

Simulation der peristaltischen Förderung von Stückgütern als Schüttgut

Simulation of the Peristaltic Conveying of Parcels as Bulk

Liu Cao*
Klaus Richter*
Christian Richter**
André Katterfeld**

* Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF
Sandtorstr. 22, 39106 Magdeburg

** Lehrstuhl für Materialflusstechnik
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Universitätsplatz 2, 39108 Magdeburg

Im Beitrag wird ein neuartiges Förderprinzip zur federnden Aufnahme und zum Transport von massenhaft anfallenden Paketstrukturen vorgestellt. Das Förderprinzip beruht auf einem flächigen Tragmittel in Form eines veränderbaren, elastischen Verbundes von kleinskaligen Fördermodulen. Das konzipierte Transportprinzip mit peristaltischen Eigenschaften soll entstehende Staus der Pakete schnell auflösen und eine dedizierte Steuerung von Teilmengen zulassen, um den erforderlichen Durchsatz innerhalb eines Materialflusssystems zu erreichen. Diese Lösung ermöglicht eine sinnvolle Verknüpfung von Wirkprinzipien der Schüttgut- und Stückgutförderung zur Aufnahme und Fortbewegung von Pakete als Schüttgut. Die Grundfunktionalität des Förderkonzepts wird durch die numerische Simulation auf Basis der Diskrete Elemente Methode sowie der Mehrkörpersimulation überprüft.

[Schlüsselwörter: Paket, Stückgut als Schüttgut, Peristaltik-Förderer, Stetigförderer, Paket Entladung, Diskrete Elemente Methode, DEM]

In this paper a novel conveying principle for the resilient loading and transport of large amounts of parcels is presented. The conveying principle is based on an innovative planar support structure which consists out of an adaptive and elastic net of small-scaled conveying modules. The developed conveying principle with peristaltic properties is designed to clear jammed and dammed parcels and for an active control of the transport of subsets of parcels to realize a certain throughput in the material handling system. This idea allows a link between the continuous conveying principles for general goods and bulk materials to handle parcels as a bulk material. The basic function of the presented idea is proofed by the use of numerical methods such as the Discrete Element Method (DEM) and the Multi Body Simulations (MBS).

[Keywords: parcels, bulk, peristaltic conveyor, parcel unloading, Discrete Element Method, DEM]

1 EINLEITUNG

Schüttgüter sind Güter, die

- im Regelfall massenhaft anfallen,
- schütt- und sturzfähig sind,
- in zusammenhängender und gedrängter Menge auf ein Tragmittel niederfallen,
- auf einem Tragmittel in ihrer Lage gegeneinander und gegenüber dem aufnehmenden Tragmittel nicht fixiert sind,
- ungeordnet auf einem Tragmittel ruhen oder sich relativ zu ihm bewegen (gleiten, rollen).

Der Beitrag widmet sich der Beschreibung eines neuen Förderprinzips, massenhaft anfallende Paketstrukturen für eine automatisierte Handhabung als Schüttgut zu behandeln, um den erforderlichen Durchsatz im Umschlag innerhalb eines materialflusstechnischen Systems zu erreichen. Dabei muss auf eine schonende Behandlung des Gutes großer Wert gelegt werden, da die Paketstrukturen nur begrenzt schütt- und sturzfähig sind. Teilmengen im Schüttgutstrom sollen dediziert bewegt werden können. Bisherige Ansätze für den automatisierten Umschlag in der Paketlogistik basieren auf dem Greifen und Transportieren einzelner Güter.

Das Entwicklungsziel betrifft die Entwicklung eines neuartigen Förderprinzips mit einem flächigen Tragmittel als ein in der Form veränderbarer, elastischer Verbund von kleinskaligen Fördermodulen. Das flächige Tragmittel ist geeignet, Paketstrukturen federnd aufzunehmen und zu transportieren. Die Integration eines peristaltischen Wirkprinzips mittels Formänderungen am flächigen Tragmittel soll entstehende Staus schnell auflösen. Durch integrierte kleinskalige Fördermodule sollen ein-

zelne Pakete und Paketverbände gezielt bewegt werden können. Dieses Lösungsprinzip ermöglicht eine sinnvolle Verknüpfung von Wirkprinzipien der Schüttgut- und Stückgutförderung zur Fortbewegung von Paketstrukturen als Schüttgut.

Stets wachsende Anforderungen in der Paketlogistik durch ein erhöhtes Gutaufkommen mit unterschiedlichsten Abmessungen stellen hohe Anforderungen an die Hersteller materialflusstechnischer Systeme hinsichtlich der schnellen Entladung und Förderung von Paketen, verbunden mit einer kostengünstigen Entwicklung und Anwendung. Die traditionellen Stetigförderer für Stückgut können immer schwerer die wachsenden Anforderungen abdecken.

Ausgehend von dieser Problematik hat das Fraunhofer Institut Magdeburg IFF eine spezielle Variante der Peristaltik-Förderung als Lösungsansatz entwickelt. Durch die Integration des peristaltischen Wirkprinzips sollen

- elastische Tragmitteligirlanden den Stoß einfallender Pakete dämpfen,
- Formänderungen am Tragmittel den Stau von Paketen schnell auflösen,
- integrierte Antriebsselemente einzelne Pakete dediziert bewegen,
- komplexe Ansteuerungen eine hohe Dynamik im Paketstrom erzeugen.

