

**Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wi.-Ing. Willibald A. Günthner**  
**Dipl.-Inf. Razvan Chisu**  
**Dipl.-Ing. Florian Kuzmany**

# **Internet der Dinge**

-

# **Intelligent verteilt**



Juli 2008

Experten fordern schon seit geraumer Zeit ein Umdenken in der Intra-logistik: Weg von durchgeplanten, vorherbestimmten Systemen, hin zu einem „Internet der Dinge“. Die Vision vom sich selbst steuernden Materialfluss, einem Netzwerk von gleichberechtigten Einheiten, die keine übergeordnete Koordination mehr brauchen, beginnt Gestalt anzunehmen. Erste Konzepte, um das Internet der Dinge bald Wirklichkeit werden zu lassen, wurden bereits erarbeitet und geben Entwicklern und Planern eine Grundlage für die Gestaltung moderner Materialflusssysteme. In einer Reihe von drei Artikeln beschreiben die Autoren die Komponenten, die Softwarearchitektur und schließlich die wirtschaftlichen Potenziale dieser neuen Technologie.

## **Internet der Dinge – Intelligent verteilt**

Wie kann die steigende Komplexität von Materialflusssystemen heutzutage noch in den Griff bekommen werden?

Der folgende Artikel zeigt, dass eine neue Systemarchitektur nach dem Vorbild des Internets gegenüber herkömmlichen Steuerungsansätzen viele Vorteile hat und einen Ausweg aus der Komplexitätsfalle darstellt. Den Ausgangspunkt bildet dabei eine konsequente Modularisierung, welche sich nicht nur auf die Mechanik beschränkt, sondern auch die Steuerungslogik mit einbezieht. Die Intelligenz soll, in kleinen Teilen, dorthin verlagert werden, wo sie auch benötigt wird. Dies kann die Programmierer entlasten und die Softwarearchitektur eines Materialflusssystem wieder beherrschbar machen. Technologien wie TCP/IP, Embedded Systems, Agentensysteme und RFID eröffnen den Weg zu autonomen Einheiten, welche logistische Funktionen im Materialfluss wahrnehmen. Drei Typen dieser Einheiten (Fördertechnikmodule, Transporteinheiten und Softwaredienste) reichen aus, um beliebige Derivate davon abzuleiten und so einen umfassenden Baukasten für ein "Internet der Dinge" zu schaffen.

## **Der Status Quo**

Der Gedanke der Modularisierung und der Einsatz von Baukastensystemen, vor Allem bezüglich der mechanischen Gestaltung von Fördertechnik, wird von Herstellern bereits seit Langem verfolgt – denn die Vorteile, ein komplexes Logistiksystem aus

einer überschaubaren Anzahl standardisierter Module wie Weichen, Rollenförderern und Drehtischen flexibel realisieren zu können, liegen klar auf der Hand: die hohen Stückzahlen der Module bringen Kostenvorteile und die standardisierten Schnittstellen erleichtern die Integration [Gün-06].

Die Tatsache, dass dieser Modularisierungsansatz nicht auch auf die Softwarearchitektur der Steuerung angewandt wird, scheint daher überraschend. Denn trotz mechanischer Module werden auch im modernsten Logistiksystem die Entscheidungen von einem zentralen, hoch komplexen und damit schwer beherrschbaren Materialflussrechner getroffen. Komplexe Strukturen mit den sich zwangsläufig ergebenden Schnittstellen sind ein erhebliches Risiko für Funktion, Gestehungskosten und Betriebskosten eines Intralogistiksystems [SAIL-06].

Der Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik (fml) der Technischen Universität München setzt schon seit vielen Jahren einen Schwerpunkt auf die dezentrale Steuerung von Materialflusssystemen. Das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung 2006 ins Leben gerufene Verbundprojekt "Internet der Dinge" [BMBF] stellt einen weiteren großen Schritt in diese Richtung dar. Der Lehrstuhl fml und das Fraunhofer IML arbeiten in diesem Projekt Hand in Hand mit sieben namhaften Industriepartnern (Lanfer, PSI, Schmalz, Siemens, Stöcklin, Swisslog und Viastore) an einer Neuordnung der Systemarchitektur in der Intralogistik.



