

# Steuerung von kleinskaligen Fördermodulen

## Control of Small-Scale Transport Modules

Simon Sohr  
Nikita Shchekutin  
Ludger Overmeyer

Leibniz Universität Hannover  
Institut für Transport- und Automatisierungstechnik

**I**n dieser Veröffentlichung wird die Steuerung für ein neuartiges Materialflusssystem beschrieben, welches aus kleinskaligen Fördermodulen und verschiedenen Arten von Stetigförderern aufgebaut ist. Jeder einzelne Förderer verfügt über eine eigene Steuerung. Somit ist die Steuerung des Gesamtsystems dezentral. Es wird sowohl beschrieben, wie die Routenreservierung aufgebaut ist als auch die anschließende synchrone Ansteuerung der Förderantriebe.

[Schlüsselwörter: dezentralisierte Steuerung, verteilte Steuerung, Intralogistik, Materialflusssysteme, Echtzeit]

**I**n this paper we describe a control for a novel material handling system, which consists of small-scaled transport modules and various types of continuous conveyors. Every conveyor of this system has its own dedicated control. The control of the material handling system is therefore decentralized. We depict how the route reservation works and subsequently how the motors of the conveyors can be controlled synchronously.

[Keywords: decentralized control, distributed control, intralogistics, warehousing, material handling, real-time]

## 1 EINLEITUNG

### 1.1 TRENDS IN DER INTRALOGISTIK

Die Ermöglichung einer kundenindividuellen Massenproduktion (mass customization) ist ein wesentliches Ziel der Industrie 4.0 [BMB15][BMB13]. Durch diese Form der Massenproduktion steigt die Anzahl von Produktvarianten drastisch an. Gleichzeitig werden durch einen stetig wachsenden elektronischen Geschäftsverkehr (e-commerce) Innovationszyklen und Produktlebensdauern verkürzt [FIN98]. Diese veränderte Marktsituation stellt neue Anforderungen an die Produktionskette: Sie muss in Zukunft flexibel auf wechselnde Produktionsbedingungen reagieren können [SCH10][BMB13]. Als Teil der Produktionskette gelten diese Anforderungen auch für die Intralogistik. Konventionelle Förderanlagen werden diesen neuen Anforderungen nicht gerecht [SCH10]. Als Folge nimmt mit Zuwachs der Produktvarianten der Grad

der vorhandenen Automatisierung ab [FUR10]. In Abbildung 1 ist dargestellt, dass der Automatisierungsgrad im Warenfluss bei der Verfolgung einer Strategie der Differenzierung (Individualisierung und Flexibilität) um 7% geringer ist als bei der Verfolgung einer Strategie der Kostenführerschaft (Standardisierung und Auslastung). Eine mögliche Folge des sinkenden Automatisierungsgrades ist, dass der Anteil manueller Tätigkeiten ansteigt. Dies wirkt sich negativ auf wichtige Schlüsselfaktoren aus: Der Durchsatz sinkt und die Betriebsicherheit nimmt ab. Als direkte Folge dessen steigen die Betriebskosten an [FUR10].

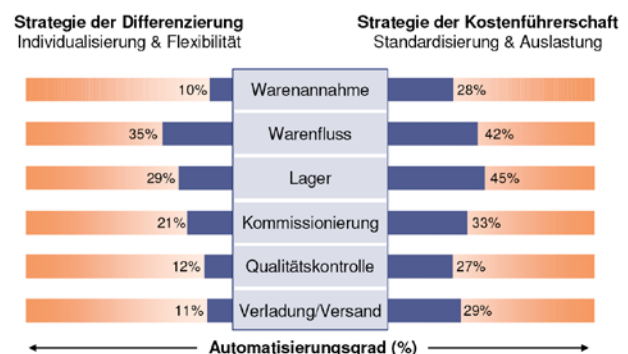


Abbildung 1. Automatisierungsgrad in Abhängigkeit von der strategischen Ausrichtung des Unternehmens [BVL05]

### 1.2 KOGNITIVE FÖRDERTECHNIK

Um gemäß den veränderten Anforderungen an die Intralogistik automatisierte Lösungen zu ermöglichen, werden wandlungsfähige Förderkomponenten entwickelt, die modular aufgebaut sind und über eine verteilte und dezentrale Steuerung verfügen. Innerhalb des Projektes „FlexConveyor“ wurden Fördermodule entwickelt, die beliebig zu neuen Layouts zusammengesetzt werden können [MAY10]. Durch die dezentrale Steuerung der Module können diese eingesetzt werden, ohne zusätzlichen Programmier- oder Konstruktionsaufwand verrichten zu müssen. Am Institut für Transport- und Automatisierungstechnik (ITA) wurden kleinskalige Fördermodule entwickelt (siehe Abbildung 2). Diese können noch flexibler als die Module des „FlexConveyors“ angeordnet werden. Der Hauptunterschied ist, dass die Fördermodule

selbst deutlich kleiner sind, als die Pakete, die sie befördern. Durch die Kombination mehrere Module zu einer Fördermatrix ergibt sich eine Funktionsemergenz: Während ein einzelnes Modul auf Grund der geringen Größe nicht in der Lage ist überhaupt ein einzelnes Paket zu transportieren, werden durch das Hinzufügen von weiteren Modulen weitere logistische Funktionen ermöglicht. Ein entsprechend großer Verbund von Modulen ist somit in der Lage Pakete nicht nur zu transportieren oder zu orientieren, sondern kann Pakete auch zwischenspeichern oder sequenzieren. [SOH14][SOH16]. Weiterhin ergeben sich im Vergleich zum „FlexConveyor“ und zu klassischen Förderanlagen durch die geringe Größe der Module Besonderheiten bei der Reservierung von Routen und der synchronen Ansteuerung der Antriebe.

