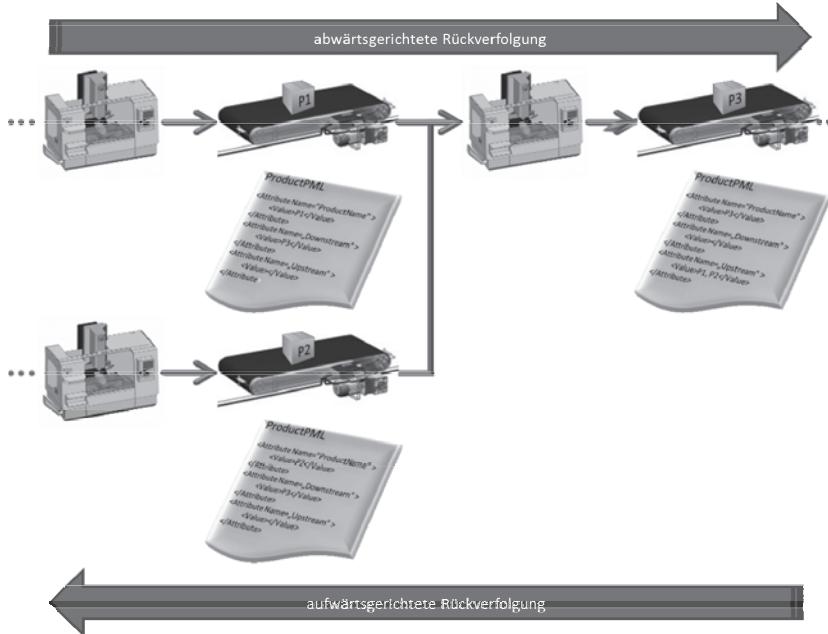


Bild 4: Schematische Darstellung einer Variantenfertigung

In solch einem Fall sieht die ProductPML die zusätzlichen Felder „downstream“ (deutsch: abwärtsgerichtet) und „upstream“ (deutsch: aufwärtsgerichtet) für die Rückverfolgbarkeit vor (siehe Bild 4). In der Bild 4 ist schematisch ein Ausschnitt einer Fertigung dargestellt. Die Halbzeuge P1 und P2 werden zum Produkt P3 zusammengefügt. Mithilfe der aufwärtsgerichteten Rückverfolgbarkeit kann nachvollzogen werden, aus welchen Ausgangsmaterialien das spezifische Produkt P3 besteht. Andersherum kann mittels abwärtsgerichteter Rückverfolg-

barkeit nachvollzogen werden, in welches Produkt die Halbzeuge P1 und P2 verbaut wurden. Die ProductPML werden anschließend zum Zwecke der Rückverfolgbarkeit zentral abgelegt.

5 Fördermatrix

Neben der Routenplanung und der Vernetzung bzw. Datenkommunikation stellt die entscheidungsfähige Fördermatrix ein Kernelement dieser cyber-physischen Fördertechnik dar. Die Fördermatrix (Bild 5, links) setzt sich aus einer Vielzahl interaktionsfähiger, kleinskaliger Fördermodule (Bild 5, rechts) zusammen. Jedes Fördermodul besteht aus einem Förderantrieb und einem Schwenkantrieb zur Ausrichtung des Förderantriebs, so dass unabhängig voneinander Förderbewegungen in beliebiger Richtung durchgeführt werden können. Zu einer Fördermatrix verbunden können die einzelnen Fördermodule aufgrund der unabhängigen Bewegungsführung komplexe Aufgaben im Materialfluss lösen. Intralogistische Funktionen wie Transportieren, Ein- und Ausschleusen sowie auch ein Drehen, Ausrichten, Stauen, Vereinzeln, Zusammenführen, Sequenzieren oder Speichern von Fördergütern sind somit umsetzbar (siehe vgl. Abschnitt 3).

Bedingt durch die dezentrale Steuerung und den modularen Aufbau können beliebige Formen und Größen für eine Fördermatrix realisiert werden. Die Fördermatrix kann somit entsprechend der applikativen Anforderungen und der geometrischen Restriktionen bezüglich der Größe frei angepasst werden. Auch eine spätere Änderung bzw. Erweiterung der Topologie der Fördermatrix oder eine Anpassung der an der Fördermatrix angeschossenen Ein- und Ausschleusen ist ohne Programmieraufwand möglich.

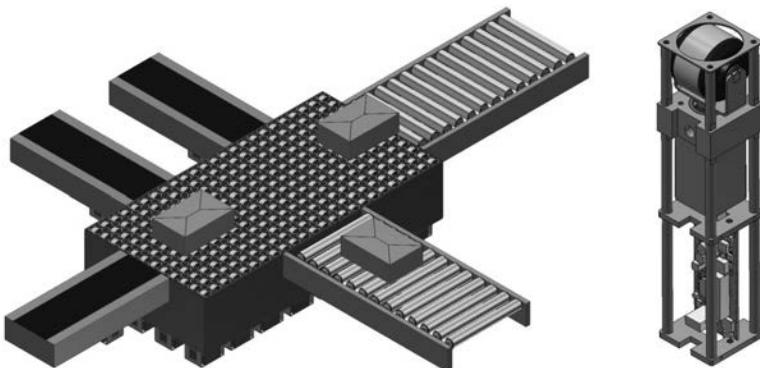


Bild 5: Darstellung der Fördermatrix (links) sowie eines Fördermoduls (rechts) bestehend auf Fördermotor (oben), Schwenkantrieb (Mitte) und Wechselrichter für Förder- und Schwenkantrieb (unten) [11]

Aus der Umsetzung der intralogistischen Funktionen und der wirtschaftlichen Verwert- bzw. Realisierbarkeit der Fördermatrix resultieren hohe Anforderungen an die Akten bzw. Antriebs- und Steuerungstechnik der einzelnen Fördermodule. Aufgrund des begrenzten Installationsraums sind hochintegrierte Antriebskonzepte (Motoren und Umrichter) notwendig, die sich durch eine hohe Leistungsdichte sowie durch eine hohe Effizienz zur Begrenzung des Verlustwärmeeintrags auszeichnen. Darüber hinaus müssen die Antriebe die technischen Voraussetzungen zur Umsetzung der genannten intralogistischen Funktionen erfüllen: So-wohl ein dynamischer, drehzahlsynchroner Betrieb mehrerer Förderantriebe (z. B. beim Fördern, Stoppen oder Sequenzieren) als auch ein exaktes Ausrichten/Positionieren der Schwenkantriebe (z. B. beim Drehen) sind hierfür notwendig. Aufgrund der Vielzahl notwendiger Fördermodule ergibt sich ein hoher Kostendruck für das einzelne Fördermodul, so dass z. B. auf kostenintensive zusätzliche Sensoren (z.B. Drehgeber) verzichtet werden muss.

Zur Ermittlung einer geeigneten Lösung wurden zunächst eine Vielzahl antriebstechnischer Ansätze bestehend aus Motor, Wechselrichter, Energieverteilung und Einspeisung untersucht. Als besonders vorteilhaft stellte sich hierbei eine Motortechnologie heraus, welche eine Weiterentwicklung des Prinzips des Verniermotors darstellt [13]. Diese Motortechnologie ermöglicht aufgrund der hohen Polpaarzahl und der geringen Jochhöhe ein hohes Drehmoment auch bei niedrigen Drehzahlen, wie sie für die Fördertechnik typisch sind. Auf diese Weise kann auf ein Getriebe verzichtet werden. Der Motor ist darüber hinaus als Außenläufer ausgeführt, bei dem die mittlere Achse steht und die rotatorische Energie direkt über die

drehende Außenhülle des Motors auf das Transportgut übertragen werden kann (siehe Bild 6).

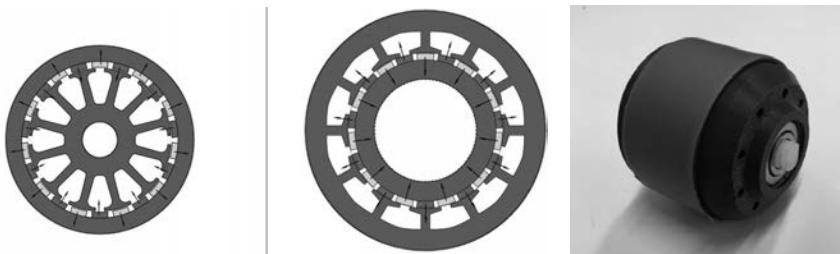


Bild 6: Schnittbild eines Verniermotors als Außenläufer (links) und als Innenläufer (Mitte) sowie Darstellung des Fördermotors (rechts). Beide Motoren (links, Mitte) haben vergleichbare Leistungen und Luftspaltdurchmesser

Sowohl für den feldorientierten Betrieb dieses Motors als auch zur Umsetzung der genannten intralogistischen Funktionen ist die Erfassung der Rotorlage und der Drehzahl des Förder- und Schwenkantriebs notwendig. Um kostenintensive und raumfordernde Geber zu vermeiden, wurde ein spezielles Aktivteildesign für eine gute geberlose Regel- und Beobachtbarkeit realisiert, so dass auch ohne Geber eine Messung der Lage bis zum Stillstand des synchron arbeitenden Motors möglich ist. Diese und weitere konstruktive Besonderheiten führen zu einem kompakten Direktantrieb mit sehr hoher Drehmomentdichte, hoher Überlastfähigkeit und einer guten Energieeffizienz.

Gespeist werden Förder- und Schwenkmotor durch jeweils einen Wechselrichter, der im unteren Teil des Fördermoduls integriert ist. Dieser Wechselrichter verfügt über ein spezielles geberloses Regelungsverfahren, das durch zusätzliche Einspeisung hochfrequenter Signalanteile eine Lageerkennung bis zum Stillstand des Motors ermöglicht. Weiterhin lassen sich mit dieser Regelung die Anforderungen hinsichtlich einer hohen Drehzahlgenauigkeit, Positionierfähigkeit und Dynamik erfüllen, so dass die drehzahl- und lagesynchronen Bewegungen bzw. Positionierungen mehrerer Module im Verbund ermöglicht werden. Das Antriebskonzept ist damit sowohl für den Förder- als auch für den Schwenkantrieb eines Fördermoduls sinnvoll nutzbar. Auch die Versorgungsspannung wurde im System so gewählt, dass für die benötigte Systemleistung unter Berücksichtigung einzu haltender Luft- und Kriechstrecken im Wechselrichter und Motor die max. Leistungsdichte erzielt wird. Für den Austausch von Informationen sowie für das dezentrale Produktrouting sind die einzelnen Förderantriebe untereinander und mit den an der Fördermatrix angeschlossenen Förderelementen vernetzt.

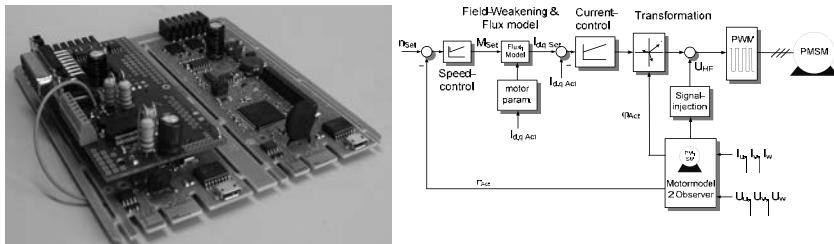


Bild 7: Prototyp des steuernden Wechselrichters (links) und Signalfloss des geberlosen Regelverfahrens mit hochfrequenter Signalinjektion

Durch den Verzicht auf Getriebe und Geber und durch das neuartige Design können die Antriebskosten signifikant reduziert werden. Die Realisierung der Vision eines wirtschaftlichen Betriebs einer Fördermatrix in einem flexibel adaptierbaren, dezentral gesteuerten Materialfluss rückt damit einen Schritt näher. Darüber hinaus bietet der Aktor auch ein generelles Potenzial als intralogistischer Antrieb, z. B. in einem Rollen- oder auch Gurtförderer. Neben einer gesteigerten Energieeffizienz, einem kompakten Aufbau und den oben genannten Vorteilen bezüglich Positionierfähigkeit und drehzahlsynchronem Betrieb würden damit auch andere Problemstellungen, wie z. B. undichte, leckende Getriebe, der Vergangenheit angehören.

6 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Beitrag wird ein neuartiges Materialflusssystem vorgestellt, dass auf einem intelligenten, dezentralen Produktrouting fußt und die Anforderungen Cyber-Physischer Produktionsysteme erfüllt. Neben dem Produktrouting wird eine ProductionML eingeführt, die die Grundlage für die Datenkommunikation zwischen den einzelnen Förder- und Produktionsmittel bildet und einen zum Materialfluss parallelen Informationsfluss ermöglicht. Die Fördermatrix bedient sich dieser beiden Technologien und ermöglicht im Zusammenspiel einer Vielzahl von Fördermodulen die Realisierung einer bisher kaum erreichten Anzahl intralogistischer Funktionen. Weiterhin werden antriebstechnische Lösungen vorgestellt, die die Anforderungen der Förder- und Schwenkantriebe eines Fördermoduls erfüllen. Erste Prototypen für die neuartige Fördertechnik konnten erfolgreich in Betrieb genommen werden.

Zur Verifikation wird bis Mitte 2016 ein netkoPs-Lab aufgebaut. Am Beispiel einer vereinfachten Produktionsanlage soll der dargestellte Funktionsumfang geprüft und die einfache Adaptrierbarkeit des Materialflusses nachgewiesen werden.

Danksagung

Das Forschungs- und Entwicklungsprojekt netkoPs wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

7 Literaturangaben

- [1] Furmans, K.; Schönung, F.; Gue K. R.: Plug-and-Work Material Handling Systems. In: Progress in Material Handling Research, S. 132–142, 2010
- [2] Sohrt, S.; Seibold, Z.; Krühn, T.; Prössdorf, L.; Overmeyer, L.; Furmans, K.: Buffering Algorithms for Modular, Decentralized Controlled Material Handling Systems, 1st Symposium on Automated Systems and Technologies (AST), Berichte aus dem ITA Band 4/2014, S. 29-36. Garbsen: TEWISS-Technik und Wissen GmbH
- [3] Sohrt, S.; Heinke, A.; Shchekutin N.; Krühn, T.; Eilert B.; Overmeyer, L: Kleinskalige, cyber-physische Fördertechnik. In: Handbuch Industrie 4.0, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, DOI 10.1007/978-3-662-45537-1_4-1, 2016
- [4] Krühn, T.: Dezentrale, verteilte Steuerung flächiger Fördersysteme für den innerbetrieblichen Materialfluss, Berichte aus dem ITA. PZH – Produktionstechnisches Zentrum GmbH, Garbsen, 2015
- [5] Radosavac, M.; Krühn, T.; Overmeyer, L.: Scalable Cognitive Conveyor for Material Handling, In: 20th International Conference on Material Handling, Constructions and Logistics (2012), S. 215-220. Belgrade: Faculty of Mechanical Engineering, University of Belgrade
- [6] Ford, L. R.; Fulkerson, D. R.: Flows in networks. Princeton and NJ :Princeton University Press, 1962 (A Rand Corporation research study), 1962
- [7] Shchekutin, N.; Heinke, A.; Overmeyer, L.; Shkodyrev, V.: Data Transmission for a small-scaled, cyber-physical material handling system. Symposium on Automated Systems and Technologies (AST), 2015, S. 111-120. St. Petersburg: Peter the Great St. Petersburg University, ISBN: 978-5-906782-35-9
- [8] Heinke, A.; Overmeyer, L.: Vernetzte Kognitive Produktionssysteme: Cyber-Physische Produktionssysteme für eine dezentrale Materialflusssteuerung. In: Industrie Management, GITO Verlag, 30. Jg. (2014), H.6, S.9-12.
- [9] Delfmann, W et al.: Positionspapier zum Grundverständnis der Logistik als wissenschaftliche Disziplin. In: Wimmer T, Grosche T (Hrsg) Flexibel – sicher – nachhaltig, DVV Media Group GmbH, Hamburg, S. 262–274, 2011
- [10] VDI: Thesen und Handlungsfelder Cyber-Physical Systems: Chancen und Nutzen aus Sicht der Automation. URL: http://www.vdi.de/uploads/media/Stellungnahme_Cyber_Physical_Systems.pdf; Abrufdatum: 01.07.2014

- [11] M. Theßeling, D. Kimmerle, H. Stichweh: A novel concept for distributed low-power-drives in multidirectional conveyor matrix, PCIM 2015
- [12] Stichweh, H.: Aktorik für Industrie 4.0: Intelligente Antriebs- und Automatisierungslösungen für die energieeffiziente Intralogistik. In: Handbuch Industrie 4.0, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, DOI 10.1007/978-3-662-45537-1_7-1, 2016
- [13] Grabs, V.; Theßeling, M.: Increasing the torque density of low power drives using Vernier out runner motors in intralogistic industries, Tagungsband IKMT, 14.09.2015, Köln

Effiziente Erstellung von Steuerungssoftware für automatisierte Materialflusssysteme basierend auf einer Zwei-Schichten-Architektur

Dipl.-Ing. **M. Spindler**, Prof. Dr.-Ing. **W. A. Günthner**,
TU München – Lehrstuhl fml, München;
T. Aicher, M. Sc., Prof. Dr.-Ing. **B. Vogel-Heuser**,
TU München – Lehrstuhl AIS, München

1. Kurzfassung

Automatisierte Materialflusssysteme (MFS) zeichnen sich durch hohe Durchsätze bei hoher Prozessqualität aus, weshalb sie in der Praxis weit verbreitet sind. Um diese Systeme optimal einsetzen zu können, werden sie kundenspezifisch projektiert und benötigen somit eine individuelle Steuerungssoftware. Da ein modularer Aufbau der Steuerungssoftware zumeist fehlt, wird die Software oft durch umfangreiche manuelle Programmieraktivitäten erstellt. Diese manuellen Programmieraktivitäten sind arbeitsintensiv, fehleranfällig und erzeugen eine starre Steuerungssoftware, welche nur schwer zu verändern und für andere Anlagen wieder zu verwenden ist. In dieser Arbeit wird daher eine Softwarearchitektur vorgestellt, welche eine modularisierte Erstellung und Wiederverwendung von Steuerungssoftware für automatisierte Materialflusssysteme ermöglicht. Diese Softwarearchitektur basiert auf einer Zwei-Schichten-Architektur und trennt die logistischen Entscheidungen von der Ansteuerung der Fördertechnikhardware. Durch diese Trennung können für die beiden Schichten vordefinierte Module erstellt und eine durchgängige Modularisierung der Steuerungssoftware erreicht werden. Dies ermöglicht die Steuerungssoftware für kundenspezifische Anlagen durch Zusammenfügen und Parametrieren vordefinierter Module zu erstellen, wodurch der Erstellungsprozess arbeits- und zeiteffizienter durchführbar ist.

2. Einleitung

Aufgrund kurzer Durchlaufzeiten, großer Umschlagsleistungen sowie hoher Prozessqualität sind MFS in der Praxis weit verbreitet [1]. Durch die Zunahme des E-Commerce und der dadurch leichten Erreichbarkeit der Endkunden verschiebt sich das Geschäft der Großhändler vom Business-to-Business (B2B) Geschäft zum Business-to-Consumer (B2C) Geschäft [2]. Diese Verschiebung ist dadurch gekennzeichnet, dass die Anzahl der Sendungen zunimmt und die geforderten Lieferzeiten kürzer werden, da die Endkunden in kleinen Einhei-

ten und bei unmittelbarem Bedarf bestellen. Da diese Anforderungen am besten durch automatisierte MFS erfüllt werden, wird die Nachfrage nach diesen Systemen, und somit das Bedürfnis für ein effektives Projektieren dieser Systeme, ansteigen.

Automatisierte MFS weisen zwei typische Eigenschaften des Anlagengeschäfts auf [3]. Zum einen werden die Anlagen kundenspezifisch projektiert und zum anderen werden diese kundenspezifischen Anlagen aus standardisierten Hardware-Bausteinen, hier Förderkomponenten, zusammengestellt. Ursache für die kundenspezifische Projektierung der Anlagen sind die Umsetzung vorgegebener kundenindividueller Prozesse, die Beachtung bestehender Gebäudestrukturen sowie die Einbindung der vor- und nachgelagerten Prozesse [4]. Der Markt für Fördertechnik ist durch eine Vielzahl von Herstellern geprägt, von denen jeder einen umfangreichen Komponentenkatalog besitzt [5].

Die in der Branche der automatisierten Fördertechnik tätigen Unternehmen haben verschiedene Geschäftsmodelle. Die zwei Wesentlichen sind hierbei die Generalunternehmer und die Systemintegratoren. Generalunternehmer produzieren Fördertechnik und projektiert mit der eigenen Fördertechnik Anlagen, welche mit zentralen Steuerungen arbeiten. Systemintegratoren dagegen kaufen Förderkomponenten zu und projektiert damit Anlagen mit zentralen Steuerungen. Sowohl bei den Generalunternehmern als auch bei den Systemintegratoren steht das Projektieren der Anlagen immer im Kontext von Kosten- und Zeitdruck. Somit ist es essentiell, die Anlagensteuerungen schnell und in hoher Qualität zu erstellen. Für die Systemintegratoren spielt der Einsatz von Fördertechnik unterschiedlicher Hersteller eine entscheidende Rolle. Diese Auswahl an Hardware ermöglicht es, für jeden Anwendungsfall die wirtschaftlichste Fördertechnik zu verwenden. Jedoch ergibt sich durch den Einsatz von Hardware verschiedener Hersteller die Herausforderung, unterschiedliche Funktionsprinzipien sowie eine Vielzahl von Sensoren und Aktoren steuerungstechnisch zu beherrschen. Dies gestaltet die Erstellung der Steuerungssoftware kosten- und zeitintensiv.

Um diese Erstellung der Steuerungssoftware für Anlagen mit Förderkomponenten verschiedener Hersteller zu verbessern, wird im Projekt *aComA - Automatisierte Code-Generierung für modulare Anlagen*¹⁾ ein Konzept zur Unterstützung des Engineerings für automatisierte MFS entwickelt. Die Grundlage des Konzepts bildet dabei die Entwicklung einer Softwarearchitektur, die auf die spezifischen Anforderungen der MFS abgestimmt ist, um die Steuerungserstellung optimal zu unterstützen. Der Fokus liegt dabei auf ortsfesten MFS, welche durch eine zentrale Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) gesteuert werden.

1) Gefördert durch die Bayerische Forschungsstiftung, Projektnummer 1023/3861

3. Konzeptbeschreibung

Das ausgearbeitete Konzept zur Steuerungserstellung basiert auf einer Zwei-Schichten-Architektur [6]. Die Elemente der oberen Schicht beinhalten die Materialflussteuerung und werden als *Logistik-Module* bezeichnet (siehe Bild 1). In der unteren Schicht befinden sich die Elemente, welche für die Ansteuerung der Fördertechnik zuständig sind und *Treiber-Module* genannt werden. Die standardisierte Schnittstelle für die Kommunikation zwischen diesen beiden Schichten wird als *Materialfluss-Interface* (MF-I) bezeichnet. Diese Aufteilung in Bezug auf ein Layout ist in Bild 1 dargestellt.

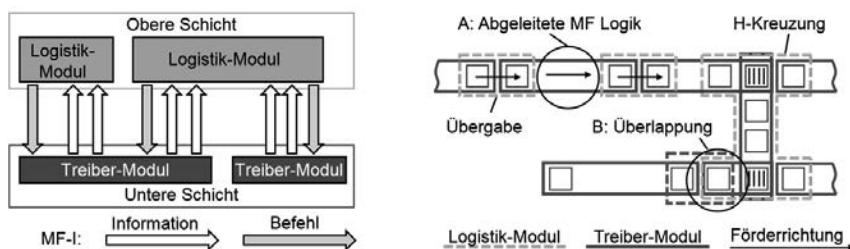


Bild 1: Darstellung der Zwei-Schichten-Architektur in einer Ebenendarstellung (links) und einer Layout-Darstellung (rechts).

Die *Logistik-Module* beinhalten ein *logistisches Element*, die Einstellmöglichkeiten zur Parametrierung und die Schnittstellen zu externen Systemen. Ein logistisches Element umfasst hierbei einen räumlich abgegrenzten Bereich, für den eine Entscheidungsfindung notwendig ist. Das Verhalten dieser Entscheidungsfindung, z. B. das Vorfahrtsverhalten an einer Zusammenführung, kann anhand von Parametern eingestellt werden, wodurch die Steuerung schnell und ohne manuelle Programmierung erstellt werden kann. Die Ablauflogik basiert auf *logistischen Operationen*, welche eine Aufsplittung der logistischen Funktionen in einzelne Operationen darstellt. So setzt sich z. B. die logistische Funktion *Fördern* mit der Einstellung *Pulkbildung* aus den Operationen *Überprüfen, ob ein Platz frei ist*, *Warten*, und *Transportieren* zusammen. Um Informationen eines übergeordneten Systems, z. B. zu welchem Ausgang einer Verzweigung gefördert werden soll, zu erhalten, besitzen die *Logistik-Module* eine Schnittstelle. Über diese können zudem andere externe Systeme, z. B. eine Anlagenvisualisierung, angebunden werden. *Logistik-Module* werden im Layout lediglich an Stellen benötigt, an denen Entscheidungen getroffen werden, z. B. bei Verzweigungen oder bei der Übergabe zwischen zwei Förderern. Somit gibt es im Layout Stellen, welche Lücken hinsicht-

lich der *Logistik-Module* aufweisen. In solchen Lücken ergibt sich der Materialfluss durch die Randbedingungen und es bedarf keiner separaten Entscheidungsfindung (siehe Bild 1, Ausschnitt A). Ebenfalls können sich *Logistik-Module* überschneiden und dadurch Konflikte in der Entscheidungsfindung verursachen (siehe Bild 1, Ausschnitt B). Solch ein Konflikt entsteht z. B. wenn ein *Logistik-Modul* den Befehl *Fördern* und ein anderes, aufgrund einer sonst eintretenden Kollision, den Befehl *Stopp* erteilt. Diese Konflikte werden auf der darunterliegenden Ebene, den *Treiber-Modulen*, gelöst.

Die *Treiber-Module* beinhalten die Logik zur Ansteuerung der Förderkomponente, vergleichbar mit Treibern bei Computerhardware. In dieser Logik ist hinterlegt, wie Aktoren angesteuert und Sensoren ausgelesen werden und wie die einzelnen Funktionsweisen der Förderkomponente realisiert sind. Diese Funktionsweise ist unter anderem beim Ausschleusen relevant, da dies unterschiedlich realisiert werden kann, z. B. durch einen sich eindimensional bewegenden Schieber oder durch Ketten, die zuerst angehoben und dann angetrieben werden. Da die *Treiber-Module* die Förderkomponenten repräsentieren, bilden sie das Layout lückenlos ab. Die *Treiber-Module* lesen die Sensorsignale aus, übersetzen sie in einen für die Logistik-Module verständlichen Befehl und senden diesen Befehl an die *Logistik-Module*. Zusätzlich empfangen die *Treiber-Module* die Befehle der *Logistik-Module* und setzen diese mit Hilfe der Aktorik um. Da ein *Treiber-Modul* von mehreren *Logistik-Modulen* angesteuert werden kann, können Konflikte innerhalb eines *Treiber-Moduls* entstehen. Wenn beispielsweise ein *Logistik-Modul* den Befehl *Stopp* sendet und ein anderes den Befehl *Fördern*, dann muss gestoppt werden, da das Ignorieren eines *Stopp*-Befehls eine Kollision zur Folge haben könnte.

Damit eine eindeutige Kommunikation zwischen den *Logistik-* und *Treiber-Modulen* sicher gestellt ist und die beiden Modulararten flexibel miteinander kombinierbar sind, ist eine definierte Schnittstelle notwendig, das MF-I. Dieses MF-I umfasst alle *logistischen Operationen*, welche entweder in Form von Befehlen von den *Logistik-Modulen* an die *Treiber-Module* gesendet werden oder in Form von Informationen von den *Treiber-Modulen* an die *Logistik-Module* weitergereicht werden.

4. Evaluation des Konzeptes anhand eines Beispiels

In diesem Kapitel wird das vorgestellte Konzept anhand einer T-Kreuzung verdeutlicht (siehe Bild 2), um die Funktionsweise der Referenzierung anhand des MF-I zu veranschaulichen und die Aufgabeteilung der Module zu demonstrieren.