2 ANFORDERUNGEN AN INNOVATIVE MATERIALFLUSSSYSTEME

2.1 GRUNDFUNKTIONEN DER FÖRDERTECHNIK UND DIE TECHNISCHE ANFORDERUNGEN

Die Grundfunktionen der Fördertechnik sind Fördern in verschiedene Richtungen, Rotieren, Vereinzeln, Verteilen, Sortieren, Zusammenführen, Puffern (Abb. 1).

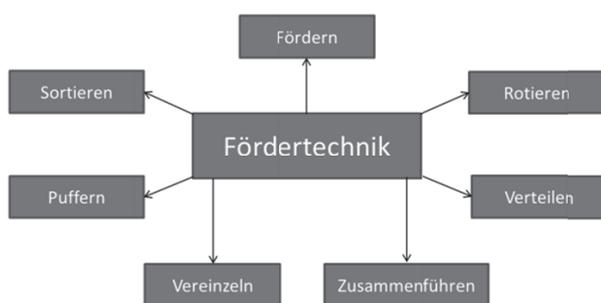


Abbildung 1. Grundfunktionen der Fördertechnik

Durch die Kombination von Grundfunktionen können verschiedene Materialflussprozesse umgesetzt werden. Moderne materialflusstechnische Komponenten werden durch den Einsatz kleinskaliger Förderelemente multifunktional und damit flexibel in der Nutzung:

- Multifunktionalität verlangt intelligent ansteuerbare Fördereinheiten, die mehrere Grundfunktionen gleichzeitig oder alternativ ausführen.
- Flexibilität bedeutet, dass sich intelligent ansteuerbare Fördereinheiten an aktuelle Anforderungen leicht anpassen lassen.
- Wirtschaftlichkeit fordert, dass sich die angewendete Technologie in kurzen Produktlebenszyklen zu günstigen Betriebskosten amortisiert.

2.2 ANWENDUNGSBEZOGENE ANFORDERUNGEN DER PAKETLOGISTIK

In der Paketlogistik ist ein steigendes Transport- und Umschlagvolumen durch eine Zunahme des globalen Handels und der globalen Arbeitsteilung sowie durch ein immenses Wachstum im E-Commerce (Versandhandel, privater Handel, zukünftig Lebensmittel) zu verzeichnen. Statt der heute üblichen 20.000 Pakete pro Stunde sollen die künftigen Paketzentren der DHL Mengen bis 50.000 Pakete/h bewältigen. So investiert die DHL 750 Mio. Euro in den nächsten Jahren in den Wachstumsmarkt Paket. [1]

Es wird zwischen zwei Anwendungsgebieten unterschieden:

1. KEP (Kurier-, Express-, Paketdienste): B2C und C2C, variable Packstücke (Folienbeutel, Großbrief, Päckchen, 40 kg-Paket), unregelmäßige („chaotische“) Packstruktur.
2. Distributionslogistik: B2B, weitgehend gleichartige Packstücke je Container, gleichmäßige Packstruktur, Packstücke häufig in Endkundenverpackung, schonende Handhabung erforderlich.

Das neu zu entwickelnde Lösungsprinzip für ein Fördermittel in der Paketlogistik soll insbesondere im Umfeld der Behandlung von Paketstrukturen beim Entladen von Behältern zum Einsatz kommen.

Die Entladung erfolgt derzeit manuell mit einem begrenzten Durchsatz (max. ca. 1.000 Pakete/h) und einer erheblichen körperlichen Beanspruchung der Mitarbeiter. Bei der Verwendung von Handhabungsgeräten besteht das Problem, dass die Parameter für einen sicheren Zugriff mittels Greifer bei inhomogenen Packstrukturen nicht durchgängig automatisch erkannt werden können. Auf Grund des unterschiedlichen Zustandes der inhomogenen Paketstrukturen (Abmessungen, Gewicht, Kontur, Oberfläche, Stabilität, Feuchte, Verformung, Verkeilung, Qualität der Verpackung) spielt hier die Erfahrung des Beschäftigten eine große Rolle.

Derzeit werden folgende Anforderungen an die Konstrukteure spezifiziert:

- Gewicht einzelner Pakete und Beutel bis 40 kg,
- Abmessungen der Pakete und Beutel von

- 100x100x10 bis 1200x800x600 mm,
- hohe Durchsatzleistung von 3000 Paketen/h,
- hohe Arbeitssicherheit.

3 SCHONENDE GUTAUFNAHME

Die FuE-Arbeiten in der Stückgutlogistik konzentrieren sich auf den Einsatz von Automaten und Robotern zur Be- und Entladung von Stückgütern aus Containern oder Behältern. Die verschiedenen Entwicklungsrichtungen für die Entladung von Containern sowie die dazu notwendige Greiftechnik werden im Folgenden kurz beschrieben:

a) Handhabungshilfen und unterstützende Automatisierungen

Mit dem Siemens VarioMove [2] befindet sich ein neues Produktkonzept für die mechanisierte bzw. teilautomatisierte Paketentladung auf dem Markt. Die Bedienkraft schiebt oder zieht die Pakete aus dem Paketstapel im Container auf Förderbänder.