**Abbildung 1: Versuchshalle des Lehrstuhls fml**

## **Das Internet als Vorbild**

Das Internet als weltumspannendes Netzwerk, das täglich viele Milliarden Transporteinheiten in Form von Datenpaketen transportiert, soll hierbei als Vorbild dienen. Seit seinen Anfängen in den 70er Jahren hat sich das Internet vor allem auch durch den WWW-Boom der 90er Jahre zu einer globalen Infrastruktur entwickelt, die immer noch rasant wächst. Die eingesetzten Kommunikationsprotokolle und -technologien wurden, abgesehen von Leistungssteigerungen und Funktionserweiterungen, über die gesamte Lebensdauer des Internets kaum verändert. Obwohl oder gerade weil dieses "Netzwerk aus Netzwerken" gänzlich auf zentrale Instanzen verzichtet, ist es hochgradig robust und skalierbar.

Die Intralogistik der Zukunft wird ebenso wie das Internet dezentral und hierarchielos sein. Behälter und Pakete werden autonom und steuern sich selbst zum Ziel – ganz so wie die Datenpakete im Internet. Intelligente Förderstrecken und Fahrzeuge agieren dabei wie Netzwerkrouter und sind Dienstleister für ankommende Transporteinheiten. Alle Akteure reagieren auf ihre Umgebung und können sich so an schwankende Auftragslasten oder sogar Ausfälle automatisch anpassen.

Dabei soll eine Entwicklung aufgegriffen werden, die zahlreiche Antriebs- und Steuerungshersteller bereits seit einiger Zeit voran treiben. Immer mehr Intelligenz wandert von der SPS, die früher noch ganze Anlagenbereiche steuerte, auf die Feldebene eines Materialflusssystemes. So besitzen viele Frequenzumrichter, Elektroantriebe oder Auto-ID-Lesegeräte programmierbare Microcontroller, auf denen eigener Code installiert werden kann. Kleine und kostengünstige Embedded PCs bieten die Möglichkeit Steuerungslogik direkt an den Ort des Geschehens zu verlagern. Viele dieser Komponenten verfügen bereits über Ethernet-Schnittstellen, so dass einer Kommunikation via TCP/IP nichts im Wege steht.

So wird es erstmals möglich, das bisherige Baukastenmodell von der Elektrik und Mechanik auch auf die Steuerungstechnik zu erweitern. Diese mechatronische Gestaltung kann zur Entwicklung autonomer Funktionseinheiten verwendet werden.

Durch die technologischen Fortschritte im Bereich RFID lässt sich aber nicht nur die Steuerungssoftware und damit die Entscheidungskompetenz dezentralisieren, sondern auch die Datenhaltung. Klassisch wird RFID nur zur Identifikation einzelner Transporteinheiten verwendet. Alle übrigen Informationen werden aus zentralen Datenbanken abgerufen. Doch die Speicherkapazitäten heute erhältlicher RFID-Tags erlauben bereits einen ersten Schritt vom Data-On-Network- hin zum Data-On-Chip-Prinzip. Dabei werden alle zu einer Transporteinheit gehörenden Daten, neben der eindeutigen Identifikationsnummer also auch Informationen über das Transportziel oder den Inhalt und die geometrische Form des Behälters, direkt auf dem mitgeführten RFID-Tag hinterlegt. Diese direkte Kopplung des Informations- und Warenflusses verringert die Kommunikation im System und die Datenredundanz. Durch den Einsatz intelligenter Transporteinheiten rücken dezentral gesteuerte, innerbetriebliche Materialflüsse immer näher an die Funktionsweise des Internets heran.