Die dargestellte T-Kreuzung setzt sich aus drei Förderkomponenten, und somit *Treiber-Modulen*, zusammen und wird durch ein *Logistik-Modul* gesteuert. Sowohl die *Logistik-* als auch die *Treiber-Module* haben Stellen, an denen die Belegung überprüft und die mögliche Förderrichtung definiert wird. Diese Stellen werden als *Stellplätze* (SP) bezeichnet. Bei den *Logistik-Modulen* werden diese mit Buchstaben und bei den *Treiber-Modulen* mit Ziffern eindeutig gekennzeichnet. Für das Zusammenspiel des *Logistik-Moduls* mit den *Treiber-Modulen* erfolgt eine Referenzierung der einzelnen SP zwischen den *Logistik-* und *Treiber-Modulen*. In diesem Beispiel wird SP 2 des Förderers 1 (Förd_1.SP_2) auf den SP B der T-Kreuzung referenziert (SP_B). Wird nun auf Förd_1.SP_2 eine Transporteinheit (TE) detektiert, also Förd_1.SP_2 = TRUE, dann liefert die Abfrage der Variablen SP_B ebenfalls den Wert TRUE. Zusätzlich beinhaltet diese Referenzierung die Zuweisung der Förderbefehle. Wenn das *Logistik-Modul* den Befehl erteilt von SP B in Richtung SP C zu fördern, dann fördert Förderer 1 in Richtung Förderer 2. Die anderen Zuweisungen in diesem Beispiel sind: Förd_2.SP_1 = SP_C, Förd_2.SP_2 = SP_A und Förd_3.SP_1 = SP_D. Durch diese Zuordnungen ist es möglich, dass im *Logistik-Modul* eine Abfertigungsstrategie eingestellt wird, z. B. First-Come, First-Served. Diese wird dann im *Logistik-Modul* logisch gesteuert und die Befehle werden zur Ausführung an die *Treiber-Module* weitergeleitet. Anhand dieses Beispiels konnte die Aufgabenteilung zwischen den *Logistik-* und *Treiber-Modulen* und eine beispielhafte Referenzierung dargestellt werden. In dieser Form können ebenfalls andere Förderkomponenten, z. B. Heber oder Querverschiebewagen, in eine Anlage integriert werden.

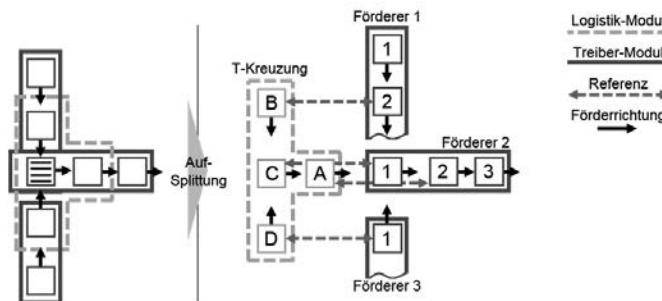


Bild 2: *Treiber-* und *Logistik-Module* einer Zusammenführung in Form einer T-Kreuzung.

5. Ausblick

Als nächster Schritt ist eine Analyse der *logistischen Elemente* und der Förderkomponenten durchzuführen. Auf Grundlage dieser Analyse kann das MF-I definiert und die Module ausgestaltet werden. Anhand der hier vorgestellten Softwarearchitektur und den identifizierten Modulen kann dann ein unterstützendes Engineering-Tool (z. B. aufbauend auf der Entwicklungsumgebung CODESYS [7]) für die Erstellung der Steuerungssoftware von MFS entworfen werden.

6. Literaturangaben

- [1] Günthner, W. A.: Förder- und Materialflusstechnik. Vorlesungsskriptum. Technische Universität München, 2015.
- [2] Handelsverband Deutschland (HDE): Information Konjunktur - Lage und Perspektive im Einzelhandel (2014)
- [3] Kuzmany, F.: Konzeption und Entwicklung von Modulen für das Internet der Dinge. Dissertation. Technische Universität München, 2010.
- [4] ten Hompel, M.; Schmidt, T.: Warehouse management - Automation and organisation of warehouse and order picking systems. Berlin, New York: Springer, 2007.
- [5] Materialfluss Markt: Materialfluss Markt 2015. In: Materialfluss (2014)
- [6] Spindler, M.; Aicher, T.; Vogel-Heuser, B.; Günthner, W. A.: Efficient control software design for automated material handling systems based on a two layer architecture. In: IEEE ICALT (2016), zur Veröffentlichung eingereicht
- [7] 3S-Smart Software Solutions (2015): CODESYS Entwicklungsumgebung für SPS nach IEC 61131-3, www.codesys.com.

Celluveyor – Zellulare Fördertechnik für hochflexible Materialflusssysteme

Dr.-Ing. **Hendrik Thamer**, Dipl.-Ing. **Claudio Uriarte**,
Prof. Dr.-Ing. **Michael Freitag**,
BIBA – Bremer Institut für Produktion und Logistik GmbH an der
Universität Bremen, Bremen

Kurzfassung

Der Celluveyor ist ein innovatives, zelluläres Fördersystem, mit dem Objekte in beliebige Richtungen und Orientierungen gleichzeitig und unabhängig voneinander bewegt und positioniert werden können. Dieser Beitrag umfasst die technologische Umsetzung des modularen Systemkonzepts des Celluveyor mit Fokus auf die Steuerungsarchitektur.

1. Einleitung

Die Anforderungen an intralogistische Materialflusssysteme haben sich in den letzten Jahren stark verändert und stellen die Intralogistiker vor große Herausforderungen. Die zunehmende Globalisierung des Marktes hat zu einer räumlichen Verlagerung der Produktionsstätten und zu einem Anstieg des Transportaufkommens geführt. Gleichzeitig hat sich der Druck aufgrund des nun global herrschenden Wettbewerbs auf die Unternehmen stark erhöht und setzt diese zunehmend unter Optimierungs- und Kostendruck [1]. Ebenso hat sich das Käuferverhalten stark verändert. Der Käufer fordert zunehmend individualisierte Produkte, was zu kleineren Losgrößen bei geringeren Einzelbestellmengen führt. Die Vermarktung der Produkte hat sich dabei mit Hilfe von eCommerce deutlich gesteigert, wobei die Produktlebenszyklen immer kürzer werden [2]. Die Intralogistiker sehen sich also einem dynamischen Markt mit schwankenden Auftragsvolumina ausgesetzt, der nur schwer prognostizierbar ist [2][3][4].

Heutige Fördersysteme sind größtenteils stark automatisiert und hoch komplex. Dabei sind sie auf bestimmte Funktionen spezialisiert. Die heutigen Materialfluss-systeme sind so entworfen, dass sie für den aktuellen, speziellen Anwendungsfall bestmöglich einsetzbar sind. Die Wirtschaftlichkeit der Systeme ist dabei so berechnet, dass sich diese innerhalb einer vorab definierten Zeit (z.B. bei Kontraktlogistikern die Vertragslaufzeit) amortisieren müssen. Die Flexibilität und Wandelbarkeit der Systeme bleibt dabei meist unberücksichtigt. In der Folge sind die Systeme kaum mehr veränderbar und nur unter hohen Kosten und zeitlichem

Aufwand auf ungeplante oder kurzfristige Änderungen anpassbar. Aktuelle hochautomatisierte Systeme stoßen somit in ihrer Wirtschaftlichkeit immer mehr an ihre Grenzen und können den heutigen Anforderungen kaum mehr gerecht werden. In der Folge kann das Unternehmen nicht mehr auf die dynamischen Veränderungen des Marktes reagieren und verliert an Wettbewerbsfähigkeit. [4][5]

2. Stand der Technik

In der Wissenschaft gibt es verschiedene Definitionen für die Flexibilität von Materialflusssystemen. Im Wesentlichen lässt sie sich aber durch folgende vier Teilflexibilitäten zusammenfassen [5][6][7]:

- **Fördergutflexibilität:** Die Fähigkeit vorab festgelegte unterschiedliche Objekte unabhängig von ihrer Geometrie und Gewicht transportieren zu können.
- **Layoutflexibilität:** Die Anpassbarkeit der Materialfluswege innerhalb des Systems.
- **Prozessflexibilität:** Die Erfüllung von verschiedenen fördertechnischer Funktionen.
- **Durchsatzflexibilität:** Die Veränderbarkeit der Durchsatzmenge auf schwankende vorab festgelegte Produktionsmengen.

Die Wandelbarkeit von Materialflusssystemen ist dabei als die Fähigkeit definiert, die Konfiguration eines Materialflusssystems auch bei ungeplanten Veränderungen kurzfristig anzupassen [5]. In den letzten Jahren wurde eine Vielzahl an neuen Systemen entwickelt, die diesen Anforderungen gerecht werden. Im Folgenden werden einzelne Systeme kurz vorgestellt.

Nach einem modularen Prinzip wurde am Institut für Fördertechnik in Karlsruhe ein modularer und vollständig dezentral gesteuerter Stetigförderer für den Transport von Kleinladungsträger (KLT) entwickelt [8]. Die Module können mittels Förderrollen und Förderriemen Objekte in Längs- und Querrichtung bewegen und bestehen aus Sensoren, die das Ein- und Ausfahren der KLTs überwachen, der RFID Identifikationstechnologie und der dezentralen Steuerungslogik. Nach der Konfiguration einer Förderstrecke, erkennt die Steuerung die Topologie der Anlage selbständig, wobei Ein- und Ausschleusestellen manuell definiert werden. Die im RFID-Transponder gespeicherten ID-Nummern sowie die Zielposition der jeweiligen KLTs dienen als Basis für die automatische Ermittlung und ggf. Anpassung der Förderrouten [9]. Das System kann sowohl für das Fördern als auch für das Sortieren von KLTs eingesetzt werden [10] sowie zur Änderung der Paketreihenfolge bei automatischen Palettieranlagen [11].

Das System wurde weiterentwickelt zu einem mobilen und modularen Fördersystem [12]. Die mit Mecanumantrieb ausgestatteten Module [13] können mittels eines Laserscanners

das Umfeld erfassen und autonom in ihrem intralogistischen Umfeld navigieren und sich dynamisch zueinander positionieren [14]. Somit können einfache Förderstrecken gebildet werden. Bei komplexeren Aufgaben, können sie ein Cluster bilden, um größere Objekte zu transportieren z.B. für den Transport von Paletten. Hohes Potential hat das System im Bereich Lagersysteme für Paletten in hoher Dichtung sowie bei der Ware-zum-Mann oder Mann-zur-Ware Kommissionierung.

Am Institut für Transport- und Automatisierungstechnik in Hannover wurde ein omnidirektionales Fördersystem bestehend aus kleinskaligen omnidirektionalen Fördermodulen (7cm x 7cm) entwickelt [15]. Jedes Modul besteht seinerseits aus einer angetriebenen Rolle oder Scheibe, die für das Fördern der Objekte zuständig ist, und einem Antrieb für die Lenkung dieser Rolle/Scheibe. Die Steuerung erfolgt ausschließlich dezentral. Das System ist in der Lage Objekte auf einer Ebene frei zu bewegen (Translation in der x- und y-Achse sowie Rotation um die z-Achse) und somit unterschiedliche intralogistische Funktionen zu erfüllen [16].

Am Fraunhofer IML in Dortmund wurde ein Transportsystem für KLTs basierend auf dem Steuerungskonzept der zellularen Fördertechnik entwickelt [17]. Das System besteht aus FTS, welche intelligente KLTs (sog. Smart Objects) aus einer Übergabestation entnehmen und in einem spezialkonzipierten Hochregal einlagern [1]. Die Fahrzeuge kommunizieren miteinander über Funk und werden durch ein Multiagentensystem angesteuert. Die Ziele (z.B. eine Lagerposition) werden in den RFID-Chips der Smart Objects gespeichert. Anschließend werden diese durch die Fördertechnik erfasst und die entsprechenden Aktionen durchgeführt, um diese Ziele zu erreichen. Über diesem Weg werden Daten von der zentralen Steuerung der Fördertechnik in die dezentrale Steuerung übertragen.

3. Der Cellular Conveyor

Am BIBA, dem Bremer Institut für Produktion und Logistik an der Universität Bremen wurde das neuartige, kleinskalige Förderkonzept „Cellular Conveyor“ (abgekürzt Celluveyor) in Anlehnung an das Grundkonzept der „zellularen Fördertechnik“ [17] entwickelt. Das Hauptziel lag dabei in der Entwicklung eines Fördersystems, das die oben aufgeführten vier Teileflexibilitäten erfüllt, und gleichzeitig modular auf Hard- und Softwareebene aufgebaut ist. Die Modularität auf Hardwareebene wird durch die Verwendung baugleicher, sechseckiger Fördermodule erreicht. Diese beinhalten jeweils drei omnidirektionale Räder, die von einem Elektromotor angetrieben werden. Die Module können beliebig kombiniert werden, sodass jedes beliebige Layout einer gewünschten Förderanlage abgebildet werden kann. Durch Kommunikation der einzelnen Module können Objekte unabhängig voneinander oder sogar parallel

zueinander auf einem Förderlayout auf beliebigen Bahnen bewegt werden. Das Bild 1 stellt ein einzelnes Celluveyor Modul sowie die Kombination mehrerer Module zu einer kompletten Förderanlage dar.

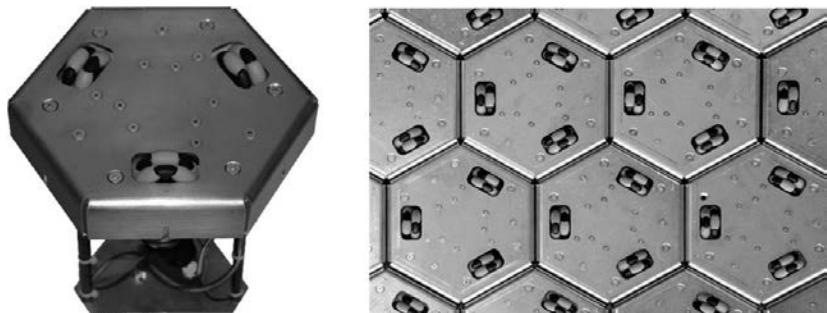


Bild 1: Celluveyor Modul und die Kombination von Modulen zu einer kompletten Förderanlage

Die Kombination der Module ist ohne großen Aufwand realisierbar. Dadurch können Förderflächen beliebigen Ausmaßes mit variablen Geometrien entstehen, die universell eingesetzt werden können. Zudem ist die Größe der Module skalierbar. Der Celluveyor bietet daher eine hervorragende **Layoutflexibilität**.

Neben der Layoutflexibilität ist die **Prozessflexibilität** von entscheidender Bedeutung für ein modernes Fördersystem. Dies beinhaltet die Möglichkeit Anlagenfunktionalitäten ohne mechanische Veränderungen des Fördersystems per Knopfdruck ändern zu können. Dies ist beispielsweise bei einer kurzfristigen Änderung der Auftragslage eines Logistikunternehmens denkbar. Der Celluveyor kann durch ein simples Softwareupdate von einem einfachen Fördersystem mit Ein- und Ausschleuser zu einem Infeeder-System zur Erstellung von Paketlagen mit beliebigen Packmustern umgewandelt werden. In Bild 2 sind beispielhaft alle Funktionalitäten der Fördertechnik dargestellt, die der Celluveyor durch eine entsprechende Softwareanpassung durchführen kann.

Die modulare Bauweise des Celluveyor ermöglicht zusätzlich eine sehr hohe Anpassungsfähigkeit gegenüber Veränderungen im Fördergutstrom. Eine bisherige gängige Vorgehensweise bei bestehenden Anlagen, die die geforderte Leistungsfähigkeit nicht mehr erreichen, besteht darin diese durch eine neue oder eine weitere Anlage zu erweitern. Modularer Fördersysteme wie der Celluveyor sind dagegen in der Lage die Leistungsfähigkeit einer Anlage

durch Hinzufügen oder Entfernen von Fördermodulen schnell und effizient an die neuen Anforderungen anzupassen. Dadurch wird eine hohe **Durchsatzflexibilität** erreicht.

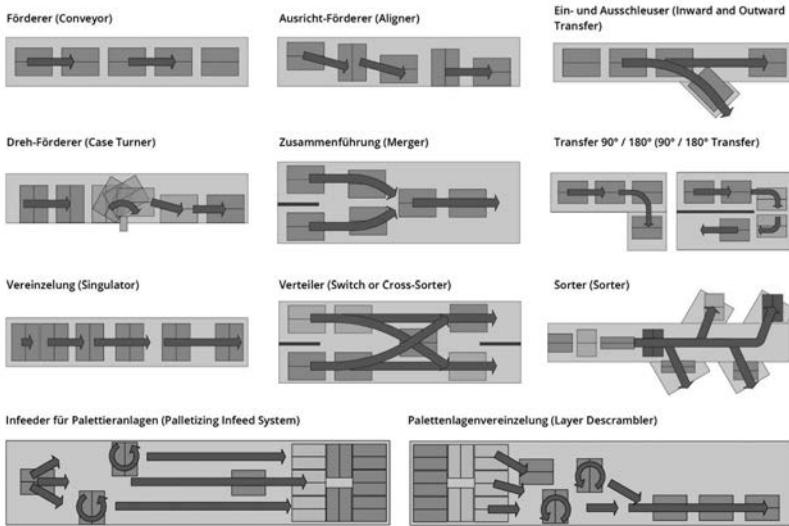


Bild 2: Auflistung der fördertechnischen Aufgaben, die mit dem Celluveyor durch eine einfache Softwareanpassung durchführbar sind

Die letzte geforderte Teilflexibilität besteht in der **Fördergutflexibilität**. Diese beinhaltet die Eigenschaft des Fördersystems mehrere unterschiedliche Arten von Objekten bewegen zu können, im Idealfall unabhängig von Form und Größe des Objektes. Der Celluveyor ist in der Lage beliebige Arten von Objekten zu bewegen. Die einzige Anforderung an Form und Ausmaße der Objekte besteht darin, dass diese eine ebene Kontaktfläche aufweisen sowie mindestens der Größe eines Fördermoduls entsprechen.

Neben den vier Teilflexibilitäten sind zudem die Eigenschaften Robustheit und Ausfallsicherheit sowie das Wartungskonzept von großer Bedeutung. Die Verwendung von Standardkomponenten sowie der mechanische Aufbau weisen sich dabei als vorteilhaft für den Celluveyor bzgl. der Robustheit des Systems aus. Zudem weist der Celluveyor aufgrund des modularen und kleinskaligen Förderkonzepts eine sehr hohe Ausfallsicherheit aus. Wenn in bestehenden Förderanlage eine Teilkomponente des Systems ausfällt, führt dies meistens zu einem kompletten Stillstand der Förderanlage und ist häufig mit hohen Kosten für das

Unternehmen verbunden. Falls ein Fördermodul während des Betriebs ausfallen sollte, wird dies automatisch in der Steuerung erkannt. Das Modul wird deaktiviert und die Bahnplanung, die die Bewegungen der Objekte auf der Förderanlage plant, berechnet die einzelnen Bahnen der Förderobjekte neu. Dadurch wird das deaktivierte Modul nicht für den Transport der Objekte genutzt und die Förderanlage kann trotz Ausfall eines einzelnen Moduls weiter zuverlässig Ihre Aufgabe erfüllen. Zusätzlich kann das defekte Modul durch firmeneigenes Personal innerhalb von wenigen Minuten ersetzt werden.

4. Demonstrator

Mit dem Ziel das neuartige Förderkonzept zu evaluieren, wurde am BIBA ein Demonstrator entwickelt und erfolgreich getestet. Der Demonstrator weist eine Förderfläche von 1,4 m x 1,6 m auf und besteht aus 60 Celluveyor Modulen. Das Hauptevaluationsziel lag dabei auf dem Nachweis der technischen Realisierbarkeit sowie erste Experimente zur Prozessflexibilität durch Verändern der fördertechnischen Aufgabe bei gleichbleibender Systemkonfiguration. Der Demonstrator verfügt über eine zentrale Steuerungsarchitektur auf Basis einer Industriesteuerung (SPS). Diese ist mit jedem einzelnen Modul verkabelt. Bild 3 zeigt den Celluveyor-Demonstrator.



Bild 3: Celluveyor Demonstrator

Der Demonstrator ist in der Lage Fördergeschwindigkeiten von 0,8 m/s zu erzielen. Das maximale Gewicht der Objekte ist dabei von der Anzahl der Räder abhängig mit denen das Objekt in Kontakt ist. Dabei liegt die maximale Traglast pro Rad bei 18 kg. Wenn ein Objekt während der Bewegung immer mit drei Rädern in Kontakt ist, liegt das maximale Gewicht für

das Objekt dementsprechend bei 54 kg. Diese Angaben gelten für die aktuelle Systemkonfiguration. Bei einer Verwendung von leistungsfähigeren Motoren sowie anderer Räder kann der Celluveyor höhere Geschwindigkeiten und höhere Traglasten realisieren.

Das Steuerungskonzept beinhaltet neben der Industriesteuerung drei Softwaremodule, die für die Realisierung der fördertechnischen Aufgaben verantwortlich sind. Ein anwendungs-spezifisches Modul bildet die Logik, der durchzuführenden fördertechnischen Aufgabe ab (bspw. die Funktionalität einer Sortieranlage). Die mittlere Softwareebene berechnet aus diesen Anweisungen die Bewegungsbahnen der einzelnen Objekte auf dem Celluveyor. Abschließend berechnet das dritte Softwaremodul auf Grundlage der errechneten Bahnen die Steuerungsparameter für die einzelnen Antriebe der Räder. Bild 4 zeigt einen Screenshot der Berechnung der Bahn eines Paketes, wobei die markierten Module deaktiviert sind und dadurch von der Bahnplanung nicht berücksichtigt werden.

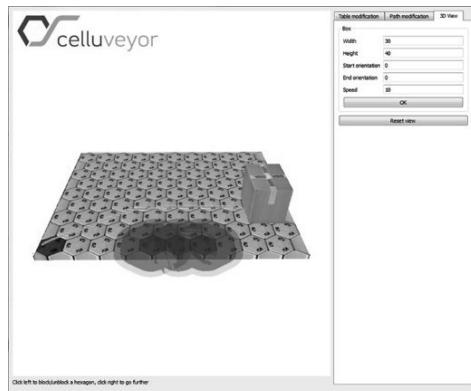


Bild 4: Screenshot der Celluveyor-Nutzerschnittstelle

Anhand des Demonstrators konnte die technische Realisierbarkeit des neuartigen Förderkonzeptes nachgewiesen werden. Zudem konnte die fördertechnische Aufgabe per Knopfdruck geändert werden, sodass die hohe Prozessflexibilität nachgewiesen werden konnte. Das bisherige zentrale Steuerungskonzept ist allerdings eine starke Limitierung, die die potentielle Gesamtflexibilität des Systems einschränkt.

5. Ausblick

Die Ergebnisse der Experimente mit dem bestehenden Demonstrator-System zeigen das große Potential des Systems. Aktuelle Forschungsarbeiten umfassen die Entwicklung eines

dezentralen Steuerungskonzepts. Hier werden die Fördermodule mit zusätzlicher Intelligenz ausgestattet, um die Berechnungen der Steuerungssoftware zu übernehmen. Des Weiteren wird ein Kamera-basiertes Feedbacksystem implementiert, dass die Positionen und Orientierungen der einzelnen Objekte auf dem Celluveyor bestimmt und zur Steuerung zurückführt. Dies ist für Positionieraufgaben notwendig, um eventuelle Abweichungen zwischen geplanter und tatsächlicher Bahn zu bestimmen.

Literatur

- [1] ten Hompel, M.; Nagel, L.: Zellulare Transportsysteme – Den Dingen Beine machen. *It – information Technology*, 50, 2008, 59-65.
- [2] Krühn, T.: Dezentrale, verteilte Steuerung flächiger Fördersysteme für den innerbetrieblichen Materialfluss. Dissertation. Hannover 2015.
- [3] Lanza, G.; Rühl, J.; Peters, S.: Monetäre Flexibilitätsbewertung von Produktionssystemen. *wt – Werkstatttechnik online*, 6, 2010, 530-534.
- [4] Kirks, T.; Stenzel, J.; Kamagaew, A.; ten Hompel, M.: Zellulare Transportfahrzeuge für flexible und wandlungsfähige Intralogistiksysteme. *Logistics Journal*, 2012.
- [5] Kuzmany, F. A.: Konzeption und Entwicklung von Modulen für das Internet der Dinge. Dissertation. München 2010.
- [6] Günthner, W. A.; Heinecker, M.: Bewertungs- und Gestaltungsrichtlinien für wandelbare Materialflusssysteme. *Logistics Journal*. 2006.
- [7] Handrich, W.: Flurfreie flexible Materialflusstechnik für dynamische Produktionsstrukturen. Dissertation. München. 2002.
- [8] Mayer, S.: Development of a completely decentralized control system for modular continuous conveyors. Dissertation. Karlsruhe. 2009.
- [9] Furmans, K.; Mayer, S.; Berbig, D.; Stryja, C.: Entwicklung eines flexiblen Fördersystems auf Basis baugleicher Einzelmodule. Abschlussbericht des IGF Forschungsprojekt Nr. 15732, 2010.
- [10] Seibold, Z.; Gebhardt, M.; Stoll, T.: Modularer, dezentral gesteuerter Plug&Play Sorter – Mehr Nutzen mit dem GridSorter. *Hebezeuge Fördermittel*. 54. 2014.
- [11] Gue, K. R.; Uludag, O.; Furmans, K.: A High-Density System for Carton Sequencing. *International Scientific Symposium on Logistics*. BVL. Hamburg. 2012.
- [12] Furmans, K.; Schönung, F.; Gue, K.R.: Plug-and-work material handling systems. *Proceedings of the International Material Handling Research Colloquium*, 2010, 132-142.
- [13] Nobbe, C.; Baur, T.; Schönung, F.; Furmans, K.: Flächenbewegliche Fahrantriebe für moderne Materialflusssysteme am Beispiel von KARIS. *Logistics Journal*, 6, 2010.
- [14] Stoll, T.: Dezentral gesteuerter Aufbau von Stetigförderern mittels autonomer Materialflusssysteme. Dissertation. Karlsruhe. 2012.
- [15] Overmeyer, L.; Venz, K.; Falkenberg, S.; Krühn, T.: Interfaced multidirectional small-scaled modules for intralogistics operations. *Logistics Research*. 2. 2010. 123-133.

- [16] Venz, K.; Hachicha, M.B.; Radosavac, M.; Krühn, T.; Overmeyer, L.: Aufbau hochfunktionaler Intralogistik-Knoten mittels kleinskaliger Module als Cognitive Conveyor. Logistics Journal. 2012.
- [17] ten Hompel, M.: Zellulare Fördertechnik. eLogistics Journal, 2006.

Effizienter Informationsaustausch durch Cluster-Koordinatoren in dezentral gesteuerten Materialflusssystemen

Kommunikationseffiziente Steuerung in hochflexiblen Materialflusssystemen mit kollaborativer Auftragsdurchführung

C. Lieberoth-Leden, M.Sc., Prof. Dr.-Ing. **W. A. Günthner**, Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik (fml) an der TU München, Garching;

D. Regulin, M.Sc., Prof. Dr.-Ing. **B. Vogel-Heuser**, Lehrstuhl für Automatisierung und Informationssysteme (ais) an der TU München, Garching

Kurzfassung

Der Forderung nach einer immer höheren Flexibilität und Wandelbarkeit von automatischen Materialflusssystemen kann mit einer Modularisierung der Hard- und Software begegnet werden. Eine auf mehrere Rechenhardware verteilte Steuerung führt jedoch zu einem hohen Koordinationsbedarf zwischen den einzelnen Modulen bei der Planung von Transportaufträgen, insbesondere wenn die Module in gegenseitiger Abhängigkeit stehen. Modul-Cluster mit einem zentralisierten Koordinator, die sich automatisch aus mehreren Modulen bilden, übernehmen im vorgestellten Ansatz stellvertretend die Kommunikation mit der Umwelt und minimieren die ausgetauschten Nachrichten.

1. Einleitung

Moderne Materialflusssysteme besitzen in der Regel eine individuelle zentrale Steuerung, die eine Flexibilität in zuvor definierten Grenzen zulässt, wie zum Beispiel die Nutzung von Alternativstrecken für eine Durchsatzsteigerung. Nicht vorhergesehene Anforderungen an die Flexibilität, wie beispielsweise eine Erweiterung der Anlage, bedingen jedoch eine entsprechend flexible Materialflussssteuerung. Ein Konzept für den Aufbau und Betrieb eines solchen Systems ist die funktionsorientierte Modularisierung der Hard- und Software. Diese schafft einheitliche Schnittstellen in einem Materialflusssystem, das aus heterogenen Fördertechnikkomponenten wie Stetig- und Unstetigförderern (z.B. Rollenförderer zusammen mit einer Elektrohängebahn) aufgebaut ist [1].

Ein Modul ist dabei eine abgeschlossene Einheit, die definierte Funktionen, wie beispielsweise Fördern oder Verzweigen, durchführen kann. Das Modul besitzt die notwendigen Soft-

warefunktionen, um die eigene Hardware anzusteuern und mit anderen Modulen oder übergeordneten Systemen zu kommunizieren sowie sich selbstständig zu konfigurieren. Durch die Verwendung autonomer dezentral gesteuerter Module sollen sich in der Folge heterogene Materialflusssysteme während ihrer Laufzeit verändern lassen.

