

Flexible Automatisierung logistischer Prozesse durch modulare Roboter- und Materialflusssysteme

Flexible automation of logistics processes by means of modular robotic and material flow systems

*Claudio Uriarte
Hendrik Thamer
Michael Freitag
Klaus-Dieter Thoben*

BIBA – Bremer Institut für Produktion und Logistik GmbH, Universität Bremen

Die Automatisierung logistischer Prozesse stellt aufgrund dynamischer Prozesseigenschaften und wirtschaftlicher Anforderungen eine große technische Herausforderung dar. Es besteht der Bedarf nach neuartigen hochflexiblen Automatisierungs- und Roboterlösungen, die in der Lage sind, variable Güter zu handhaben oder verschiedene Prozesse bzw. Funktionalitäten auszuführen. Im Rahmen dieses Beitrages wird die Steigerung der Flexibilität anhand von zwei konkreten Beispielen aus den Bereichen Stückguthandhabung und Materialflusstechnik adressiert.

[Schlüsselwörter: Robotik, Materialflusssysteme, Zellulare Fördertechnik, Handhabungstechnik, Künstliche Intelligenz]

Abstract: The automation of logistics processes is characterized by dynamic environment conditions and challenging economic requirements. There is the need for new highly flexible automation and robotic solutions, which are able to handle variable types of goods or to execute different processes and functionalities. This article presents two examples from the area of automatic container unloading and material flow systems, which are able to face these requirements.

[Keywords: Robotics, Material Flow Systems, Cellular Transport Systems, Handling Systems, Artificial Intelligence]

1 EINLEITUNG

Logistische Prozesse sind häufig durch eine hohe Gütervielfalt sowie dynamische Randbedingungen, wie Umgebungsbedingungen und Auftragsschwankungen, gekennzeichnet. Durch die sich ändernden Anforderungen der Kunden bedingt durch ein verändertes Kaufverhalten und den Trend zur kundenindividuellen Produktion lässt sich ein steigendes Paketaufkommen beobachten, welches diese Dynamik verstärkt. Eine Möglichkeit für Unternehmen diesen Anforderungen gerecht zu werden, besteht in

der Entwicklung oder dem Erwerb von Automatisierungstechnik. Diese ist allerdings häufig auf die Durchführung einer einzelnen Aufgabe spezialisiert. Dadurch ist sie zwar in der Lage die Aufgabe effizient auszuführen, kann allerdings nicht für andere Aufgaben eingesetzt werden. Neben den unflexiblen Einsatzmöglichkeiten sprechen oft auch wirtschaftliche Gründe gegen den Erwerb von Automatisierungstechnik. Insbesondere für Kontraktlogistiker, die bspw. an kurze Vertragslaufzeiten gebunden sind, könnte sich ein Erwerb nicht hinreichend amortisieren.

Es besteht daher der Bedarf nach neuartigen hochflexiblen Automatisierungs- und Roboterlösungen, die in der Lage sind, den dynamischen Eigenschaften logistischer Prozesse, wie variable Güter zu handhaben oder verschiedene Prozesse bzw. Funktionalitäten auszuführen, gerecht zu werden. Solche Lösungen müssen auf modularen Hard- und Softwarearchitekturen basieren, um flexible und anpassbare Lösungen für die Automatisierung logistischer Prozesse zu ermöglichen. Im Rahmen dieses Beitrages wird die Steigerung der Flexibilität anhand von zwei konkreten Beispielen aus den Bereichen Stückguthandhabung und Materialflusstechnik thematisiert. Hierbei wird jeweils eine hochflexible Lösung basierend auf modularen Software- und Hardwaresystemen präsentiert. Die Handhabung von Stückgut bei der automatischen Containerentladung erfordert zusätzlich neben der Entwicklung von passenden Greifsystemen, eine zuverlässige softwarebasierte Objekterkennung, um beliebige Packszenarien zuverlässig zu analysieren. Dabei reicht die Auswertung der Daten einer einzelnen Sensortechnologie nicht aus, um beliebig angeordnete Packszenarien korrekt zu analysieren. Bei der Gestaltungen von flexiblen Materialflusssystemen wird häufig modulare Fördertechnik verwendet. Basierend auf unterschiedlichen Steuerungsstrategien können unterschiedliche Funktionalitäten ausgeführt, aber auch neue Anlagenlayouts ohne größeren Installationsaufwand in Betrieb genommen werden.