b) Greiftechnik

Die in der Logistik verwendete Greiftechnik hängt stark von dem jeweiligen Anwendungsszenario ab. Neben den Greifprinzipien Form- und Kraftschluss sowie dem Halten mit Feder oder Haftmittel werden spezialisierte und universelle Greifer unterschieden. Für KEP-Güter haben sich das Halten mit Unterdruck sowie Kombinationen aus Kraft- und Formschluss etabliert. Dies ermöglicht ein breites Greifspektrum in Bezug auf die Abmessungen und auf die Oberflächenbeschaffenheit. Die Pakete werden an zwei Seiten gegriffen. Dies erlaubt das Übertragen großer Haltekräfte und somit ein sicheres Handling. [3]

c) Halbautomaten

Empticon der Fa. QuBiq [4] wird von einer Person per Joystick am Container gesteuert. Über einen weiteren Joystick lässt sich der Greifer in zwei Achsen vor dem Paketstapel manövrieren. Bei diesem System wird die monotone Hub- und Drehbewegung maschinell unterstützt. Das System ist geeignet zur Entladung von gleichmäßigen Packmustern mit einem homogenen und quaderförmigen Stückgut. Die Orientierung des Gutes wird hierbei beibehalten.

d) Vollautomaten

Das System Paketroboter basiert auf einer 3D-Bilderkennung, einem Hybridroboter, einer eigenen Bahnplanung mit Kollisionskontrolle und einem Greifsystem. [5] Die Position und Orientierung des quaderförmigen Stückguts wird automatisch erkannt und im Einzelgriff entladen. Ein containerbreiter Aktivförderer

wird zu den jeweiligen Unterkanten der Pakete bewegt, um die Zykluszeit zu verbessern. Die Pakete werden durch eine 4-Achs-Kinematik auf den Förderer gezogen. [6] Derzeit wird dieser Aktivförderer im EU-Projekt RobLog [7] weiterentwickelt. Das Unternehmen TEUN hat ebenfalls einen Vollautomaten zur Paketentladung entwickelt. Dieser palettiert die Ware zusätzlich, ist jedoch auf homogenes Stückgut angewiesen. [8]

Die Beispiele zeigen, dass die Durchsatzleistung sehr stark vom eigentlichen Greifvorgang abhängt. Die Entladung im Schüttgutbereich ist demgegenüber sehr effektiv und schnell, da feinkörnige Güter gut geschüttet werden können. Auch im Stückgutbereich wird das Wirkprinzip des Schüttens angewendet. Mit dem Automated Container Unloader stellt die Beumer Group eine Kippvorrichtung im Stückgutbereich für die Entladung von Gepäckstücken vor. [9]

Eine besondere Herausforderung stellt die federnde Aufnahme des Gutes dar, da Stückgüter schonend behandelt werden müssen. Daraus entsteht generell die Fragestellung, wie Wirkprinzipien der Schüttgut- und Stückgutförderung zur Aufnahme und Fortbewegung von Paketstrukturen als Schüttgut verknüpft werden können. Das Konzept „Intelligente Girlande“ [10] adaptiert auf Basis einer elastischen Aufhängung des Tragemittels unterschiedliche Belastungen, die aus der Belegung des Förderbandes mit Schüttgut resultieren (Abb. 2).

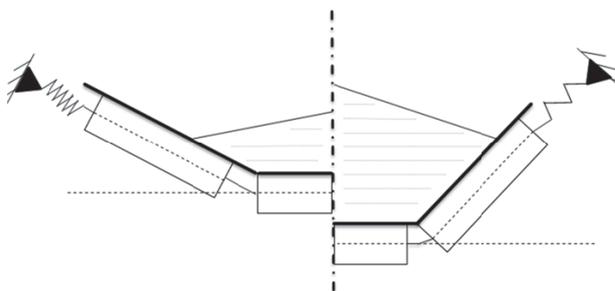


Abbildung 2. Konzept „Intelligente Girlande“

4 SCHONENDER GUTTRANSPORT

Um möglichst viele Grundfunktionen durch eine fördertechnische Komponente zu realisieren, wird derzeit in mehreren Forschungsprojekten an der Entwicklung kleinskaliger Fördermodule gearbeitet, die Güter multidirektional fördern können. [11] Kleinskalige Fördermodule werden dazu normalerweise flächig im Verbund angeordnet, so z. B. in Form eines Rollendecks. Das kleinskalige Fördermodul kann im Normalfall nur im Verbund mit anderen kleinskaligen Fördermodulen eine Bewegungsänderung auf ein Fördergut erreichen. Kleinskalige Module werden dazu durch eine dezentrale Steuerung virtuell miteinander verbunden, um eine fördertechnische Funktion zu realisieren. Das kleinskalige Modul des For-

schungsprojektes CogniLog [12] besteht aus einer angetriebenen Schwenkrolle, die auf einer Trägerplatte montiert wird. Mit einer integrierten Sensorik werden Umgebungszustände wie z.B. Beleginformation, Förderrichtung und Geschwindigkeit erfasst. Durch die Kommunikation zwischen den einzelnen Modulen und durch eine dezentrale Steuerung wird das Fördergut nur über die direkt mit dem Fördergut in Kontakt stehenden Schwenkrollen befördert. [13], [14]

Das hier entwickelte Konzept der Peristaltik-Förderung enthält somit Funktionalitäten des Konzepts der Intelligenten Girlande und des Förderkonzepts kleinskaliger Module (Abb. 3).