Ein sich während der Laufzeit flexibel anpassbares Materialflusssystem lässt sich vor der Inbetriebnahme nur schwer simulativ absichern. Um Fehler wie Verklemmungen zu verhindern, muss daher während des Betriebes jeder Transportauftrag (TA) vor dem Start mit allen beteiligten Modulen vorausgeplant werden. In diesem Beitrag wird hierfür das Verfahren der Zeitfensterreservierung genutzt. Für die zukünftige Nutzung eines Moduls durch einen TA wird hierfür ein Zeitfenster reserviert, in dem dann ausschließlich der zugeteilte TA bearbeitet werden darf. Je größer ein System ist, desto längere Planungsvorlaufzeiten haben die einzelnen Module, da mehr Zeit zwischen dem Beginn eines Auftrages und der Ankunft an einem Modul vergehen kann. In der Regel sind nicht alle Transportaufträge im Voraus bekannt. In der Behälterfördertechnik können jederzeit manuell neue Behälter hinzugefügt werden, die unverzüglich von den Modulen eingeplant werden. Da kein Wissen über alle anstehenden TA vorhanden ist, können nicht optimale Planungsszenarien entstehen. Dies gilt insbesondere für Module mit kollaborativer Auftragsausführung, also Modulen, die in gegenseitiger Abhängigkeit stehen, da diese mitunter dieselben Ressourcen nutzen. Ändert solch ein Modul seine Planung, muss es dies mit den anderen abhängigen Modulen koordinieren, was eine Kettenreaktion an Änderungen und den damit verbundenen Nachrichtenaustausch auslösen kann.

Die Kommunikations- und Rechenkapazität eines modular aufgebauten Materialflusssystems sind technisch begrenzt und limitieren dadurch die Anzahl der Module in einem System beziehungsweise erhöhen die Latenzen. Die Materialflussteuerung in einem solchen System erfolgt dezentral nach dem eingangs beschriebenen Prinzip der Zeitfensterreservierung. Nachfolgend wird daher ein Konzept angestrebt, das für kollaborativ arbeitende Module den Koordinationsaufwand in solch einer Steuerung reduziert. Darüber hinaus sollen die bestehenden Modulsteuerungen nicht verändert werden, sondern nur die Kommunikationswege, um jederzeit eine einfache Implementierung zu ermöglichen. Auch sollen hierdurch keine neuen Möglichkeiten für Verklemmungen geschaffen werden. Eine Lösung des beschriebenen Problems sind die in diesem Beitrag vorgestellten Modul-Cluster. Mehrere Module bilden hierfür einen Cluster mit einem zentralisierten Koordinator, der die Eigenschaften der Module repräsentiert.

2. Einsatzgebiete und Kommunikation von Modul-Clustern

Im Rahmen des am Lehrstuhl *fml* abgeschlossenen Forschungs- und Entwicklungsprojektes „Internet der Dinge“ wurde bereits bewiesen, dass sich Materialflussmodule, die ihre Aufträge aufgrund gegenseitiger Abhängigkeit untereinander koordinieren müssen, dezentral steuern lassen. Hierfür wurden am Beispiel von Querverschiebewägen (QVW), wie in Abbildung 1 links gezeigt, verschiedene dezentrale Steuerungsstrategien entwickelt und hinsichtlich des Durchsatzes analysiert. Die Transportaufträge wurden zu Beginn nach dem „First In First Out“ (FIFO-Prinzip) an einen freien QVW mit dem kürzesten Anfahrtsweg vergeben. Anschließend wurden verschiedene Strategien – sowohl einzeln als auch in Kombination – auf ihren Durchsatz hin untersucht. Die besten Ergebnisse wurden dabei mit der Reservierung der Anfahrts- und Transportstrecke für die geplante Durchführungszeit des Auftrages erzielt [2]. Die Funktionsweise von Modul-Clustern wird im Folgenden am Beispiel einer dezentralen Steuerung nach Chisu [3] mit einer Zeitfenstersteuerung nach Mayer [4] betrachtet.

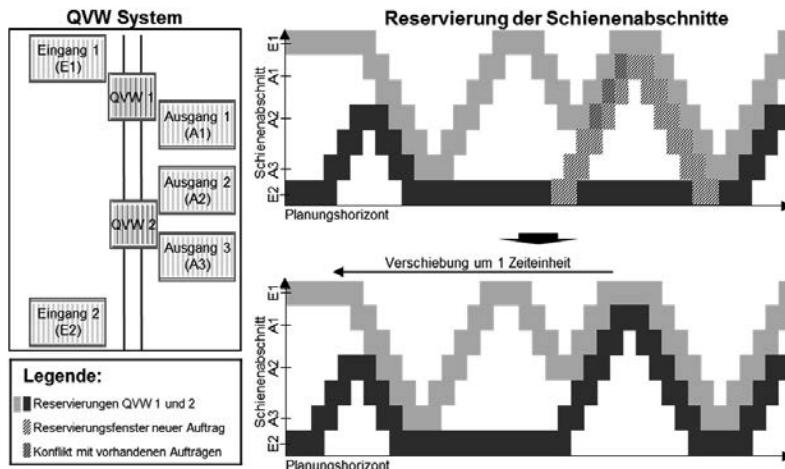


Bild 1: Verschiebung der bestehenden Reservierungen im System QVW, um einen neuen Auftrag einzufügen und somit die Systemauslastung zu erhöhen.

Die Besonderheit an dem in Abbildung 1 links gezeigten System ist die Tatsache, dass durch alle QVW Module alle Ausgänge erreicht werden können. Jedes Eingangsmodul besitzt eine Routing Matrix, in der für jeden Ausgang und für in der Zukunft liegende Zeitfenster der QVW mit der kürzesten Bearbeitungszeit eingetragen ist. Für eine Transportanfrage kann somit in Abhängigkeit des Ausgangsmoduls und des Eintreffzeitpunkts der ausführende QVW aus-

gewählt werden. Die Kommunikation und eine Berechnungsformel für die Anzahl der ausgetauschten Nachrichten ist in Abbildung 2 links dargestellt und wird im Folgenden erläutert. Kommt eine Reservierungsanfrage am Eingangsmodul an, wird diese direkt an den vorgesehenen QVW weitergeleitet. Dieser ermittelt den Austrittszeitpunkt und sendet die aktualisierte Anfrage an den Ausgang weiter. Nach der Bestätigung der Route durch den Ausgang versendet der eingeplante QVW eine Reservierung für die benötigten Schienenabschnitte an die anderen QVW. Für die Reservierung des ausführenden QVW werden somit immer jeweils zwei Nachrichten für die Reservierung (Anfrage und Weiterleitung) und deren Bestätigung (Empfang und Weiterleitung) im QVW System versendet. Die Anzahl der Nachrichten für die Reservierung der Schienenabschnitte ist davon abhängig wie viele andere QVW hierfür benachrichtigt werden müssen. Nach einer erfolgreichen Reservierung müssen alle QVW ihre Bearbeitungszeiten neu berechnen, da sich durch die geänderten Schienenreservierungen andere Transportzeiten ergeben können. Die neuen Bearbeitungszeiten werden von den QVW an die Eingangsmodule geschickt. Die Eingänge wählen auf dieser Basis für jeden Ausgang und für jedes Zeitfenster in der Zukunft den QVW mit der kürzesten Bearbeitungszeit aus und tragen diesen in ihre Routingtabelle ein.

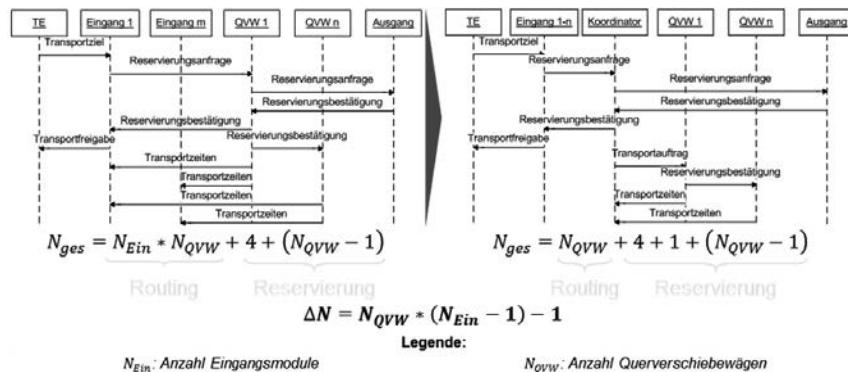


Bild 2: Sequenzdiagramm für den Kommunikationsablauf für Routing und Reservierung jeweils mit und ohne Cluster-Koordinator sowie Berechnung der Kommunikationslast

Insbesondere für die Aktualisierung der Schienenreservierungen unter den Modulen werden viele Nachrichten ausgetauscht, um lokales Wissen allen Modulen verfügbar zu machen. Diese Aufgabe soll der in diesem Beitrag vorgestellte Cluster-Koordinator unter anderem effizienter gestalten. Cluster bestehen aus mehreren Modulen, die in gegenseitiger Abhän-

gigkeit stehen. Ziel ist es die Koordinationsprozesse (Routing und Reservierungen) untereinander und zu externen Modulen hin zu vereinfachen. Zu diesem Zweck wird jedes Modul-Cluster durch einen Koordinator vertreten, der die Kommunikation zu externen Modulen oder übergeordneten Systemen übernimmt und vereinfacht. Der Koordinator vertritt den Cluster nach außen wie ein reguläres Modul, das seine Eigenschaften aus den zugeordneten Modulen ableitet. Die Steuerung der Module selbst bleibt unverändert, während die Kommunikation umgeleitet wird, womit die Anforderung erfüllt ist keine neue Steuerung implementieren zu müssen. Im Falle des Gesamtsystems QVW sind alle QVW dem Cluster QVW zugeordnet. Beispielsweise entspricht die Kapazität der parallelen Auftragsbearbeitung der Anzahl der QVW im Cluster.

Die Kommunikation mit einem Cluster-Koordinator ist in Abbildung 2 rechts skizziert. Für das Routing entfällt die Absprache, welcher konkrete QVW in den Routingtabellen der Eingangsmodule eingetragen wird, da hier stellvertretend immer der Koordinator steht. Die Reservierungsanfragen der Eingangsmodule werden vom Koordinator bearbeitet und weitergeleitet. Die Bearbeitungszeiten werden auf Basis der Transportstrecken sowie dem Auslastungsgrad zum betreffenden Zeitraum bestimmt. Die einzelnen Module sind von diesem Prozess zunächst abgekapselt, da alle Transportaufträge vom Koordinator verwaltet werden. Die Zuweisung von Transportaufträgen an einen konkreten QVW erfolgt so spät wie möglich, also kurz vor der physischen Ankunft der TE. Hierdurch wird die Wahrscheinlichkeit für kurzfristige Umplanungen reduziert.

Anhand der in Abbildung 2 dargestellten Formeln lässt sich die Differenz der Anzahl an ausgetauschten Nachrichten in einem System mit und ohne Cluster pro Reservierungsvorgang bestimmen. Bei einem Eingang agiert der Koordinator ähnlich wie der Eingang selbst und führt somit die gleichen Kommunikationsschritte aus. Existiert mehr als ein Eingang, resultiert bei Verwendung des Clusters ein geringerer Kommunikationsaufwand, da der Koordinator die zusätzlichen Eingänge vertritt. Folglich wird die Anforderung erfüllt, dass der Cluster für reguläre Neureservierungen nicht mehr Kommunikationsaufwand benötigt.

Die eigentliche Überlegenheit spielt der Cluster aber erst bei der Umplanung aus. Nachdem bereits TE mit Reservierungen eingeplant sind, können für den gleichen Zeitraum neue Aufträge hinzukommen, wie in Abbildung 1 rechts mit der schraffierten Reservierung angedeutet. Durch das vollständige Wissen über das System kann der Cluster Koordinator selbstständig entscheiden, ob ein neuer Auftrag noch eingeschoben werden kann und ob andere Aufträge hierfür verschoben werden müssen. Ohne einen Cluster-Koordinatoren müssen die Module hingegen in einem umfangreichen Kommunikationsprozess die geplanten Änderungen verhandeln und gegenseitig freigeben.

3. Zusammenfassung

Zu Beginn dieses Beitrages wurde die Problematik aufgezeigt, dass dezentral gesteuerte Module, die sich untereinander zur Auftragsdurchführung koordinieren müssen, eine hohe Kommunikationslast verursachen. Diese wurde im Kontext einer dezentralen Materialflussteuerung untersucht, die mit einem zeitfensterbasierten Reservierungsalgorithmus arbeitet, der Deadlocks präventiv ausschließt. Für die Reduzierung der Kommunikationslast wurde die Einführung von Clustern mit zentralisierten Koordinatoren vorgeschlagen und gezeigt, unter welchen Randbedingungen die Bildung eines Clusters Vorteile bringt sowie dessen Funktionsweise beschrieben.

Für die Evaluation der Cluster-Koordinatoren wurden die Kommunikation in Sequenzdiagrammen aufbereitet, analytische Formeln zur Berechnung der Last hergeleitet und die Reduzierung der Kommunikationslast bewiesen. Durch einen Cluster-Koordinator lassen sich zukünftig Planungsänderungen mit geringem Kommunikationsaufwand umsetzen und somit Optimierungspotentiale, wie beispielsweise eine Steigerung des Durchsatzes und Reduzierung der mittleren Durchlaufzeit im Cluster, einfacher heben. Der Cluster-Koordinator stellt somit einen hybriden Ansatz zwischen einer zentralen und dezentralen Materialflussteuerung dar. Der Ansatz einer dezentralen Steuerung für wandelbare und flexible Materialflusssysteme kann somit beibehalten und die Vorteile einer zentralen Steuerung hinsichtlich der Informationsbasis und des Koordinationsaufwands punktuell genutzt werden.

Im weiteren Verlauf des Forschungsprojektes soll untersucht werden, ob für wandelbare und heterogen aufgebaute Materialflusssysteme eine zentrale Steuerung oder eine, wie in diesem Beitrag vorgestellte, hybride Lösung die Anforderungen besser erfüllt.

- [1] Wilke, M.: Wandelbare automatisierte Materialflusssysteme für dynamische Produktionsstrukturen. Dissertation. Technische Universität München, 2006.
- [2] Günthner, W. A.; Chisu, R.; Kuzmany, F.: Dezentrale Koordination und Kooperation im Internet der Dinge. In: Scheid, W.-M. (Hrsg): 5. Fachkolloquium der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Technische Logistik (WGTL). Ilmenau: Univ.-Verl. Ilmenau, 2009, S. 35–37.
- [3] Chisu, R.; Kuzmany, F.; Günthner, W. A.: Dezentrale Koordination und Kooperation im Internet der Dinge. In: Scheid, W.-M. (Hrsg): 5. Fachkolloquium der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Technische Logistik (WGTL). Ilmenau: Univ.-Verl. Ilmenau, 2009, S. 35–37.
- [4] Mayer, S. H.: Development of a completely decentralized control system for modular continuous conveyor systems. Dissertation. Karlsruher Institut für Technologie, 2009.

Lifelong LEArNing

Wie Lean Management die Auswirkungen des demographischen Wandels in der Intralogistik aktiv mitgestalten kann

Dipl.-Logist. **Jennifer Beuth, Theresa Fohrmann, M.Sc. Oec.**,
Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML, Dortmund

Kurzfassung

Die Logistikbranche befindet sich im stetigen Wandel. Von externen Faktoren beeinflusst, wird die Entwicklung flexibler Lösungsansätze für künftige Herausforderungen eine Hauptaufgabe der Zukunft sein. Der demographische Wandel mit seinen Auswirkungen ist auch in der Intralogistik deutlich spürbar. Neben einer für die Branche charakteristischen hohen Fluktuation der Mitarbeiter rückt der Faktor einer sich verschiebenden Altersstruktur in den Belegschaften mehr in den Fokus. Zukünftig steigende Qualifikations- und Leistungsanforderungen, die insbesondere durch die vierte industrielle Revolution vorangetrieben werden, stehen im Kontrast zum Leistungspotential einer alternden Belegschaft. Digitalisierung und Automatisierung als wesentliche Merkmale von Industrie 4.0 stellen immer höhere Anforderungen an eine ständige Weiterqualifizierung der Mitarbeiter, welche einer alternden Belegschaft zunehmend schwerer fällt. Die Ressource der menschlichen Arbeitskraft rückt daher mehr und mehr in den Fokus des Interesses. Das Lean Management verfolgt das Ziel, Abläufe effizient zu gestalten und Prozesse zu optimieren. Dabei steht neben den Prozessen der Mensch im Mittelpunkt der Betrachtung. Die Prinzipien des Lean Management, angewandt auf die Prozesse der Intralogistik, zeigen bereits heute enorme Potenziale zur Erhöhung der Effizienz im Lager auf. Auch in Bezug auf den demographischen Wandel bietet Lean Logistics einen geeigneten Ansatz, den daraus resultierenden Herausforderungen entgegenzutreten. Die interdisziplinäre Verknüpfung dieser beiden Themen bildet ein gänzlich neues Forschungsfeld, welches Synergieeffekte einer altersgemischten Belegschaft aufgreift. Die Herausforderung ist daher, die Chancen des demographischen Wandels zu nutzen, indem Prozesse gemeinsam mit den Mitarbeitern zukunftsfähig gestaltet werden und somit sogar Leistungssteigerungen hervorgerufen können.

1. Herausforderungen der Intralogistik

Einige der vielen Herausforderungen denen sich Unternehmen heute stellen müssen, sind die kontinuierliche Veränderung des Marktes, die fortschreitende Globalisierung, die Schnell-

lebigkeit der Produkte und das wachsende Kundenbedürfnis nach Sofortness: *Alles zu jeder Zeit – immer und überall*. Um diesen Herausforderungen gerecht zu werden, ist eine gut organisierte Supply Chain elementar. Die Intralogistik ist dabei ein zentraler Bestandteil der Distributionskette. Ein ausgereiftes Lagerkonzept, reibungslose Abläufe und stabile Prozesse sind notwendig, damit ein Lager auch zu Spitzenzeiten den volatilen Anforderungen des Marktes gerecht wird. Für die Intralogistik resultiert hieraus eine zentrale Anforderung: *Hochflexible Prozesse – immer und überall*.

Innerhalb der Produktion hat sich das Prinzip der *Lean Production* seit Jahrzehnten erfolgreich etabliert, um die Produktionsprozesse im Hinblick auf die Kundenwünsche stets schlank und flexibel zu gestalten. Im Rahmen einer kontinuierlichen Verbesserung werden unter anderem die Potenziale der Mitarbeiter genutzt, um die Prozesse stetig zu hinterfragen und anzupassen. Verbesserungsimpulse sind im Idealfall keine verzögerten Reaktionen auf geänderte Rahmenbedingungen, sondern frühzeitig geäußerte, interne Beobachtungen. Mitarbeiter werden dazu motiviert, eigenständig eine kontinuierliche Verbesserung der Prozesse innerhalb ihres Unternehmens anzustreben. Seit einigen Jahren ist der Trend zu beobachten, dass auch innerhalb der Logistik auf die Philosophie und Gestaltungsgrundsätze des *Lean Managements* zurückgegriffen wird. Der Ansatz des sogenannten *Lean Logistics* zur effizienteren Gestaltung der Lagerprozesse fokussiert in der Regel die kontinuierliche Verbesserung der Lagerprozesse, unabhängig davon, wo diese in der Supply Chain angesiedelt sind.

Zusätzlich zu der zentralen Anforderung *Hochflexible Prozesse – immer und überall* sind Unternehmen gezwungen, sich mehr und mehr mit den Auswirkungen des demographischen Wandels auf ihre Abläufe zu befassen: Die Altersstruktur der Belegschaften in den Unternehmen verändert sich deutlich, so nehmen etwa die Arbeitsunfähigkeitstage der älter werdenden Beschäftigten deutlich zu [1]. Die Gruppe der 50+ Erwerbstätigen steigt bis zum Jahr 2050 um 30 Prozent an [2]. Weiterhin nehmen die darunter liegenden Altersgruppen um 10 bis 15 Prozent ab [2]. Im Gesundheitsreport 2015 der Techniker Krankenkasse liegt das Berufsfeld Verkehrs- und Lagerberufe mit 21,3 Arbeitsunfähigkeitstagen pro Jahr bei Männern und 24,5 Arbeitsunfähigkeitstagen pro Jahr bei Frauen an der Spitze der Statistik. Weiterführend zeigt der Report auf Basis von Daten des Jahres 2014 einen Krankenstand von 4,06 Prozent für alle Versicherten der Krankenkasse [1]. Ein Vergleich mit der Statistik der Knappschaft, die einen Krankenstand von 6,46 Prozent (2014) im Wirtschaftszweig Verkehr und Logistik ausweist, zeigt eine überdurchschnittlich hohe Ausfallquote der Beschäftigten im Bereich Logistik [3]. Gepaart mit der Tatsache, dass Mitarbeiter nach Aussage von Unter-

nehmen in der Logistik häufig verfrüht in Rente gehen, wird zukünftig der Wandel von einem Arbeitgeber- zu einem Arbeitnehmermarkt besonders die Logistik treffen.

Die Unternehmen sind also gezwungen, sich mit den Auswirkungen des demographischen Wandels auseinander zu setzen, um ihre Wettbewerbsfähigkeit aufrecht zu erhalten. Die Ansätze des *Lean Logistics* können hierbei einen hohen Beitrag leisten.

2. Die Unterstützung des demographischen Wandels mittels Lean Logistics

Bislang wurde *Lean Logistics* fast ausschließlich dazu genutzt, die Logistikprozesse schlank und flexibel zu gestalten. Viele der Grundelemente des schlanken Managements können jedoch auch im Umgang mit den Auswirkungen des demographischen Wandels aktiv unterstützen. Die Umsetzung wird nachfolgend an ausgewählten Beispielen gezeigt.

Der Kontinuierliche Verbesserungsprozess (KVP) als ein Kernelement des Lean Management befasst sich mit der stetigen Verbesserung von Prozessen, indem Verbesserungsmaßnahmen schrittweise umgesetzt werden. Die entsprechenden Maßnahmen werden von den Mitarbeitern erarbeitet und die Umsetzung aktiv durch diese mitgestaltet. Die Logistics Group International GmbH (LGI) beschäftigt sich im Rahmen Ihres LOS-Programms (LGI Operating System) mit den Auswirkungen des demographischen Wandels auf die logistischen Prozessstrukturen. Dies zeigt sich in der Umsetzung eines kontinuierlichen Verbesserungsprozesses mit besonderem Fokus auf Themenfelder wie Ergonomie, Arbeitsplatzgestaltung und Belastungsanalysen. Im Vordergrund steht dabei, einfache Verbesserungsmaßnahmen kontinuierlich umzusetzen. Bei einem Umsetzungsbeispiel mussten Mitarbeiter beim Umpacken von Ware von einem Ladehilfsmittel in ein anderes jeweils einen Schritt in das selbige machen. Zur besseren Erreichbarkeit wurde ein Podest gebaut, welches die Ladehilfsmittel verbindet und die Bearbeitungs- und Bewegungsflächen auf eine Höhe angleicht. Auch im Bereich der Kommissionierung wurden unter Berücksichtigung ergonomischer Aspekte Verbesserungen durchgeführt. Durch die Einführung einer sogenannten „Golden Zone“ sollen die Mitarbeiter ergonomisch entlastet werden. Bei der Umsetzung dieses Konzeptes geht es darum, dass die Artikel mit hoher Pickhäufigkeit zusammengelagert werden und die Greifhöhe für den Kommissionierer in einer ergonomisch gut zu erreichenden Zone liegt. Ein weiteres mit dem Fraunhofer IML kooperierendes Unternehmen legt den Fokus bei der Einrichtung einer Golden Zone besonders auf die Produkt-Gewichte in den Kommissionierzonen und die daraus resultierende Einlagerung der Artikel in die zugewiesenen Lagerfächer. Dabei lagern im Bereich der Fachbodenregale die schweren Artikel in den mittleren Fächern und haben damit eine Greifhöhe, die nicht über Kopfhöhe bzw. unter Hüfthöhe liegt. Diese und

weitere Maßnahmen werden aktuell noch von wenigen Unternehmen durchgeführt, um den Anforderungen des demographischen Wandels gerecht zu werden. Um angestoßene Verbesserungsmaßnahmen im Rahmen des KVP nachhaltig umzusetzen, müssen die operativ eingebundenen Mitarbeiter oftmals über Stunden freigestellt werden. Bei einem ohnehin existenten Fachkräftemangel werden die entlastenden und notwendigen Verbesserungsmaßnahmen häufig aufgeschoben, da das operative Tagesgeschäft Vorrang hat. Damit KVP-Aktivitäten vorangetrieben werden, können beispielsweise sogenannte Corporate Alumni, also langjährige aber mittlerweile pensionierte Mitarbeiter, in Teilzeit beschäftigt werden. Die dadurch temporär generierten Mitarbeiterressourcen können dazu genutzt werden die KVP-Aktivitäten aktiv zu begleiten und damit die operativen Mitarbeiter zu entlasten.

Um Verbesserungsmaßnahmen im Rahmen des KVP aufzudecken, gilt es zunächst, mögliche Verschwendungen im Prozess aufzudecken. Muda ist ein Element des Toyota 3M-Modells und bedeutet Verschwendungen. Ein Muda-Walk ist ein häufig genutztes und effektives Instrument im Lean Management, um Verschwendungen aufzudecken und zu dokumentieren [4]. Wie der Name bereits suggeriert, handelt es sich hierbei um eine Prozessbegehung im Shopfloor und wird daher auch häufig mit dem Begriff Gemba-Walk bezeichnet. Das japanische Wort Gemba bedeutet „Ort des Geschehens“. Auch der Muda-Walk wird am Ort des Geschehens durchgeführt. Bei dieser Methode liegt der Fokus im Aufdecken von Verschwendungen. Im Kontext zum demographischen Wandel sind besonders diejenigen Verschwendungsarten fokussiert zu untersuchen, die Einfluss auf das ergonomische Arbeiten nehmen. Herauszustellen sind hier die unnötigen Bewegungen, aus denen häufig nicht ergonomische Bewegungsmuster der Mitarbeiter resultieren. Als „unnötig“ werden sämtliche Bewegungen umfasst, die im Prozess nicht wertschöpfend sind. Beobachtungen zeigen, dass diese unnötigen Bewegungen oftmals mit nicht ergonomischen Bewegungen einhergehen. Neben den sieben klassischen Verschwendungsarten, abgeleitet aus den Prinzipien der Lean Production, wird als achte Verschwendungsart das ungenutzte Potenzial gesehen. Auch dieses stellt im Zusammenhang mit dem demographischen Wandel eine wichtige Verschwendungsart dar. Die zunehmende Arbeitserfahrung und das zu beobachtende steigende Urteilsvermögen einer alternden Belegschaft zählen zu den positiven Auswirkungen des demographischen Wandels, welche häufig verkannt werden und damit das vorhandene Wissenspotenzial nicht genutzt wird. Bei der Durchführung eines Muda-Walks ist es daher essentiell, die Mitarbeiter aktiv in die Verschwendungsfindung zu integrieren und mit diesen gemeinsam die Arbeitsabläufe im Unternehmen zu hinterfragen.

Neben diesen klassischen Verschwendungsarten, die unter dem Begriff Muda zusammengefasst sind, können Verschwendungen außerdem aus Muri (dt. Überbeanspruchung) und Mura (dt. Uneausgeglichenheit) resultieren (siehe auch Bild 1).

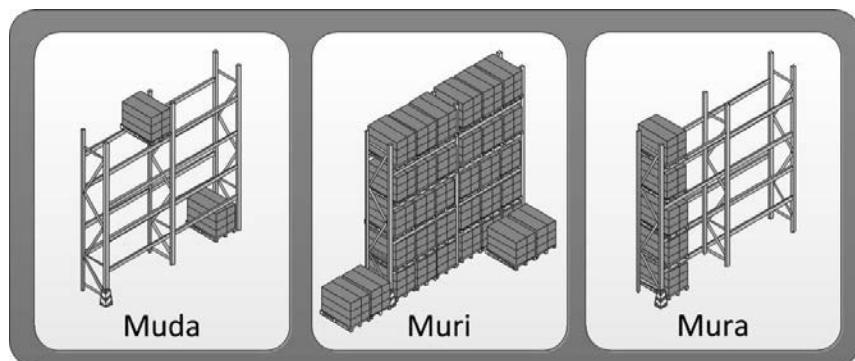


Bild 1: Muda, Muri und Mura [4]

Eine physische, oder kognitive Überbeanspruchung des Menschen führt beispielsweise häufig zu Fehlern und damit einhergehend zu Wartezeiten. Auch können sich die einzelnen Verschwendungsarten gegenseitig beeinflussen. Falsch dimensionierte Prozesse verursachen Uneausgeglichenheiten an den Arbeitsstationen, welche wiederum in Wartezeiten resultieren können. Das 3M-Modell ist damit ein in sich abhängiges System. Der Muda-Walk eignet sich daher besonders, um Potenziale aufzudecken und bildet eine wichtige Säule im kontinuierlichen Verbesserungsprozess. Teilweise nutzen Unternehmen die regelmäßige Durchführung von Muda-Walks bereits zur Identifizierung von Maßnahmen zur ergonomischen Gestaltung des Arbeitsplatzes. So werden in einem Praxisbeispiel Arbeitshilfen, in Form von Transport- und Hebehilfen, nicht nur für ältere Mitarbeiter, sondern ebenfalls präventiv wirkend für die jüngere Belegschaft, im Arbeitsalltag getestet. Nachdem diese Maßnahmen erfolgreich in einem Prototypen umgesetzt und von den Mitarbeitern als hilfreich und arbeitserleichternd empfunden wurden, werden sie in die logistischen Prozesse des Unternehmens integriert. Die regelmäßige Durchführung von Muda-Walks dient somit zur Aufdeckung von Verschwendungen, um Maßnahmen einzuleiten, die den negativen Auswirkungen des demographischen Wandels entgegenwirken und mithilfe erfahrener, motivierter Mitarbeiter sogar Leistungssteigerungen hervorbringen.