2 AUTOMATISCHE CONTAINERENTLADUNG

Die automatische Entladung von Containern durch flexible Robotersysteme bietet großes Potenzial, logistische Umschlagprozesse effizienter und kostengünstiger zu gestalten. Die Handhabung von Stückgütern durch Roboter stellt dabei hohe Anforderungen an Sensorik und Sensordatenauswertung. Im Gegensatz zu Robotern in Produktionsprozessen sind in der Logistik Objektinstanzen und Positionen üblicherweise im Vorfeld nicht bekannt. Dies ist bspw. bei der automatischen Entladung von Containern und bei der Depalettierung von Paletten der Fall. Existierende Systeme sind bisher auf bekannte Formklassen und Stückgüterausmaße sowie homogene Packanordnungen beschränkt. Die Entwicklung eines flexiblen Handhabungsroboters erfordert daher eine Objekterkennung, die in der Lage ist, beliebige Objekte in unbekanntem Anordnungen zu erkennen sowie die entsprechenden Positionen und Orientierungen für die Greifpunktbestimmung zu berechnen. Insbesondere die Analyse von 3D Bilddaten wird verstärkt für Prozessautomatisierung in der Logistik genutzt [Wei13][Kam13][Tre13]. Bei der automatischen Entladung von Containern eignen sich 3D Bilddaten insbesondere für die Analyse von ungeordneten und heterogenen Packszenarien, da anhand der Auswertung der Form der Stückgüter auf entsprechende Stückgüterformklassen und Lage innerhalb des Packszenarios geschlossen werden kann. Um die Flexibilität der Objekterkennung zu steigern, eignet sich die parallele Nutzung und Auswertung von 2D sowie 3D Bildinformationen, um Objekte in beliebig komplexen Packszenarien zu erkennen und zu lokalisieren.

2.1 3D OBJEKTERKENNUNG

Objekterkennungsmethoden, die auf der Analyse von 3D Bilddaten von Laserscannern, Time-of-Flight Kameras oder RGB-D Bilddaten basieren, eignen sich für die Analyse von ungeordneten Packszenarien. Diese können auch aus unterschiedlichen Stückgüterformklassen, wie zylindrisch, quaderförmig oder sackförmig, bestehen. Dabei lassen sich die Methoden in die Verarbeitungsschritte Vorverarbeitung, Segmentierung und Klassifikation unterteilen. Speziell der Segmentierung, also die Trennung der 3D Bilddaten in einzelne Regionen, kommt hinsichtlich der Güte der Objekterkennung eine besondere Bedeutung zu. Abbildung 1a zeigt ein Beispiel eines Packszenarios mit Gütern aus unterschiedlichen Formklassen. Anhand der 3D Punktwolke kann das Szenario hinreichend genau segmentiert werden (Abbildung 1b), so dass geometrische Modelle in die einzelnen Segmente eingepasst werden können (Abbildung 1c), um die Objekte einer Objektklasse zuzuordnen [Tha14]. Durch die Unordnung der Stückgüter eignen sich die geometrische Information bzw. Orientierung der einzelnen Flächenstücke in der Punktwolke zur Segmentierung. Bei geordneten Szenarien oder auch bei Stückgütern, die direkt bündig übereinander gestapelt sind, reicht die alleinige Verwendung von 3D Bilddaten allerdings nicht aus.

In diesem Fall werden häufig mehrere Stückgüter als ein einziges Stückgut interpretiert.

