

## Fördern im Schwarm – auf dem Weg zur zellularen Fördertechnik

Um die Potenziale der Modularisierung bezüglich Flexibilität, Robustheit und Wiederverwendbarkeit nicht nur im Bereich der Steuerungssoftware nutzen zu können, muss auch die mechanische Auslegung von Materialflusssystemen angepasst werden. Dabei gilt es, die zahlreichen heterogenen und ortsfesten Komponenten eines typischen Stetigfördersystems durch einheitliche Module zu ersetzen, die autonom oder kooperativ logistische Aufgaben erfüllen können.

### Die Natur als Vorbild

Klettverschluss, Lotus-Effekt, künstliche neuronale Netze, Riblet-Folien zur Verminderung des Reibwiderstands bei Flugzeugen – alles Beispiele dafür, dass ein Blick auf natürliche Phänomene hilfreiche Denkanstöße für erfolgreiche technische Entwicklungen geben kann. Sucht man auf dem Gebiet der Fördertechnik nach Vorbildern in der Natur, so sind diese vor allem beim Transport von Nahrung und Baumaterial zu finden. Oft genanntes Beispiel sind dabei Ameisenstaaten. Ameisen realisieren Transporte durch einen Schwarm aus vielen selbstständigen Individuen, deren Wegfindung auf Duftstoffspuren basiert. Die hiervon abgeleiteten Ameisenalgorithmen finden bei der Routenoptimierung u.a. in Telefonnetzwerken, im Internet oder bei Post- und Auslieferungstouren erfolgreich Verwendung. Nun sollen Ameisen auch in der Intralogistik bei der Realisierung des Materialflusses als Vorbild dienen.

Ein Beispiel dafür ist das Kiva Mobile Fulfillment System, in dem kleine Roboter mobile Lagerregale direkt zum Kommissionierarbeitsplatz transportieren. Allerdings ist das System auf eine umfangreiche Infrastruktur zur Wegfindung angewiesen und wird zentral gesteuert. Im Bereich der Forschung beschäftigt sich u.a. das Institut für Fördertechnik und Logistiksysteme (IFL) der Universität Karlsruhe mit den Projekten BlnE (Basic Intralogistic Element), FlexFörderer sowie KARIS (Kleinskaliges Autonomes Redundantes IntralogistikSystem) mit der technischen Umsetzung dezentraler Konzepte, die mit einem Mindestmaß an Infrastruktur auskommen und somit dem natürlichen Vorbild der Ameisen nahe kommen.

### Die zellulare Fördertechnik

Auch das Forschungsvorhaben „Algorithmen und Kommunikationssysteme für die zellulare Fördertechnik“, das als Gemeinschaftsprojekt am Dortmunder Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik (IML) und am Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik (fml) der TU München bearbeitet wird, treibt die Idee von autonomen und kostengünstigen Transportfahrzeugen voran, die in der Lage sind, den Materialfluss selbstgesteuert zu gestalten. Auf diese Weise entsteht ein flexibles und skalierbares Transportsystem, das seine Struktur und Leistung der jeweiligen Anwendung anpasst. Grundlage dafür sind Konzepte zur zielgerichteten Führung, zur Auftragsdisposition, zur Ortung, Wegefindung und Kollisionsvermeidung. Dazu sollen einerseits Algorithmen für derartige kooperierende Fahrzeugkollektive entwickelt und in einer Simulationsumgebung auf ihre Praxistauglichkeit hin getestet werden. Außerdem gilt es, durch die Definition und Implementierung von Kommunikationssystemen zum sicheren und schnellen Informationsaustausch die Koordination und Kooperation zwischen den beteiligten Einheiten zu ermöglichen.