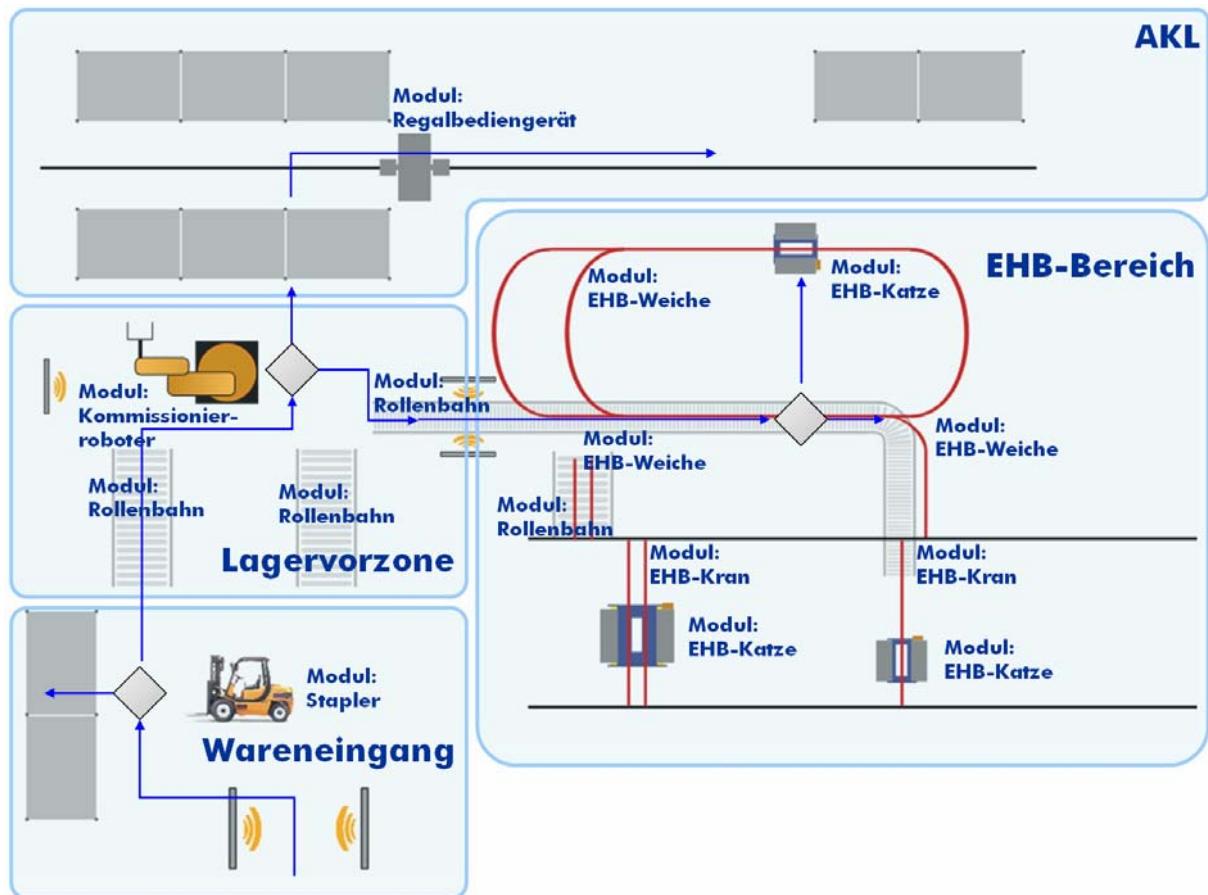
Aufgaben wie die Wegberechnung, die Wegreservierung, die Stauvermeidung und das Schalten von Wegelementen (zum Beispiel Weichen) werden im Internet der Dinge dezentral und selbstständig von den Materialflussmodulen übernommen. Ein übergeordnetes Leitsystem ist damit nicht mehr erforderlich.

## Die Modularisierung im Internet der Dinge

Das Forschungsprojekt bietet Planern, Softwareentwicklern und Konstrukteuren eine Grundlage, um das "Internet der Dinge" in die Praxis umzusetzen. Dazu gehören auch Vorgehensweisen zur Modularisierung eines Systems.

Die Modularisierung und damit die Festlegung der Systemgrenzen bestimmt dabei über die Wiederverwendbarkeit von Lösungen für unterschiedliche Anwendungen. Prinzipiell gilt: Je kleiner die Bausteine eines Systems, desto mehr Kombinationsmöglichkeiten gibt es. Man ist bei der Planung freier und die Wiederverwendbarkeit der Bausteine verbessert sich. Werden jedoch die Module zu klein, dann vermehren sich auch die Schnittstellen und das Kommunikationsaufkommen steigt stark an. In der Konstruktionslehre werden bei der Modularisierung von Produkten Lösungsalternativen abgeleitet, indem die zu erfüllenden Funktionen analysiert werden [VDI-2221]. Analog dazu kann in der Logistik auf die Grundfunktionen Fördern, Verzweigen / Zusammenführen, Lagern und Handhaben zurück gegriffen werden. Man kann in diesem Zusammenhang also auch von einer „funktionsorientierten Modularisierung“ sprechen.