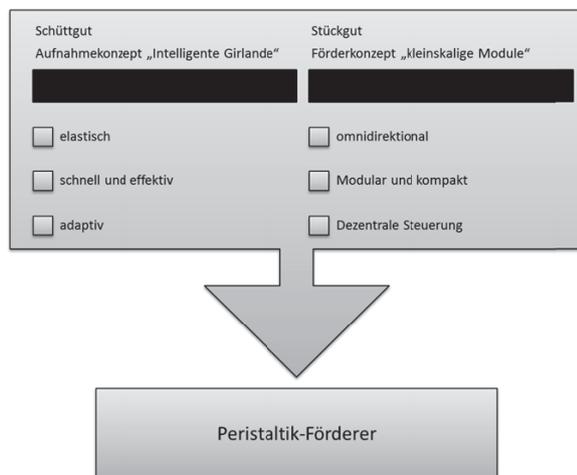


Abbildung 3. Peristaltik-Förderer nach dem Prinzip „Stückgut als Schüttgut“

5 WIRKPRINZIP DER PERISTALTIK-FÖRDERUNG

Die Anhand des Gedankens „Stückgut als Schüttgut“ wird ein neuer konstruktiver Ansatz vorgestellt, der die Vorteile aus dem Aufnahmekonzept der „Intelligenten Girlande“ aus dem Schüttgutbereich und aus dem Förderkonzept des kleinskaligen multidirektionalen Moduls aus dem Stückgutbereich übernimmt. Zusätzlich wird das bionische Wirkprinzip der Peristaltik-Förderung integriert (Abb. 4).

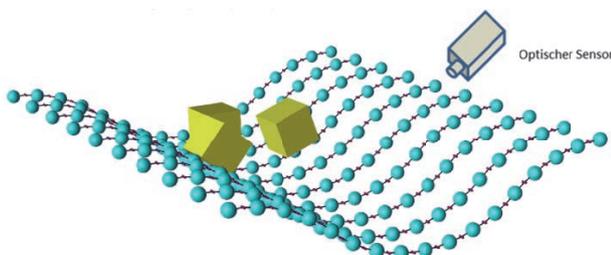


Abbildung 4. Peristaltik-Förderer nach dem Prinzip „Stückgut als Schüttgut“

Der Peristaltik-Förderer ist grundsätzlich ein Schwerkraftförderer. Mit einem hochelastischen flächigen Tragmittel (Band, Gurt oder Netz) werden einfallende Pakete und Paketstrukturen federnd aufgenommen. Durch die Änderung der Form des Tragmittels und der Spannkraft wird eine peristaltische Bewegung erstellt, die aufgenommene Pakete und Paketstrukturen fördern und entstehende Staus von Paketen schnell auflösen kann. Neben den Funktionen Entladen und Fördern können die Grundfunktionen Puffern, Verteilen, Vereinzeln, Sortieren und Zusammenfügen mit Hilfe der integrierten kleinskaligen Module, z.B. auf Basis angetriebener / nichtangetriebener Allseitenrollen oder Schwenkrollen [13], erreicht werden.

Um die aktuelle Situation von förder-technischen Prozessen für den Transport von Paketstrukturen echtzeitnah zu erfassen, werden üblicherweise Lichtschranken für die Ermittlung des Durchsatzes oder Laufräder für die Erfassung der Gurtgeschwindigkeit eingesetzt. Die Integration zu einem ganzheitlichen Sensorsystem ist stets mit einem hohen Aufwand in der Systemintegration und Systemwartung verbunden und stellt somit einen wesentlichen Kostenfaktor dar. Ausgehend von dieser Problematik wurde ein kompaktes, multifunktionales Sensorsystem konzipiert und innerhalb einer ersten Phase prototypisch entwickelt [15]. Das Messsystem besteht aus einer Rechneinheit und einem optischen Tiefenbildsensor. Die transportierte Paketstruktur wird dazu im Sichtfeld des optischen Sensors erfasst. Die Erfassung der Paketstruktur erfolgt mit einer einzigen Bildaufnahme (Single-Shot-Technik). Mit Hilfe der Bildverarbeitungstechnik werden die Zustände wie die Geschwindigkeit der Paketstruktur, die Verteilung der Pakete usw. abgeleitet.

Ein Vergleich in den Leistungsparametern zeigt die Unterschiede und Gemeinsamkeiten des Wirkprinzips Peristaltik-Förderer zum FuE-Projekt CogniLog des ITA Hannover (Tabelle 1).

6 SIMULATION DER PERISTALTIK-FÖRDERUNG

Die Anwendung der Peristaltik-Förderung für massenhaft auftretende Stückgüter kann experimentell nur mit großem Aufwand getestet werden. Dies liegt zum einen daran, dass spezifische Bauteile noch nicht als kostengünstiges Serienprodukt zur Verfügung stehen (angetriebene All-Seitenrolle, Peristaltik-Netz) bzw. erst entwickelt werden müssen. Die Weiterentwicklung und Detaillierung der Idee soll daher zunächst mit den Mitteln des Virtual Engineering, vor allem der numerischen Simulation der Interaktion zwischen Gut und Peristaltik-Netz geschehen.