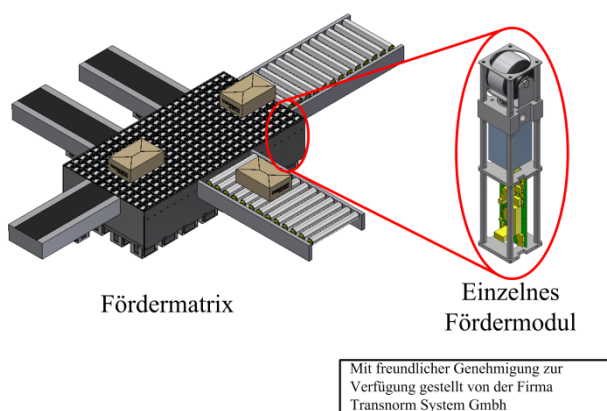


Abbildung 2. Kleinskalige Fördermodule

Im Projekt „Celluveyor“ werden ebenfalls Fördermodule entwickelt, die kleiner sind als die Pakete. Die Umsetzung der intralogistischen Funktion des Transportierens wurde bereits an einem ersten Demonstrator verifiziert. Dieser Demonstrator wurde im Gegensatz zu den kleinskaligen Fördermodulen des ITA zentral gesteuert. Aus der vorliegenden Quelle [URI15] ist nicht zu entnehmen, ob der „Celluveyor“ in der Lage ist selbstständig Routen zu planen oder ob die Routen durch eine zentrale Steuerung vorgegeben werden müssen.

### 1.3 ANFORDERUNGEN AN DIE DEZENTRALE MATERIALFLUSSSTEUERUNG

Die Aufgabe der hier beschriebenen Steuerung besteht darin, dass die Pakete sicher und effizient von einem Punkt innerhalb des Materialflusssystems zu einem anderen Punkt transportiert werden. Um eine Route für ein Paket berechnen zu können, muss das Ziel für das Paket bekannt sein. Daher wird bei der Einschleusung eines physischen Paketes gleichzeitig ein Datenpaket übergeben werden, welches das physische Paket beschreibt [HEI14]. Das physische Paket und das Datenpaket werden simultan entlang der von der Steuerung berechneten Route befördert.

Die Steuerung muss sicherstellen, dass es beim Transport zu keinen Kollisionen kommt und dass keine Verklebungssituationen entstehen. Eine Verklebungssituation entsteht, wenn zwei oder mehr Pakete zyklisch aufeinander warten und somit keines der Pakete transportiert wird [MAY09].

### 1.4 ARCHITEKTUR UND PHASEN DER DEZENTRALEN MATERIALFLUSSSTEUERUNG

Die in dieser Veröffentlichung beschriebene Steuerung ist in der Lage sowohl Fördermodule als auch Stetigförderer anzusteuern. Die Steuerungs- und Kommunikationsmodule sind, unabhängig vom zu steuernden Förderer, immer identisch aufgebaut und somit generisch. Jeder Stetigförderer erhält eine Steuerungs- und eine Kommunikationsplatine. Im Gegensatz hierzu erhält nicht jedes einzelne Fördermodul eine eigene Steuerungs- und Kommunikationsplatine, sondern die einzelnen Fördermodule werden aus Kostengründen zu Clustern zusammengefasst. Somit ergibt sich die in Abbildung 3 dargestellte Architektur:

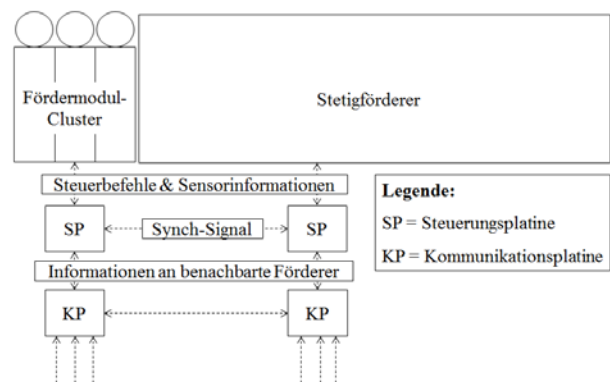


Abbildung 3. Architektur der Steuerung

Die verwendeten Kommunikationsplatinen sind in der Lage mit bis zu vier direkt benachbarten Förderern eine Kommunikationsverbindung herzustellen.

Der Steuerungsablauf wird in vier Phasen aufgeteilt, die nacheinander durchlaufen werden (siehe Abbildung 4). Vor dem Einschalten der Steuerung, muss die Konfigurationsphase abgeschlossen werden. In dieser Phase wird manuell eine Konfigurationsdatei (auch MachinePML genannt) erstellt, in der die Eigenschaften des zu steuernden Förderers beschrieben werden. Zu diesen Eigenschaften gehören unter anderem:

- Typ des Förderers (z.B.: Stetigförderer, Ausschleuser, Fördermodul, etc.)
- Breite und Länge des Förderers
- Maximale Geschwindigkeit und Beschleunigung des Förderers

- Mit dem Förderer verbundene Bearbeitungsmaschinen (z.B.: CNC-Drehmaschine)
- Die Information, ob durch diesen Förderer neue Pakete in das Fördersystem ein- oder ausgeschleust werden können.