Ein weiteres Praxisbeispiel zeigt, wie mit einer kontinuierlichen Sensibilisierung der Mitarbeiter zum Thema Ergonomie und einem entsprechenden Verhalten am Arbeitsplatz den Herausforderungen des demographischen Wandels begegnet werden kann. Im Rahmen der Initiative „Ergonomie im Depot“ werden sämtliche Mitarbeiter des Lagers in Kleingruppen, durch Einbeziehung von internen Experten, den sogenannten „Ergonomie Champions“ und externen Ergonomie-Beratern, im Thema Ergonomie geschult. Darüber hinaus hat jeder Mitarbeiter die Möglichkeit eine persönliche Sprechstunde bei einem Ergonomie-Berater in Anspruch zu nehmen. Ergonomie-Flyer dienen dazu, anhand von realistischen Situationen, aufzuzeigen wie die Mitarbeiter sich zum Beispiel beim Kommissionieren, Verpacken und Heben ergonomisch korrekt verhalten sollten. Um die Mitarbeiter für diese Themen zu sensibilisieren, werden reale Situationen aus den unternehmenseigenen Prozessen mit „richtig/falsch Fotos“ hervorgehoben und einfache Rückenübungen zur Stärkung der Muskulatur vorgeschlagen. Gerade das visuelle Management bietet im Rahmen des Lean Management eine Basis für kontinuierliche Verbesserungen, indem Probleme sichtbar gemacht werden und Transparenz geschaffen wird. Auch im Bereich Ergonomie können zum Beispiel inhaltlich an die Ergonomie-Flyer angelehnte One-Point-Lessons und Bilder auf dem Shopfloor dazu dienen, die Mitarbeiter zu sensibilisieren. Bei der One-Point-Lesson handelt es sich um eine Kurzschulung zu einem Prozess. Als Beispiel sei das Verbuchen von Waren im Warenausgang genannt. Auf einem DIN A4 Blatt wird beschrieben, was zur Durchführung des Prozesses zu beachten ist. Diese werden in der Regel zum besseren Verständnis mit Bildern ergänzt. In dem oben genannten Beispiel könnte es sich zum Beispiel um Bilder der zu scannenden Barcodes handeln. Die Kurzschulungen sollten bestmöglich direkt am Ort des Geschehens sichtbar angebracht sein. Zur Unterstützung im demographischen Wandel können diese auch vervielfältigt ausliegen und zum Anlernen und zu Schulungszwecken genutzt werden. Deshalb ist darauf zu achten, dass es sich bei den Beschreibungen nicht um verschachtelte Sätze handelt. Vielmehr bieten einfache Beschreibungen dem Mitarbeiter einen Mehrwert. Zudem sollten die tatsächlich im Lager genutzten Begriffe verwendet werden. Wenn die Lagermitarbeiter zum Beispiel das Paletten-Label im Sprachgebrauch „Sticker“ nennen, so ist dieser Begriff auch in der One-Point-Lesson zu verwenden.

Einen Rahmen für den Informationsaustausch stellt die Regelkommunikation dar. Hierbei handelt es sich um ein regelmäßiges Treffen aller Mitarbeiter eines Logistikbereiches und sollte idealerweise täglich mit einer Dauer von fünf bis zehn Minuten zu Schichtbeginn stattfinden (Bild 2). Während dieser Treffen werden unter anderem Kennzahlen des Vortages sowie eine Vorschau für den aktuellen Tag besprochen. Durch die tägliche Besprechung von

Soll- und Ist-Leistungen können wichtige Erkenntnisse für die zu erwartende Tagesleistung sowie die Verbesserung von Prozessen gewonnen werden. Die von Mitarbeitern entdeckten Schwachstellen werden direkt während der Regelkommunikation diskutiert. Der Mitarbeiter hat hierbei die Möglichkeit seinen Vorgesetzten in organisierter und strukturierter Weise ein Prozessfeedback zu geben. Die Vorgesetzten können diese Gelegenheit nutzen, um Informationen zu streuen. Dabei kann es sich sowohl um allgemeine Hinweise für die Mitarbeiter handeln als auch um Mitteilungen zu gefundenen Schwachstellen aus vorherigen Meetings. Dieser zyklische Austausch zwischen den operativen Mitarbeitern und den Führungskräften eines Bereiches bildet das Fundament für einen kontinuierlichen Verbesserungsprozess.

Gespräche mit unterschiedlichen Unternehmen belegen, dass die Anzahl der auftretenden Schwierigkeiten im Prozess aufgrund des demographischen Wandels steigt. Grund dafür ist



Bild 2: Mitarbeiter während des kontinuierlichen Verbesserungsprozesses im Lager [4].

zum einen, dass es jüngeren Mitarbeitern häufig an notwendigem Erfahrungswissen mangelt und ältere Mitarbeiter gerade im Zeitalter von Industrie 4.0 vermehrt vor Problemen stehen, die aus der fortschreitenden technischen Entwicklung resultieren. Indem prozessbedingte Herausforderungen ein fester Bestandteil der Regelkommunikation werden, können auftretende Schwierigkeiten direkt diskutiert werden. Auch das Aufstellen von altersgemischten Buddy-Teams, welches aus einem jüngeren und einem älteren Mitarbeiter bestehen kann, trägt dazu bei, den

selbstgesteuerten Wissenstransfer von Mitarbeitern zu unterstützen. Hinsichtlich der bestehenden Herausforderungen können sich die Mitarbeiter gegenseitig unterstützen. Solch ein zeitlich befristetes Buddy-Team kann ebenfalls bereichsübergreifend zusammengesetzt werden, um von einem interdisziplinären, schnittstellenübergreifenden Austausch zu profitieren. Neben der Problemlösung wird durch das eigenständige Anstoßen von Verbesserungsmaßnahmen in den Teams zusätzlich das Gruppengefühl gestärkt und die Führungskraft entlastet.

3. Chancen und Herausforderungen durch Zuwanderung

Die steigende Zuwanderung der letzten Monate entfacht die Diskussion um den demografischen Wandel erneut. Denn neuerdings scheint sich das Bild zu ändern. In einem kurzen Zeitintervall erreichen sehr viele junge Menschen Europa. Knapp 80 Prozent aller Asylbewerber, die im Jahr 2015 Deutschland erreichen, sind jünger als 35 Jahre [5]. Die Vermutung liegt nahe, dass sich durch den daraus resultierenden Zuwachs junger Fachkräfte auch die Problematik des Fachkräftemangels auffangen lässt. Trotzdem wird sich die Lücke der fehlenden Fachkräfte dadurch nicht vollständig schließen lassen, wie die Auswertungen des Statistischen Bundesamtes zeigen [2]. Stattdessen ergibt sich als Herausforderung die Integration von Asylbewerbern im deutschen Arbeitsmarkt. Dies betrifft nicht nur politische und arbeitsrechtliche Fragestellungen, sondern stellt auch die Führungskultur vor neue Herausforderungen. Auch hierbei kann das Lean Management im Sinne des Lifelong LEArNing unterstützen. Buddy-Teams, standardisierte Prozesse und in verschiedene Sprachen übersetzte One-Point-Lessons helfen neuen Mitarbeitern sich in die vorhandenen Prozesse schnell einzufinden. Das visuelle Management reduziert Fehler und Schwierigkeiten, die gerade durch sprachliche Barrieren entstehen. *Lean Logistics* bietet zahlreiche weitere Möglichkeiten und Instrumente, um kulturelle und sprachliche Barrieren zu beseitigen und damit dem Fachkräftemangel, den der demographische Wandel hervorbringt, entgegenzuwirken.

4. Fazit

Die technologischen Möglichkeiten, schlanke Logistikprozesse zu unterstützen, werden immer umfassender, kostengünstiger und einfacher in der Handhabung. Doch der entscheidende Faktor wird auch zukünftig der Mensch bleiben. *Lean Management* fokussiert zeitgleich den Mitarbeiter und die Prozesse, um stetig einen verbesserten Zustand zu erreichen. Letztlich kann *Lean Logistics* und der damit verbundene kontinuierliche Verbesserungsprozess sogar ein Bindeglied zwischen den Themen- und Handlungsfeldern des demografischen Wandels und der sozio-technischen-Systeme, wie etwa Industrie 4.0 sein. Das Thema Lifelong LEArNing widmet sich gezielt dieser veränderten Rolle des Menschen, indem es proaktiv das erforderliche Change Management steuert.

- [1] Techniker Krankenkasse: Gesundheitsreport 2015. URL:
<https://www.tk.de/tk/broschueren-und-mehr/studien-und-auswertungen/gesundheitsreport-2015/718618> - Abrufdatum: 24.11.2015.
- [2] Statistisches Bundesamt: Bevölkerung Deutschlands bis 2060 - 13. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt, 2015.
- [3] Knappschaft, die Krankenkasse der Deutschen Rentenversicherung Knappschaft-Bahn-See: AU-Quote der Wirtschaftszweige (Statistik).
- [4] Spee, D.; Beuth, J.: Lean Warehousing erfolgreich umsetzen - Herausforderungen und Erfahrungen in der Praxis. München: Huss Verlag, 2015.
- [5] Statistisches Bundesamt: Rund 80 % der Asylbewerber in Deutschland unter 35 Jahre alt. URL:
<https://www.destatis.de/Europa/DE/Thema/BevoelkerungSoziales/Bevoelkerung/Bevoelkerung.html> – Abrufdatum: 24.11.2015.

Humanorientierte Arbeitsorganisation als Erfolgsfaktor für die digitalisierte Intralogistik

Dr.-Ing. Patricia Stock, REFA-Institut e.V., Dortmund

Kurzfassung

Durch die sich wandelnde Informations- und Kommunikationstechnologie werden die Unternehmensprozesse und damit auch die Intralogistik aktuell grundlegend verändert. Die neuen Technologien eröffnen zahlreichen Chancen, aber auch Risiken für Unternehmen. Auch für die Mitarbeiter verändert sich hierdurch ihre Arbeit erheblich, was einerseits in neue Qualifikationsanforderungen und andererseits in eine veränderte Belastungssituation resultiert. Für den nachhaltigen Erfolg eines Unternehmens ist daher eine humanorientierte Arbeitsorganisation erforderliche, welche die Ansprüche der Unternehmen an die Produktivität sowie die Ansprüche der Mitarbeiter an ihre Arbeit und das Arbeitsumfeld gleichermaßen umsetzt.

Abstract

Business processes and thus the intralogistics change currently fundamentally due to new information and communication technology. The new technologies implicate many opportunities, but also risks for companies. Hence, the working conditions of the employees changed considerably, resulting on the one hand in new skill requirements and the other hand in an altered load situation. Therefore, a human-oriented work organization is required for the sustained success of a company, which incorporates the company demands for productivity and the employee demands for an ergonomic work place similarly.

1. Industrie 4.0 in der Intralogistik

Die Arbeitswelt erfährt derzeit einen grundlegenden Wandel, der durch verschiedene Megatrends initiiert wurde. Die sich wandelnde Informations- und Kommunikationstechnologie ist einer dieser Megatrends [1, 2], dessen Auswirkungen für die Produktion in Deutschland unter dem Begriff „Industrie 4.0“ diskutiert werden. Eine Untersuchung des Bundesverbands der deutschen Industrie [3] identifizierte die Individualisierung und Personalisierung von Angeboten, die Automatisierung von Prozessstufen, die digitale Integration von Prozessen sowie neue intelligente Logistikkonzepte als einige der relevanten Trends in der Wertschöpfung.

Für die Intralogistik wurden bereits erste Lösungen gefunden, die auf den sog. cyber-physischen Systemen beruhen, bei denen informations- und softwaretechnische mit mecha-

nischen bzw. elektronischen Komponenten verbunden sind [4]: So können intelligente Behälter (z.B. inBin [5]) mit Menschen und Maschinen kommunizieren, eigenständige Entscheidungen treffen, Umgebungsbedingungen überwachen und den Logistikprozess steuern. Autonome Flurförderfahrzeuge können selbstständige Transporte ausführen, einem Benutzer automatisch folgen oder gesteuert vom Benutzer gelenkt werden (z.B. FiFi [6]). Exoskelette (z.B. Robo-Mate [7]) oder kollaborierende Roboter (z.B. rorarob [8]) unterstützen den Benutzer bei der Handhabung von schweren Arbeitsgegenständen.

Laut einer ifaa-Umfrage [9] richten sich die Aktivitäten zur Umsetzung von Industrie 4.0 in den Unternehmen derzeit hauptsächlich auf die Einholung von allgemeinen Informationen. In vielen Unternehmen sind die produktionstechnischen Bedingungen für den Einsatz der Industrie 4.0 noch nicht vorhanden, weswegen der Fokus der Diskussion folglich auf den technologischen Aspekten liegt. Für den nachhaltigen Einsatz von Industrie 4.0 müssen die Unternehmen aber auch ihre Arbeitsorganisation anpassen, was derzeit i.d.R. nachrangig betrachtet wird.

2. Humanorientierung als Erfolgsfaktor für den nachhaltigen Einsatz von Industrie 4.0

Für die Beschäftigten resultiert der Einsatz von Industrie 4.0 einerseits in neue Qualifikationsanforderungen und andererseits in eine veränderte Belastungssituation. Darüber hinaus wandeln sich nicht nur die Technologie und Organisation, auch die Beschäftigten selbst verändern sich: Im Zuge der Veränderungen in der Arbeitswelt (z.B. demographischer Wandel, Individualisierung, Wertewandel) sind die Beschäftigten immer weniger bereit, sich äußeren Bedingungen von Unternehmen anzupassen, die nicht ihren Vorstellungen und Bedürfnissen entsprechen [10]. Schließlich verschiebt sich das Renteneintrittsalter durch den demographischen Wandel sukzessive nach hinten, was insbesondere bei schwerer körperlicher Arbeit problematisch ist. Die Digitalisierung kann Chancen für eine ergonomische Arbeitsgestaltung in der Intralogistik eröffnen und so dabei unterstützen, die Arbeitsfähigkeit der Beschäftigten zu erhalten.

Bei der Gestaltung der Arbeitsorganisation spielt neben der Wirtschaftlichkeit auch die Humanorientierung eine entscheidende Rolle. Bei der Humanorientierung wird die Arbeit entsprechend der physischen, psychischen und sozialen Anforderungen des Menschen gestaltet. Nach Hacker existieren dabei vier Beurteilungsebenen für die Arbeitsgestaltung, die hierarchisch strukturiert sind [11]:

- **Ausführbarkeit:** Die physischen und psychischen Voraussetzungen, wie Körpermaße, Körperkraft oder Wahrnehmungsfähigkeit, müssen mit den Anforderungen der Arbeitsaufgabe übereinstimmen.

- **Erträglichkeit:** Die Durchführung der Arbeit – auch über einen längeren Zeitraum hinweg unter Berücksichtigung von Pausen und Urlaub – darf keine Schädigungen verursachen, z.B. sind Gesundheitsschäden durch Arbeitsunfälle, Berufskrankheiten oder Schadstoffe zu vermeiden.
- **Beeinträchtigungsfreiheit/Zumutbarkeit:** Arbeitsbedingte Beeinträchtigungen entstehen durch Fehlbeanspruchungen der Leistungsvoraussetzungen, z.B. durch qualitative oder quantitative Über- oder Unterforderung. Beeinträchtigungsfreiheit ist gegeben, wenn Beeinträchtigungen infolge kurzfristiger hoher Beanspruchungen reversibel sind, beispielsweise durch Erholung in Pausen und Freizeit.
- **Persönlichkeitsförderlichkeit:** Die Arbeit soll Möglichkeiten zur positiven Weiterentwicklung der Persönlichkeit während der Arbeitstätigkeit bieten.

Die Humanorientierung wirkt sowohl direkt als auch indirekt auf die Produktivität [2]: Die unteren Ebenen Ausführbarkeit und Schädigungslosigkeit wirken vor allem auf die Leistungsfähigkeit der Beschäftigten. Die beiden höheren Ebenen Beeinträchtigungsfreiheit/Zumutbarkeit sowie Persönlichkeitsförderlichkeit wirken demgegenüber indirekt, wesentlich vielfältiger und komplexer auf die Produktivität.

Im Zuge des aktuellen Wandels in der Arbeitswelt gewinnt die Humanorientierung zunehmend an Relevanz, da die Bedeutung des Individuums und damit auch die Bedeutung der Mitarbeiter für die Unternehmen wächst. Humanorientiertes Produktivitätsmanagement vereint somit die Ansprüche der Unternehmen an die Produktivität sowie die Ansprüche der Mitarbeiter an ihre Arbeit und das Arbeitsumfeld und bringt diese in Einklang. Humanorientiertes Produktivitätsmanagement interpretiert die Berücksichtigung der Mitarbeiterinteressen damit als wichtiges Erfolgskriterium, das sich positiv auf die Produktivität auswirken kann (zur Vertiefung [2]). In der Diskussion um Industrie 4.0 fehlen die genannten Aspekte allerdings bislang.

3. Realisierung der Humanorientierung durch ein modernes Industrial Engineering

Methoden und Werkzeuge der Arbeits- und Betriebsorganisation müssen sich ständig anpassen oder neu entwickelt werden, um eine humanorientierte Arbeitsorganisation zu realisieren. Die traditionellen Strategien und Methoden von Industrial Engineering und Personalmanagement werden derzeit vom REFA-Institut weiterentwickelt. Das REFA-Haus stellt Methoden und Werkzeuge zur Verfügung, mit denen die verschiedenen Gestaltungsebenen im Unternehmen ganzheitlich und nachhaltig gemäß den neuen Anforderungen der digitalisierten Arbeitswelt gestaltet werden können (Bild 1). Methoden und Werkzeuge zielen auf die

Balance von Produktivität und nachhaltiger Unternehmenskultur ab, welche die Interessen und Ansprüche der Mitarbeiter berücksichtigt.

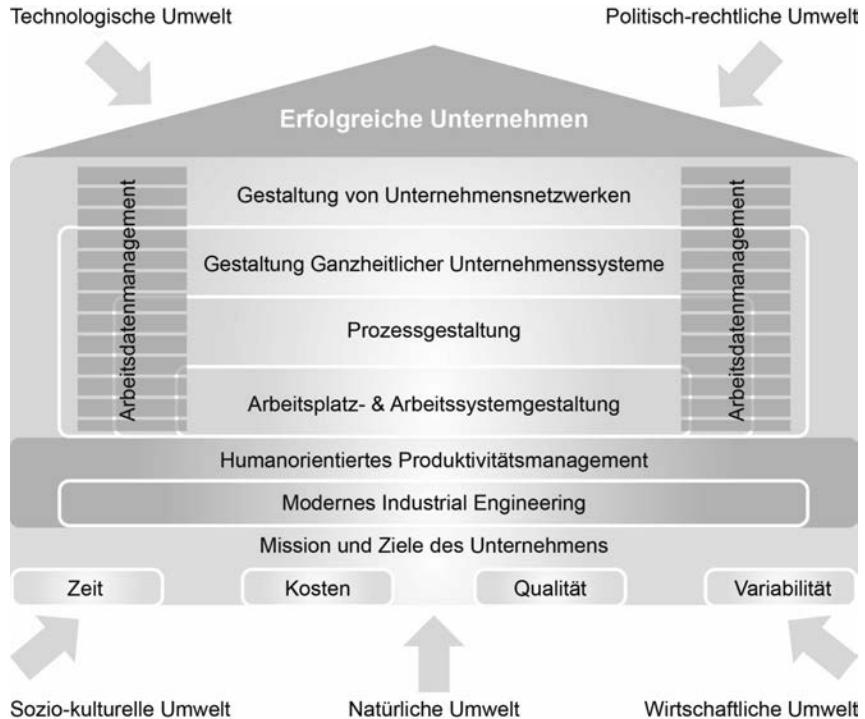


Bild 1: Das REFA-Haus: Methoden und Werkzeuge für die ganzheitliche und nachhaltige Gestaltung von Unternehmen [2]

Ein modernes Industrial Engineering gestaltet damit nicht mehr ausschließlich die Arbeitssysteme in der Fertigung, sondern betrachtet das Unternehmen und den Wertschöpfungsprozess ganzheitlich. Hieraus resultieren neue Aufgabenbereiche, wie z.B. die Mitwirkung bei der Produktentwicklung oder der Gestaltung der indirekten Bereiche, wie z.B. Intralogistik oder Kundenservice. Entsprechend vielfältig sind Anforderungs- und Kompetenzprofil des Industrial Engineers. Neben der Fach- und Methodenkompetenz ist auch zwingend Systemkompetenz erforderlich, also die die Fähigkeit, Systeme zu verstehen, zu steuern und zu verändern und Chancen und Risiken hierfür zu erkennen. Da der Industrial Engineer eine

Schlüsselposition zwischen der Geschäftsführung, Führungskräften und den Mitarbeitern einnimmt, muss er ferner auch Sozial- und Persönlichkeitskompetenz besitzen. Bei der erfolgreichen Umsetzung von Veränderungsmaßnahmen im Betrieb wird der Industrial Engineer zukünftig eine entscheidende Rolle einnehmen.

4. Zusammenfassung

Die Arbeitswelt durchläuft aktuell einen gravierenden Wandel, der u.a. durch die zunehmende Digitalisierung geprägt ist – im Kontext der Produktion in Deutschland auch als Industrie 4.0 bekannt. Gleichzeitig gewinnt durch den demografischen Wandel sowie den Wertewandel der Mitarbeiter mit seinen individuellen Ansprüchen und Wünschen zunehmend an Bedeutung. Die Unternehmen werden zukünftig vermehrt gezwungen werden, aktiv um neue Mitarbeiter zu werben und diese durch attraktive Arbeitsbedingungen zu halten. Die Digitalisierung bietet hierzu viele Chancen, birgt zugleich aber auch Risiken.

Voraussetzung für die Einführung von Industrie 4.0 sind stabile Produktionssysteme mit klar definierten Prozessen und Daten. Für den nachhaltigen Erfolg von Industrie 4.0 ist allerdings eine arbeitsorganisatorische Gestaltung erforderlich, die in allen betrieblichen Gestaltungsbereichen humanorientiert ausgerichtet ist. Derzeit werden allerdings im Wesentlichen die technologischen Möglichkeiten der neuen Informations- und Kommunikationstechnologie diskutiert, während die notwendigen Änderungen in der Arbeitsorganisation meist noch vernachlässigt werden.

Die Humanorientierung beeinflusst die Produktivität auf direktem und indirektem Wege. Für ein effizientes Humanorientiertes Produktivitätsmanagement sind neue Methoden und Werkzeuge erforderlich, welche die digitalisierte Arbeitswelt analysieren und gestalten können. Das moderne Industrial Engineering wird zukünftig vermehrt auf die Gestaltung komplexerer Prozessketten, die Umsetzung ergonomischer Belange und die Beherrschung neuer digitaler Strukturen fokussieren. Dazu muss es die insgesamt vielfältigeren Prozesse transparenter und produktiver machen.

5. Literaturangaben

- [1] Rump, J.; Walter, N. (Hrsg.): Arbeitswelt 2030: Trends, Prognosen, Gestaltungsmöglichkeiten. Stuttgart: Schäffer-Poeschel 2013
- [2] REFA-Institut: Arbeitsorganisation erfolgreicher Unternehmen – Wandel in der Arbeitswelt. München, Carl Hanser Verlag 2016
- [3] Bundesverband der Deutschen Industrie e. V.; Z_punkt GmbH (Hrsg.): Deutschland 2030 - Zukunftsperspektiven der Wertschöpfung. 2012.
http://www.bdi.eu/download_content/Marketing/Deutschland_2030.pdf, abgerufen am 31.08.2015
- [4] Gabler Wirtschaftslexikon: Stichwort: Cyber-physische Systeme. Heidelberg u.a.: Springer-Verlag. <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/-2046932906/cyber-physische-systeme-v1.html>, abgerufen am 04.01.2016
- [5] Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik: »InBin« – Der intelligente Behälter. http://www.iml.fraunhofer.de/content/dam/iml/de/documents/OE%20130/Themenbroschueren/Themenbroschueren_InBin_Web_DE.pdf, abgerufen am 04.01.2016
- [6] Karlsruher Institut für Technologie; Bär Automation GmbH: FiFi®: Ein gesten-gesteuertes Fahrzeug zum Einsatz in der Intralogistik. https://www.ifl.kit.edu/img/content/2014_FiFi_Flyer_CS6_mit_baer_2mm.pdf, abgerufen am 04.01.2016
- [7] acceleopment AG: Robo-Mate: exoskeleton for lifting activities and static postures. <http://www.robo-mate.eu/>, abgerufen am 04.01.2016
- [8] TU Dortmund: rorarob: Schweißaufgabenassistenz für Rohr- und Rahmenkonstruktionen durch ein Robotersystem. http://www.ips.tu-dortmund.de/cms/de/Forschung/Abgeschlossene_Projekte_am_IPS/Projekt_RoRaRob/index.html, abgerufen am 04.01.2016
- [9] Jeske, T.: Industrie 4.0 in Deutschland. In: Bullinger, A. C. (Hrsg.): Mensch 2020 – transdisziplinäre Perspektiven. Chemnitz: Verlag aw&I Wissenschaft und Praxis 2015, S. 16-24
- [10] Zukunftsinstut (Hrsg.): Heidelberger Leben Trendmonitor 2011. http://www.eaf-bund.de/documents/Paare_Navipunkte/Studie_Heidelberger_Leben.Trendmonito_2011_final.pdf, abgerufen am 04.01.2016
- [11] Hacker, W.: Arbeitspsychologie: Psychische Regulation von Arbeitstätigkeiten. Stuttgart: Huber Verlag 1986

Vorstellung eines Augmented Reality basierten Assistenzsystems – mit dem Namen pick-by-projection – für leistungsgeminderte Mitarbeiter in manuellen Kommissionierprozessen

Andreas Bächler, M.Eng.,
University of Applied Sciences Esslingen, Esslingen

Kurzfassung

Im nachfolgenden Beitrag werden die Zielsetzung, die Entwicklung und der Prototyp eines interaktiven Assistenzsystems für leistungsgeminderte Mitarbeiter in manuellen Kommissionierprozessen vorgestellt und erläutert.

1. Einleitung

Die Globalisierung und der demografische Wandel in Deutschland führen zu bedeutenden Veränderungen innerhalb der industriellen Produktion und der dazugehörigen Logistik. Als Folge der Globalisierung entwickelt sich der Anbietermarkt hin zum Käufermarkt mit individuell gestaltbaren Produkten und jederzeit verfügbaren Waren und Informationen [1], [2]. Diese Entwicklung führt im Bereich der Belieferung von Endkunden zu einer starken Reduzierung der Auftragsgrößen und zu einer steigenden Anzahl an kleinteiligen Sendungen. Dieser Umstand wird auch als „Atomisierung der Sendungsgröße“ bezeichnet und hat steigende Kundenanforderungen in Bezug auf die Warendistribution zur Folge. Um trotz dieser Veränderungen für einen globalen Markt mit niedrigen Logistikkosten wettbewerbsfähig zu bleiben ist sowohl eine hohe Flexibilität mit kurzen Einnahm-, Kommissionier- und Lieferzeiten, als auch ein hoher Durchsatz und Qualitätsstandard erforderlich [3].

Hierfür bietet der Mensch mit seinen Eigenschaften der komplexen Wahrnehmung, seinem Greif-, Tast-, Hör- und Sehvermögen sowie mit seinen kognitiven Fähigkeiten geeignete Voraussetzungen, um schnell und flexibel auf diese Veränderungen des Marktes und der Logistik zu reagieren [4], [5].

In der „Engpassanalyse 2013“ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie wird der durch eine überalternde Gesellschaft bedingte Fachkräftemangel in industriellen Berufsfeldern detailliert betrachtet. Dieser Mangel an Nachwuchs- und Fachpersonal führt dazu, dass die Industrie ihre Bedarfe in den jeweiligen Tätigkeitsfeldern langfristig nicht adäquat decken kann [6]. Für Werkstätten für behinderte Menschen (WfbM) hingegen führen steigende An-

fordernungen dazu, dass für die Personengruppe der leistungsgeminderten Menschen neue Wege der Beschäftigung (insbesondere auf dem ersten Arbeitsmarkt) und dadurch auch der Unterstützung gefunden werden müssen.

Aus diesen Gründen ist es nicht nur aus wirtschaftlichen, sondern auch aus sozialen Aspekten erforderlich leistungsgewandelte und leistungsgeminderte Menschen im industriellen Umfeld wie z.B. der manuellen Kommissionierung weiter bzw. neu zu beschäftigen [7]. Die Bemühungen für eine inklusive Gestaltung des ersten Arbeitsmarktes werden jedoch nicht nur von marktseitigen Veränderungen vorangetrieben, sondern sind auch politisch durch das Übereinkommen über die Rechte von Menschen mit Beeinträchtigungen (UN-Behindertenrechtskonvention) gefordert und gesetzlich durch das Sozialgesetzbuch IX mit dem Gesetz zur „Rehabilitation und Teilhabe behinderter Menschen“ verbindlich geregelt [8], [9], [10].