In Abbildung 2 ist eine beispielhafte Modularisierung und der Weg der Transporteinheiten durch den Materialfluss in der Versuchshalle des Lehrstuhls fml zu sehen. Die Module sind eigenständige Funktionsträger wie z.B. Rollenbahnen oder EHB-Katzen.



**Abbildung 2: Beispielhaftes Materialflusslayout in der Versuchshalle des Lehrstuhls fml**

Da im "Internet der Dinge" jedes Modul seine eigenen Tätigkeiten selbst steuert und überwacht, sind die Systemgrenzen der Software ebenso zu ziehen, wie bei der Mechanik. Dies führt zu einer grundsätzlich anderen Softwarearchitektur als bisher. Hier werden nicht mehr die horizontalen Steuerungsebenen (wie z.B. Bereichssteuerung, Subsystemsteuerung) betrachtet, sondern einzelne Module gegeneinander abgegrenzt. Aufgaben, welche bisher durch den Materialflussrechner übernommen wurden, werden nun auf die einzelnen Module aufgeteilt.

Die Module verfügen dann über ausreichend Intelligenz, um ihre Aufgabe selbständig oder kooperativ zu erfüllen. Dem System muss nur noch mitgeteilt werden, was es zu tun hat – die verschiedenen Einheiten bestimmen dann im organischen Zusammenspiel, wie der erteilte Auftrag erfüllt wird. Die Module werden damit zu leicht austauschbaren mechatronischen Einheiten, welche selbständig auf Störungen reagieren und so ein robustes Gesamtsystem erzeugen [Wil-06].

Übergreifende Abläufe wie die Koordination mehrerer Module, die Auftragsdisposition oder die Systemoptimierung entstehen entweder durch Verhandlungsstrategien der Module untereinander oder werden durch Softwaredienste unterstützt.

In Abbildung 3 ist beispielhaft die Funktionszuordnung zu den Modulen für einen Elektrohängebahnbereich abgebildet.