Sobald für einen Förderer diese Konfigurationsdatei erstellt worden ist, kann sie für alle Förderer mit den gleichen Eigenschaften verwendet werden. Die Konfigurationsdatei wird von der Steuerung benötigt, um die korrekte Ansteuerung des angeschlossenen Förderers zu gewährleisten: So ist z.B. die Einschaltdauer der Antriebe abhängig von der jeweiligen Länge der Förderer.

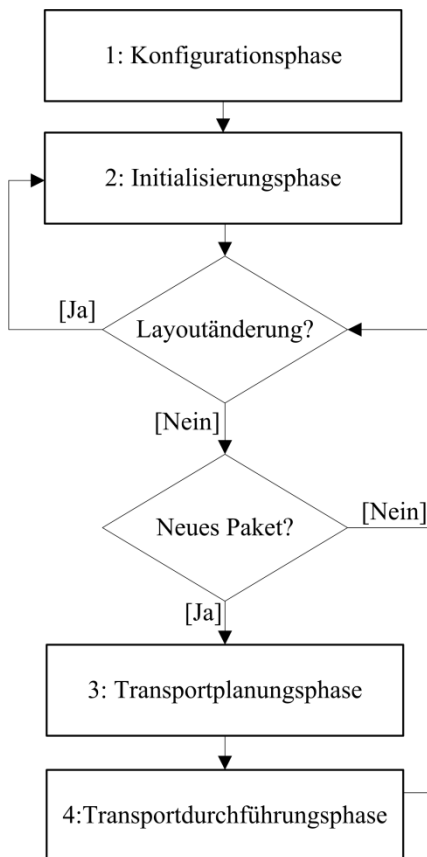


Abbildung 4. Phasen der Steuerung

## 2 RESERVIERUNG VON ROUTEN

### 2.1 INITIALISIERUNGSPHASE UND BERECHNUNG DER ROUTINGTABELLEN

Im Folgenden wird die Initialisierungsphase und die Transportplanungsphase für das in Abbildung 5 dargestellte Layout beschrieben. Bei diesem Layout sind 4 Fördermatrizen, die jeweils aus 9 Fördermodulen bestehen, über Stetigförderer miteinander verbunden. Weiterhin sind jeweils 4 Paketquellen und Paketziele vorhanden. An diesen können Pakete in das Materialflusssystem eingeschleust werden oder das Materialflusssystem verlassen.

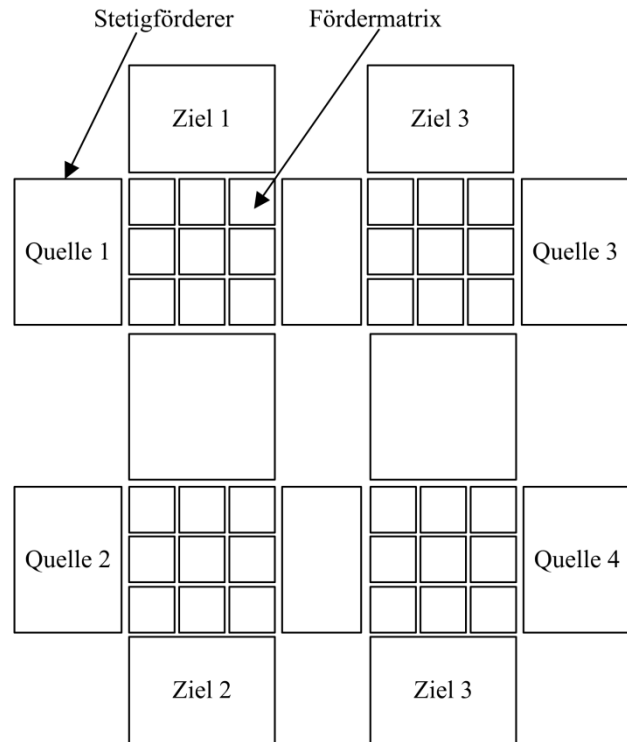


Abbildung 5. Beispiellayout: Kombination von Stetigförderern und Fördermatrizen

Beim Einschalten der Steuerung wird in der Initialisierungsphase zuerst die Konfigurationsdatei verarbeitet. Anschließend wird über die Kommunikationsplatine die eigene Konfigurationsdatei, an die vier benachbarten Förderer gesendet. Die Steuerung wartet nun ab, bis sie die Konfigurationsdateien ihrer Nachbarn erhalten hat. Anhand dieser Information erfährt die Steuerung, an welche Seiten weitere Förderer angeschlossen sind und wie diese konfiguriert sind.