2. Ziele eines Assistenzsystems

Für eine zuverlässige und wirtschaftliche Durchführung von manuellen Kommissionierprozessen mit leistungsgewandelten und leistungsgeminderten Menschen müssen jedoch neue und innovative Unterstützungsmöglichkeiten gefunden werden. In dieser Hinsicht stellen assistierende Systeme eine erfolgsversprechende Möglichkeit zur Anleitung, Unterstützung und Kontrolle dar. Die Informationsbereitstellung der am meisten verbreiteten manuellen Kommissioniertechnologien wie z.B. einer Pickliste, eines pick-by-light-Systems, eines mobilen Terminals oder eines pick-by-voice-Systems sind für diese Personengruppe nicht ausreichend bzw. zu unflexibel, um diese zielgerichtet und individuell anzuleiten und zu kontrollieren. Deshalb wurden für das neu zu entwickelnde Assistenzsystem folgende Ziele definiert:

- Die Komplexität und der Aufwand bei der Einarbeitung von Mitarbeitern mit unterschiedlichem Leistungsniveau und fachlichem Hintergrund in neue Tätigkeitsgebiete soll reduziert werden.
- Die Motivation und Arbeitsfähigkeit von älteren und leistungsgeminderten Mitarbeitern soll erhalten bzw. verbessert und die Anzahl an Produktionsfehlern reduziert werden.
- Die kognitive Beanspruchung und das Stresslevel der Mitarbeiter während der Arbeitstätigkeit soll verringert werden.
- Die Einbeziehung ergonomischer und motivierender Elemente soll verschleißbedingte Erkrankungen vorbeugen und ein gesundes Arbeitsverhalten unterstützen.
- Die Inklusion und Wiedereingliederung von leistungsgeminderten und -gewandelten Personen in industrielle Arbeitsumgebungen soll aufgrund sozialer und wirtschaftlicher Gesichtspunkte ermöglicht werden.

- Die Wettbewerbsfähigkeit von deutschen Unternehmen und WfbM's bei manuellen Industrietätigkeiten soll verbessert werden [11].

3. Entwicklung und Aufbau

Nachfolgend wird der Prototyp des pick-by-projection-Systems mit dem dazugehörigen Entwicklungsprozess, Hardwareaufbau und Arbeitsfluss mit Prozesssequenzen näher erläutert.

3.1 Nutzerzentrierte Entwicklung

Die partizipative Entwicklung des pick-by-projection-Systems erfolgte in einem vierstufigen nutzerzentrierten Prozess, in welchem die Fähigkeiten und Bedürfnisse der zukünftigen leistungsgeminderten Benutzer im Mittelpunkt stehen. In einem ersten Schritt werden die Interaktionspartner „Mensch und Maschine“ analysiert [12]. Mit den vorliegenden Ergebnissen werden dann in einem zweiten Schritt die Entwicklung, die Konstruktion, die Fertigung und die Inbetriebnahme der Hardware durchgeführt (siehe Bild 1).



Bild 1: Prototyp des Assistenzsystems für manuelle Kommissionierprozesse

Parallel dazu werden in einem dritten Schritt verschiedene Anleitungen mit Piktogrammen und ein Bediensystem entwickelt, evaluiert und ausgewählt [13]. In einem abschließenden Schritt erfolgen die Implementierung der Software und die iterative Evaluierung des Systems (zuerst mit normal leistungsfähigen Personen und anschließend mit leistungsgeminderten Personen).

3.2 Hardwareaufbau

Der prototypische Aufbau des Systems besteht aus drei Haupteinheiten: einem Durchlaufregallager, einem Kommissionierwagen und einer beweglichen Assistenzeinheit (siehe Bild 2). Dabei werden in dem Durchlaufregallager in blaufarbigen Kleinladungsträgern (KLT's) ver-

schiedene Einzelteile bereitgestellt. An der Vorderseite des Durchlaufregallagers werden Projektionswinkel befestigt. Der höhenverstellbare Kommissionierwagen wird mittels Elektromagneten und linear verschiebbaren Gleitführungen für den Kommissionierprozess beweglich entlang dem Durchlaufregallager und quer dazu mit der Assistenzeinheit gekoppelt. Diese Assistenzeinheit integriert zwei Microsoft Kinect Tiefenkameras (eine für die regalseitige Nutzung und eine für den Kommissionierwagen), zwei Projektoren des Herstellers „Optoma“ (ebenfalls einer für die Regalseite und einer für den Kommissionierwagen), eine höhenverstellbare Waage des Herstellers „Bosche“ und ein Touchscreen-Display, welches flexibel an einem „Ergotron“ Monitorarm befestigt ist. Die Projektoren und die Kameras sind oberhalb des Kommissionierwagens und des Durchlaufregallagers an der verschiebbaren Assistenzeinheit befestigt, um direkt auf die Projektionswinkel am Wagen und am Regal projizieren zu können. Ein „Elgo“ Wegmesssystem liefert Daten über die aktuelle Position der Assistenzeinheit und gleicht diese mit den Zieldaten ab. Der Prozessablauf bzw. Arbeitsfluss bei der Kommissionierung mit dem Pick-by-projection-System ist wie folgt strukturiert (siehe auch Bild 2):

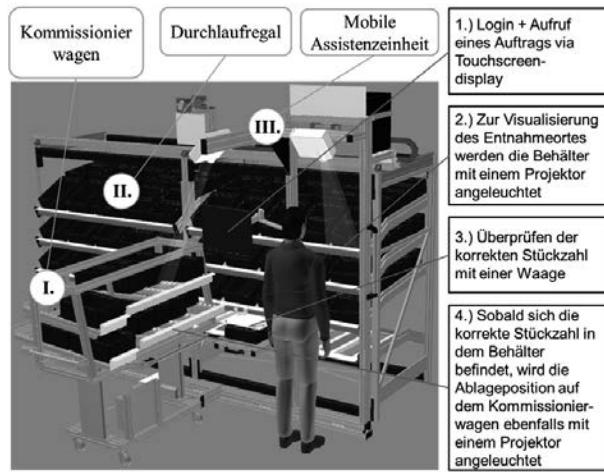


Bild 2: Aufbau und Arbeitsfluss des pick-by-projection-Systems

In einem ersten Schritt wird der Kommissionierwagen quer zum Regal mit der beweglichen Assistenzeinheit gekoppelt. Um die Zusammenstellung eines Auftrags zu starten, muss zuallererst ein Kommissionierauftrag am Monitor ausgewählt werden. Es können entweder einzelne Artikel oder ganze Behältnisse entnommen werden. Die regalseitigen Entnahmepositi-

onen werden über projizierte Lichtsignale auf den Projektionswinkeln abgebildet. Diese Augmented Reality unterstützen Anzeigen bestehen aus einem projizierten grün blinkenden Balken zur Signalisierung des Entnahmeartes, einem für die Entnahmeart entsprechenden und eigens entwickelten Piktogramm (Einzelteil oder Gesamtbehälter) sowie einer arabischen Zahl für die Anzeige der Entnahmemenge. Durch den Einsatz der regalseitig befestigten Tiefenkamera und Waage wird kontrolliert, ob der Entnahmevergang am richtigen Entnahmeart und in der korrekten Entnahmemenge erfolgte. Nachdem an der korrekten Position Teile entnommen worden sind, wird in einem nächsten Schritt der Ablageort (für die Platzierung des Behälters oder der Einzelteile) auf der Waage grün angeleuchtet. Sobald die Waage die korrekte Entnahmemenge registriert hat, wird der Ablageort auf dem Projektionswinkel des Kommissionierwagens über einen grün blinkenden Balken angezeigt und die korrekte Ablage über die Tiefenkamera kontrolliert. Nachdem eine Auftragsposition korrekt kommissioniert ist, wird der Kommissionierwagen mitsamt der verschiebbaren Assistenzeinheit zum nachfolgenden Kommissionierort weitergeschoben. Der Verschiebeprozess und die -richtung wird über projizierte Pfeile auf den regal- und wagenseitigen Projektionswinkeln angeleitet und die Soll- und Ist-Position über das Wegmesssystem abgeglichen und kontrolliert.

4. Evaluierung

Eine erste Studie mit 24 normal leistungsfähigen Menschen und den Vergleichstechnologien pick-by-light, pick-by-paper und pick-by-display hat gezeigt, dass durch die Kommissioniertechnologie pick-by-projection vor allem eine Reduzierung der Kommissionierfehler erreicht werden kann. Auch die subjektiv erlebte Arbeitsbeanspruchung kann durch diese Technologie gegenüber den Verfahren pick-by-paper und pick-by-display verbessert werden [14].

Weitere Studien mit 24 leistungsgeminderten Versuchsteilnehmern zeigen für die Ausführungszeit, die Kommissionierfehler und die subjektiv erlebte Arbeitsbeanspruchung signifikant bessere Ergebnisse für das pick-by-projection-System gegenüber den drei Vergleichssystemen. Eine Veröffentlichung dieser Ergebnisse wird zeitnah erwartet.

5. Literaturangaben

- [1] Günthner, W. A., Schedlbauer, M., Wulz, J.: Augmented Reality in der innerbetrieblichen Logistik, in *wt Werkstattstechnik-online*, 2004, S. 363-365.
- [2] Lotter, B.: Überlegungen zum Montagestandort Deutschland, in *Montage in der industriellen Produktion*. Springer. Berlin, 2012, S. 1-8.
- [3] Ten Hompel, M., Sadowsky, V., Beck, M.: Kommissionierung, Materialflusssysteme 2 – Planung und Berechnung der Kommissionierung in der Logistik. Springer. Berlin 2011.

- [4] Arnold, D., Furmans, K.: Materialfluss in Logistiksystemen. Springer. Berlin 2009.
- [5] Böhle, F.: Erfahrungswissen – die verborgenen Seiten professionellen Handelns. Eine Herausforderung für die berufliche Bildung. Fachtagung des Bundesinstituts für Berufsbildung. Bonn 2005.
- [6] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi): Engpassanalyse 2013. Besondere Betroffenheit in den Berufsfeldern Energie und Elektro sowie Maschinen- und Fahrzeugtechnik. Berlin 2013.
- [7] Bundesministerium für Arbeit und Soziales: Initiative Inklusion. Maßnahmen zur Förderung der Teilhabe schwerbehinderter Menschen am Arbeitsleben auf dem allgemeinen Arbeitsmarkt, 2014.
- [8] Beauftragte der Bundesregierung für die Belange behinderter Menschen: Die UN-Behindertenrechtskonvention. Übereinkommen über die Rechte von Menschen mit Behinderungen. Berlin 2014.
- [9] Bundesministerium für Arbeit und Soziales: Übereinkommen der Vereinten Nationen über Rechte von Menschen mit Behinderungen. Vom Bundeskabinett beschlossen am 3. August 2011. Bonn.
- [10] Artikel des Sozialgesetzbuches - Neuntes Buch - (SGBIX) Rehabilitation und Teilhabe behinderter Menschen: Sozialgesetzbuch (SGB) Neuntes Buch (IX) – Rehabilitation und Teilhabe behinderter Menschen – (SGB IX), 2001.
- [11] Bächler, A.: Innovative Assistenzsysteme für manuelle Industrieprozesse - Genial einfach. In: Dialog – Zeitschrift der Wirtschaftsjunioren Esslingen. Esslingen: WJ-Esslingen, S.8-12, 2015.
- [12] Baechler, A., Kurtz, P., Hörz, T., Kruell, G., Baechler, L. and Autenrieth, S.: About the development of an interactive assistance system for impaired employees in manual order picking – In PETRA '15 Proceedings of the 8th International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments, 2015.
- [13] Baechler, A., Baechler, L., Kurtz, P., Heidenreich, T., Hörz, T. and Kruell, G.: A study about the comprehensibility of pictograms for Order Picking processes with disabled people and people with altered performance – In KES-IIMSS 2015, Intelligent Interactive Multimedia Systems and Services, pp.69-80, 2015.
- [14] Baechler, A., Baechler, L., Autenrieth, S., Kurtz, P., Hoerz, T., Heidenreich, T., Kruell, G.: A comparative study of an assistance system for manual order picking – called pick-by-projection – with the guiding systems pick-by-paper, pick-by-light and pick-by-display. Proceedings of the 49th Annual Hawaii International Conference on System Sciences, January 5-8, 2016, Computer Society Press (9 pages), 2016.

Softwaregestützte Routenzugplanung – „Best Practice“ anhand von Beispielen aus der Automobilindustrie

Dipl.-Ing. **D. Wustmann**, LOGSOL GmbH, Dresden;
Prof. Dr.-Ing. habil. **T. Schmidt**, Dr.-Ing. **I. Meinhardt**,
Technische Universität Dresden

Kurzfassung

Bei der Planung von Routenzugsystemen stehen die Planer vor einer komplexen und vielschichtigen Herausforderung. Treiber für die Komplexität sind die verschiedenartigsten Restriktionen und Zielsetzungen der Planungsaufgabe, aber auch die Unterschiede in der Datenverfügbarkeit sowie die Variationsmöglichkeiten der Lösungsansätze. Dieser Beitrag zeigt, nach einer kurzen Darstellung ausgewählter Planungsherausforderungen, anhand von 2 Projektbeispielen, wie mittels einer Berechnungssoftware (RoutMan[®]) die Kalkulation und Auslegung von Routenzügen nach VDI 5586 erfolgen kann.

Abstract

When planning tugger train systems the responsible planners have to face a complex challenge. Drivers for the complexity are the various restrictions and aims of the planning task, but also the differences in data availability and variation possibilities of solution approaches. Following a short introduction of selected planning challenges, the article shows, based on two selected projects, how the calculation and construction of tugger trains in accordance with VDI 5586 can be performed when using a computation software (called RoutMan[®]).

1. Routenzug – mehr als nur ein Transportsystem

Effiziente Produktionssysteme erfordern moderne und flexible Logistiksysteme. Bei der Versorgung von Produktions- und Montagelinien lösen daher immer öfter Routenzüge den klassischen Staplerverkehr ab. Ihr Einsatz verspricht eine Reihe von Vorteilen, z.B. die Verringerung von Betriebs- und Personalkosten, die Reduzierung des Verkehrsaufkommens bei gleichzeitiger Verringerung der Unfallgefahr für Mensch und Material sowie kürzere Handlungszeiten pro Ladungsträger. Als Motivation für den Routenzugeinsatz gilt ferner die Möglichkeit, durch die Bündelung von Transporten zu Routen die einzelnen Produktionslinien häufiger anzufahren und damit das Bestandsvolumen an der Linie deutlich zu senken. Allerdings nimmt damit auch die Entkopplung ab, die Zwischenpufferung von Versorgungsmaterial, Bauteilen o.ä. am Arbeitsplatz wird auf ein Minimum reduziert und durch eine möglichst

zeitgenaue Anlieferung ersetzt, so wie bei einer Just-In-Time-Belieferung in einer Supply Chain.

Damit der Einsatz eines Routenzuges tatsächlich eine Erfolg versprechende Lösung wird, ist ein entsprechender Planungsmehraufwand gegenüber dem Staplereinsatz erforderlich. Die zeitlich genaue Planung der Anlieferungen an den Bereitstellorten entsprechend obiger Maßgabe erfordert einen Fahrplan¹. Zur Gestaltung eines Fahrplans sind die den Bereitstellorten zugeordneten Haltepunkte zu einer oder mehreren Routen zu verbinden. Je Route erfolgt die Ermittlung der Routenfrequenz bzw. der mittleren Zeitabstände zwischen den Tourenstarts auf Basis der Transportmengen und der Transportkapazität. Mit Entscheidungen zu technischen Realisierungen wird die konkrete Gestaltung des Routenzugs und die Organisation der Abläufe festgelegt. Abschließend sind die für jede einzelne Route berechneten Optima im Kontext des Gesamtsystems zu bewerten und ggf. anzupassen. Das bedeutet u.a. auch die Entscheidung, ob es eine feste Zuordnung Routenzug – Route gibt, oder ob auf Grund geringer Routenfrequenzen einzelne Routenüge mehrere Routen bedienen können. Es bedeutet aber auch, dass die berechneten mittleren Zeitabstände zwischen den Tourenstarts einer Route in einen Fahrplan aller Routenüge mit genauer Festlegung des jeweiligen Startzeitpunkts überführt werden. Dabei sind eine Vielzahl von Randbedingungen zu berücksichtigen wie Transportkapazität des Routenzugs, Zeitfenster an zentralen Stellen wie dem Supermarkt zwecks Beladung, Zeitfenster für die Bereitstellung am Ziel-Haltepunkt, aber auch Restriktionen aus der Personaleinsatzplanung oder Wartungs- und Instandhaltungsintervalle für die Fahrzeuge.

Das alles macht deutlich: Routenüge sind nicht bloß ein (anderes) innerbetriebliches Transportsystem. Sie sind auch oder vor allem ein „Konzept zur sich wiederholenden Ver- und/oder Entsorgung von Quellen und Senken an in Summe mindestens drei räumlich getrennten Haltepunkten entlang einer oder mehrerer definierter Routen“ [1]. Und dieses Konzept beinhaltet die ganzheitliche Betrachtung von Transportgut, Transportmittel und Transportprozessen.

2. Drei Fragen an die neue VDI 5586

Die erste Frage „Was und wieviel soll transportiert werden?“ ist zunächst relativ einfach zu beantworten: die Güter, die am jeweiligen Bereitstellort für den dort stattfindenden Produktions- oder Montagevorgang benötigt werden, sind in der entsprechenden Menge und im ent-

¹ Auch bei verbrauchsorientierter Bedarfsmeldung beginnt eine Tour immer nur nach Fahrplan zu einem definierten Startzeitpunkt und nicht sofort wie im Falle des beim Staplereinsatz vorherrschenden Taxi-Prinzips.

sprechenden Produktionstakt anzuliefern. Nun ist es für einen Automobilhersteller aber wenig effizient, die immer wieder benötigten Bauteile im Montagetakt von beispielsweise 100 oder 120 Sekunden anliefern zu lassen. Auch aus Gründen einer effizienten Gestaltung der gesamten Logistikprozesse werden Transportbehälter, Gestelle oder ganz allgemein Ladungsträger verwendet, um mehrere Bauteile gleichzeitig und damit für mehrere Takte bereitzustellen. Auf Grund der Größe, Masse oder anderer Restriktionen ergeben sich unterschiedliche Anzahlen von Bauteilen, die im Ladungsträger Platz finden. Und damit stellt sich die Frage nach dem „WIEVIEL“ neu. Aus Sicht des Routenzuges ist nicht die tatsächliche Teileanzahl von Interesse, sondern die sich aus der Füllung der Ladungsträger ergebenden Teilreichweiten, also aller wieviel Montagetakte (oder Touren des Routenzugs) geliefert werden muss. Bei einem entsprechend großen Artikelspektrum führt das dazu, dass – über alle Artikel betrachtet – Transportbedarfe zu anscheinend zufälligen Zeitpunkten entstehen (trotz konstanter Verbräuche) und zwischen aufeinander folgenden Tourenstarts unterschiedlich viele Ladungsträger am Supermarkt bereitgestellt werden (siehe Bild 1).

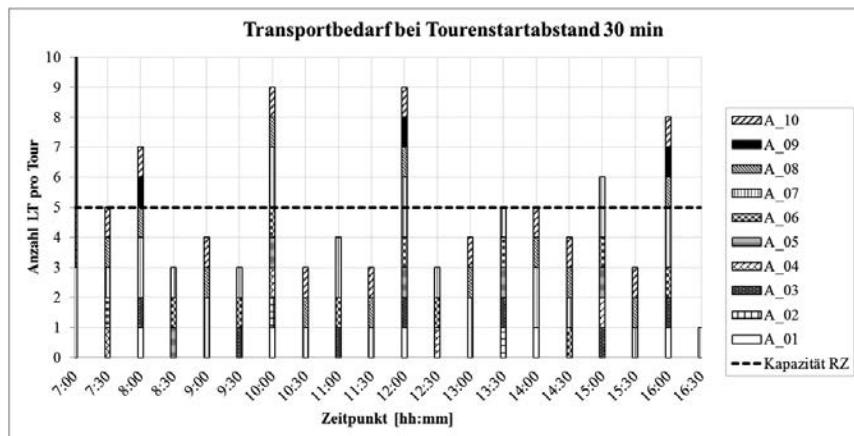


Bild 1: Schwankender Transportbedarf trotz konstanter Verbräuche [2]

Die Antwort auf die nächste Frage „Wie oft muss der Routenzug fahren?“ ergibt sich dann zwangsläufig: aus dem Verhältnis von Transportbedarf und Transportkapazität des Routenzugs kann die Anzahl der Touren ermittelt werden, die in einem bestimmten Zeitintervall gefahren werden müssen, diese Größe wird als Routenfrequenz bezeichnet. Der Kehrwert der Routenfrequenz beschreibt den größten zulässigen, mittleren zeitlichen Abstand zwischen aufeinander folgenden Startzeitpunkten von Touren. Da aber der Transportbedarf bestimmt

ten Schwankungen unterliegt, sollte der Routenzug ausreichende Kapazitätsreserven bieten, um auch im Falle eines erhöhten Bedarfs zu jedem beliebigen Zeitpunkt in der Lage zu sein, alle Ladungsträger rechtzeitig bereitstellen zu können. Das bedeutet aber nicht zwangswise, dass es keine Rückstellungen geben darf, sondern lediglich, dass durch einen kürzeren Tourenstartabstand (= häufigere Fahrten) eine größerer Transportkapazität angeboten wird und dadurch eine verspätete Lieferung² ausgeschlossen wird.

Eine weitere wichtige Fragestellung „Gibt es weitere Einflussgrößen, die den Routenzugesatz beeinflussen?“ verweist zum einen auf die möglichen technischen Gestaltungsalternativen von Schlepper und Anhänger als auch auf die Organisation der Abläufe an den Schnittstellen (hier insbesondere die Gestaltung der Prozesse rund um die Be- und Entladung). Aber es zielt auch auf einen Aspekt, der in der Praxis anscheinend tabu ist: Die Entkopplung von Gutanlieferung und -verbrauch durch zusätzlichen Puffer. Wenn Routenzüge (wie häufig zu lesen ist) im Zusammenhang mit Lean-Konzepten genannt werden, geht es ganz allgemein um die Vermeidung von Verschwendungen jeglicher Art. Konkret geht es aber meist immer bloß um die Reduzierung von Beständen an der Produktionslinie. Bei ganzheitlicher Betrachtung sollte aber auch die Vermeidung unnötiger Fahrten des Routenzugs durch Nutzung eines zusätzlichen Puffers eine zulässige Option sein. Angenommen, es gibt ein Bauteil, das auf Grund seiner Größe nur in geringen Stückzahlen pro Ladungsträger geliefert werden kann und deswegen nur eine geringe Reichweite besitzt, dann würde durch dieses Bauteil maßgeblich die Routenfrequenz bestimmt, in aller Regel auf Kosten einer außerordentlich geringen Auslastung. Wenn es möglich wäre, pro Tour zwei oder drei Ladungsträger dieses Teiles zu liefern, würde sich dessen Reichweite verdoppeln bzw. verdreifachen. Dazu müssten ein oder zwei zusätzliche Pufferplätze von der Größe des Ladungsträgers³ verfügbar sein. Im Gegensatz wäre zu prüfen, ob sich dadurch die Routenfrequenz in ähnlicher Größenordnung reduzieren ließe, in besonderen Fällen ggf. sogar ein Routenzug eingespart werden könnte.

Solche oder ähnliche Fragestellungen werden durch die neue VDI-Richtlinie 5586 nicht direkt beantwortet. Aber sie bietet durch den im Blatt 2 vorgestellten Berechnungsansatz zur Dimensionierung eine Grundlage zur Bewertung und zum Vergleich von Lösungsvarianten. Zwei Beispiele aus der Praxis sollen das belegen.

² Verspätet meint hier tatsächlich die Anlieferung erst nach Ablauf der Teilereichweite mit der Folge, dass es wegen fehlenden Materials zu einem Produktions- oder Montageabriß kommt.

³ Bei GLT sind das rund 1 bis 1,5 m² Hallenfläche pro Ladungsträger.

3. Fallbeispiel 1: Analyseworkshop Transportkonzept

Ein Unternehmen aus dem Bereich Verarbeitendes Gewerbe, welches Schraubverbindungen, Clip-Lösungen sowie mechanische Sicherheitskomponenten für Industrie und Automobil herstellt, plante den Neubau eines Logistikzentrums sowie die damit verbundene Umgestaltung des Werkslayouts. Mit der Umstrukturierung des Transportkonzeptes zur Ver- und Entsorgung ergab sich schließlich die Notwendigkeit zur Überprüfung alternativer Verbringungsmethoden.

Im Unternehmen wurde folgende Ausgangssituation vorgefunden: es bestand eine manuelle Einzelbeförderung des Materials mittels Niederhubwagen von einem zentralen Übergabepunkt zu den einzelnen Maschinen. Der Übergabepunkt wurde durch Stapler mit Material aus den Außenlängern bedient. Der Fertigungsbereich war geprägt von zahlreichen verschiedenen Fertigungsinseln, welche entsprechend zu versorgen waren. Dieses Merkmal der Werkstattfertigung sollte auch nicht verändert werden. Das neue Logistikzentrum wurde als zukünftige zentrale Materialquelle für die Produktion geplant. Zur Versorgung der Fertigung wurde vom Unternehmen ein Routenzugsystem angestrebt. Zielsetzung im Rahmen dieses Analyseprojektes war es daher, in kurzer Zeit Lösungsszenarien zu entwickeln und zu bewerten. Hierbei stand insbesondere der geplante Neubau eines Logistikzentrums und dessen Integration in die innerbetrieblichen Transport-/ Logistikkonzepte im Vordergrund.

Zur Prüfung der Umsetzbarkeit eines Routenzugsystems sowie entsprechender Alternativen wurde ein Analyseworkshop durchgeführt. Bild 2 zeigt dazu die standardisierte Vorgehensweise.

Vorbereitung

1. Absprache der Planungsaufgaben

- Was wird betrachtet?
 - Welche Restriktionen bestehen?
 - Wo besteht Unterstützungsbedarf?

2. Versand der Daten-Input-Checkliste

Workshop

- Workshop**

 1. Rundgang/Besichtigung der Hallen
 2. Absprache der Daten-Input-Checkliste
 3. Modellierung von Szenarien in RoutMan®
 - Aufstellen von drei Grundvarianten (bspw. verschiedene Routen, Vergleich zwischen konkreter Technik oder Layoutvarianten)
 4. Präsentation erste Erkenntnisse

Nachbereitung

1. Dokumentation und Aufbereitung der Ergebnisse/Erkenntnisse
 2. Handlungsempfehlung LOGSOL
 - Ausblick auf weitere Planungsaufgaben
 - Tipps für weitere Planung



Bild 2: Ablauf Analyseworkshop Routenzugplanung mittels Software

Bei der Dimensionierung von Transportkonzepten kann zur Prüfung und Konzeptionierung auf ein Routenzugplanungs- und -dimensionierungstool zurückgegriffen werden (Bild 3). Dieses ermöglicht eine schnelle und einfache Bewertung von verschiedenen Versorgungs-szenarien mit unterschiedlicher Transporttechnik.

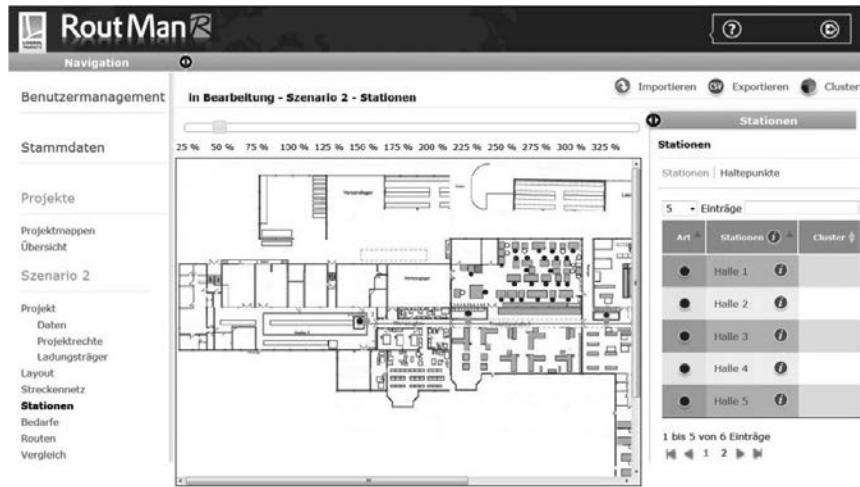


Bild 3: Routenzugplanungstool - Praxisbeispiel

Der Analyseworkshop startet wie allgemein üblich mit einer Besichtigung der Hallen. Der Hauptbestandteil dieser Analysephase ist das Erlangen eines Prozessverständnisses für die Erstellung der IST-Situation in der Planungssoftware. Diese dient sowohl als Modellierungs-basis und Benchmark für Planungsszenarien als auch zur Identifikation von weiteren Opti-mierungspotentialen. Es werden verschiedene Szenarien entwickelt und im System erstellt, welche bspw. verschiedene Routenzugtechnik/Transportmittel sowie Variationen der Route beinhalten. Zum Abschluss des Analyseworkshops erfolgt eine Handlungsempfehlung. Diese umfasst die Dokumentation und Aufbereitung der Ergebnisse und Erkenntnisse. Dabei wer-den neben den Leistungskennzahlen zu Routenzugsystem, wie Anzahl Routenzüge, zeitliche Auslastung usw., angrenzende Themen (Ergonomie, Anstellkonzepte u.a.) zur Routenzug-planung aufgegriffen.