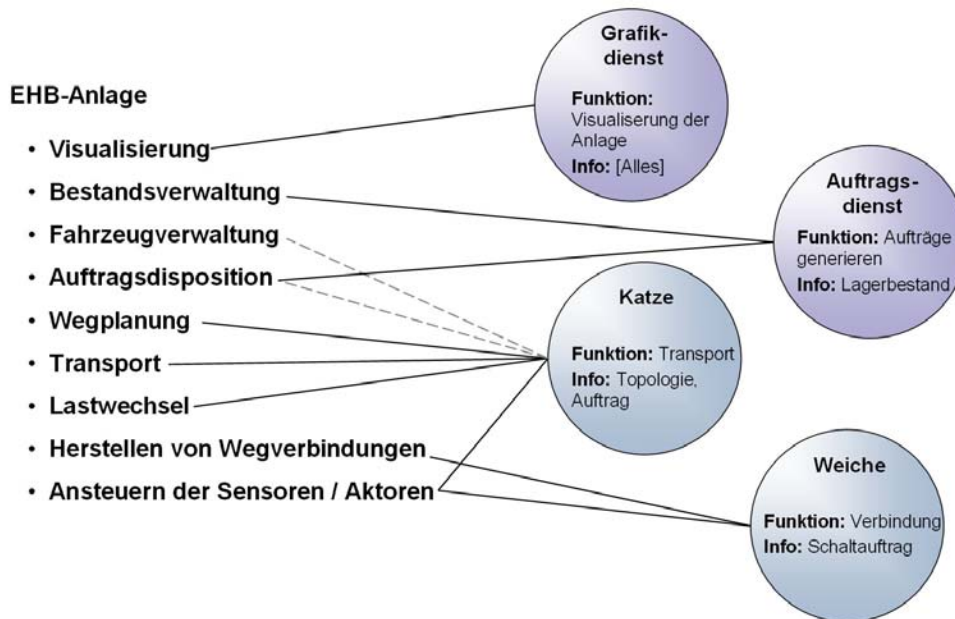


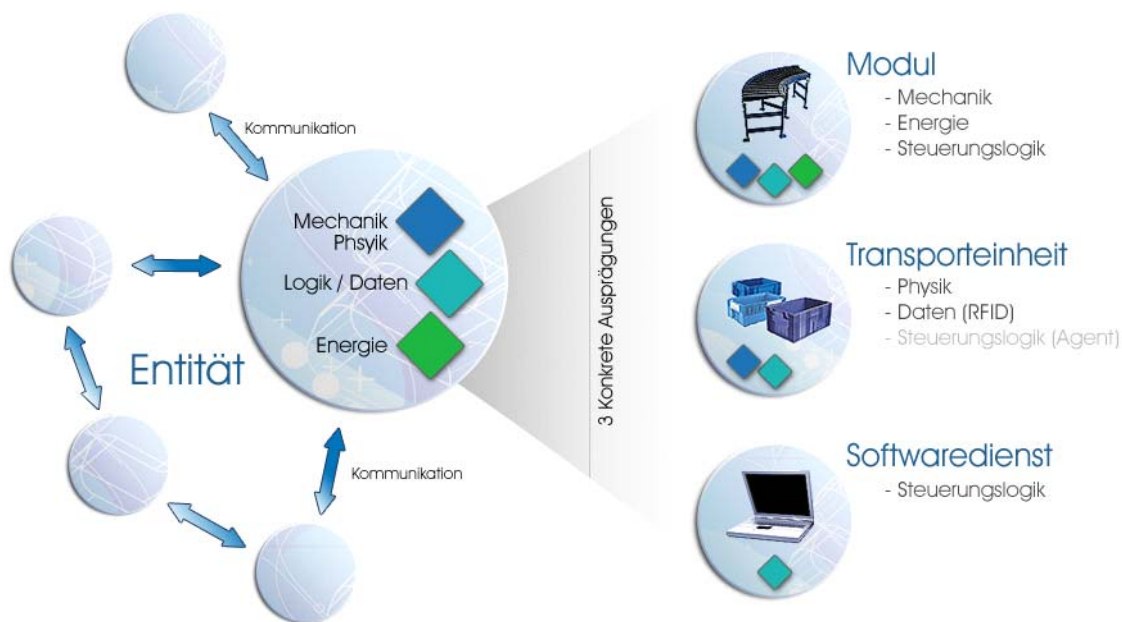
Abbildung 3: Zuordnung von Funktionen zu Fördertechnikmodulen und Softwarediensten

## Die Bausteine des Internet der Dinge

Um diese Aufteilung der Materialflusssteuerung technisch zu realisieren, wird auf die bewährte Technologie der Multiagentensysteme aus der Informatik zurückgegriffen. Multiagentensysteme bestehen aus autonomen, kooperierenden Softwareprogrammen, den Agenten, die innerhalb verschiedener Verhaltensmuster auf die Lösung einer Aufgabe hinarbeiten. Jedes Materialflussmodul wird dabei von einem oder mehreren Agenten unterstützt, die eine bestimmte Aufgabe, wie z.B. Auftragsverwaltung oder Wegplanung, innerhalb des Logistiksystems übernehmen. Die Strukturierung der einzelnen Materialflussmodule als autonome Agenten mit standardisierten Kommunikationsschnittstellen erlaubt es, solche Agenten in fast beliebiger Kombination mit anderen Agenten oder Softwareprogrammen kooperieren zu lassen. Die offene und modular ausgerichtete Architektur des Multiagentensystems bietet das Potenzial für eine erhebliche Verringerung des Engineering- und Inbetriebnahmeaufwands, da einzelne Module unabhängig vom Gesamtsystem programmiert und getestet werden können. Durch diese schrittweise Inbetriebnahme können Fehlerquellen frühzeitig erkannt und behoben oder in eine Umplanung einbezogen werden.