Nach der Übertragung dieser Dateien, werden Routingtabellen erstellt. Die Routingtabellen dienen dazu, eine Karte von dem aktuellen Layout zu generieren. Für jedes einzelne Paketziel wird ein eigener Eintrag in der Routingtabelle erstellt. Die initiale Erstellung eines Eintrages in die Tabelle erfolgt durch das entsprechende Paketziel. Ein Eintrag in der Tabelle besteht aus den folgenden 3 Informationen:

- Für welches Paketziel der Eintrag gilt
- Entfernung zu dem Paketziel
- Günstigste Richtung zu dem Paketziel

Ein Beispiel: Das Paketziel A erstellt einen Eintrag in der Routingtabelle für sich selbst: Die Richtung wird mit „Hier“ angegeben und die Entfernung mit 0. Des Weiteren benachrichtigt es die benachbarten Förderer, dass es einen neuen Eintrag in der Routingtabelle gibt. Die benachbarten Förderer erstellen ebenfalls einen neuen Eintrag in ihrer Routingtabelle und geben als Richtung das

Paketziel an. Als Entfernung wird ihre eigene Länge eingetragen. Erhält ein Förderer von zwei verschiedenen, benachbarten Förderern einen Routing-Wert, wird nur die Richtung des Förderers mit dem niedrigeren Wert als günstigste Richtung gespeichert. Die vollständige Erstellung der Routingtabelle für das Paketziel 1 ist in der Abbildung 6 dargestellt. Nach dem Abschluss der Initialisierungsphase hat jeder Förderer für jedes Paketziel einen eigenen Eintrag angelegt.

Die Verwendung von Routingtabellen, um Routen in einem dezentralen Fördersystem zu erstellen, wurde von MAYER in [MAY09] beschrieben und anschließend von KRÜHN in [KRÜ15] angepasst, um auch für kleinskaligen Fördermodule verwendet werden zu können.

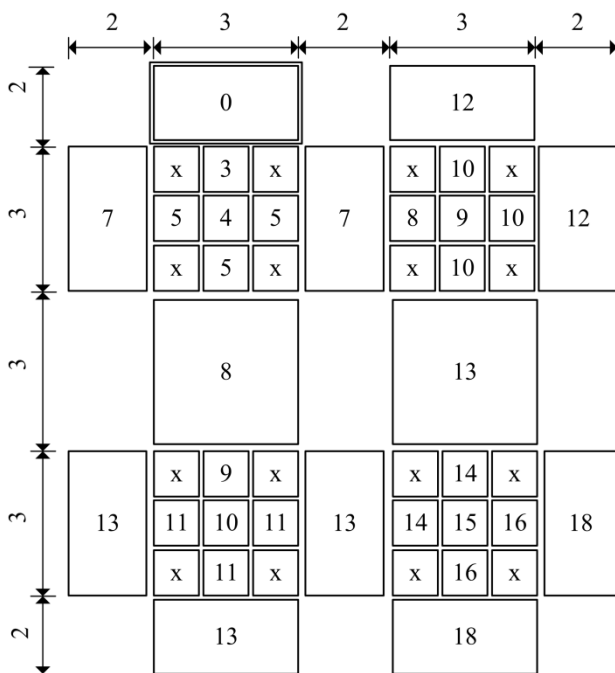


Abbildung 6. Konvergierte Routingtabelle für das Ziel 1

## 2.2 TRANSPORTPLANUNGSPHASE

Die Berechnung der Routen erfolgt paketspezifisch und beginnt, sobald an einer Paketquelle ein Paket detektiert wird. Zusammen mit dem Paket wird an das Materialflusssystem ein Datenpaket übergeben. In diesem Datenpaket sind Informationen abgespeichert, die das Paket beschreiben. Es werden drei Informationen benötigt: Abmessungen des Paketes, eine eindeutige Identifizierungsnummer und ein Paketziel. Auf der Paketquelle kann nun mit der Planung einer Route begonnen werden: Es wird ein Routensegment erstellt, welches in Richtung des benachbarten Förderers mit der niedrigsten Entfernung zum Paketziel zeigt. Dieser Vorgang wird solange wiederholt, bis die Route das Paketziel erreicht. In jedem Routensegment wird hierbei die Identifizierungsnummer des Datenpaketes hinterlegt, um eine Zuordnung der geplanten Routen zu den jeweiligen Paketen zu ermögli-

chen. In Abbildung 7 sind reservierte Routen für das Beispielsystem dargestellt.