Kern des Analyseworkshops in diesem Beispiel war der Vergleich zwischen Routenzug und aktuellem Transportkonzept. Besonders herausfordernd für die Routenzugtechnik waren

dabei die geringe Fahrwegbreite von 2,5 m sowie der geringe Platz für Übergabeflächen. Das zu transportierende Material wird auf Paletten, in Gitterboxen und Oktabins bereitgestellt. Da auch Werkzeuge für die Maschinen (Spritzguss) mit bis zu 2 t Gewicht transportiert werden sollen und ein einheitliches Transportkonzept angestrebt wird, müssen auch Zugkraft des Schleppers sowie Tragfähigkeit der Rahmen entsprechend ausgelegt werden. Durch Besichtigung der Hallen sowie Analyse der Daten und Ausgangssituation konnten die in Bild 4 dargestellten Handlungsfelder identifiziert werden.

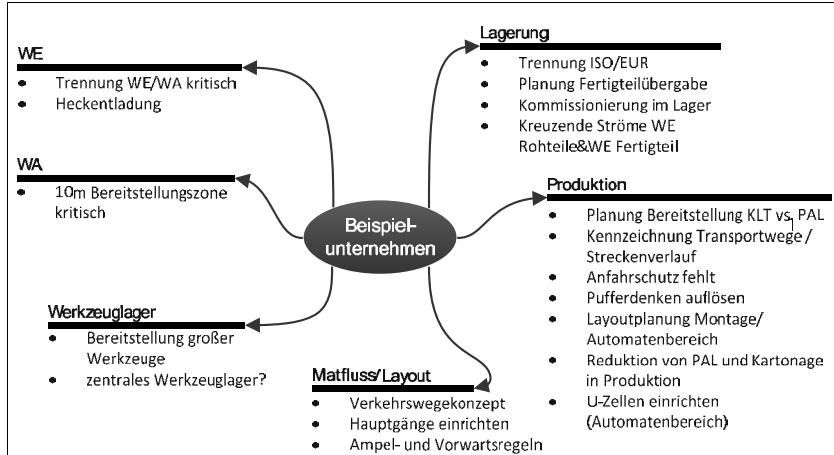


Bild 4: Identifizierte Handlungsfelder im Analyseworkshop

Mit der Planungssoftware wurden verschiedene Transportkonzepte hinsichtlich verschiedener Versorgungsszenarien direkt während des Workshops geprüft.

Im genannten Praxisbeispiel wurden die nachfolgenden Szenarien mittels der Planungssoftware berechnet (u.a. nach VDI Richtlinie 5586). Dabei erfolgte stets ein Benchmark zur Ausgangssituation (0).

- (1) Belieferung der Verbrauchspunkte mit Niederhubwagen
- (2) Belieferung von Übergabeflächen der Produktion mit Routenzug (1 Route), Transport Material von Übergabefläche mittels Niederhubwagen
- (3) Belieferung von Übergabeflächen der Produktion mit Routenzug (2 Routen), Transport Material von Übergabefläche mittels Niederhubwagen
- (4) Direktbelieferung der Verbrauchspunkte mit Routenzug (3 Senken je Halle)

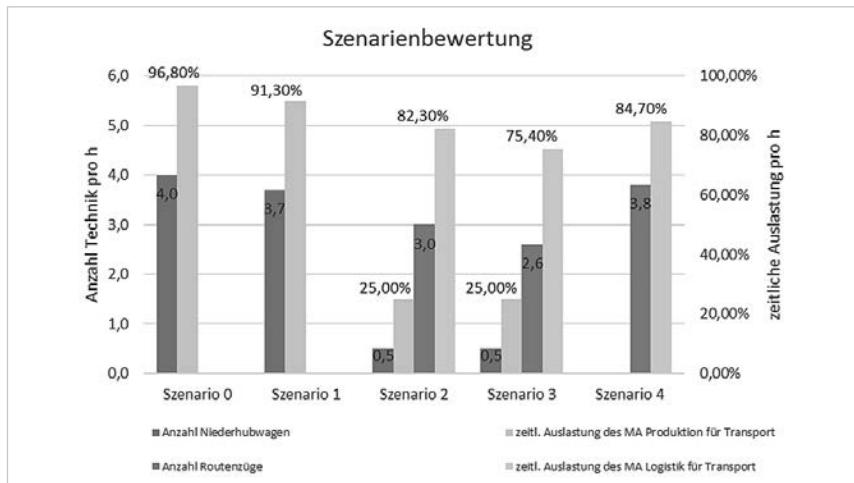


Bild 5: Auswertung der Szenarien (Zahlen verfremdet)

Die Auswertung (Bild 5) zeigt je Szenario die verschiedenen zeitlichen Auslastungen der Mitarbeiter Produktion und Logistik. Hierbei wurde die Anzahl Technik und die zeitliche Auslastung der Routenzüge pro Stunde berücksichtigt. Der Jobtyp Mitarbeiter Logistik wird erst bei Implementierung eines Routenzugsystems eingeführt.



Bild 6: Softwaregestützte Auswertung zur Auslastung der Tragfähigkeit (Zahlen verfremdet)

Die Ergebnisse des Analyseprojektes zeigen, dass der Einsatz eines Routenzugsystems in diesem Fallbeispiel möglich und sinnvoll ist, insbesondere unter dem Aspekt der Entlastung der Produktionsmitarbeiter von Transporttätigkeiten. Bild 6 zeigt die grafische Auswertung der Auslastung der Hängerstruktur bzgl. Tragfähigkeit. Um die Investitionskosten gering zu halten und eine flexible Lastenaufnahme zu ermöglichen, wurden Plattformwagen eingesetzt. Durch die Planungssoftware konnten aufgrund der schnellen und transparenten Ergebnisermittlung erste Szenarien für das Transportkonzept mit dem neuen Logistikcenter erstellt werden. Für die nächsten Schritte nach dem Analyseprojekt (Quick-Check) konnten die Szenarien in der Planungssoftware im Folgeprojekt weiter genutzt und detailliert werden.

4. Fallbeispiel 2: Evaluierung bestehendes Routenzugsystem

Im zweiten Projektbeispiel, ebenfalls aus dem Bereich Automotive, wurde das bestehende Routenzugsystem für die Montage und den Karosseriebau evaluiert. Dafür wurde im ersten Schritt softwaregestützt die aktuelle Situation modelliert und mit der Realität abgeglichen. Darauf aufbauend wurden Szenarien entwickelt und bewertet, um die Robustheit des Systems gegenüber geänderten Rahmenbedingungen abzuschätzen. Zum Beispiel wurden die Einflüsse auf den Ressourceneinsatz durch Veränderung des Bedarfsszenarios, der Anstellorte und des Streckennetzes ermittelt. Aufgrund verschiedener Ladungsträgerarten sowie Routenzugtechnik wurde ebenfalls die Routenzuordnung einzelner Bedarfe, vor dem Hintergrund optimierter Technikzusammenstellung, gegenüber der Ausgangssituation bewertet. Da die Materialanstellung mittels Routenzug aktuell von einem Dienstleister vorgenommen wird, sind die Ergebnisse insbesondere für das Lieferantencontrolling relevant.

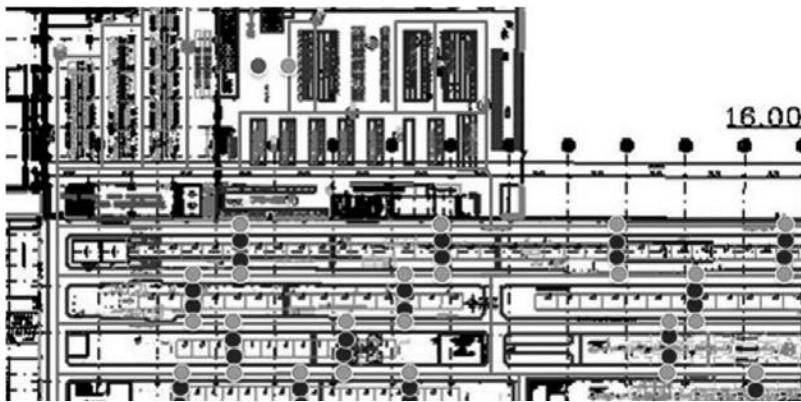


Bild 7: Stationen- und Transportwege-Modellierung in der Software (Ausschnitt)

Das Projekt gliederte sich demnach in drei wesentliche Arbeitspakete:

- Arbeitspaket 1: Datensammlung und –aufbereitung
- Arbeitspaket 2: Modellierung der Ist-Situation im Planungstool
- Arbeitspaket 3: Modellierung von Szenarien im Planungstool

Die Datenaufbereitung (AP1) beinhaltete die Analyse der zur Verfügung gestellten Daten hinsichtlich des Materialfluss, der Technik sowie der Routen. Aufgrund zahlreicher verschiedener Datenquellen war dieses Arbeitspaket durch einen hohen Abstimmungsaufwand mit dem Unternehmen gekennzeichnet. Die Modellierung im Softwarewerkzeug (AP2) erfolgte auf Basis importierter Daten zum Layout, zu Quellen und Senken sowie zum Materialfluss (Bedarfsszenarien). Des Weiteren wurden gemeinsam Szenarien für AP3 vereinbart.

RoutMan	Ausgangssituation		Ladefaktor 4 GLT	bedarfsspezifische Handlungszeiten	Veränderung Takt + Handlungszeiten	Veränderung Mix + Handlungszeiten	Veränderung Takt + Mix + Handlungszeiten
	GLT (3)	GLT (4)	GLT (3)	GLT (3)	GLT (3)	GLT (3)	GLT (3)
Ergebnisse Planung							
FA1/2a							
Anzahl Routenzüge pro h	1	1	1	1	1	1	1
Fahrtstrecke pro h in m	1.876	1.876	1.876	1.876	1.876	1.876	1.876
Anzahl Touren je h	2	2	2	2	2	2	2
Ø Anzahl Behälter je Tour	3,00	3,00	2,51	2,16	2,84	2,46	
Gesamtzeit [min]	29,09	29,09	28,59	27,78	29,37	28,49	
Handlungszeit	6,33	6,33	5,83	5,02	6,61	5,73	
Fahrtzeit	18,76	18,76	18,76	18,76	18,76	18,76	
Sonderzeit [Quelle]	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	
Ø zeitliche Auslastung je h und RZ	48,50%	48,50%	47,89%	46,33%	48,97%	47,51%	
Ø Auslastung der Rahmen (Volumen) je RZ	83,50%	62,63%	83,50%	71,83%	94,50%	82,00%	
FA2/b/3							
Anzahl Routenzüge pro h	1	1	1	1	1	1	1
Fahrtstrecke pro h in m	860	860	860	860	860	860	860
Anzahl Touren je h	1	1	1	1	1	1	1
Ø Anzahl Behälter je Tour	3,00	3,00	2,32	2,03	2,51	2,18	
Gesamtzeit [min]	13,76	13,76	13,31	12,96	13,51	13,13	
Handlungszeit	3,16	3,16	2,71	2,36	8,91	2,53	
Fahrtzeit	8,60	8,60	8,60	8,60	8,60	8,60	
Sonderzeit [Quelle]	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	
Ø zeitliche Auslastung je h und RZ	22,94%	22,94%	22,18%	21,61%	22,55%	21,91%	
Ø Auslastung der Rahmen (Volumen) je RZ	77,33%	58,00%	77,33%	67,67%	83,67%	72,67%	

Bild 8: Auszug Vergleich der Ergebnisse

Diese Szenarien werden mit der Software modelliert und anhand von Kennzahlen mit der Ausgangssituation verglichen. Einen Auszug der ermittelten Leistungskennzahlen stellt Bild 8 dar.

Schwerpunkt des Projektes war die Optimierung des bestehenden Routenzugsystems mit dem Ziel, die Anzahl der Routen bzw. Routenzugfahrer gering zu halten sowie Verbesserungspotentiale im bestehenden Routenzugssystem aufzudecken. Herausforderung dabei waren insbesondere die hohe Anzahl an verschiedenen Ladungsträgern sowie die damit verbundene Vielfältigkeit der eingesetzten Technik.

Das Softwarewerkzeug diente während des gesamten Projektes als Planungsplattform zur Konsolidierung von Technikdaten, Layout und Materialflussbeziehungen. Somit wurde eine einheitliche Datenbasis für verschiedene Planungsabteilungen und Prozessverantwortliche geschaffen. Die Berechnung von Leistungskennzahlen bei geänderten Bedarfsszenarien in der Planungssoftware ermöglicht eine stetige Überprüfung des Routenzugsystems gemäß VDI 5586 und weiterführender Kriterien (z.B.: Optimierung Technikeinsatz). Bild 9 zeigt dafür exemplarisch eine Auswertung im Softwarewerkzeug für eine Route. Dabei werden verschiedenen Bedarfsszenarien bei gleicher Technik gegenübergestellt.

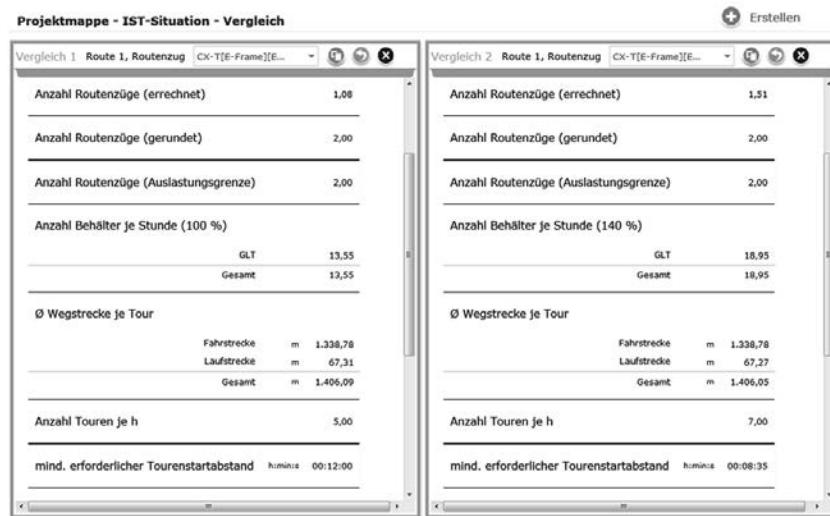


Bild 9: Vergleich von Bedarfsszenarien in der Softwareumgebung RoutMan®

Bild 10 zeigt die Auswertung für die Prozesse JIT (Just in Time) und externe Sequenzen in der Ausgangssituation (getrennt) sowie bei Kombination und Variation der Supermärkte. Durch die softwaregestützte Routenzugplanung konnten in kurzer Zeit alternative Routen gebildet, geprüft und bewertet werden. Im Bereich JIT und externe Sequenzen wurde durch Kombination dieser Prozesse der Personalbedarf von 40 Routenzugfahrern pro Stunde auf 28 Fahrer reduziert werden (Kombination, 2 Supermärkte). Diese Einsparung ist vor allem durch Kombination der Technik sowie Vereinheitlichung der Routen erzielt worden. Auf dieser Basis wurden schließlich die Anpassungen des Belieferungskonzepts in Zusammenarbeit mit dem Logistikdienstleister vorgenommen.

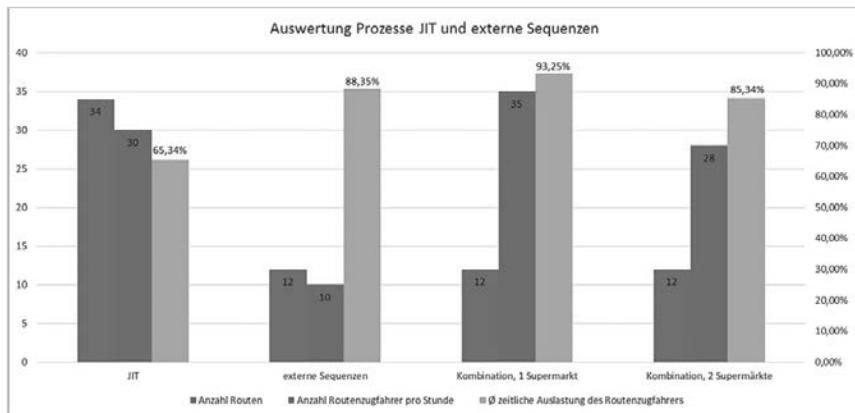


Bild 10: Auswertung Prozesse JIT und externe Sequenzen (Zahlen verfremdet)

5. Resümee und Ausblick

Zusammenfassend zeigen beide Beispielprojekte den Benefit einer softwaregestützten Routenzugplanung. Grundlage bilden die in [1 und 2] beschriebenen Gestaltungs-, Planungs- und Dimensionierungsregeln. Diese lassen sich durch eine angeschlossene Datenbank zu technischen Ausprägungen, Bauformen und Prozessdefinitionen in einfacher Weise parametrieren und sind damit für die praktische Anwendung bestens geeignet. Im Rahmen weiterer Forschungs- und Entwicklungsarbeiten sollen zukünftig u.a. Optimierung von Mehrrountensystemen und Belieferungskonzepte mit Umlaufverkehren betrachtet werden. Hierzu wird derzeit im Rahmen eines Innovationsprojektes gemeinsam zwischen dem Hersteller der Routenzugplanungssoftware RoutMan® LOGSOL GmbH und der TU Dresden, Professur für Technische Logistik geforscht.

Literatur:

- [1] Entwurf VDI-Richtlinie 5586, Blatt 1: Routenzugsysteme. Grundlagen, Gestaltung und Praxisbeispiele. Berlin: Beuth Verlag (Stand 12/2015)
- [2] Entwurf VDI-Richtlinie 5586, Blatt 2: Routenzugsysteme. Planung und Dimensionierung. Berlin: Beuth Verlag (Stand 12/2015)

Forschungsprojekt IntegRoute – Integrierte Planung von Routenzugsystemen

**M. Sc. Christopher Keuntje,
Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wi.-Ing. Willibald A. Günthner,
Technische Universität München**

Kurzfassung

Routenzugsysteme werden in immer mehr Unternehmen zur Materialversorgung von Produktionsprozessen eingesetzt [1]. Die Planung von Routenzugsystemen ist aufgrund der vielfältigen Gestaltungsvarianten sowie der Wechselwirkungen der Systemelemente untereinander komplex, bestimmt aber ganz wesentlich den Erfolg der Umsetzung. Dennoch sind kaum Hilfestellungen zur Planung in der Literatur verfügbar bzw. zugänglich.

Um diesem Sachverhalt zu entgegnen wurde im Rahmen des Forschungsprojekts IntegRoute ein Planungsvorgehen für die Grobplanung von Routenzugsystemen entwickelt, welches eine integrierte Planung von Technik, Steuerung und Prozess eines Routenzugsystems unterstützt. Weiterhin ist eine ganzheitliche Bewertung von Planungsvarianten umgesetzt, die bereits vor der Systemeinführung die Gegenüberstellung einer Vielzahl wirtschaftlicher und nicht monetär quantifizierbarer Faktoren ermöglicht. Dies führt zu einer umfassenden Informationsbereitstellung für den Planer und somit zu einer Verbesserung der Planung von Routenzugsystemen.

Die demonstratorische Umsetzung des entwickelten Planungsvorgehens in einem softwarebasierten Planungswerkzeug ermöglicht dem Planer darüber hinaus die Durchführung der detaillierten Betrachtung unterschiedlicher Planungsvarianten mit einem geringen Zeitaufwand.

1. Planungsvorgehen zur integrierten Grobplanung von Routenzugsystemen

Aus einer durchgeführten Befragung von 24 Logistik-Experten geht hervor, dass die Planung von Routenzugsystemen oftmals „intuitiv“ – ohne den Einsatz einer routenzugspezifischen Planungsmethodik – erfolgt.

Bei über 90 Prozent der befragten Logistik-Experten läuft die Festlegung von Technik, Prozess und Steuerung sequenziell in separaten Planungsphasen ab. Des Weiteren wird in den Planungsphasen oftmals nur eine geringe Anzahl von Entscheidungskriterien berücksichtigt und die Entscheidung ist häufig primär durch wirtschaftliche Kriterien – wie beispielsweise die erforderlichen Investitionen für die Routenzugtechnik – getrieben.

Diese Ausgangssituation zugrunde legend wird im Forschungsprojekt IntegRoute ein Planungsvorgehen zur integrierten Grobplanung von Routenzugsystemen entwickelt. Das Planungsvorgehen ermöglicht zum einen eine parallelisierte Planung von Technik, Prozess und Steuerung, die dem Planer im Vergleich zum sequenziellen Durchlauf der Planungsphasen einen umfassenden Vergleich von Planungsvarianten, die aus Kombinationen von unterschiedlichen Techniken, Prozessen und Steuerungen bestehen, erlaubt. Zum anderen wird durch eine ganzheitliche Betrachtung von Planungsvarianten bereits in der Grobplanung eine Berücksichtigung von zentralen Planungszielen wie beispielsweise Ergonomie, Flexibilität oder Flächenbedarf der Varianten ermöglicht. Dieses unterstützt im Vergleich zu einer rein wirtschaftlichen Bewertung die Identifikation kritischer Elemente, die andernfalls unter Umständen erst nach der Realisierung berücksichtigt werden und zu signifikanten Mehrkosten des Routenzugsystems führen können. Ein Überblick über das Planungsvorgehen ist in der folgenden Abbildung 1 dargestellt:

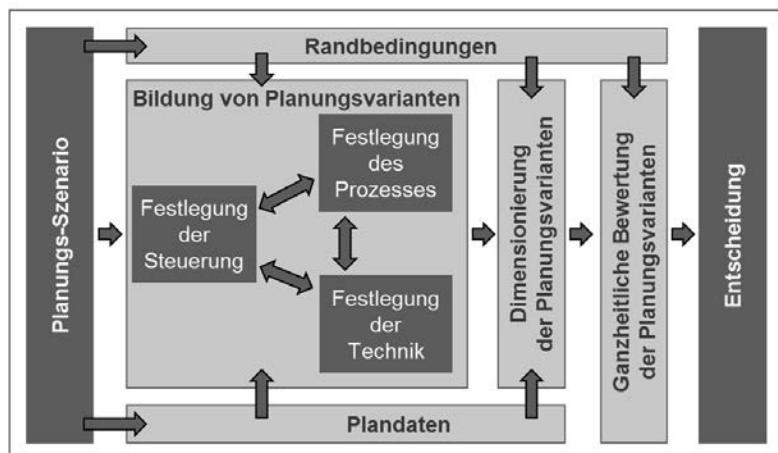


Bild 1: Überblick über das im Forschungsprojekt IntegRoute entwickelte Planungsvorgehen

Randbedingungen und Plandaten

Auf Basis eines realen Planungs-Szenarios vom Planer zu definierende Randbedingungen und Plandaten stellen die Datengrundlage für die folgenden Planungsschritte dar. Diese Datengrundlage beinhaltet über die direkten Angaben des Planers hinaus eine Vielzahl von Daten zu Routenzugtechniken und -prozessen, die bei Bedarf vom Planer an das Planungsszenario angepasst werden können.

In den folgenden Kapiteln erfolgt eine detaillierte Betrachtung der Planungsschritte „Bildung von Planungsvarianten“ (Kapitel 2), „Dimensionierung der Planungsvarianten“ (Kapitel 3) und der „Ganzheitlichen Bewertung der Planungsvarianten“ (Kapitel 4).

2. Bildung von Planungsvarianten

Bei der Bildung von Planungsvarianten werden Abhängigkeiten zwischen einzelnen Randbedingungen / Plandaten und den festzulegenden Ausprägungen von Technik, Prozess und Steuerung betrachtet. Dieses führt zu einer Reduktion des Entscheidungsspielraums – damit zur Verringerung der Komplexität für den Planer – und schützt vor der Bildung von nicht umsetzbaren Planungsvarianten. Beispielsweise kann das in einem Planungsszenario erforderliche Befahren von Rampen die Verwendung einzelner Routenzugtechniken aufgrund nicht vorhandener Rampentauglichkeit ausschließen.

Neben der Berücksichtigung von Randbedingungen und Plandaten werden bei der Bildung der Planungsvarianten ebenfalls Abhängigkeiten zwischen den Planungsfeldern Technik, Prozess und Steuerung berücksichtigt. Da beispielsweise eine direkte Beladung von Routenzügen durch einen Gabelstapler bauartbedingt nicht bei allen Routenzugtechniken möglich ist, wird diese Information dem Planer zur Verfügung gestellt und die Bildung einer solchen nicht sinnvollen Planungsvariante durch das Planungsvorgehen ausgeschlossen.

Nachfolgend wird exemplarisch das Planungsfeld Technik, für das im Forschungsprojekt eine Klassifikation von Routenzugtechniken erarbeitet wurde, genauer beleuchtet.

Klassifikation von Routenzugtechniken

In der Materialversorgung von Produktionsprozessen werden Routenzugsysteme in immer mehr Unternehmen eingesetzt. Aus der Routenzug-Studie des Lehrstuhls für Fördertechnik Materialfluss Logistik der Technischen Universität München geht hervor, dass sich trotzdem noch keine Standards für Routenzugtechniken etabliert haben. [1]

Neben einer Vielzahl existierender Routenzugtechniken weichen die verwendeten Bezeichnungen von vergleichbaren technischen Konzepten bei unterschiedlichen Unternehmen und Routenzugherstellern stark voneinander ab. So werden beispielsweise für Routenzugtechniken, in denen Großladungsträger nicht direkt auf den Anhängern sondern auf zusätzlichen Transporthilfsmitteln bereitgestellt werden, die synonymen Begriffe „Shuttle-System“, „Wagen-in-Wagen-System“ oder „Taxi-Konzept“ verwendet.

Um Logistikplanern einen umfassenden und zeiteffizienten Überblick über Routenzugtechniken zu ermöglichen und im Planungsvorgehen innerhalb einer Technik-Oberkategorie

gleiche Berechnungsmodelle einsetzen zu können, wurde im Forschungsprojekt IntegRoute in Zusammenarbeit mit verschiedenen Routenzugherstellern eine Klassifikation von Routenzugtechniken erarbeitet. Die Klassifikation basiert auf durchgeführten Prozessanalysen und berücksichtigt vergleichbare Bereitstellprozesse sowie die Bauform der Techniken. Es werden die vier Oberkategorien „Transportwagen“, „Ein-/Aufschubkonzepte“, „Rollenverschiebesysteme“ und „Niederflurkommissionierer“ sowie unterschiedliche Ausprägungen der jeweiligen Oberkategorie unterschieden (vgl. Abbildung 2).

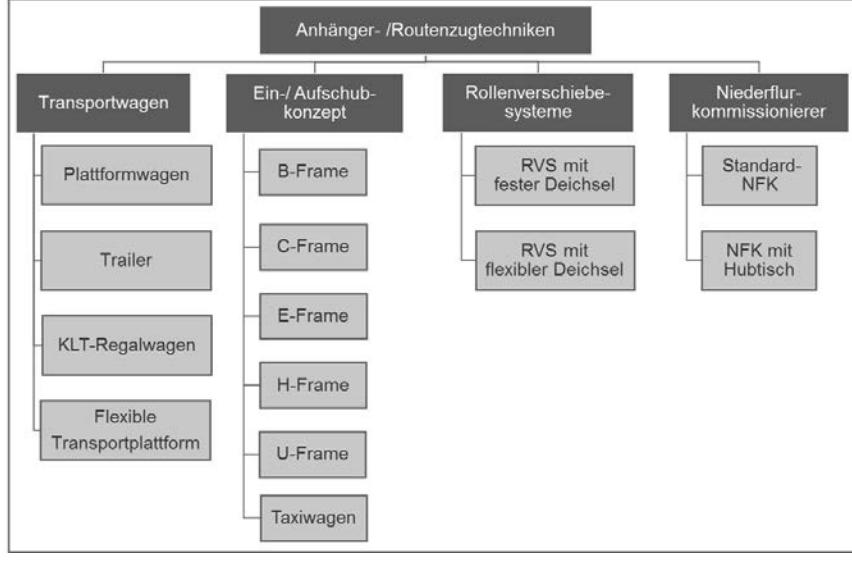


Bild 2: Klassifikation von Anhänger- und Routenzugtechniken

Während bei den Anhängertechniken „Transportwagen“, „Ein-/Aufschubkonzepte“ und „Rollenverschiebesysteme“ ein zusätzliches Zugfahrzeug erforderlich ist, ist bei „Niederflurkommissionierern“ die Antriebsfunktion bereits integriert und es wird kein zusätzliches Zugfahrzeug benötigt. Nachfolgend werden die vier Oberkategorien sowie deren jeweilige Ausprägungen genauer betrachtet:

Transportwagen

Bei der Bereitstellung von Großladungsträgern (GLT) mit einem Transportwagen erfolgt ein An- und Abkuppeln von Anhängern im Prozess und die Anstellung der GLT am Bereitstellort erfolgt direkt auf den Anhängern ohne Verwendung zusätzlicher Transporthilfsmittel.