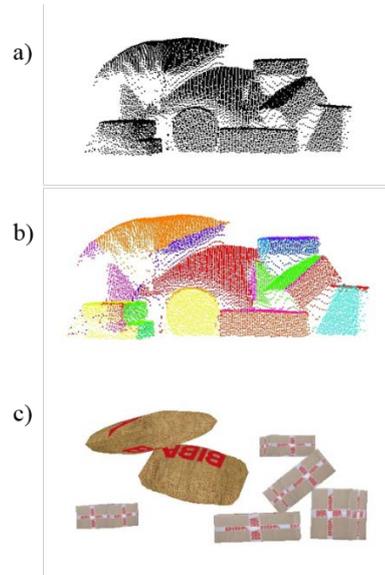


Abbildung 1. a) Ausgangspackszenario b) Ergebnis Segmentierung c) Ergebnis Objekterkennung

Abbildung 2a zeigt hierfür beispielhaft ein geordnetes Packszenario innerhalb eines Containers. Die korrespondierenden 3D Bilddaten werden in der Punktwolke in Abbildung 2b dargestellt.

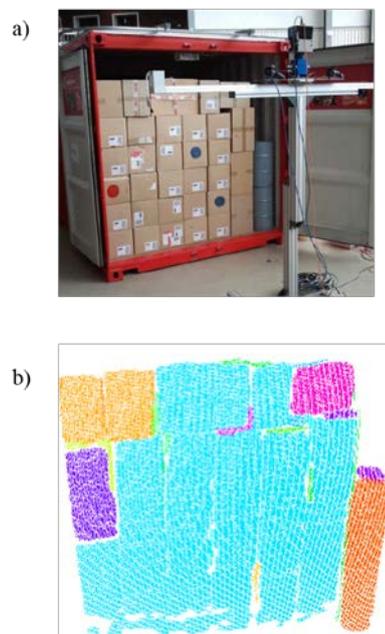


Abbildung 2. a) Geordnetes Packszenario b) Ergebnis Segmentierung anhand von 3D Bilddaten

Die farbliche Kennzeichnung veranschaulicht dabei die Zugehörigkeit der Punkte zu einem Segment. Anhand

der Punktwolke ist keine weitere Aufteilung der Segmente möglich. Dadurch werden mehrere Pakete als einzelnes Objekt behandelt und der Roboter versucht sie als Ganzes zu handhaben, was im schlimmsten Fall zu einer Beschädigung der Pakete oder sogar zu einer Beschädigung des Roboters führen kann. Daher muss eine weitere Datenquelle in die Segmentierung integriert werden. Dieses Verfahren wird im Folgenden als hybride Segmentierung bezeichnet, die RGB-D Daten (2D und 3D) analysiert. Als Anwendungsbeispiel wird die Analyse von geordneten Packszenerarien verwendet, die ausschließlich aus quaderförmigen Stückgütern bestehen.

2.2 HYBRIDE SEGMENTIERUNG

Durch Hinzunahme von 2D Farbbildern in die Segmentierung können auch Kanten bzw. Abgrenzungen zwischen den einzelnen Paketen bestimmt werden, die nur anhand der Textur erkennbar sind. Durch die Kombination von 2D und 3D können alle möglichen Kanten (form- und texturbasiert) detektiert werden. Da allerdings auch Kanten im 2D Farbbild auftreten, die nur durch Störkonturen entstehen, wie Folie, Aufkleber oder Beschädigungen, muss die hybride Segmentierung robust genug sein, diese Konturen zu entfernen. Abbildung 3 verdeutlicht dieses Verhalten. Abbildung 3a zeigt ein 2D Farbbild und Abbildung 3b eine RGB-D Punktwolke eines geordneten Paketstapels.

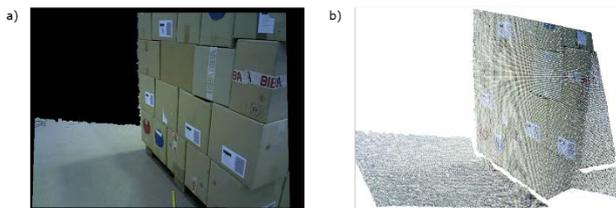


Abbildung 3. a) 2D Farbbild b) RGB-D Daten (Form und Farbe)

In der Abbildung 4a werden alle im 2D Farbbild detektierten Konturen dargestellt. Im anschließenden Schritt müssen alle Störkonturen entfernt werden. Die hybride Segmentierung besteht aus einer modularen Kombination aus 3D und 2D Bildverarbeitungsalgorithmen.