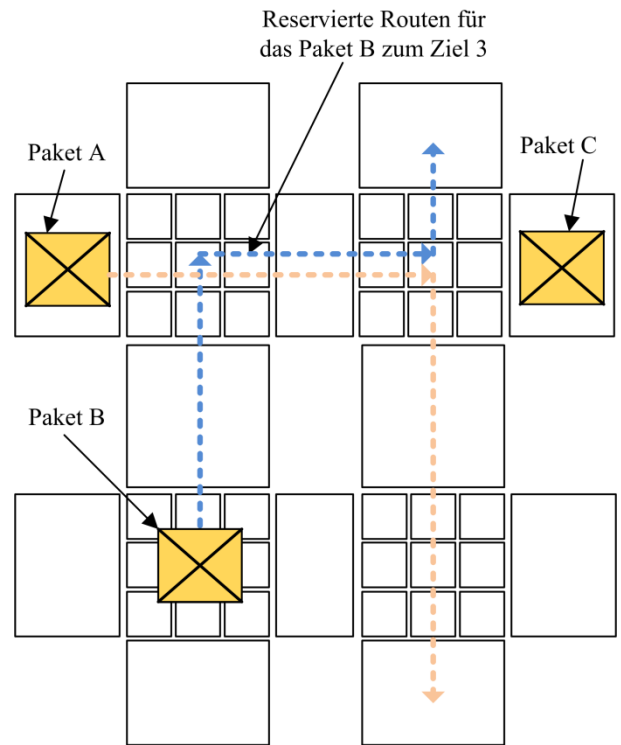


Abbildung 7. Reservierte Routen im Beispielsystem

Die Routenplanung erfolgt zweistufig: Im ersten Schritt wird die Route von der Paketquelle zum Paketziel lediglich geplant. Im zweiten Schritt wird die nun geplante Route ausgehend vom Paketziel zu der Paketquelle reserviert. Dieser zweistufige Prozess ist notwendig, um die Detektion von Kollisionen und Verklemmungssituationen zu ermöglichen. Routen, die sich im Zustand „in Planung“ befinden, dürfen sich gegenseitig noch widersprechen. Sobald jedoch ein Routensegment in den Zustand „reserviert“ wechselt, muss sichergestellt sein, dass der nachfolgende Transport ohne Kollisionen oder Verklemmungen durchgeführt werden kann. Kollisionen können sowohl auf geraden Transportstrecken auftauchen, als auch in Kreuzungsbereichen. Die Möglichkeit für Verklemmung besteht nur in Kreuzungsbereichen.

Um Kollisionen auf geraden Transportstrecken zu verhindern, dürfen niemals zwei reservierte und einander entgegen gerichtete Routensegmente auf einem Förderer vorhanden sein. Reservierte Routensegmente eines Förderers dürfen jedoch in die gleiche Richtung zeigen. In diesem Fall muss an den Kreuzungsbereichen der Routen darauf geachtet werden, dass es zu keinen Kollisionen kommt.

Um Kollisionen und Verklemmungen an Kreuzungsbereichen zu verhindern, müssen Regeln definiert werden: KRÜHN beschreibt in [KRÜ15] einen Ansatz, bei dem die Verhinderung von Kollisionen und Verklemmungen

von dem Förderer sichergestellt wird, der für die Vereinigung der Routen zuständig ist. Die Erkennung und Verhinderung von Kollisionen und Verklebungen geschieht während der Transportdurchführungsphase. Entgegengesetzt zur der Routenrichtung wird angefragt, wie weit die Pakete aktuell von der Kreuzungsstelle entfernt sind. Das Paket, welches die niedrigere Entfernung zu dem Kreuzungsbereich besitzt, darf diesen als erstes befahren. Die anderen Pakete erhalten zunächst das Signal zum Stoppen, bis der Kreuzungsbereich wieder frei ist. Verklebungssituationen werden erkannt, indem vor Befahren des Kreuzungsbereiches entlang der Routenrichtung ein Token gesendet wird, mit dem festgestellt wird, ob es zu einer Verklebung kommen kann.

Ein alternativer Ansatz zur Vermeidung von Kollisionen und Verklebungen wurde von SEIBOLD in [SEI14] beschrieben: Bei diesem Ansatz wird pro Routenabschnitt zusätzlich ein Zeitfenster ermittelt, zu dem sich das Paket auf diesem Routenabschnitt befinden muss. Durch das zusätzliche Beachten der Zeitachse bei der Routenreservierung ist sichergestellt, dass es zu keinen Kollisionen und Verklebungen kommen kann. Da bei dem Ansatz von SEIBOLD die Erkennung von Kollisionen und Verklebungssituationen schon in der Routenreservierungsphase geschieht, wird es im Gegensatz zu dem Ansatz von KRÜHN möglich die Transportzeit für einen Transportvorgang vor dem Beginn der Transportdurchführungsphase zu bestimmen.

### 3 ECHTZEITFÄHIGE ANSTEUERUNG DER FÖRDERER

#### 3.1 ANFORDERUNGEN UND VORÜBERLEGUNGEN

Nachdem kollisions- und verklebungsfreie Routen durch das Fördersystem geplant worden sind, beginnt die Transportdurchführungsphase. In dieser müssen die Antriebe von allen Förderern, die zur gleichen Zeit auf ein Paket einwirken, synchron angesteuert werden. In [KRÜ15] wurden bereits die notwendigen Schritte zur Ansteuerung eines einzelnen Clusters aus Fördermodulen dargestellt. Inhalt dieser Veröffentlichung ist es, die Ansteuerung beim Übergang zwischen Stetigförderern und Clustern zu beschreiben.

Damit eine synchrone Ansteuerung der einzelnen Cluster erfolgen kann, werden alle Steuerungen mit einer eigenen, dedizierten Datenleitung verbunden, die zur Synchronisierung genutzt wird. Somit besitzen alle Steuerungen die gleiche Zeitbasis.

Als Anforderung wird festgelegt, dass die Fördermatrix in der Lage sein muss, Pakete mit beliebigen Abmaßen von angrenzenden Stetigförderern entgegennehmen zu können. Weiterhin müssen Stetigförderer mit unterschiedlichen Eigenschaften wie z.B. maximaler Fördergeschwindigkeit mit der Fördermatrix kombinierbar sein. Um die Plug&Play-Fähigkeit des Systems zu erhal-

ten, soll zwischen der Fördermatrix und einem Stetigförderer immer nur ein Verbindungskabel angesteckt werden. In der Abbildung 8 ist die Verbindung zwischen einem Stetigförderer und einer Fördermatrix, die aus zwei Clustern besteht, dargestellt. Ein Paket bewegt sich dabei von dem Stetigförderer auf die Fördermatrix zu.