In Anlehnung an bereits vorhandene Arbeiten im Bereich der Multiagentensysteme wird die nicht weiter zerlegbare Funktionseinheit im Internet der Dinge als „Entität“ bezeichnet. Je nach technischer Ausprägung einer Entität wird, wie bereits erwähnt, zwischen *Modulen*, *Transporteinheiten* und *Diensten* unterschieden. Dabei werden die mechanische, die energetische und die steuerungstechnische Schicht betrachtet. Module verfügen über alle drei Schichten, die, soweit technisch möglich und wirtschaftlich sinnvoll, an einem Ort realisiert werden sollten. Transporteinheiten besitzen lediglich eine mechanische und eine steuerungstechnische Schicht, die in diesem Fall z.B. aus einem an der Transporteinheit mitgeführten RFID-Transponder und/oder einem Agenten, der dieser zugeordnet ist, besteht. Dienste sind reine Softwareprogramme und besitzen somit keine mechanische und energetische Schicht. Praktisch jedes Materialflusssystem kann somit aus diesen drei Typen von Entitäten aufgebaut werden.



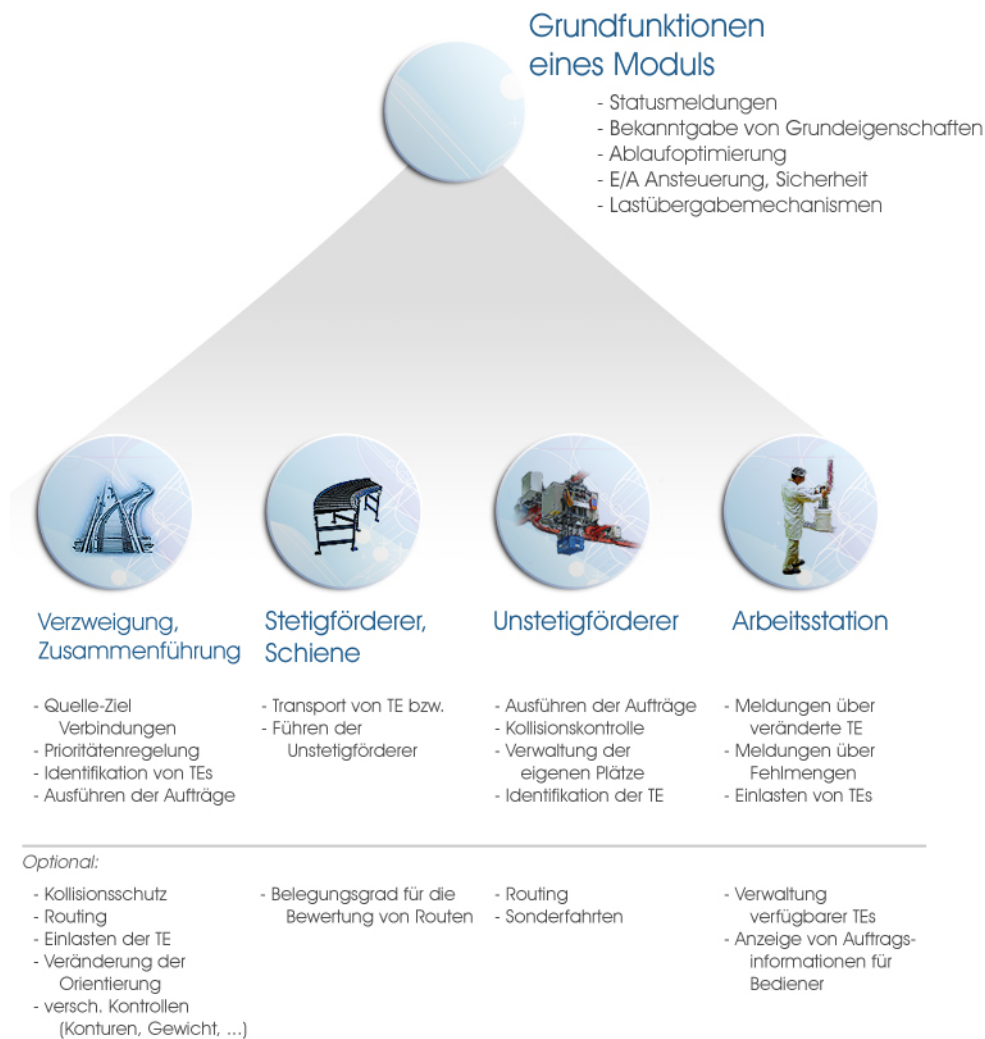
**Abbildung 4 Die Grundeinheiten des Internet der Dinge sind kooperierende Entitäten. Eine Entität kann ein (Fördertechnik-)Modul, eine Transporteinheit oder ein Softwaredienst sein.**