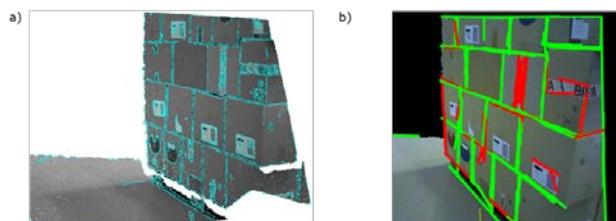


Abbildung 4. a) Detektierte Kanten (hellblau) b) Valide Kanten (grün), nicht valide Kanten (rot)

Zunächst werden anhand der 3D Informationen auf Basis einer bekannten Sensor- und Paketstapelposition alle RGB-D Daten entfernt, die nicht zu den relevanten Objekten in dem Szenario gehören. Anschließend werden die 2D

Informationen genutzt, um Kanten und Konturen zu detektieren und Liniensegmente zu bestimmen. Um Störkonturen zu entfernen, werden Merkmale auf Basis der Liniensegmente berechnet (SIFT Deskriptor [Low04]). Diese Merkmale werden verwendet, um zwischen validen und nicht validen Linien zu unterscheiden. Abschließend findet ein finales Clustering auf Basis kartesischer Informationen statt. Jedes Cluster repräsentiert nun ein einzelnes Stückgut und kann zur Berechnung von Greifpunkten genutzt werden. Das Ergebnis der hybriden Segmentierung ist in Abbildung 4b dargestellt. Die eingezeichneten Linien stellen die detektierten Kanten dar. Die grünen Kanten repräsentieren die validen und die roten die nicht validen Kanten.

3 MATERIALFLUSSSYSTEME

Analog zur Stückguthandhabung werden auch in der Materialflusstechnik hochflexible Systeme benötigt. Moderne fördertechnische Systeme sind aktuell in der Lage, die komplexesten intralogistischen Aufgaben zu erledigen, wie die Bildung bzw. die Vereinzelung von Paketlagen für die automatische Palettierung bzw. Depalettierung sowie das Sortieren von Paketen. Diese erfordern entweder die sequenzielle Verarbeitung einzelner Prozessschritte mit hohem Platzbedarf oder die kombinierte Verarbeitung durch zusätzliche mechatronische Komponenten, die kompakter aufgebaut sind, jedoch eine hohe Komplexität aufweisen. Die Entwicklung modularer, kleinskaliger oder zellulärer fördertechnischer Systeme ist aktuell Gegenstand vieler Forschungsarbeiten auf diesem Gebiet [Fur10][Kir12][Sei14][Ove10]. Diese fokussieren häufig einen dezentralen Steuerungsansatz.

3.1 DER CELLUVEYOR

Basierend auf dem Konzept der zellulären Fördertechnik [Hom06] wurde am Bremer Institut für Produktion und Logistik (BIBA) der Cellular Conveyor, abgekürzt „Celluveyor“ entwickelt [Uri13]. Dieser ist ein modulares Förder- und Positioniersystem, welches eine hohe Flexibilität bezogen auf das Layout, die möglichen Anwendungsfelder, das Fördergutspektrum sowie Anpassungen an Durchsatzänderungen ermöglicht. Der Celluveyor besteht aus mehreren kleinen sechseckigen Fördermodulen mit jeweils drei omnidirektionalen Rädern. Mit Hilfe eines Schnellverbinders können die kleinskaligen Module schnell zu beliebigen Layouts kombiniert werden. Durch die spezielle Anordnung der Räder sowie durch eine gezielte Ansteuerung der einzelnen Antriebe und die Kooperation der einzelnen Module kann das Fördergut unabhängig voneinander auf beliebigen Bahnen bewegt werden. Mit diesem modularen Hardwarekonzept wird eine ausgezeichnete Layout-, Durchsatz-, Fördergut- und Prozessflexibilität erreicht. Abbildung 5 zeigt ein CAD Modell eines Celluveyor Moduls sowie die Kombination der Module zu einer fördertechnischen Anlage. Die Grundfunktionsweise des Celluveyor wurde anhand eines Demonstrators bestehend aus 60 Modulen (mit einer Förderfläche von 1,4m x 1,6m) mit der

Unterstützung des BMWi SIGNO-Programmes nachgewiesen. Der Demonstrator verfügt über eine zentrale Industriesteuerung (SPS), die mit jedem einzelnen Modul verkabelt ist. Als Anwendung wurde ein Eckumsetzer mit zusätzlicher Paketrotation realisiert.