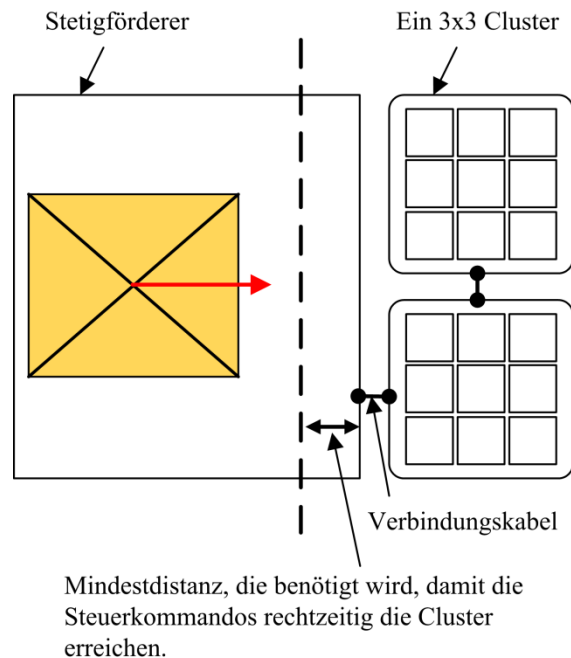


Abbildung 8. Darstellung der Mindestdistanz, zu dem Steuerkommandos an die Fördermatrix gesendet werden müssen

In der Abbildung ist die Mindestdistanz dargestellt, die benötigt wird, damit die Steuerkommandos rechtzeitig die Cluster erreichen. Diese Mindestdistanz ist von der Steuerung des Stetigförderers berechenbar und hängt von den folgenden Faktoren ab:

- Abmaße des Paketes
- Geschwindigkeit des Paketes
- Datenübertragungsrate von einer Kommunikationsplatine zur nächsten (auch Hop genannt)
- Trägheit der kleinskaligen Fördermodule (Ausrichtung der Schwenkantriebe und Hochfahren der Förderantriebe)

Die Abmaße des Paketes bestimmen hierbei die Anzahl der Hops innerhalb der Fördermatrix (also wie oft die Datenübertragung über ein Verbindungskabel erfolgen muss). In Abbildung 9 ist ein größeres Paket dargestellt, bei dem die größte Hop-Anzahl 3 beträgt (im Gegensatz zu der in Abbildung 8 benötigten größten Hop-Anzahl von 2). Da jeder Cluster direkt mit seinen benachbarten Clustern verbunden ist, bleibt die Anzahl der Hops beim Transport von Paketen innerhalb der Matrix unabhängig von der Paketgröße.

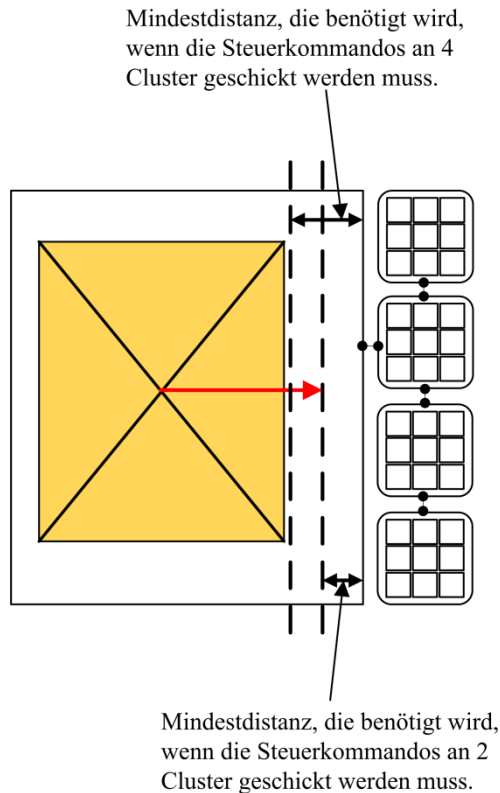


Abbildung 9. Die Mindestdistanz vergrößert sich für größere Pakete

Bei dem im netkoPs-Projekt realisierten Prototyp wurde aus Kostengründen eine Kommunikationsplatine entwickelt, die nicht hart-echtzeitfähig ist. Dies bedeutet, dass die Datenübertragungsrate pro Hop nicht konstant ist. Somit kann die Mindestdistanz, die für die rechtzeitige Verarbeitung der Steuerkommandos benötigt wird, nicht exakt bestimmt werden. Um den erfolgreichen Transport von Paketen garantieren zu können, wurde daher festgelegt, dass die Steuerkommandos zu unkritischen Zeitpunkten berechnet und verschickt werden sollen. Ein unkritischer Zeitpunkt ist vorhanden, wenn sich das Paket in Ruhe befindet. Daher werden die Steuerkommandos immer von einem zum nächsten Ruhepunkt berechnet und verteilt.

### 3.2 BERECHNUNG VON PAKETBEZOGENEN BEWEGUNGSPROFILIEN

Bevor die individuellen Steuerkommandos für die am Transport beteiligten Förderer ermittelt werden können, muss zunächst das Bewegungsprofil für den Schwerpunkt des Paketes berechnet werden. In der Abbildung 10 ist ein Paket dargestellt, welches momentan auf einer Fördermatrix ruht und über einen Stetigförderer zu dem nächsten Ruhepunkt auf einer weiteren Fördermatrix transportiert werden muss.