Tabelle 1: Peristaltik-Förderer – kleinskaliger Förderer: Vergleich fördertechnischer Kennzahlen

	Projekt CogniLog (ITA Hannover)	Peristaltik-Förderer (IFF Magdeburg)
Anwendungsgebiet	Intralogistik Automatisierte Materialflusstechnik	Intralogistik für Paketdienste Automatisierte Materialflusstechnik
Gütereinheit	Pakete, Behälter, 50 kg	Pakete, Beutel, 40 kg bis 1200x800x600 mm
Materialflusstechnische Aufgabenstellung	Umschlagen von Paketen und Behältern auf einer ebenen Fläche mit mehreren Quellen und Senken	Elastische Aufnahme von einzelnen Gütern und ungeordneten Gutstrukturen, die geschüttet werden Schonendes Transportieren einzelner Güter und ungeordneter Gutstrukturen mit Vereinzelnungs- oder Staufunktion
Transporteigenschaften für den Umgang mit der Gütereinheit	Ebene Gutfläche für den Transport, nicht kippbar	Beliebige Gutfläche, robust gegen Stöße, kippbar, als Schüttgut transportierbar
Physikalisches Wirkprinzip der Gutbeeinflussung	x, y, φ_z Gut dediziert beeinflussbar Reibschluss	x, y, z, φ_x , φ_y , φ_z ggfs. Gut nicht dediziert beeinflussbar Reibschluss, Formschluss
Lösungsprinzip	Starrer Verbund aus kleinskaligen Fördermodulen waagrecht	In der Form veränderbarer, elastischer Verbund aus kleinskaligen Fördermodulen räumlich
Kleinskalige Module mit einfachem Funktionsumfang	(Tragrolle, Motorrolle)	Tragrolle, Motorrolle, Allseitenrolle
Kleinskalige Module mit erweitertem Funktionsumfang	Elektromotorisches Schwenkrollensystem, Axialkolbenmitnehmer, Schrägscheibe	
Lösungsprinzip Modulverbund	Starres Rollendeck o. ä.	Peristaltik-Netz mit in der Form veränderbaren Modul-Girlanden
Systemsteuerung	Dezentrale Intelligenz	Zentrale und dezentrale Intelligenz

6.1 VERWENDETER SIMULATIONSANSATZ

Für die Simulation der dynamischen Interaktion von verschiedenen Bauteilen stellt die Mehrkörpersimulation (MKS) den klassischen Ansatz dar. Mit ihr ist es möglich, sowohl das Netz und dessen peristaltische Bewegung als auch die massenhaft auftretenden Stückgüter z.B. Pakete zu simulieren. Üblicherweise wird die MKS eingesetzt, um eine relativ stark begrenzte Anzahl von Körpern (Bauteilen) mit beliebiger Geometrie zu simulieren. Die Kontakterkennung und die Ermittlung der Kontaktkräfte ist dabei der Rechenschritt der numerisch den größten Aufwand verursacht. Jüngste Untersuchungen von Fritz, Wolfschluckner und Jodin in [16] zeigen aber, dass es für die Simulation größerer Mengen an Stückgütern einen effizienteren Ansatz gibt: die Diskrete Elemente Methode (DEM).

Die DEM wird heute zunehmend in der Schüttgutförder-, Baumaschinentechnik und der Verfahrenstechnik zur Simulation von partikelmechanischen Problemstellungen eingesetzt. Bei einigen Problemstellungen, beispielsweise der Simulation von Übergabestellen von Gurtförderern hat sich die DEM bereits als Standardwerkzeug zur

Analyse des Schüttgutverhaltens etabliert [17]. Die DEM kann als spezialisierte Mehrkörpersimulation verstanden werden. Anders als in der MKS kennt die DEM meist nur eine Bauteilgeometrie: kugelförmige Partikel, die dafür in immens großer Zahl (> 1 Mio.) in der DEM-Simulation berücksichtigt werden können. Aus kugelförmigen Partikeln können mit dem sogenannten Multisphere-Ansatz recheneffiziente Konglomerate modelliert werden, die jede beliebige Form (z.B. einen Quader) annehmen können (s. Abb. 5). Die auch als Clumps bezeichneten Konglomerate können sich nicht verformen oder brechen. Ihr physikalisches Bewegungsverhalten gleicht jedoch dem ihrer Hüllkörper.

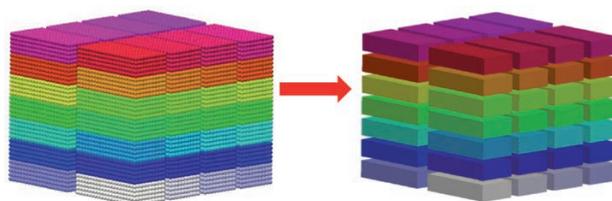


Abbildung 5. DEM-Simulation von quaderförmigen Paketen via Multisphere-Ansatz

In [17] wird beschrieben, dass eine DEM-Simulation ab einer Anzahl von ca. 100 quaderförmigen Paketen, die aus einem Behälter auf einen Gurtförderer fallen, numerisch effizienter (schneller) rechnet als eine vergleichbare MK-Simulation. Da für die spätere Funktionsüberprüfung eine Simulation mit einer Paketanzahl von > 100 angedacht ist, soll der DEM-Ansatz für die Weiterentwicklung des Peristaltik-Förderers weiterverfolgt werden.

6.2 SIMULATIONSMODELL

Für die DEM-Simulation eines peristaltischen Netzes mit Beladung muss zunächst auch das Verhalten des Netzes und dessen sich periodisch ändernde Bewegung in einer MK-Simulation modelliert werden. Bereits seit 2010 wird am ILM an der Kopplung zwischen MKS und der DEM geforscht. Aufgrund des frei verfügbaren Source Codes wurde für eine solche Kopplung die OpenSource DEM-Software LIGGGHTS verwendet [18]. Diese DEM-Software wurde auch in zum bereits genannten DEM-MKS-Vergleich in [16] verwendet. In Kooperation mit der Professur für Baumaschinen- und Fördertechnik der TU Dresden wurde in LIGGGHTS eine Schnittstelle für sogenannte Functional Mock-Up Units (FMU) implementiert. Die Hintergründe zum FMU-Standard sind in [19] beschrieben. Das Konzept der Schnittstelle ist grafisch in Abb. 6 dargestellt.