Abbildung 5. Celluveyor Modul und die beispielhafte Kombination der Module zu einer Förderanlage

Die bestehende Systemkonfiguration ist in der Lage, eine Fördergeschwindigkeit bis 0,8m/s bei gewöhnlichen Paketen (max. 31,5kg) zu erzielen. Das maximale Paketgewicht ist von der Anzahl an Rädern abhängig, mit denen das Objekt in Kontakt ist. Bei einer maximalen Traglast von 18kg pro Rad darf z.B. ein 20cm x 30cm großes Objekt ein Maximalgewicht von ca. 90kg aufweisen. Ein 40cm x 50cm Objekt dürfte dementsprechend theoretisch max. 270kg wiegen. Durch die Verwendung leistungsfähigerer Motoren sowie anderer Räder kann der Celluveyor noch höhere Geschwindigkeiten realisieren und schwerere Lasten transportieren. Abbildung 6 zeigt den aktuellen Celluveyor Demonstrator.



Abbildung 6. Celluveyor Demonstrator

3.2 STEUERUNGSRCHITEKTUR

Die derzeitige Steuerungsarchitektur des Celluveyor ist mit Fokus auf der Erbringung des Nachweises des Gesamtkonzeptes zentral ausgelegt. Die Steuerungshardware basiert auf der Industriesteuerung CX1020 der Firma Beckhoff. Aufgrund des zentralen Steuerungsansatzes kommuniziert jedes einzelne Fördermodul kabelgebunden mit der Steuerung. Abbildung 7 stellt die Funktionsweise der zentralen Steuerungsarchitektur dar. Die zentrale Ebene kommuniziert mit der kundenseitigen IT und besteht aus einem

PC und der SPS. Auf dem PC werden jeweils ein Softwaremodul für die auszuführende fördertechnische Aufgabe, für die Bahnplanung und die Berechnung der jeweiligen Antriebsparameter ausgeführt. Innerhalb des Bahnplanungsmoduls kann manuell eine Start- und Endposition sowie -orientierung eines Paketes auf dem Celluveyor bestimmt und eventuelle Hindernisse festgelegt werden.