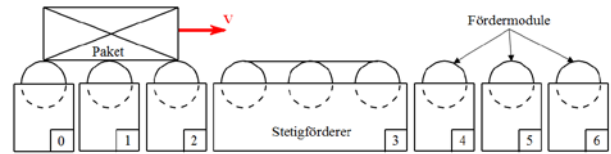


Abbildung 10. Transport eines Paketes von einer Fördermatrix über einen Stetigförderer zu einer weiteren Fördermatrix, angelehnt an [PAP16]

In der Tabelle 1 sind die Kennwerte der am Transportprozess beteiligten Förderer erfasst. Diese Kennwerte werden durch das Abfragen der jeweiligen Konfigurationsdatei (MachinePML) ermittelt. Die am Transport beteiligten Förderer unterscheiden sich z.B. in ihrer maximal erreichbaren Geschwindigkeit.

Tabelle 1. Kennwerte der Förderer, angelehnt an [PAP16]

ID	0	1	2	3	4	5	6
$v_{max} \left[ \frac{m}{s} \right]$	2	2	2	4	2	2	2
$a_{max} \left[ \frac{m}{s^2} \right]$	15	15	15	10	15	15	15
$l [m]$	80	80	80	240	80	80	80

Wenn ein Paket von mehreren Förderern mit unterschiedlichen Höchstgeschwindigkeiten bewegt wird, muss sichergestellt werden, dass eine Geschwindigkeit gewählt wird, die nicht die niedrigste Höchstgeschwindigkeit der am Transport beteiligten Förderer übersteigt. Aus diesem Grund wird eine zweite Tabelle erstellt, in der die zulässige Höchstgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der zurückgelegten Strecke erfasst ist (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2. Höchstgeschwindigkeit und Höchstbeschleunigung in Abhängigkeit von der zurückgelegten Strecke, angelehnt an [PAP16]

$l [m]$	40	160	120	160	40	40	160
$v_{max} \left[ \frac{m}{s} \right]$	2	2	4	2	2	2	2
$a_{max} \left[ \frac{m}{s^2} \right]$	15	10	10	10	15	15	10

In der Abbildung 11 ist die Geschwindigkeit aus der Tabelle 2 in Abhängigkeit von der zurückgelegten Strecke dargestellt.

### 3.3 BERECHNUNG VON FÖRDERBEZOGENEN BEWEGUNGSPROFILIEN

Nachdem das Bewegungsprofil für das Paket erstellt wurde, können die einzelnen Bewegungsprofile für die am Transport beteiligten Förderer berechnet werden. In der Abbildung 11 ist das Bewegungsprofil für das Modul 2 und für den Stetigförderer mit der ID 3 dargestellt. Nachdem das Paket vollständig auf dem Stetigförderer aufliegt, fängt dieser an zu beschleunigen, da seine Maximalgeschwindigkeit über der Maximalgeschwindigkeit der Fördermodule liegt.

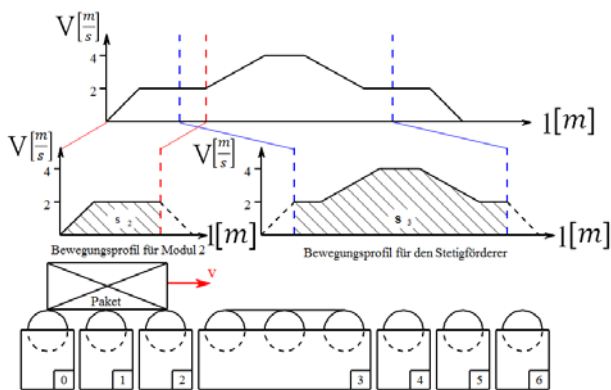


Abbildung 11. Bewegungsprofile für das Modul 2 und für den Stetigförderer, angelehnt an [PAP16]

Die berechneten Bewegungsprofile werden anschließend an die jeweiligen Förderer verteilt und der Transportvorgang wird gestartet. Dieser Vorgang wird solange wiederholt, bis das Paket das gewünschte Paketziel erreicht hat.

### 4 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

In dieser Veröffentlichung wurde einführend ein kurzer Überblick über den Stand der Technik von Materialflusssystemen gegeben, die mit dezentralen, verteilten Steuerungen angesteuert werden können. Im Anschluss wurden die Anforderungen und die Architektur für solch eine Steuerung beschrieben, falls das Materialflusssystem sowohl aus Stetigförderern als auch aus kleinskaligen Fördermodulen aufgebaut ist. Die Berechnung von Routingtabellen und die anschließende Reservierung von Routen wurden für solch ein System dargestellt.

Weiterhin wurde erläutert, wie die Antriebe der am Transport beteiligten Förderer synchron angesteuert werden müssen. Hierbei wurden die Besonderheiten der Lösung beim Übergang vom Stetigförderer zu kleinskaligen Fördermodulen gezeigt. Für die synchrone Ansteuerung der Förderer wird eine echtzeitfähige Kommunikation nicht zwingend benötigt.

Die nächsten Schritte bestehen darin, die hier beschriebenen Steuerungsalgorithmen auf Hardware-

Demonstratoren zu verifizieren. Bei dieser Verifikation muss überprüft werden, ob eine Steuerung ohne angegliederte Regelung in der Lage ist einen zuverlässigen Transport zu gewährleisten.