Für GLT-Prozesse können entweder „Plattformwagen“ oder „Trailer“ eingesetzt werden, wobei „Plattformwagen“ mit einer durchgängigen Ladefläche den Transport von Ladungsträgern abweichender Grundfläche ermöglichen und „Trailer“ – die ausschließlich aus Rohrgestängen und Aufstandspunkten an den Eckpunkten bestehen – nur für Ladungsträger mit identischer Grundfläche eingesetzt werden können.

Für den Transport von Kleinladungsträgern (KLT) werden „KLT-Regalwagen“ eingesetzt; eine behälterlose Bereitstellung von unterschiedlichen Transportgütern mit wechselnden Abmessungen kann mit einer „flexiblen Transportplattform“ erfolgen.

Ein-/Aufschubkonzept

Der Anhängerverband bleibt bei Ein-/Aufschubkonzepten beim Bereitstellvorgang im Regelfall bestehen. Für die Bereitstellung von GLT werden zusätzliche Transporthilfsmittel benötigt, die in die Routenzuganhänger eingeschoben oder auf die Anhänger aufgeschoben werden. Die Bereitstellung von Kleinladungsträgern erfordert den Einsatz von KLT-Transporthilfsmitteln, die durch die Anhänger transportiert werden und in verschiedenen Regalebenen Platz für Kleinladungsträger bieten. Die sechs zur Oberkategorie der Ein-/ Aufschubkonzepte zusammengefassten Routenzugtechniken sind in der folgenden Abbildung 3 dargestellt:

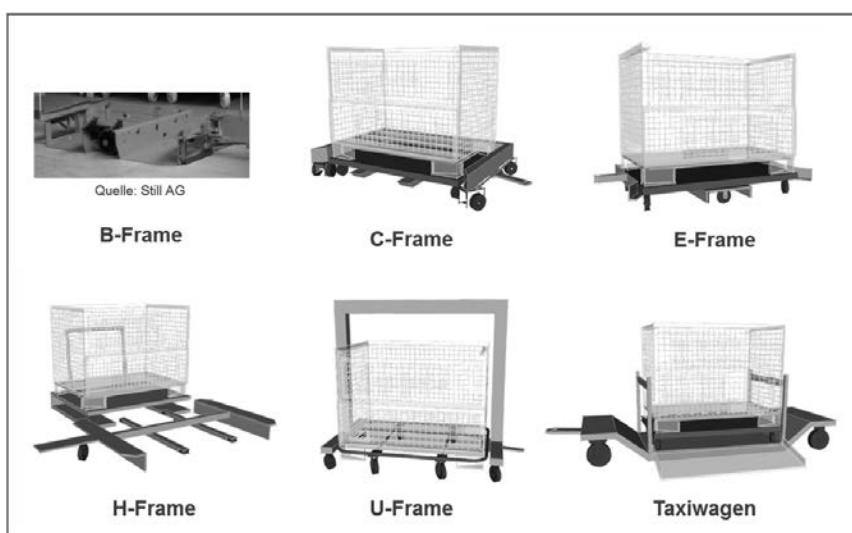


Bild 3: Routenzugtechniken der Oberkategorie Ein-/Aufschubkonzepte

Abhängig von der Bauform werden bei den Ein-/Aufschubkonzepten unterschiedliche Typen von „Frames“ sowie die „Taxiwagen“ unterschieden. Bei „B-Frame“ und „C-Frame“ erfolgt ein aktives Ausheben der Transporthilfsmittel durch einen hydraulischen, pneumatischen oder elektrischen Hubmechanismus der Anhänger.

Bei „E-Frame“ und „U-Frame“ existieren Realisierungen mit oder ohne Hubmechanismus und bei „H-Frame“ und „Taxiwagen“ sind keine Ausführungen mit einem aktiven Hubmechanismus der Anhänger bekannt.

Rollenverschiebesystem

Das Charakteristikum von Rollenverschiebesystemen sind die auf den Routenzuganhängern sowie an den Bereitstellorten installierten Rollenbahnen, die eine direkte Übergabe von Ladungsträgern ermöglichen. Unterschieden werden Rollenverschiebesysteme mit fester Deichsel und Systeme, die aufgrund einer flexiblen Deichsel ein Querverschieben der Anhänger auf der Deichsel ermöglichen. Das Querverschieben kann zum Ansteuern von zwei nebeneinander platzierten Rollenbahnen ohne erforderliches Verfahren des kompletten Routenzugs eingesetzt werden.

Niederflurkommissionierer

Die ausschließlich für die Bereitstellung von Kleinladungsträgern eingesetzten Niederflurkommissionierer stellen einen Sonderfall unter den Routenzugtechniken dar, da sie zu verfahrende KLT-Transporthilfsmittel auf einer Hubgabel aufnehmen und somit keine separaten Anhänger erforderlich sind.

Neben dem „Standard-Niederflurkommissionierer“ werden in der Praxis ebenfalls „Niederflurkommissionierer mit Hubtisch“ eingesetzt, die den Mitarbeiter insbesondere bei der Bereitstellung von KLT mit hohen Gewichten durch eine angetriebene Höhenverstellung eines Tisches unterstützen können.

Da für die vorgestellten Oberkategorien und deren Ausprägungen wiederum eine Vielzahl unterschiedlicher Varianten sowie herstellerspezifische Unterschiede existieren, wird im Rahmen des Forschungsprojekts IntegRoute ein detaillierter Marktüberblick erarbeitet.

3. Dimensionierung von Planungsvarianten

Für einen umfassenden Vergleich der gebildeten Planungsvarianten wird für alle Planungsvarianten eine komplette Dimensionierung des Routenzugsystems durchgeführt. Diese be-

steht aus den zentralen Elementen der Bestimmung der Anzahl von Routenzügen und Mitarbeitern sowie der Berechnung des erforderlichen Flächenbedarfs der Routenzugsysteme.

Als Basis der Berechnung der Anzahl von Routenzügen und Mitarbeitern kommt der Bestimmung der Zykluszeit der Routenzug-Touren eine zentrale Bedeutung zu. Die Ermittlung der Zykluszeit erfolgt unter Einsatz von Methods Time Measurement (MTM), einem System vorbestimmter Zeiten [2]. Die Verwendung von MTM erlaubt eine detaillierte Modellierung der Unterschiede zwischen Technik- und Prozessvarianten; so können beispielsweise zwölf Beladungsprozesse mit den in Kapitel 1 vorgestellten 14 Routenzugtechniken mit weiteren Untervarianten kombiniert werden.

Nach der technik- und prozessspezifischen Bestimmung der Zykluszeit kann unter Berücksichtigung von Steuerung und Prozess die Anzahl der erforderlichen Systemelemente bestimmt werden. Dieses beinhaltet technische Elemente wie Schlepper, Anhänger, Transporthilfsmittel, Gabelstapler oder Infrastruktur an Quellen und Senken, aber auch im System benötigte Mitarbeiter wie Routenzugfahrer und Gabelstaplerfahrer.

Als zweites zentrales Element der Dimensionierung von Planungsvarianten wird eine Berechnung der von den Routenzugsystemen benötigten Flächen durchgeführt. Die Flächenberechnung berücksichtigt sowohl Flächen an der Quelle, auf dem Fahrweg als auch an den Senken. Die Flächenberechnung an Quelle, Fahrweg und Senken erfolgt jeweils auf Basis parametrisierbarer Layouts, wodurch Routenzuganzahl, Abmessungen und Anzahl von Anhängern, Prozessvarianten sowie diverser Unternehmensvorgaben bei der Flächenberechnung einbezogen werden können.

4. Ganzheitliche Bewertung von Planungsvarianten

Nach der erfolgten Dimensionierung der Planungsvarianten ist zur Vorbereitung einer Entscheidung die Bewertung der Planungsvarianten erforderlich. Zum einen wird für alle Planungsvarianten eine dynamische Investitionsrechnung durchgeführt, die auf Basis hinterlegter Kostensätze und projektspezifischer Vorgaben des Planers eine Bewertung der Wirtschaftlichkeit der Planungsvarianten ermöglicht.

Zum anderen werden im entwickelten Planungsvorgehen – um das Ziel einer ganzheitlichen Bewertung von Planungsvarianten zu erreichen – eine Vielzahl von nicht monetär quantifizierbaren Kriterien betrachtet, die den in Abbildung 4 dargestellten Oberkategorien zugeordnet wurden:

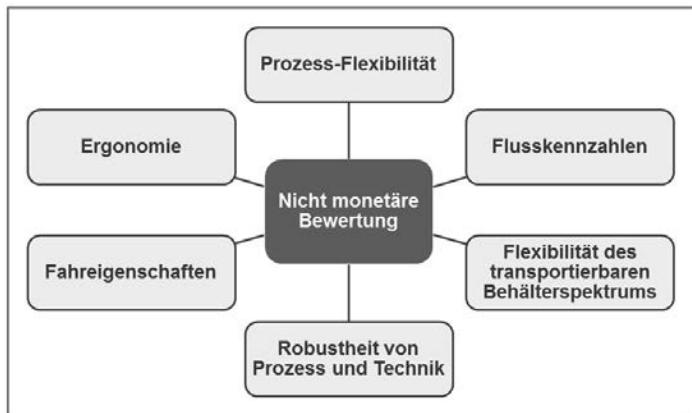


Bild 4: Oberkategorien der nicht monetären Bewertung von Planungsvarianten

In den sechs dargestellten Oberkategorien wird jeder Planungsvariante ein Punktwert zugewiesen, der auf Basis von durchschnittlich zehn jeweils betrachteten Unterkriterien und vom Planer anpassbaren Gewichtungsfaktoren berechnet wird. Exemplarisch werden im folgenden die Oberkategorien „Ergonomie“ und „Fahreigenschaften“ betrachtet.

Im Rahmen der Oberkategorie Ergonomie wird ein Risikowert für jede Planungsvariante unter Verwendung des im Forschungsverband KoBRA (Kooperationsprogramm zu normativem Management von Belastungen und Risiken bei körperlicher Arbeit) entwickelten „Multiplen Lasten Tools“ ermittelt [3].

Die Ergonomie-Bewertung wird ergänzt durch Messwerte aus mehrwöchigen Messreihen, die eine Abschätzung der zu erwartenden auf die Routenzugfahrer wirkenden Handkräfte erlauben. Die für die Messreihen eingesetzten Messgriffe ermöglichen eine parallele Messung der in den drei Raumachsen auftretenden Kräfte mit einer Messfrequenz von 50 Hertz [4]. Auf diese Weise ist eine Quantifizierung der bei Kurvenfahrten auftretenden Seitenführungskräfte – die stark von der eingesetzten Technik abhängen und durch klassische Bewertungsmethoden nicht quantifiziert werden können – möglich.

In der Oberkategorie Fahreigenschaften wird neben der maximal zulässigen Fahrgeschwindigkeit und dem erforderlichen Wenderadius die Spurtreue eines Routenzugsystems berücksichtigt. Um eine quantifizierbare Aussage über die Spurtreue eines Routenzugs treffen zu

können, wird „relative Spurabweichung“, die auf Basis von Simulationen der Lenkkinematik ermittelt wird, verwendet [5].

Zur Auswahl der am besten geeigneten Planungsvariante werden dem Planer auf Basis der Wirtschaftlichkeitsrechnung und der nicht monetären Bewertung ermittelte Kennzahlen zur Verfügung gestellt. Da eine umfassende Abwägung unterschiedlicher Kennzahlen nur bis zu einer begrenzten Anzahl von Planungsvarianten und Kennzahlen möglich ist, wird der Planer durch eine hinterlegte Bewertungsmethodik unterstützt. Diese ganzheitliche Bewertung erfolgt unter Verwendung des Multi-Kriterien-Modells nach Ghandforoush [6] und ermöglicht – auf Basis von vom Planer individuell anpassbaren Gewichtungsfaktoren – die Aggregation einer Vielzahl von Kennzahlen zu einem Gesamtpunktwert (vgl. Abbildung 5).

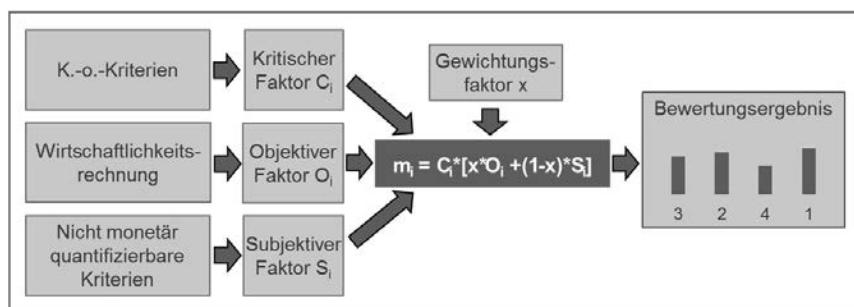


Bild 5: Ganzheitliche Bewertung von Planungsvarianten (i) unter Verwendung des Multi-Kriterien-Modells nach Ghandforoush

Der Gesamtbewertungsfaktor m_i einer Planungsvariante kann insbesondere bei einer großen Anzahl von zu vergleichenden Planungsvarianten eine Vorselektion der vom Planer zu vergleichenden Varianten ermöglichen. Die finale Entscheidungsfindung des Planers wird also durch das Zusammenspiel der bestimmten Gesamtbewertungsfaktoren m_i und zentralen, dem Planer zur Verfügung gestellten Kennzahlen (die oben beschriebenen Projektkosten, Ergonomie-Punktwert, ...) der Planungsvarianten, unterstützt.

Neben der bereits vorgestellten Wirtschaftlichkeitsrechnung und der Betrachtung der nicht monetär quantifizierbaren Kriterien werden in dem Multi-Kriterien-Modell nach Ghandforoush ebenfalls K.-o.-Kriterien betrachtet. Diese berücksichtigen die Themenkomplexe „Unternehmensvorgaben“, „Layoutanforderungen“ sowie das „zu transportierende Behälterspektrum“

und führen bei Nicht-Erfüllung eines K.-o.-Kriteriums zu einem sofortigen Ausschluss der jeweiligen Planungsvariante.

5. Umsetzung des Planungsvorgehens in einem Software-Demonstrator

In der Umsetzung des entwickelten Planungsvorgehens in einem Software-Demonstrator wird die Bildung von geeigneten Planungsvarianten durch hinterlegte Beispielsysteme und die Abbildung der in Kapitel 1 skizzierten Abhängigkeiten unterstützt. Realisiert wurde die Bildung von Planungsvarianten durch die Auswahl von Ausprägungen in einem morphologischen Kasten, der die Planungsfelder Technik, Prozess und Steuerung umfasst.

Die in den Kapiteln 3 und 4 vorgestellte Dimensionierung und Bewertung der gebildeten Planungsvarianten ist im Software-Demonstrator abgebildet und erfolgt vollautomatisch. Im Rahmen der Bewertung der Planungsvarianten werden in unterschiedlichen Hierarchiestufen vom Planer anpassbare Gewichtungsfaktoren für die betrachteten Bewertungskriterien verwendet.

Zur Unterstützung der Entscheidungsfindung des Planers werden für die betrachteten Planungsvarianten die zentralen Kennzahlen in einem Kennzahlen-Cockpit dargestellt, sowie bei Bedarf dem Planer weitere Informationen in unterschiedlichen Detaillierungsebenen zur Verfügung gestellt. Die Informationsbereitstellung erfolgt neben der Darstellung von Kennzahlen durch die grafische Visualisierungen von Elementen wie beispielsweise der Projektgesamtkosten, der erforderlichen Investitionen und der nicht monetären Bewertung.

Als weiteres Hilfsmittel zur Auswahl der am besten geeigneten Planungsvariante hat der Planer die Möglichkeit, in Sensitivitätsanalysen das Bewertungsergebnis hinsichtlich der Robustheit auf eine Veränderung zentraler Eingabeparameter wie beispielsweise der Projektlaufzeit, der Personalkostensätze oder der Durchsatzanforderungen zu untersuchen.

Im finalen Schritt können in einer herstellerspezifischen Datenbank die am Markt verfügbaren Realisierungen der ausgewählten Routenzugtechniken recherchiert werden und geeignete Hersteller für eine Kontaktaufnahme ausgewählt werden.

Der Software-Demonstrator ermöglicht eine zeiteffiziente Anwendung des entwickelten Planungsvorgehens sowie auf Basis einer umfassenden Informationsbereitstellung für den Planer eine deutlichere Verbesserung der Grobplanung von Routenzugsystemen.

Förderhinweis

Das IGF-Forschungsvorhaben IntegRoute (Fördernummer 18136 N) der Forschungsvereinigung Bundesvereinigung Logistik (BVL) e.V. wird über die ardAiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestags gefördert.

Literatur

- [1] Günthner, W. A.; Galka, S.; Klenk, E.; Knössl, T.; Dewitz, M.: Stand und Entwicklung von Routenzugsystemen für den innerbetrieblichen Materialtransport. Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik, Garching, 2012.
- [2] Maynard, Harold B.; Zandin, Kjell B.: Maynard's industrial engineering handbook. 5.Aufl. New York: McGraw-Hill, 2011.
- [3] Institut für Arbeitswissenschaft. (2007). Multiple-Lasten-Tool. <http://www.kobra-projekt.de/download/>. Heruntergeladen am 17.11.2015.
- [4] Post, M.; Jubt, K.-H.; Glitsch, U.; Ellegast, R.; Backhaus, C.: Belastungen des Muskel-Skelett-Systems beim Ziehen und Schieben von Müllbehältern. In: IFA-Report 6/2011. S. 179 – 164.
- [5] Bruns, R.; Piepenburg, B.; Ulrich, S.; Krivenkov, K.: Simulationsgestützte Untersuchung der Spurtreue von Routenzügen. In: Logistics Journals: Proceedings, 2013.
- [6] Ghandforoush, P.; Huang, P.; Taylor, B.: A multi-criteria decision model for the selection of a computerized manufacturing control system; In: International Journal of Production Research, Jahrgang 23 (1985) 1, S. 117–128

Einführung eines Routenzuges in eine bestehende Fertigung

Ein Praxisbericht

Philipp Fitschen, Siemens AG, Ruhstorf a. d. Rott

Aufgabenstellung an das Projekt:

1. Verkürzung der Durchlaufzeit durch kontinuierliche An- und Ablieferung
2. Optimierung der internen Logistik (Reduzierung der Leerfahrten)
3. Nachhaltige Beruhigung des internen Verkehrs
4. Reduzierung der Flurfördermittel
5. Auftragsbezogener Transport

Hintergrund zur Abteilung :

Sehr hohe Variantenvielfalt

Losgrößen von 1 – ca. 50

Gewichte der zu transportierenden Teile: 0,1 kg – 400 kg

1 Hochregallager

26 Bearbeitungszentren und Zerspanungsmaschinen

3 Handarbeitsplätze

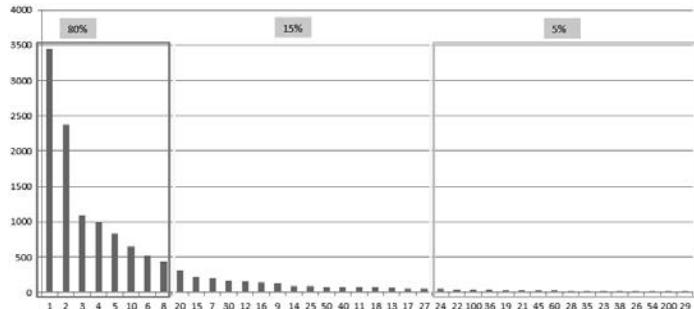
85 Mitarbeiter

1. Von der Ist-Analyse zum Konzept

Zu Beginn eines Jeden Projektes ist es wichtig Zahlen, Daten und Fakten zu ermitteln.

Zahlen: Anfangs stehen Auswertungen im Focus die genaue Stückzahlen sowie Losgrößen der vergangenen Jahre darstellen. Anhand dieser Daten lassen sich Highrunner Auswertungen durchführen um im nächsten Schritt Standard-Ladungsträger zu definieren.

Beispiel einer Losgrößenauswertung:



Fakten: In Stufe 2 der Ist-Analyse begeben wir uns direkt in die Fertigung und ermitteln die Fakten in Echtzeit, tagesaktuell. Alle Daten, die Logistik betreffend, werden ermittelt.

1. Anzahl der Aufträge in der Fertigung
2. Anzahl der Gebinde
3. Weglängen und Wegbreiten
4. Anzahl der Maschinen bzw. Bahnhöfe
5. Stückzahl der Transportmittel
6. Beschaffenheit der Wege und Aufzüge
7. Befahrbarkeit der einzelnen Anlagen und Maschinen
8. Aufnahme der Gewichte bei Highrunner Teilen

Als besonders hilfreich erweisen sich Methoden wie zB. Kreidekreis, Spaghetti-Diagramme sowie einfache Strichlisten um die Ist-Situation darzustellen.

2. Auswahl des richtigen Routenzugsystems – Standards schaffen mit dem nötigen Maß an Flexibilität

Jede Fertigungsstätte ist so individuell wie das Produkt, entsprechend individuell wird der Transport mit dem Routenzug gestaltet.

Eine sorgfältige Ist-Analyse und die gewonnenen Daten und Fakten ebnen nun den Weg in die praxisorientierte Gestaltung der Hardware.

Noch vor der Auswahl des Routenzuges stand die Definition von Standardgebinden.

Entsprechend unseren Roh und Fertigteilen wurden folgende Gebinde gewählt:

1. Gitterbox halbhoch



2. Europalette mit Aufsetzrahmen



3. KLTs (Kleinladungsträger) in 3 verschiedenen Größen



Welche Anforderungen muss der Routenzug in unserem Projekt erfüllen?

1. Zugmaschine mit 4 Anhänger
2. Beidseitige Beladung des Zuges
3. Zuladung von 500 kg pro Anhänger
4. Vollständige Entkopplung der Trolleys von der Fahrbahn für minimierten Verschleiß
5. Kleiner Wendekreis (unter 6 m)
6. Rampen müssen befahrbar sein

Nun wurden Hersteller kontaktiert um mögliche Systeme kennenzulernen und diese anschließend miteinander zu vergleichen.

Eine Vorort Besichtigung sowie Probeläufe sind ein wichtiges Instrument bei der Findung des geeigneten Systems. Der reichhaltige Erfahrungsschatz unserer Mitarbeiter hat dazu beigetragen, den für uns geeigneten Routenzug, auszuwählen.

In unserem Fall konnten wir einen Prototypen 4 Monate testen und mit dem Hersteller zur Serienreife weiterentwickeln, was sich als sehr hilfreich für Beide Seiten herausstellte.



Der Routenzug am Hochregallager

3. Der Trolley – Bindeglied zwischen Materialfluss und Ergonomie

Der Trolley, oder auch Palettenfahrgestell, ermöglicht es alle Gebinde, unabhängig von weiteren Flurfördermitteln zu transportieren.

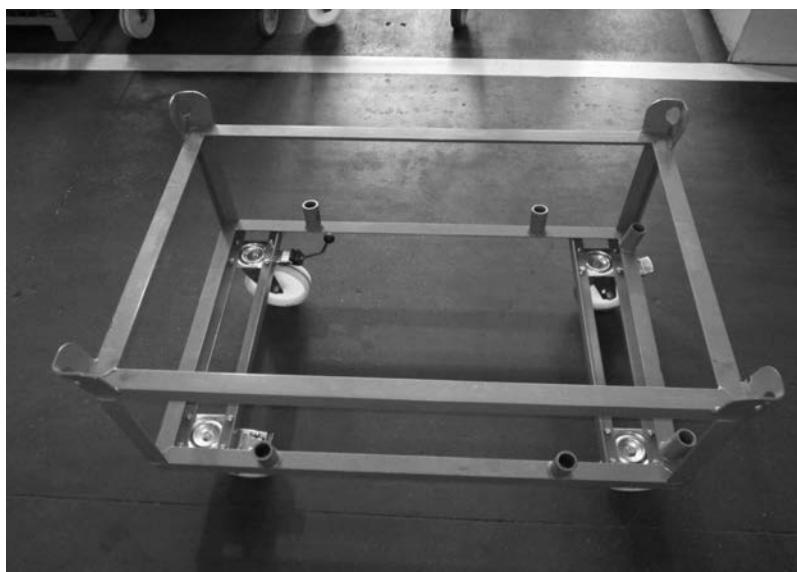
Im Nahbereich durch einfaches Schieben oder auf weiteren Distanzen im Routenzug.

Entscheidend hierbei war die richtige Auswahl der Bauform sowie die der passenden Räder.

Welche Anforderungen muss ein Trolley in unserer Fertigung erfüllen?

1. Euro Format 1200 x 800 mm
2. Rollen mit möglichst geringem Laufwiderstand und hoher Haltbarkeit
3. Hohe Bauform (650 mm) für ergonomisch richtiges entnehmen der Teile
4. Schiebebügel für ergonomisch richtiges Schieben
5. 4 Lenkrollen für Rangiertätigkeiten auf engstem Raum
6. Spurstabilität und guter Geradeauslauf

Trolleys sind meist Sonderanfertigungen und müssen auf die speziellen Bedürfnisse angepasst oder neu konstruiert werden. Es gibt hunderte verschiedene Varianten, Trolleys zusammenzustellen. Eine sorgfältige Planung sowie Praxistests, mit den Mitarbeitern zusammen, haben uns die passende Lösung für unsere Fertigung finden lassen.



Der Trolley

Parallel zur Auswahl der Hardware wurden folgende Punkte abgearbeitet:

1. Fußgängerwarnsystem an stark frequentierten Orten entwickelt und installiert
2. Visualisierungskonzept für alle Arbeitsplätze entwickelt
3. Neue Verkehrsregeln auf den Routenzug abgestimmt
4. Hallenböden sowie Übergänge zu Aufzügen und Rampen wurden geglättet
5. Arbeitsplätze wurden auf die Trolleys angepasst
6. Kommissionier Bereich wurde umgestaltet
7. Arbeitsanweisungen verfasst und alle Mitarbeiter in regelmäßigen Abständen informiert

Der Betriebsrat sowie die Fachkraft für Arbeitssicherheit waren von Beginn an zu jeder Zeit über den Verlauf des Projektes informiert.

4. Die Mitarbeiter – Vom Zweifler zum Verfechter

Veränderung ist das, was die Leute am meisten fürchten.

(Fjodor Michailowitsch Dostojewski)

Aller Anfang ist schwer, so auch die Mitarbeiter von einem Veränderungsprojekt wie dem Routenzug zu überzeugen.

Die Mitarbeiter sind von Beginn des Projektes bis zur Umsetzungsphase miteinzubeziehen.

Im ersten Schritt der Ist-Analyse kann man davon absehen aber im nächsten, ein Konzept zu erarbeiten, kann man auf das Wissen der Mitarbeiter und deren jahrelange Erfahrung nicht verzichten. Anfängliche Ängste oder Zweifel können in Gesprächen abgebaut oder einge-grenzt werden.

Der Praxistest beim Hersteller des Routenzuges ist eine gute Möglichkeit die Berührungs-ängste abzubauen und die Sinnhaftigkeit des neuen Systems darzustellen.

Bereits erste Testfahrten mit dem Routenzug wurden von unseren Mitarbeitern positiv an-genommen und die anfänglich verhaltene Stimmung änderte sich zum Positiven.

Die Mitarbeiter waren nun überzeugt dass ein Routenzug eine Verbesserung der internen Logistik an unserem Standort einleiten wird.

Sie behielten Ihre positive Stimmung bei und dienten als Botschafter des Projektes wenn kritische Gegenstimmen anderer Mitarbeiter zu hören waren.

Von nun an war es auch Ihr Projekt.

5. Erfolgreiche Einführung mit Potenzial zur Ausweitung

Bereits Monate vor Einführung des Routenzuges wurden KLTs (Kleinladungsträger) als Standardgebinde für Teile unter 20 kg eingeführt.

Als dieser Standard erfolgreich geschaffen wurde, folgten erste Versuche mit Trolleys.

Die interne Logistik in einem Durchgang auf den Routenzug umzustellen ist sehr schwierig, deswegen wurde unser System in mehreren Schritten eingeführt.

Anfangs auf einige wenige Maschinen begrenzt, wurde in wenigen Wochen die ganze Abteilung mit dem Routenzug versorgt.

Einführen - Standard schaffen - Ausweiten

Nach wenigen Monaten waren anfängliche Schwierigkeiten (organisatorisch und technisch) als Lessons Learned verbucht, es wurde nachgebessert und einer Ausweitung des Systems wurde entgegengesehen.

Aktuelle Situation:

5 Monate nach Einführung des Routenzuges läuft der Transport stabil, Bestände in der Fertigung wurden abgebaut, Liegezeiten und Wartezeiten reduziert.

(genaue Zahlen hierfür liegen noch nicht vor)

Eine deutliche Reduzierung der Einzelfahrten der Flurfördermittel sorgt zusätzlich für ein sichereres und ruhigeres Arbeitsumfeld für unsere Mitarbeiter.

Weitere Schritte:

In Planung sind die Belieferung einer weiteren Abteilung, sowie Detaillösungen zur Müll- und Späne Entsorgung.