Mit dem FMU-Ansatz ist es möglich, nicht nur kinematische MKS-Modelle sondern auch deutlich komplexere Modelle von Maschinen-Simulationen in die DEM einzubinden. Wie in [20] beschrieben, ist mit der entwickelten Kopplung sogar die Simulation des Grabverhaltens eines kompletten Radladers möglich (s. Abb. 7).

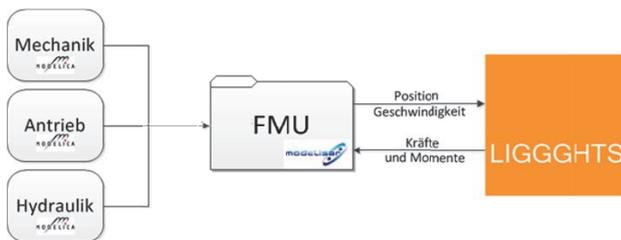


Abbildung 6. Gekoppelte DEM-MKS-Simulation durch die entwickelte FMU-Schnittstelle in LIGGGHTS.



Abbildung 7. Anwendungsbeispiel „Radlader“ für die gekoppelte DEM-MKS-Simulation mit FMU und LIGGGHTS.

Für die Simulation des Peristaltik-Förderers wurde zunächst ein stark vereinfachtes Mehrkörpersimulationsmodell generiert, das analog dem Konzept der Intelligen-

ten Girlande aus fünf Tragrollen bestand, die gelenkig miteinander verbunden waren. Der Durchhang jeder Tragrollen-Girlande richtet sich nach dem Abstand der Aufhängepunkte der äußersten Tragrollen. Durch periodisches Auseinander- und Zusammenziehen der Aufhängepunkte konnte ein bestimmtes Bewegungsprofil der Tragrollen-Girlanden in Förderrichtung definiert und so eine peristaltische Bewegung des Förderorgans erzeugt werden. Ein Pendeln der Tragrollen-Girlande in Förderrichtung war dabei ausgeschlossen. Abb. 8 zeigt eine Bildsequenz der gekoppelten DEM-MKS-Simulation bei der ein geclumpeter Würfel durch die sich periodisch gemäß einer „Sägezahn“-Funktion bewegten Tragrollen verschoben wird.

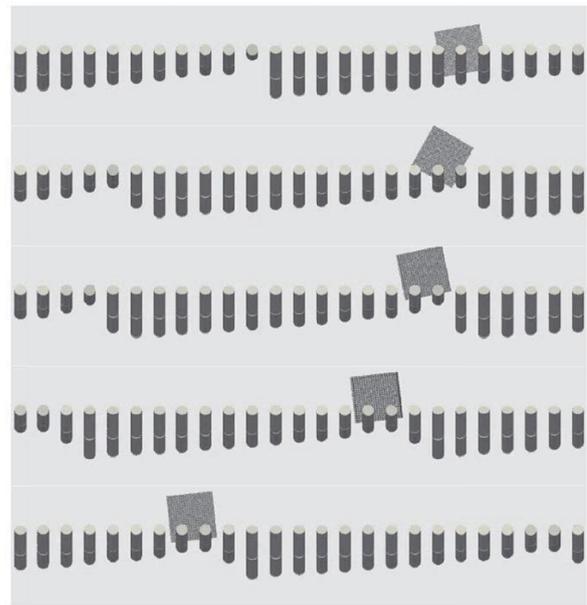


Abbildung 8. Testszenario für die gekoppelte DEM-MKS-Simulation zur Förderung eines Würfels (erstellt durch Multi-sphere-Approach) durch periodisch gemäß einer „Sägezahn“-Funktion bewegte Tragrollen.

Das Simulationsmodell der bewegten Tragrollen wurde weiterentwickelt. Das Konzept der sich periodisch anhebenden Tragrollen wurde auf ein Netz mit 50 Kugelrollenreihen in Förderrichtung und 18 Kugelrollenreihen quer zur Förderrichtung übertragen. Jede Kugelrollenreihe kann genau wie die Tragrollen-Girlande nur durch Auseinander- und Zusammenziehen der äußeren Aufhängepunkte bewegt werden. Ein Pendeln der Kugelrollenreihe in Förderrichtung ist ausgeschlossen.

6.3 SIMULATIONSERGEBNIS

Für einen ersten Funktionstest wurden 56 Pakete aus einem Behälter auf das Netz gekippt. Abb. 9 zeigt das Simulationsergebnis anhand einer Bildsequenz.

Deutlich erkennbar ist, dass der Aufprall des Gut zunächst durch das Netz gedämpft wird. Der zu Beginn erzeugte Guthaufen wird stückweise aufgelöst. Damit kann

neben der prinzipiellen Eignung des Förderprinzips auch eine allgemein vereinzelnende Wirkung des peristaltischen Netzes nachgewiesen werden, auch wenn das Gut nicht wirklich hintereinander und 100%ig vereinzelt auf dem Netz gefördert wird.