## Funktionen im Internet der Dinge

Betrachtet man die Funktionen, welche zukünftig von den einzelnen Einheiten ausgeführt werden sollen, so stellt man fest, dass sich diese in Grund- und Spezialfunktionen aufteilen lassen. Grundfunktionen müssen von allen Entitäten erbracht werden -

dazu gehören in erster Linie die Kommunikation in einer allen Entitäten verständlichen Sprache oder die Bekanntgabe der eigenen Fähigkeiten.

Spezialfunktionen lassen sich meist auf eine ganze Klasse von Entitäten beziehen – so müssen beispielsweise Zusammenführungselemente Kollisionen zwischen Transporteinheiten vermeiden, während Unstetigförderer eine Wegplanung durchführen. (siehe Abbildung 5).



**Abbildung 5 Grund- und Spezialfunktionen von Fördertechnikmodulen**

Diese stufenweise Spezialisierung von Entitäten erlaubt den Einsatz von Methoden der Objektorientierung für die Softwareentwicklung. Über Vererbungsmechanismen werden neue Steuerungsprogramme von bereits implementierter und getesteter Logik abgeleitet. Wurde beispielsweise die Software für einen einfachen Rollenförderer erstellt, dann enthält diese bereits Mechanismen zur Synchronisation mit angrenzenden Modulen. Wird nun eine Strecke mit Pufferfunktion benötigt, wird das vorhandene

ne Programm nur um Methoden für die Überwachung und Verwaltung der Pufferplätze erweitert werden, ohne das restliche Programm zu verändern.

Auf diese Weise gestaltet sich das Engineering einer Anlage genau so wie die Erstellung heutiger Simulationsmodelle. Vorgefertigte Programmbausteine stellen bereits die wichtigsten Funktionen der Fördertechnikmodule bereit und müssen nur noch an Spezialanforderungen angepasst werden. Komplexe Systeme werden per „Plug & Convey“ erstellt, indem Module miteinander gekoppelt werden. Die Programmierung einer zentralen Instanz ist nicht mehr notwendig, was sowohl bei der Neuplanung als auch vor Allem beim Umbau einer Anlage große Vorteile bringt.

## Fazit

Eine funktionsorientierte Modularisierung, der Einsatz neuester Technologien und eine strukturierte Vorgehensweise bei der Programmierung rücken die Vision vom sich selbst steuernden Materialfluss in greifbare Nähe. So wie das Internet unseren täglichen Umgang miteinander und mit der Welt revolutioniert hat, so wird auch das Internet der Dinge einen entscheidenden Wandel in die Logistik bringen. Diese neue Denkweise in der Logistik ist für die Zukunftsfähigkeit dieser Branche nicht nur absolut erforderlich, sondern sie beginnt bereits, konkrete Gestalt anzunehmen. Lesen Sie im nächsten Artikel dieser Serie, welche Softwarearchitektur dem Internet der Dinge zu Grunde liegt.

[BMBF-06] Das Forschungs- und Entwicklungsprojekt "Internet der Dinge" wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) innerhalb des Rahmenkonzeptes „Forschung für die Produktion von morgen“ gefördert und vom Projektträger Forschungszentrum Karlsruhe (PTKA) betreut.

[Wil-06] Wilke, M.:  
Wandelbare automatisierte Materialflusssysteme für dynamische Produktionsstrukturen, Diss., TU München; Herbert Utz Verlag München, ISBN 3-8316-0591-2, 2006

- [Gün-06] Günthner, W.A.; Heinecker, M.; Wilke, M.  
Materialflusssysteme für wandelbare Fabrikstrukturen, Internetplattform Logistics.de, Erscheinungsdatum 19.05.2006
- [VDI-2221] Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (Hrsg.):  
VDI 2221: Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte; VDI Verlag Düsseldorf 1993
- [SAIL-06] SAIL System-Architektur für die IntraLogistik, Arbeitskreis „Innovation und Standardisierung“ des Forum Intralogistik VDMA, Frankfurt am Main / Stand: 18. Mai 2006