Ergonomie im Fokus: Routenzugversorgung in der LKW-Produktion

Dipl.-Ing. Dipl.-Kfm. **Markus Seiler**, MAN Truck & Bus AG, München;
M. Sc. **Michael Kelterborn**, M. Sc. **Markus Guggemoos**,
Technische Universität München

Kurzfassung:

Routenzüge ermöglichen eine effiziente Materialversorgung mit kleinen Losgrößen und hoher Frequenz und werden deshalb auch in der Nutzfahrzeugindustrie vermehrt eingesetzt. Im Gegensatz zur Versorgung mit Gabelstaplern müssen die Lasten am Bereitstellort manuell gehandhabt werden. Dies stellt für den Mitarbeiter eine wesentliche körperliche Belastung dar. Daher muss in der Planungsphase neben der zeitlichen Auslastung auch die körperliche Belastung der Mitarbeiter betrachtet werden. Im nachfolgenden Beitrag wird ein Ansatz zur integrierten Bewertung von zeitlicher Auslastung und körperlicher Belastung von Routenzugfahrern vorgestellt.

1. Der MAN Standort München

Als einer der führenden Nutzfahrzeug-, Motoren- und Maschinenbauunternehmen Europas erwirtschaftet die MAN-Gruppe jährlich rund 14,3 Mrd. Euro Umsatz mit weltweit etwa 55900 Mitarbeitern. MAN ist Anbieter von LKW, Bussen, Dieselmotoren, Turbomaschinen sowie Spezialgetrieben und nimmt dabei in allen Unternehmensbereichen führende Marktpositionen ein. Der MAN Standort München ist innerhalb der MAN Truck & Bus Gruppe das Stammwerk und Standort der Zentral-Verwaltung. Das Werk München fertigt LKW der schweren Baureihe mit 18 bis 41 Tonnen zulässigem Gesamtgewicht. Darüber hinaus werden am Standort Fahrerhäuser und angetriebene Achsen sowie Verteilergetriebe und Durchtriebe für den gesamten Werksverbund und externe Kunden hergestellt. Die für einen reibungslosen Produktionsablauf unabdingbare Teileversorgung wird durch die Sparte Werkslogistik sichergestellt. Rund 700 Mitarbeiter sorgen hier für die Planung, Steuerung und Ausführung der Materialversorgung mit circa 20.000 aktiven Sachnummern von 850 Lieferanten. Sie verantworten zudem sämtliche Logistikprozesse vom Wareneingang über die Materialbereitstellung am Montageband bis zum Versand der Fahrzeuge und Komponenten.

[1]

2. Routenzug und körperliche Belastung

Routenzüge ermöglichen eine effiziente Materialversorgung mit kleinen Losgrößen und hoher Frequenz und werden deshalb auch bei der MAN Truck & Bus AG vermehrt eingesetzt. Im Gegensatz zur Versorgung mit Gabelstaplern müssen die Lasten am Bereitstellort manuell gehandhabt werden. Dies stellt für den Mitarbeiter eine wesentliche körperliche Belastung dar. Am Bereitstellort wird bei KLT-Routenzügen das Umsetzen des Behälters vom Routenzug in Regale und bei GLT-Routenzügen das Schieben der Behälter auf Rolluntergestellen zur Bereitstellung durchgeführt. Gerade im GLT-Bereich treten beim Schieben aufgrund der hohen Behältergewichte im Nutzfahrzeugsegment hohe Belastungen auf. Weitere Belastungen können bei der Beladung des Zuges durch das Schieben der Anhänger entstehen. Im Vergleich zu Gegengewichtsstaplern verkehren die Routenzüge bei reduzierter Geschwindigkeit überwiegend innerhalb der Halle auf ebenem Bodenuntergrund. Ganzkörper-Vibrationen sind demnach wesentlich geringer einzuschätzen als bei Staplerarbeitsplätzen.

[2]

3. Ansatz zur integrierten Planung von zeitlicher Auslastung und körperlicher Belastung

Zur zeitlichen Bewertung von manuellen Arbeitsabläufen stehen Systeme vorbestimmter Zeiten wie das Methods-Time-Measurement (MTM) System zur Verfügung. Dabei werden Grundbewegungen feste Zeiten zugeordnet (z. B.: 1m Gehen = 0,9s). Dies ermöglicht die zeitliche Auslegung von Arbeitsabläufen und Berechnung von Mitarbeiterkapazitäten bereits in der Planungsphase. In der Regel findet diese Auslegung durch einen Prozessplaner statt und berücksichtigt nicht die körperliche Belastung des Mitarbeiters [4]. Für wiederkehrende Tätigkeitsabläufe, wie sie beispielsweise an Routenzugarbeitsplätzen auftreten, kann der Bewertungsaufwand mithilfe von vordefinierten Prozessbausteinen deutlich reduziert werden. Diese Prozessbausteine beschreiben einen Prozess zeitlich und belastungsmäßig mit Hilfe von Parametern (z.B. Artikelgewicht, Anzahl der Positionen je Auftrag). [3]

Abbildung 1 zeigt den Aufbau des Modells zur integrierten Bewertung von Zeit und Belastung. Das Zeitmodell setzt sich aus MTM-Zeitbausteinen zusammen. Basis des Ergonomie Modells bildet die LMM Methode [4] sowie das hierauf aufbauende Multiple-Lasten-Tool [5]. Dieses ist zur Beurteilung der Arbeitsbelastung bei Routenzügen gut geeignet, da es eine additive Betrachtung unterschiedlicher Lastfälle erlaubt [2].

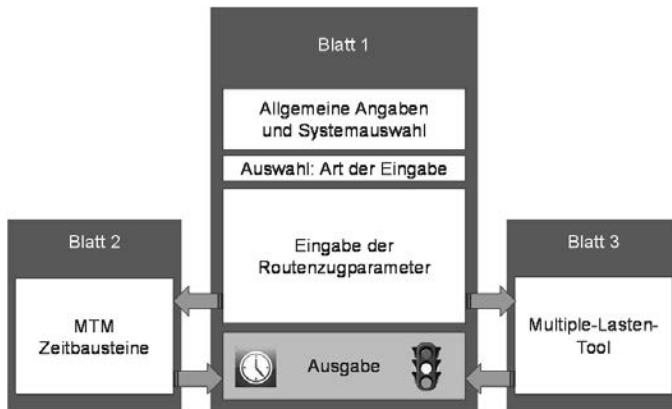


Bild 1: Aufbau Modells zur integrierten Bewertung von Zeit und Belastung [7]

Das Modell wurde verwendet um die Routenzugprozesse im Werk München der MAN Truck & Bus AG zu analysieren. Die Analyse umfasst die Versorgung eines Bandabschnittes mit GLTs. Die Analyse der Ausgangssituation zeigte deutliches Verbesserungspotential. Die Routenzüge waren ungleichmäßig ausgelastet und die körperliche Belastung im gelben Risikobereich. Durch eine Umverteilung der Umfänge konnte zunächst die zeitliche Auslastung der Routenzüge nivelliert werden. Zur Reduktion der körperlichen Belastung wurde für schwere Behälter eine Schiebehilfe eingesetzt. Diese unterstützt elektrisch den Mitarbeiter beim Schieben der Behälter (siehe Bild 2).



Bild 2: Schiebehilfe [7]

Die vorgestellte Methode bietet die Möglichkeit, mit relativ geringem Aufwand sowohl die zeitliche Auslastung als auch die körperliche Belastung von Routenzügen zu bewerten.

Für die Ermittlung der körperlichen Belastung wird im Modell das Umsetzen und Schieben berücksichtigt. Weitere mögliche Belastungen wie Umgebungseinflüsse (z. B. Lärm und Staub), monotone Bewegungsabläufe oder Zeitdruck werden nicht betrachtet.

Das Werkzeug wurde erfolgreich bei der MAN Truck & Bus AG eingesetzt, wodurch sowohl die Auslastung als auch die körperliche Belastung der Mitarbeiter verbessert werden können. [7]

Der vorliegende Beitrag enthält Auszüge aus den Veröffentlichungen [2] und [3], welche zur weiteren Vertiefung des Themas herangezogen werden können.

Literaturhinweise

- [1] MAN Truck & Bus AG: MAN auf einen Blick.
www.corporate.man.eu/de/unternehmen/man-auf-einen-blick/struktur/Struktur.html,
Aufruf am 24.11.2015.
- [2] Kelterborn, M.; Koch, M.; Günthner W. A.: Physische Belastung in der Produktionslogistik. *ZWF - Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, 108 (2013), 11, S. 846-849.
- [3] Kelterborn, M.; Burghart, C.; Kraul, R.; Intra, C.; Günthner, W.A.: Zeitliche und ergonomische Bewertung in der Kommissionierung. *Industrie Management*, 30 (2014), 5, S. 41-44, ISSN 1434-1980.
- [4] Wells, R.; Mathiassen, S.E.; Medbo, L.; Winkel, J.: Time—A key issue for musculoskeletal health and manufacturing. In: *Applied Ergonomics* 38 (2007) 6, S. 733–744.
- [5] Steinberg, U.: New tools in Germany: development and appliance of the first two KIM ("lifting, holding and carrying" and "pulling and pushing") and practical use of these methods. In: *Work (Reading, Mass.)*, 41 Suppl 1 (2012), S. 3990–3996.
- [6] Schaub, K.; Bierwirth, M.; Kugler, M.; Bruder, R.: MultipLa--a tool for the combined overall estimation of various types of manual handling tasks. In: *Work (Reading, Mass.)*, 41 Suppl 1 (2012), S. 4433–4435.
- [7] Guggemoos, M.: Entwicklung eines Parametermodells von Routenzügen zur Bewertung der zeitlichen Auslastung und der physischen Belastung. Master's Thesis. Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik, Technische Universität München, Garching, 2014. Guggemoos.

Routenzug 4.0

Digitalisierung der Bewegungsdaten von Routenzügen durch Echtzeitortung

Prof. Dr. **Markus Schneider**, Hochschule Landshut, Dingolfing

Kurzfassung

Es wird dargestellt, wie die Kombination von Routenzügen mit Echtzeitortungstechnologie (Industrie 4.0 als Enabler) die vollständige informationstechnische Durchdringung der Produktion voranbringt und wie dies u. a. eine Verbesserung der kurzfristigen Planung und Steuerung der Produktions- und Logistikprozesse bewirkt.

Besonders herausgestellt wird jedoch auch eine Erweiterung des Betrachtungshorizonts auf mittlere und langfristige Zeiträume. Durch die Überwachung der bisher „dummen“ Routenzuganhänger, können die individuelle Laufleistung jeden Anhängers überwacht und entsprechende Wartungsaufgaben gesteuert werden.

Bei langfristiger Betrachtung ermöglicht die Digitalisierung der Bewegungsdaten der Flurförderzeuge eine permanente Materialflussoptimierung. Somit kann die Werksstruktur, der eigentliche Kostentreiber, laufend optimiert und nicht nur im Rahmen der gegebenen Möglichkeiten besser gesteuert werden. Letztlich kann durch die permanente Ortung der Flurförderzeuge eine heute noch erhebliche Lücke in der Fertigungsauftrags- und Ressourcenüberwachung während des internen Transports geschlossen werden. Weitergedacht ermöglicht die „Echtzeitorientierte Auftragssteuerung“ sogar, den *Kundenauftrag* direkt zu verfolgen und zu steuern.

1. Routenzug – Grundlagen und Steuerungsalternativen

Ein Routenzug besteht oftmals aus einem Schleppzug mit einem oder mehreren Anhängern. Er dient dem internen Materialtransport. Es werden verschiedene Bereitstellorte mit Material versorgt oder auch (Halb-)Fertigfabrikate eingesammelt. Üblicherweise verkehrt ein Routenzug auf einer festgelegten Route, häufig nach einem festen Fahrplan. [1]

Ein in diesem Zusammenhang häufig diskutiertes Thema ist die Routenzugsteuerung. Prinzipiell sind zwei Alternativen denkbar - *fester Fahrplan* oder *auslastungsorientierte Fahrt*.

Fährt der Routenzug getaktet bzw. nach einem *festen Fahrplan*, so ist das System für alle Beteiligten, den Fahrer, den Produktionsmitarbeiter und auch die Führungskraft transparent und überschaubar. Die Wiederbeschaffungszeit für das Material ist (für den Teil des internen Transports) vorhersehbar und stabil. Der häufige Kritikpunkt ist aber die geringe oder zumindest schwankende Auslastung der Routenzüge. Um auf schwankende Transportmengen reagieren zu können, muss ein Zeit- oder Kapazitätspuffer eingeplant werden.

Häufig wird versucht eine Optimierung der Auslastung von Routenzügen zu erreichen. Der Preis für eine *auslastungsorientierte Auslösung* einer Fahrt ist ein signifikant *höherer Informations- und Steuerungsbedarf*, eine schwankende Wiederbeschaffungszeit und die Intransparenz des Systems. Abweichungen vom Standard sind kaum erkennbar und werden im schlimmsten Fall erst sichtbar, wenn Material zu spät bereitgestellt wurde. Eine Lösung für diesen erhöhten Informationsbedarf zur Steuerung von Routenzügen scheinen die Technologien der Industrie 4.0 zu bieten. Im Rahmen dieses Artikels soll speziell auf die Technologie der Real Time Location Systeme (RTLS) fokussiert werden.

2. Möglichkeiten durch Industrie 4.0 – insbesondere durch Echtzeitortungstechnologien

Spath versteht unter Industrie 4.0 „[...] die *vollständige informationstechnische Durchdringung* der Produktion und den Einsatz von maschineller Intelligenz zur *kurzfristigen Planung, Optimierung und Steuerung* der Abläufe.“ [2]

Nun ist es keineswegs unstrittig, welche Technologien genau unter Industrie 4.0 fallen. Hier soll auf Echtzeitortungstechnologien (auch RTLS genannt) fokussiert werden, die zur geforderten „vollständigen informationstechnischen Durchdringung der Produktion“ einen wichtigen Beitrag leisten. Einige Ortungstechnologien, wie beispielsweise RFID, sind bereits seit

Jahrzehnten verfügbar. Jedoch bieten relativ neue Technologien, wie Realtime Location Systeme (RTLS), bisher ungeahnte Möglichkeiten (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Vergleich verschiedener Ortungstechnologien (eigene Darstellung)

Kategorie	RFID (passiv)	Wi-Fi	RTLS* (UWB)
Kontinuierliche Ortung	Nein - nur bei Vorbeikommen an einer Antenne	Ja - in Echtzeit	Ja - in Echtzeit
Genauigkeit	Identifikation Tag ist vor Ort? – ja/nein	Aktive Tags (2,45GHz): +/- 10m in 2D	+/- 30cm in 3D
Historie	Sammlung von Punkten	ungenau	Genaues Bewegungsprofil
Definition von Ereigniszonen	Nein	Ja	Ja – beweglich mit anderen georteten Objekten
Änderungen	Antennen umbauen	Software	Software
Kosten	Gering	Hoch	Hoch

RFID (passiv) eignet sich für eine punktuelle Erfassung an bestimmten Orten (z.B. Waren-eingang) aber nicht für eine kontinuierliche Ortung von beweglichen Dingen. RTLS (UWB) bieten die mit Abstand höchste Genauigkeit und eine 3D-Ortung. Somit wird es erstmalig möglich, Gegenstände sehr genau und kontinuierlich zu orten und auch *Bewegungsprofile* zu erstellen.

3. Routenzug 4.0 – Potenziale durch den Einsatz von RTLS

Im Weiteren soll dargestellt werden, welche Optimierungspotenziale der Einsatz von RTLS bei der Steuerung und Überwachung von Routenzügen bringen kann. Hier gilt es, besonders die Frage des Planungshorizonts zu betrachten. Der zweite Teil der Definition von Industrie 4.0 hebt beim Einsatzzweck die *kurzfristige* Planung, Optimierung und Steuerung hervor. Welche Potenziale werden aber noch sichtbar, wenn der mittel- und langfristige Planungshorizont in die Betrachtung einbezogen werden?

3.1 Kurzfristiger Planungshorizont: Optimierung der Routenzugauslastung

Der Gedanke liegt nahe, die Ortungsinformation zur Auslastungsoptimierung zu nutzen. Wenn bekannt ist, wo sich die Routenzüge befinden, kann man diese besser steuern. Auch eine dynamische Routenplanung wäre denkbar. Analog zu einer Taxizentrale, kann derjenige Routenzug noch Material mitnehmen, der am nächsten dran ist.

Aber Vorsicht: eine auslastungsorientierte Steuerung widerspricht dem Grundgedanken der Gestaltung eines Routenzuges, dem Ziel der *Komplexitätsreduzierung* und dem Fokus auf die Optimierung des *Gesamtsystems*.

Die Taktung der Routenzüge stabilisiert die Wiederbeschaffungszeit und wirkt so dem sogenannten Durchlaufzeitsyndrom entgegen.[3] Wenn der Werker das Material nicht frühzeitig abrufen soll, dann muss er sich darauf verlassen können, dass der Routenzug rechtzeitig wieder vorbeikommt. Dies wird durch einen getakteten Verkehr mit festen Abfahrtszeiten erreicht. Kommt der Transport nur ein einziges Mal zu spät, wird der Werker beim nächsten Mal früher abrufen und der als Durchlaufzeitsyndrom bezeichnete Teufelskreis beginnt zu wirken.

Einen Routenzug auslastungsorientiert steuern zu wollen ist ein *typischer Fall der Einzeloptimierung* von Teilsystemen und der einzelnen Fahrt. Die übliche Vorgehensweise ist, dass man eine bestimmte Anzahl an Teilenummern betrachtet und über die Verbräuche errechnet, wie oft der Routenzug fahren muss. Analog funktioniert auch die Transportplanung im Bereich der externen Logistik. Das Ergebnis dieser Vorgehensweise sind variierende Anlieferzyklen, die über mehrere Routenzüge oder Transporte hinweg betrachtet, häufig zu Staus und Anlieferspitzen führen.

Eine Optimierung aus Lean-Sicht geht genau umgekehrt vor: um den *Fluss zu optimieren* und Anlieferspitzen zu vermeiden, wird zunächst der Anlieferzyklus bestimmt. In einem weiteren Planungsschritt wird dann ermittelt, welche Teile der Routenzug (vgl. Milkrun-Planung) mitnehmen muss, um für eine ausreichende Auslastung zu sorgen.

Nur so können mehrere Routenzüge untereinander abgestimmt und Stausituationen vermieden werden. Im Fokus steht das Gesamtsystem des internen Transports und nicht die Einzelfahrt eines Routenzugs.

Die Nutzung der Echtzeitortungsinformation zur auslastungsorientierten Steuerung von Routenzügen soll hier nicht abschließend verworfen werden, es geht nur darum zu zeigen, dass durch den zwangsläufigen Verlust der Transparenz und der Stabilität der Wiederbeschaffungszeit auch immer negative Effekte für das Gesamtsystem entstehen. Viel interessanter ist an dieser Stelle die Ausweitung des zeitlichen Betrachtungshorizontes, hin zu einer mittel- und langfristigen Optimierung durch den Einsatz eines RTLS.

3.2 Mittelfristiger Planungshorizont: Laufleistungsüberwachung für („dumme“) Routenzuganhänger zur vorsorglichen Wartung

Ein in der Praxis nicht zu unterschätzendes Problem ist beispielsweise die Wartung von Routenzuganhängern. Während für die Schleppfahrzeuge viele Daten von der Betriebsstundenerfassung über Schocksensorenaufzeichnungen usw. zur Planung von Wartungsintervallen vorhanden sind, kennt niemand die Laufleistung der einzelnen, informationstechnisch entkoppelten („dummen“) Routenzuganhänger.

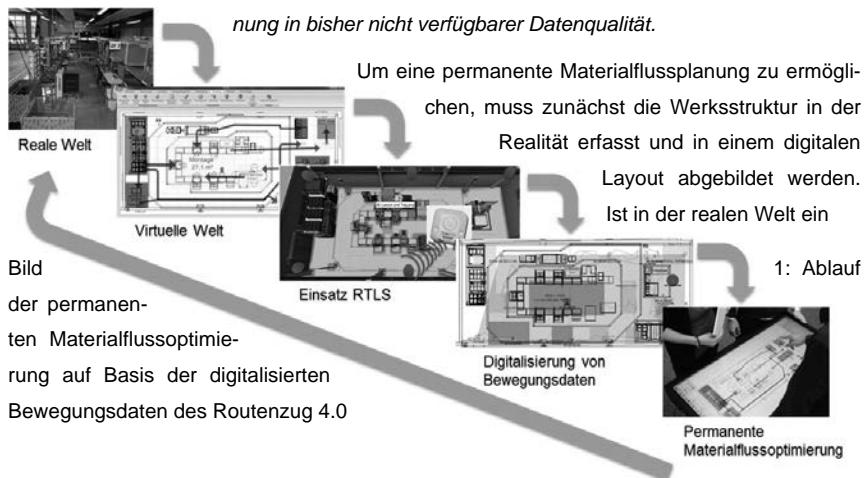
Die im Moment nicht genutzten Anhänger stehen üblicherweise in einem Pool nach dem LIFO-Verfahren, d.h. der zuletzt genutzte, ganz vorne in der Schlange abgestellte Anhänger wird bei Bedarf auch als nächstes wieder angehängt. So gibt es Anhänger, die im Dauereinsatz sind und welche, hinten in der Schlange, die sehr selten oder vielleicht nie genutzt werden. Sowohl das eine wie das andere mag in der Wartung besondere Maßnahmen erfordern. Wenn überhaupt, findet eine punktuelle Sichtprüfung statt. *Eine vorsorgliche oder laufleistungsbezogene Wartung ist für Routenzuganhänger heute nicht möglich.*

Mit Hilfe von RTLS ließen sich die Laufleistungen jeden Anhängers aufzeichnen. Bei bestimmten Schwellenwerten könnte ein Wartungsauftrag ausgelöst werden. Über das RTLS könnte dann der entsprechende Routenzuganhänger geortet und zur Wartung überführt werden. Wird die Ortungsinformation noch beispielsweise mit den Daten der Schocksensoren kombiniert, könnte auch auf Schwachstellen in der Fahrbahn, wie beispielsweise Schwellen oder Schlaglöcher, geschlossen werden.

3.3 Langfristiger Planungshorizont: Permanente Materialflussoptimierung

Der Schlüssel für effiziente und kostengünstige Logistikprozesse ist nicht nur die *kurzfristige* Planung und Steuerung und die beste PPS- oder Optimierungs-Software einzuführen, sondern im Wesentlichen die *prozessorientierte Gestaltung der Werksstrukturen*. Die Transportdauern, die Transparenz und der Steuerungsaufwand werden durch die *Werksstruktur* determiniert. [4] Softwaresysteme bilden diese Komplexität nur ab und optimieren innerhalb der Rahmenbedingungen, die die Werksstruktur setzt. Das ist kurieren am Symptom. Die eigentliche Ursache - der Kostentreiber - ist die Werksstruktur.

Aus Fabrikplanungssicht sind die mit modernen Ortungstechnologien nun völlig neu verfügbaren Daten zu Materialbewegungen extrem hilfreich. Die Bewegungsdaten der Flurförderzeuge werden digitalisiert und ermöglichen eine *permanente Materialfluss- und Fabrikplanung in bisher nicht verfügbarer Datenqualität*.



RTLS installiert, können die Bewegungen beliebiger Objekte, im vorliegenden Fall von Flurförderzeugen, erfasst und lückenlos dokumentiert werden. Diese Daten werden dann im digitalen Layout in Form von Sankey-Diagrammen visualisiert. Somit fließen die Daten zu den Materialflussbewegungen wieder in die Werksgestaltung ein.

Bisher mussten diese Daten meist aufwändig über Wochen mit Hilfe von Strichlisten und Beobachtungen erfasst werden. Mit einem RTLS liegt dies, quasi als „Abfallprodukt“, in bisher nicht möglicher Qualität und nahezu in Echtzeit vor.

Dieses Beispiel zeigt auch, wie aus den vielen vorhandenen Daten wirklich nützliches, weiterführendes Wissen generiert werden kann. Mit Industrie 4.0 wird sich die Datenverfügbarkeit potenzieren. Die Unternehmen haben aber häufig keinen Mangel an Daten, sondern an validen Schlüssen aus all diesen vorhandenen Daten. Dieses Problem wird nicht durch noch mehr Daten gelöst. Das Problem ist, dass viele Unternehmen „auf Teufel komm raus“ Daten sammeln ohne aber die FRAGE zu kennen.

Mit Hilfe der permanenten Materialflussplanung kann ein bisher viel zu wenig genutzter Hebel zur Kostenoptimierung, die prozessorientierte Gestaltung der Werksstrukturen, besser

eingesetzt werden. Industrie 4.0 stellt hierzu die notwendige Technologie als Enabler zur Verfügung.

3.4 Von der Ressourcenüberwachung zur Materialflussüberwachung

In der Produktionssteuerung werden klassischerweise vier Teilaufgaben unterschieden. Dies sind die Belegungsplanung, die Fertigungsauftragsfreigabe, die Fertigungsauftragsüberwachung und die Ressourcenüberwachung. [5] Die Überwachung der Fertigungsaufträge ist ohne RTLS, nur punktuell und indirekt möglich. Erst wenn ein Auftrag an einer Arbeitsstation beispielsweise per Handscanner erkannt wird oder über ein MDE-System die Bearbeitungsdaten vorliegen, erfolgt die Rückmeldung an das PPS-System. Wo sich dieser Auftrag vorher befunden hat oder sich unmittelbar nach dieser Rückmeldung befindet, ist dem PPS-System nicht bekannt. Dieses Problem wird noch massiv verstärkt, wenn zur datentechnischen Aufbereitung ein PPS-Planungslauf, meist über Nacht, erforderlich ist. Dann liegen zwischen dem Vorliegen der Information im PPS und dem echten Geschehen bis zu 24 Stunden.

Das Problem ist, dass der Fertigungs- oder Kundenauftrag, nur punktuell und indirekt über die Ressourcen, sehr lückenhaft und mit erheblichen Zeitverzögerungen verfolgt werden kann. Und darum geht es doch eigentlich im Unternehmen.

Die Konzentration auf die Ressourcenüberwachung ist ebenfalls ein klares Indiz für das „Auslastungsdenken“ aus den Zeiten der Massenproduktion.

Mit dem Routenzug 4.0 kann die Ressourcenüberwachung auf einen bisher „blinden Fleck“, nämlich den internen Transport, ausgedehnt werden. Dies verbessert die Datenverfügbarkeit und -aktualität erheblich, löst aber immer noch nicht das eigentliche Problem.

Der Königsweg ist, den *Fertigungsauftrag selbst* mit einem Tag auszustatten und direkt zu verfolgen. Somit kann erstmalig der Kundenauftrag ständig, direkt, lückenlos und nahezu in Echtzeit verfolgt werden. Aus einer indirekten Ressourcenüberwachung wird eine *Materialflussüberwachung*.

Dieses Konzept wird als „Echtzeitortungsbasierte Produktionssteuerung“ bezeichnet und wurde am Kompetenzzentrum PuLL (Produktion und Logistik) der Hochschule Landshut entwickelt. [6]

4. Fazit

Die Echtzeitortungstechnologie kann die vollständige informationstechnische Durchdringung der Produktion stark verbessern. Dies bringt Effekte in der kurzfristigen Planung und Steuerung der Produktions- und Logistikprozesse. Erweitert man den Planungshorizont, ergeben sich auf den ersten Blick vielleicht nicht ersichtliche, weitreichende Optimierungsmöglichkeiten durch Industrie 4.0 im Bereich des internen Transports.

Durch die Überwachung der bisher „dummen“ Anhänger, können die individuelle Laufleistung eines jeden Anhängers überwacht und entsprechende Wartungsaufgaben gesteuert werden.

Die Digitalisierung der Bewegungsdaten der Flurförderzeuge ermöglicht eine permanente Materialflussoptimierung. Somit kann die Werksstruktur, der eigentliche Kostentreiber, laufend optimiert und nicht nur im Rahmen der gegebenen Möglichkeiten besser gesteuert werden.

Letztlich kann, bei einer langfristigen Betrachtung, eine heute noch erhebliche Lücke in der Fertigungsauftrags- und Ressourcenüberwachung während des internen Transports geschlossen werden. Weitergedacht ermöglicht die „Echtzeitorientierte Auftragssteuerung“ sogar den Kundenauftrag direkt zu verfolgen und zu steuern.

- [1] Günthner, W. et al.: *Schlanke Logistikprozesse – Handbuch für den Planer*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag 2013
- [2] Spath, D. (Hrsg): *Studie Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0*. 2013
- [3] Wiendahl, H. P.: *Belastungsorientierte Auftragsfreigabe*. München: Hanser Verlag 1987
- [4] Schneider, M./Ettl, M.: *Lean Factory Design – Ganzheitliche Fabrikgestaltung und -betrieb nach Lean-Kriterien*. ZWF, Jahrgang 107, 2012, S. 61-66
- [5] Schuh, G./Stich, V.: *Grundlagen der PPS*. 4. Auflage, Berlin: Springer Vieweg Verlag 2012
- [6] Ettl, M.: *Echtzeitortungsbasierte Produktionssteuerung*. Magdeburg: docupoint Verlag 2015

ISBN 978-3-18-092275-1

<https://doi.org/10.5120/9783180922757> – Generiert durch IP 216.73.216.60, am 24.01.2020, 12:35:51. © Urheberrechtlich geschützter Inhalt. Ohne gesonderte Erlaubnis ist jede urheberrechtliche Nutzung untersagt, insbesondere die Nutzung des Inhalts in Zusammenhang mit, für oder in KI-Systemen, KI-Modellen oder Generativen Sprachmodellen.