### 5 FÖRDERHINWEIS

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.

### LITERATUR

- [BMB13] Bundesministerium für Bildung und Forschung Referat (Hrsg.): Zukunftsbild „Industrie 4.0“, Broschüre, BMBF, 2013
- [BMB15] Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) Referat Forschung für Produktion, Dienstleistung und Arbeit (Hrsg.): Industrie 4.0, Broschüre, BMBF, 2. Auflage, 2015
- [BVL05] BVL Bundesvereinigung Logistik, Trends und Strategien in der Logistik – Ein Blick auf die Agenda des Managements 2010, Deutscher Verkehrs-Verlag GmbH, ISBN 3-87154-331-4, Bremen 2005
- [FIN98] Fine, C. H.: Clockspeed: winning industry control in the age of temporary advantage. New York, NY: Basic Books, 1998, ISBN 0-7382-0153-7
- [FUR10] Furmans, K.; Schönung, F.; Gue, Kevin R.: Plug-and-work material handling systems, Progress in Material Handling Research, S.: 132–142, 2010
- [HEI14] 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.
- [KRÜ15] Krühn T.: Dezentrale, verteilte Steuerung flächiger Fördersysteme für den innerbetrieblichen Materialfluss, Berichte aus dem ITA. Garbsen: PZH – Produktionstechnisches Zentrum GmbH, 2015

- [KRÜ15] Krühn T.: Dezentrale, verteilte Steuerung flächiger Fördersysteme für den innerbetrieblichen Materialfluss, Berichte aus dem ITA. Garbsen: PZH – Produktionstechnisches Zentrum GmbH, 2015
- [MAY09] Mayer S. H.; Furmans K.: Development of a completely decentralized control system for modular continuous conveyors, Wissenschaftliche Berichte des Institutes für Fördertechnik und Logistiksysteme der Universität Karlsruhe (TH), Universitätsverlag Karlsruhe, 2009
- [MAY10] Mayer, S.; Furmans, K.: Deadlock prevention in a completely decentralized controlled materials flow systems. In: Logistics Research 2 (2010), S. 147–158
- [PAP16] Pape, D.: Berechnung und Adressierung von Steuerbefehlen für Fördersysteme mit dezentralen, räumlich verteilten Steuerungen, Hannover, ITA (Studienarbeit; Betreut durch Simon Sohrt; abgegeben am 01.06.2016)
- [SCH10] Schmidt, T.; Schulze, F.: Future Approaches to Meet Complexity Requirements in Material Handling Systems, FME Transactions Volume 37, S.: 159-166, 1451-2092, 2009
- [SEI14] Seibold, Z.; Furmans, K: GridSorter – Logische Zeit in dezentral gesteuerten Materialflusssystemen, 2014 Logistics Journal: Proceedings, ISSN 2192-9084, DOI: 10.2195/lj\_Proc\_seibold\_de\_201411\_01
- [SOH14] Sohrt, S.; Seibold, Z.; Krühn, T.; Prössdorf, L ; Overmeyer, L ; Furmans, K. (2014): 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.
- [SOH16] Sohrt, S.; Heinke, A.; Shchekutin, N.; Eilert, B.; Overmeyer, L.; Krühn, T. (2016): Kleinskalige, cyber-physische Fördertechnik, Handbuch Industrie 4.0, pp 1-25, Springer Berlin Heidelberg, DOI: 10.1007/978-3-662-45537-1\_4-1
- [URI15] Uriarte, C.; Thamer, H.; Freitag, M.: Fördertechnik aus der Zelle, Hebezeuge Fördermittel 10/2015, Berlin, S.: 492-494
- 
- M. Sc. Simon Sohrt**, Research Assistant at the Institute of Transport and Automation Technology of Leibniz University Hannover.  
Simon Sohrt was born 1987 in Neustadt am Rübenberge, Germany. Between 2011 and 2013, he studied mechanical engineering at Leibniz University Hannover.  
Address: Leibniz University Hannover, Institute of Transport and Automation Technology, An der Universität 2, 30823 Garbsen, Germany  
Phone: +49 511 762-18177, Fax: +49 511 762-4007,  
E-Mail: simon.sohrt@ita.uni-hannover.de
- M. Sc. Nikita Shchekutin**, Research Assistant at the Institute of Transport and Automation Technology, Leibniz Universität Hannover.  
Nikita Shchekutin was born 1989 in Togliatty, Russia. Between 2006 and 2012 he studied Information technologies at the Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University.
- Prof. Dr.-Ing. Ludger Overmeyer**, Head of the Institute of Transport and Automation Technology of Leibniz University Hannover.  
Ludger Overmeyer was born 1964 in Recke, Germany. Between 1984 and 1991, he studied electrical engineering at the University of Hannover. In 1996 he finished his doctorate in mechanical engineering at the University of Hannover. From 1997 to 2001 he worked as project manager, division manager and head of research and development at Mühlbauer AG in Roding. Since 2001 Ludger Overmeyer is Professor at the Institute of Transport and Automation Technology of Leibniz University Hannover.  
Address: Leibniz University Hannover, Institute of Transport and Automation Technology, An der Universität 2, 30823 Garbsen, Germany  
Phone: +49 511 762-3524, Fax: +49 511 762-4007,  
E-Mail: ludger.overmeyer@ita.uni-hannover.de