Analogien zum Ameisenstaat finden sich in der schwarmähnlichen Struktur der zellularen Fördertechnik mit ihren verteilten Fahrzeugen sowie in den zu entwickelnden Algorithmen. Die Gemeinsamkeiten mit dem biologischen Vorbild haben allerdings auch Grenzen. So ist die Natur zum

Zweck der Arterhaltung durchaus bereit, das ein oder andere Individuum zu opfern. Für ein technisches System ist es dagegen inakzeptabel, den Ausfall einzelner Elemente billigend in Kauf zu nehmen. Allerdings eröffnet die zellulare Fördertechnik im Fall von Störungen die Möglichkeit, einzelne Fahrzeuge aufwandsarm auszutauschen, ohne dass der Materialfluss beeinträchtigt wird. Gleiches gilt für die Anpassung an mittelfristige Durchsatzschwankungen durch das Hinzufügen/Entfernen von Fahrzeugen. In München und Dortmund wird das Konzept der zellularen Fördertechnik anhand eines Referenzszenarios untersucht. Es handelt sich dabei um ein Distributionszentrum, in dem autonome Fahrzeuge den Materialfluss sowohl im Warenein-/ausgang und in der Lagervorzone umsetzen als auch die Belieferung von Kommissionierstationen übernehmen (Bild 1). Aus diesem Szenario ergeben sich prozessbedingte Anforderungen an Kommunikations- und Steuerungskonzepte für ein verteiltes, mobiles Fördersystem.

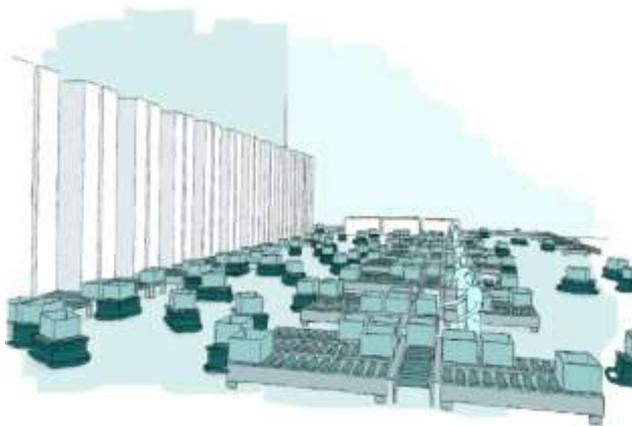


Bild 1

### Algorithmen für die zellulare Fördertechnik

Im Rahmen des Projekts soll eine Simulationsumgebung entstehen, die es erlaubt, das Verhalten des „Förderschwarms“ schon vor dem realen Einsatz zu testen (Bild 2). Der Simulator kann somit als Entwicklungsumgebung dienen und die Praxistauglichkeit des entwickelten Intralogistik-Konzepts sicherstellen. Den Ausgangspunkt stellt ein physikalisches Fahrzeugmodell dar, welches Kinematik und Dynamik des Fahrzeuges berücksichtigt. Maschinendaten wie etwa Rad- und Achsabstand sowie die geometrische Anordnung der Sensoren können im Modell parametrisiert werden. Auch für Sensoren wie z.B. Laserscanner werden Modelle erstellt (Bild 3).

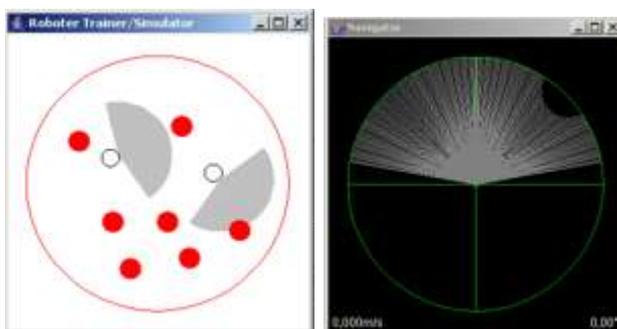


Bild 2/Bild 3

Auf dieser Basis kann das Regelungskonzept für das Fahrzeug entwickelt und optimiert werden. Die Simulationsumgebung bildet eine Halle mit feststehenden Hindernissen und frei definierbaren

Übergabestationen ab. In dieser Umgebung kann eine vorzugebende Anzahl von parametrierbaren Fahrzeugen frei verfahren. Dabei können die Fahrzeuge lokale Ausweichmanöver durchführen und in Kooperation mit ihren Nachbarfahrzeugen vorausschauend ihre Routen planen. Für die Steuerung des Fahrzeugkollektivs sind vordefinierte Algorithmen verantwortlich. Fahrzeug- und Sensormodelle sowie der Simulator verfügen über Schnittstellen, die eine einfache Anbindung der Steuerungsalgorithmen erlauben. Damit steht ein Rahmen zur Verfügung, der eine Anpassung und Optimierung der Algorithmen erlaubt.