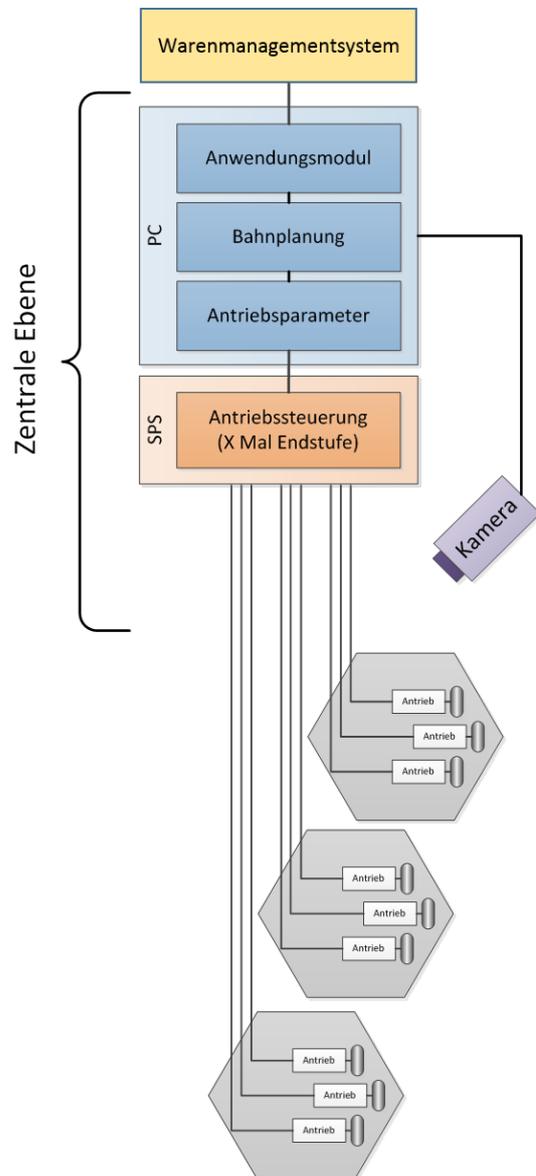


Abbildung 7. Zentrale Steuerungsarchitektur des Celluveyor

Anschließend wird eine Trajektorie zur Erreichung der Zielposition und -orientierung durch das Bahnplanungsmodul berechnet. Zudem ist es möglich manuell vorprogrammierte und gespeicherte Trajektorien auszuführen. Das Modul zur Berechnung der Antriebsparameter bestimmt anhand der errechneten Trajektorie die Geschwindigkeiten der einzelnen Motoren. Weiterhin wurde ein Übertragungsprotokoll für die Kommunikation zwischen dem PC, auf dem die beiden Softwaremodule ausgeführt werden, und

der Industriesteuerung implementiert. Für einfache förder-technische Aufgaben erwies sich die Genauigkeit der Bahnplanung und Ausführung der berechneten Trajektorie als ausreichend. Bei der Ausführung von Positionieraufgaben, wie bei der Lagenbildung oder Vereinzelung, ist jedoch eine Rückmeldung über die tatsächlichen Positionen der Pakete auf dem Celluveyor notwendig, um bei Abweichungen korrigierend auf die Berechnung der Antriebsparameter einzuwirken. Dies wird über die Auswertung eines Kamerabildes realisiert. Hier werden die Pakete erkannt und ihre Position auf dem Celluveyor bestimmt. Durch einen Vergleich zwischen tatsächlicher und geplanter Position werden eventuelle Abweichungen bestimmt und korrigierend in die Berechnung der Bahn bzw. der Antriebsparameter eingegriffen. Anhand des zentralen Steuerungskonzepts konnte die korrekte Funktionsweise des Celluveyor nachgewiesen werden. Es stellte sich jedoch heraus, dass mit einer ausschließlich zentralen SPS-basierten Steuerungslösung die Skalierbarkeit der Anlage und somit die notwendige Gesamtflexibilität nicht erreicht werden kann. Daher fokussieren aktuelle Forschungsarbeiten die Umsetzung eines komplett dezentralen Steuerungskonzepts auf Basis intelligenter Module.

4 ZUSAMMENFASSUNG

Logistikunternehmen stehen bedingt durch ein verändertes Kaufverhalten der Kunden sowie durch die hohe verfügbare Produktvielfalt neuen Herausforderungen gegenüber. Um die stetig kürzer werdenden Produktlebenszyklen sowie die hohe Produktvielfalt schnell und effizient bewältigen zu können, werden hochflexible, wartungsfreundliche sowie kosteneffiziente Automatisierungslösungen benötigt. Durch die kurzen Vertragslaufzeiten in Kombination mit unsicheren Auftragslagen oder kurzfristiger Änderungen, ist die Anschaffung von Automatisierungstechnik allerdings häufig mit hohen finanziellen Risiken verbunden, da sich diese schon nach kurzer Zeit amortisieren muss. Dieser Beitrag greift das Thema der Steigerung der Flexibilität in der Logistik anhand zweier Beispiele aus den Anwendungsfeldern der automatischen Containerentladung sowie der Materialflusstechnik auf. Hier wird jeweils basierend auf einer modularen Systemarchitektur die Steigerung der Flexibilität über die Hinzunahme und parallele Auswertung weiterer Sensortechnologie sowie über modulare Hard- und Softwaresysteme zur flexiblen Ausführung förder-technischer Aufgaben adressiert.