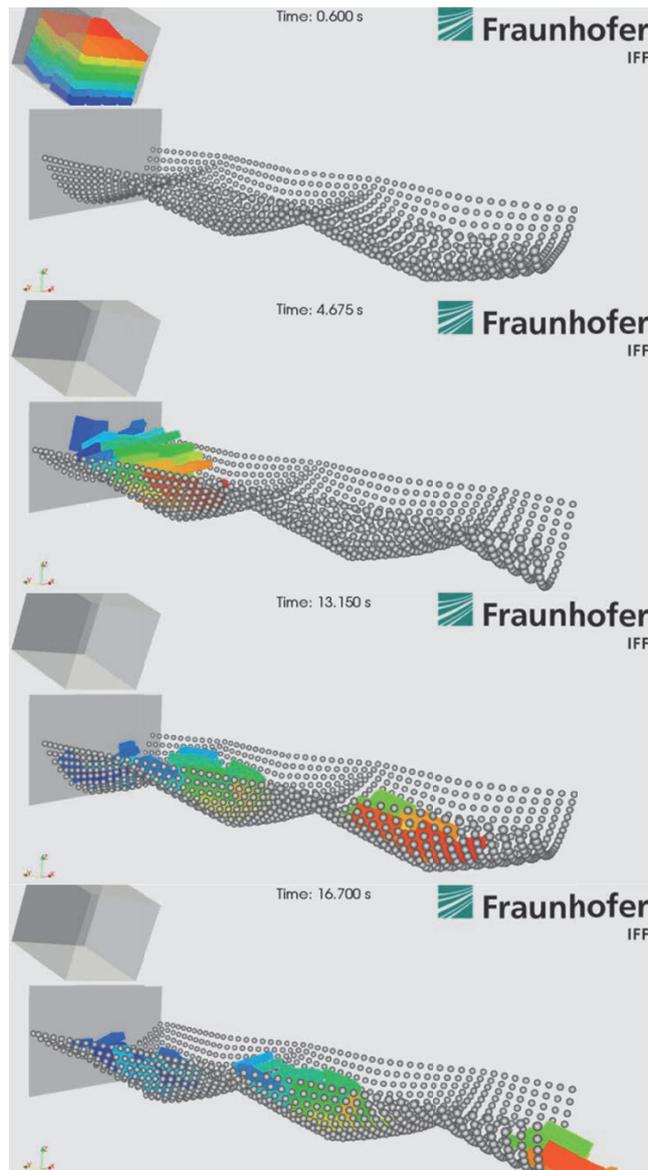


Abbildung 9. Gekoppelte DEM-MKS-Simulation eines Peristaltik-Förderers für Stückgut.

7 ZUSAMMENFASSUNG

Dieser Beitrag stellt das neue Konzept Peristaltik-Förderer aus dem Grundgedanken „Stückgut als Schüttgut“ vor. Die wesentliche Motivation ist die Entwicklung eines Förderers, um die Durchsatzleistung in der Entladungsphase zu erhöhen. Neben dem Hauptziel kann der Peristaltik-Förderer auch andere Grundfunktionen der Fördertechnik erfüllen.

Die Umsetzung der Lösung des Peristaltik-Förderers ist ein interdisziplinäres Thema und verwendet Erkenntnisse der Mechanik, der Antriebstechnik, der Sensorik, der Steuerungs- und Regelungstechnik sowie der Informationsverarbeitung. Es werden die Entwicklungsschritte zum Entwurf des mechatronischen Systems angewendet und das mechatronische System als Regelkreis betrachtet. Auf Grund der Komplexität der Bewegungsabläufe von Paketströmen muss ein adaptives Steuerungsprinzip für Peristaltik-Förderer entwickelt werden, um die definierten Anforderungen des Peristaltik-Förderers - z.B. zum Durchsatz der Pakete - zu erreichen.

Um die Entwicklungszeit zu verkürzen und niedrigere Investitionskosten zu erzielen, werden Methoden des Digital Engineering angewendet. Für die dynamische Simulation wurde das physikalische System in ein mathematisches Modell umgewandelt. Das dynamische Modell des Peristaltik-Förderers besteht aus mehreren Körpern, die durch mehrere Kugelrollenreihen in einer Mehrkörpersimulation berücksichtigt wurden. Für die dynamische Simulation des Gutes wurde das OpenSource DEM (Diskrete Elemente Methode)-Programm LIGGGHTS verwendet. Die Ergebnisse der gekoppelten DEM-MKS-Simulationen haben die Entwicklung eines Prototypen-Versuchsstandes wesentlich mitbestimmt und werden auch in Zukunft zur Weiterentwicklung des Förderkonzepts beitragen.

DANKSAGUNG

Die Autoren danken der IB-Bank Sachsen –Anhalt für die Förderung des Forschungsprojektes „Peristaltik-Förderer“ (Förder-Nr. 1204/00092).

LITERATUR

- [1] Deutsche Post DHL, Pressemitteilung: "Deutsche Post DHL erweitert Paketnetz in Deutschland für zukünftige Kundenanforderungen", http://www.dp-dhl.com/de/presse/pressemitteilungen/2011/deutsche_post_dhl_erweitert_paketnetz.html, 15.09.2011.
- [2] Effizientes Paket-Entladen beginnt mit Variomove. SILOG News. Ausgabe 1/12. E-Paper unter: <http://www.mobility.siemens.com/mobility/global/SiteCollectionDocuments/de/news/customer-magazines-and-newsletters/silog-news/silog-01-12-de.pdf>, 30.07.2013.
- [3] Echelmeyer, W.; Kirchheim, A.; Wellbrock, E.: Robotics-logistics: Challenges for automation of logistic processes. In: Institute of Electrical and Electronics Engineers: "2008 IEEE International Conference on Automation and Logistics", IEEE and VDE-Verlag, Qingdao(China), 2008, pp. 2099–2103.