### **Kommunikation im Schwarm**

Parallel zur Entwicklung der Modelle und Algorithmen erfolgt eine Untersuchung des für die Koordination eines autonomen Fahrzeugkollektivs notwendigen Informationsaustauschs. Für eine sinnvolle Datenverteilung müssen diese Informationen zunächst klassifiziert werden. Als Kriterien dienen dabei beispielsweise Datenmengen, Echtzeitanforderungen oder die Anzahl der Empfänger einer Nachricht. Die Klassifizierung dient der Entwicklung einer effizienten Kommunikationsinfrastruktur. Standards für die drahtlose Kommunikation wie WLAN, ZigBee oder ISA100.11a werden auf ihre Eignung hin untersucht, die anfallenden Daten rechtzeitig und sicher zu übermitteln. Um den unterschiedlichen Anforderungen der jeweiligen Informationsklassen zu genügen, sollen außerdem zwei verschiedene Kommunikationsprinzipien zum Einsatz kommen: eine direkte Point-to-point-Übertragung zwischen Sender und Empfänger (z.B. zur Lastwechsel-Koordination am Übergabepunkt) sowie ein indirekter Datenaustausch mit Hilfe von dezentralen Informationsknotenpunkten, so genannten Blackboards. Blackboards ermöglichen eine gezielte Speicherung und Bereitstellung auf den Wissensbedarf einzelner Funktionen (Visualisierung, Navigation, Auftragsdisposition) oder Bereiche (Lagervorzone, Warenein-/ausgang) zugeschnittener Informationen. Die Entkopplung von Sender und Empfänger führt zu einer Verringerung der Systemkomplexität, denn jedes Modul ist für seine eigene Aufgabe und die Beschaffung bzw. Veröffentlichung relevanter Daten selbst zuständig. Um die Robustheit und Leistungsfähigkeit des Systems zu erhöhen, sollen die Daten auf mehrere Blackboards verteilt werden. Dabei sind zusätzlich Funktionen zur Synchronisation der Informationsknotenpunkte zu entwickeln, die eine systemweite Datenkonsistenz garantieren.

### **Praxistauglichkeit im Fokus**

Praxistaugliche Steuerungsalgorithmen und eine effiziente Kommunikation zwischen den einzelnen Fahrzeugen bereiten den Weg für die zellulare Fördertechnik - ein hochflexibles und skalierbares Transportsystem, das seine Leistung der geforderten Aufgabe entsprechend rasch und aufwandsarm anpassen kann. Die immer häufiger auftretende Forderung nach einer kostengünstigen Bereitstellung individualisierter Produkte bei schwer zu prognostizierendem Kundenverhalten erfordert genau diese Eigenschaften. Die zellulare Fördertechnik kann somit als Antwort auf geänderte logistische Rahmenbedingungen gesehen werden oder - um beim Vorbild Natur zu bleiben - als nächste Evolutionsstufe in der Entwicklung der Materialflusssysteme.

Die Förderung des Projekts erfolgt aus Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen "Otto von Guericke" e.V. (AiF) im Rahmen der Industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) auf Antrag der Forschungsvereinigung Bundesvereinigung Logistik e.V. (BVL).

Autoren:

Prof. Dr. Michael ten Hompel ist Inhaber des Lehrstuhls für Förder- und Lagerwesen an der TU Dortmund und geschäftsführender Leiter des Fraunhofer-Instituts für Materialfluss und Logistik (IML) in Dortmund

Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wi.-Ing. Willibald A. Günthner ist Inhaber des Lehrstuhls für Fördertechnik Materialfluss Logistik (fml) der TU München

Dipl.-Ing. Peter Tenerowicz ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik (fml) der TU München

Dipl.-Ing. Hubert Büchter ist Mitarbeiter der Abteilung Leit- und Steuerungstechnik des Fraunhofer-Instituts für Materialfluss und Logistik (IML) in Dortmund