Literatur

- [Fur13] Furmans, Kai; Mayer, Stephan; Berbig, Dominik; Stryja, Carola: *Entwicklung eines flexiblen Fördersystems auf Basis baugleicher Einzelmodule*. In: Abschlussbericht IGF-Forschungsprojekt Nr. 15732.
- [Hom06] Ten Hompel, Michael: *Zellulare Förderertechnik*, In: eLogistics Journal 2006, DOI 10.2195/LJ_Not_Ref_d_tenHompel_08 2006, 2006.
- [Kam13] Kamagaew, Andreas; Ten Hompel, Michael: *Method of collaborative detection of autonomous transport vehicles based on laser rangefinder*. In: Logistics Journal 10 (2013).
- [Kir12] Kirks, Thomas; Stenzel, Jonas; Kamagaew, Andreas; Ten Hompel, Michael: *Zellulare Transportfahrzeuge für flexible und wandelbare Intralogistiksysteme*. In: 8. Fachkolloquium der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Technische Logistik 2012, pp. 161-168, 2012.
- [Low04] Lowe, David: *Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints*. In: International Journal of Computer Vision. Band 60, Nr. 2, pp. 91-110, 2004.
- [Ove10] Overmeyer, Ludger, Ventz, Kai, Falkenberg, Sascha, Krühh, Tobias: *Interfaced multidirectional small-scaled modules for intralogistics operations*. In: Logistics Research 2 (2010), Nr. 3-4, pp. 123-133, 2010.
- [Sei14] Seibold, Zäzilia; Furmans, Kai: *Grid-Sorter – Logische Zeit in dezentral gesteuerten Materialflusssystemen*. In: Logistics Journal 2014.
- [Tha14] Thamer, Hendrik; Scholz-Reiter, Bernd: *3D-Objekterkennung von heterogenen Stückgütern - Flexible Automatisierung basierend auf 3D-Bildverarbeitung*, In: Industrie Management, 31(2014)6, GITO Verlag, Berlin, pp. 35-38, 2014.
- [Tre13] Trenkle, Andreas; Seibold, Zäzilia; Stoll, Thomas; Furmans, Kai: *Steuerung eines FTF durch Gesten- und Personen-erkennung*. In: Logistics Journal 2013, Nr. 10, 2013.
- [Uri13] Uriarte, Claudio; Rohde, Ann-Kathrin; Kunaschk, Stefan: *Celluveyor – Ein hochflexibles und modulare Förder- und Positioniersystem auf Basis omnidirektionaler Antriebstechnik* In: 18. Magdeburger Logistiktage – Sichere und nachhaltige Logistik, 2013.

[Wei13] Weichert, Frank; Skibinski, Sebastian; Stenzel, Jonas; Prasse, Christian; Kama-gaew, Andreas; Rudak, Bartholomäus; Ten Hompel, Michael: *Automated detection of euro pallet loads by interpreting PMD camera depth images*. In: Logistics Research 6 (2013), No.2-3, pp.99-118, 2013.

Dipl.-Ing. Claudio Uriarte, Wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung „Robotik und Automatisierung“ am BIBA – Bremer Institut für Produktion und Logistik GmbH.

Dr.-Ing. Hendrik Thamer, Abteilungsleiter „Robotik und Automatisierung“ am BIBA – Bremer Institut für Produktion und Logistik GmbH.

Prof. Dr.-Ing. Michael Freitag, Leiter Fachgebiet Planung und Steuerung produktionstechnischer und logistischer Systeme im Fachbereich Produktionstechnik der Universität Bremen und Direktor des BIBA – Bremer Institut für Produktion und Logistik GmbH.

Prof. Dr.-Ing. habil. Klaus-Dieter Thoben, Leiter Fachgebiet Integrierte Produktentwicklung an der Universität Bremen sowie Geschäftsführer und Direktor des BIBA – Bremer Institut für Produktion und Logistik GmbH.

Adresse:

BIBA – Bremer Institut für Produktion und Logistik GmbH, Hochschulring 20, 28359 Bremen.
Phone: +49 421 21850160, Fax: +49 421 21850003,
E-Mail: tha@biba.uni-bremen.de