- [4] Empticon: Unloading containers– efficiently and ergonomically. E-Paper unter: http://qubiqa.com.web102.wannafindserver.dk/files/download/logistics/brochures/empticon_web_uk.pdf, 30.07.2013.
- [5] Scholz-Reiter, B.; Echelmeyer, W.; Wellbrock, E.: Development of a robot-based system for automated unloading of variable packages out of transport units and containers. In: Institute of Electrical and Electronics Engineers: “2008 IEEE Conference on Automation and Logistics”, IEEE and VDE-Verlag, Qingdao(China), 2008, pp. 2766 – 2770.
- [6] Burwinkel, M.; Echelmeyer, W.; Scholz-Reiter, B.: Development of Robotics Systems for Seaports by Means of Modular Approaches. In: Asada, H.: “The 14th IASTED International Conference on Robotics and Applications RA2009”, ACTA Press, Cambridge, Massachusetts, 2009.
- [7] Roblog Project: <http://www.roblog.eu/>, 31.07.2013.
- [8] Karton-Entleerungsroboter PIQR-1 von TEUN unter: <http://www.teun.com/de/anwendungen-1/entleerung-der-kartons/>, 31.07.2013.
- [9] Automated Container Unloader von Beumer Group unter: <http://www.beumergroup.de/de/produkte/gepaeckabfertigungs-systeme/make-up-systeme/automated-container-unloader/>, 31.07.2013.
- [10] Gladysiewicz, A.; Katterfeld, A.: Intelligente Girlande - Konzeption und erste Praxis- Erfahrungen. In: Technische Universität München: “Schüttgutfördertechnik 2012 - Neues aus Wissenschaft und Praxis“, TU München, München, 2012.
- [11] Uriarte, C.; Rothde, K.; Kunaschk, S.: Celluveyor – Ein hochflexibles und modulares Förderer- und Positioniersystem auf Basis omnidirektionaler Antriebstechnik. In: Schenk, M.: „10. Fachtagung, Digitales Engineering und virtuelle Techniken zum Planen, Testen und Betreiben technischer Systeme“, Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF, Magdeburg, 2013.
- [12] Cognilog Projekt: <http://www.cognilog.uni-hannover.de/>, 31.07.2013.
- [13] Overmeyer, L.; Falkenberg, S.; Krühn, T.; Ventz, K.: Kleinskalige, multidirektionale Transportmodule für den Einsatz in der Intralogistik. In: VDI Wissensforum GmbH: 19. Deutscher Materialfluss-Kongress, VDI-Verlag, 2010, S. 231-248,.
- [14] Krühn, T.; Heiserich, G.; Overmeyer, L.: Modellierung und Steuerung kleinskaliger Fördermodule mittels Zellulärer Automaten. In: Wissenschaftliche Gesellschaft für Technische Logistik: “6. Fachkolloquium der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Technische Logistik (WGTL)“, Garbsen : PZH Produktionstechnisches Zentrum, Hannover, 2010, S. 265-276.
- [15] Cao, L.; Borstell, H.; Kluth, J.; Richter, K.: Kompakter, multifunktionaler Sensor auf Basis von Tiefenbildtechnologie für die Schüttguttechnik. In: Schenk, M.: "13./14. Forschungskolloquium am Fraunhofer IFF 2012: Forschung vernetzen - Innovationen beschleunigen", Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF, Magdeburg, 2013.
- [16] Fritz, M.; Wolfschluckner, A.; Jodin, D.: Simulation von Paketen im Pulk, Logistics Journal, November 2013, DOI: 10.2195/lj_NotRev_fritz_de_201311_01
- [17] Gröger, T., Katterfeld, A.: Einsatz der Diskrete Elemente Methode in der Schüttguttechnik: Gutübergabestellen, In: Schüttgut, Vol. 13 (2007) Nr. 3, S. 202-213
- [18] Kloss, C., Gonivia, C.: LIGGGHTS – A New Open Source Discrete Element Simulation Software, In: Munjiza A.: ”Proceedings of The Fifth International Conference on Discrete Element Methods”, Queen Mary University of London, London, 2010.
- [19] Schubert, C.; Neidhold, T.; Kunze, G.: Experiences with the new FMI Standard Selected applications at Dresden University. In: Proc. 8th International Modelica Conference, Dresden, 2011.
- [20] Kunze, G.; Katterfeld, A.; Richter, C.; Otto, H.; Schubert, C.: Plattform- und softwareunabhängige Simulation der Erdstoff-Maschine Interaktion. In: Fachtagung Baumaschinentechnik 2012. Frankfurt am Main: FVB, S. 251-262
-
- Dipl.-Ing. Liu Cao**, Wissenschaftlicher Mitarbeiter im Kompetenzfeld Materialflusstechnik und -systeme am Fraunhofer Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF Magdeburg.
- Hon.-Prof. Dr.-Ing. Klaus Richter**, Leiter des Kompetenzfeldes Materialflusstechnik und -systeme am Fraunhofer IFF Magdeburg.
- Dipl.-Ing. Christian Richter**, Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Materialflusstechnik an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg.

Jun.-Prof. Dr.-Ing. André Katterfeld, Lehrstuhlleiter
Materialflusstechnik an der Otto-von-Guericke-
Universität Magdeburg.