

Anforderungen an automatisierte Materialflusssysteme für wandelbare Logistikstrukturen

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing. W. A. Günthner, TU München

Dipl.-Ing. Michael Wilke, TU München

1. Mass Customization erfordert wandelbare Materialflusssysteme

Ein „Mehr“ an Automatisierung bedeutet in der Regel ein „Weniger“ an Flexibilität und umgekehrt. Standardisierte Prozesse wie sie bei Massenproduktionen vorkommen, lassen sich am einfachsten automatisieren und erfordern zudem eine geringe Flexibilität. Ganz im Gegensatz dazu steht die Produktion von Kleinserien oder Einzelstücken. Sie verlangt eine hohe Flexibilität und ein wandelbares Materialflusssystem.

Zukünftige Fabriken werden in der Lage sein, kundenindividuelle Güter zu produzieren. Die Produktion kundenindividueller Güter führt zu einer Reduzierung der Größe der Fertigungslose, steigert damit die Zahl der abzuwickelnden Produktionsaufträge und so den gesamten materialflusstechnischen und steuerungstechnischen Aufwand erheblich [1], [2], [3].

Heute geht die Produktion in kleinen Losgrößen noch mit erheblichen Produktions- und Logistikkosten einher. Automatisierte Lösungen des Materialflusses rechnen sich erst wirtschaftlich bei größeren Serien. Dazu sind die gegenwärtigen automatisierten Materialflusssysteme zu unflexibel und bei aufwendigen Systemen ist ihre Komplexität schwer zu beherrschen.

Ferner erfordert der Trend zur Mass Customization und den immer kürzer werdenden Produktlebenszyklen Materialflusssysteme, die sich schnell auf die veränderten Bedingungen anpassen lassen.

Eine Verfolgung der individuellen Produktion bedarf also zukunftsweisender, automatisierter Ansätze in der Logistik, um die Kostenschere gegenüber der Serienfertigung zu verkleinern, wandelbare Materialflusssysteme zu generieren und gleichzeitig eine hohe Verfügbarkeit durch Reduzierung der Komplexität zu gewährleisten.

2. Wandelbare Materialflusssysteme

Ein wandelbares Materialflusssystem muss, um sich auf jede, auch ungeplante Veränderungen einstellen zu können, folgende Flexibilitätsanforderungen erfüllen:

- **Fördergutflexibilität:**
Das System muss in der Lage sein, unterschiedlichste Produkte transportieren zu können



Abbildung 1: Heutige innerbetriebliche Logistik

- **Layoutflexibilität:**
Jeder Ort in der Fabrik muss bedient werden können, bzw. das Materialflusssystem muss sich schnell auf veränderte Materialflüsse einstellen können
- **Durchsatzflexibilität:**
Durchsatzflexible Materialflusssysteme müssen sich den Leistungsänderungen der Produktion durch geeignete Maßnahmen anpassen können.

Ein Materialflusssystem, das diese drei Anforderungen zu 100 Prozent erfüllen würde, wäre wandelbar, aber nicht zu bezahlen und kaum zu realisieren. Deshalb muss das Materialflusssystem in sich erweiterungsfähig und falls dies nicht ausreicht integrationsfähig sein, um mit anderen Systemen direkt zusammenarbeiten zu können.

- **Erweiterungsfähigkeit:**
Eine Erweiterung des Produktionsbereiches erfordert von Materialflusssystemen, dass sowohl neue Hallenbereiche als auch zusätzliche Übergabepunkte innerhalb bestehender Bereiche bedient werden können.
- **Integrationsfähigkeit:**
Sie beschreibt nicht nur die Fähigkeit, Materialflusssysteme auf steuerungstechnischer Seite in Leit- oder PPS-Systeme zu integrieren, sondern auch die Fähigkeit technische und steuerungstechnische Verkettungen mit anderen Materialflusssystemen eingehen zu können.

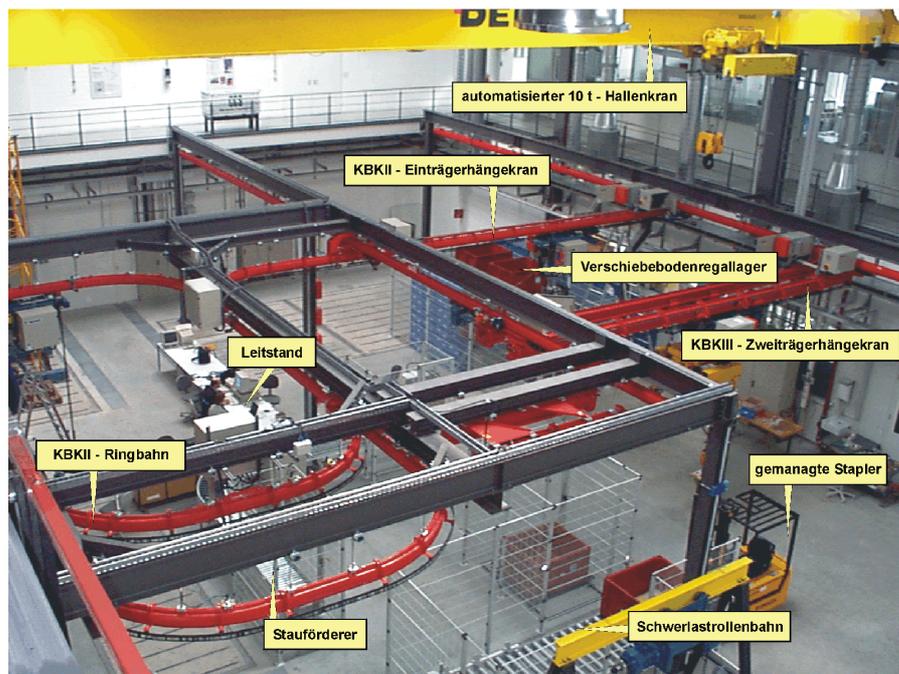


Abbildung 2: Versuchsanlage fml

Diese fünf Anforderungen müssen zum einen von der Mechanik, wie aber auch von der Steuerung des Materialflusssystems erfüllt werden. Auf der mechanischen Seite bieten die Baukastenlösungen vieler Fördertechnikhersteller schon gute Ansätze, aber auf der Steuerungs- und Kommunikationsebene sind noch Defizite vorhanden.

3. Defizite bisheriger Automatisierungslösungen

3.1. Starrheit der Automatisierung

Die heutzutage verwendeten Automatisierungslösungen für Materialflusssysteme stellen für sich abgeschlossene Systeme dar. Sie sind meist nur veränder- und erweiterbar hinsichtlich vorgeplanter Parameter und über proprietäre Schnittstellen mit weiteren Systeme bzw. Systemkomponenten verbunden. Die Komplexität, der zu steuernden Aufgaben, führt zu komplexen Automatisierungssystemen mit einer sehr großen Anzahl von Steuerungsvorgängen und riesigen Datenmengen. So stellen schon der Betrieb und die Wartung hohe Anforderungen an das Personal, und spätestens bei einem erforderlichen Umbau bzw. einer Erweiterung der Anlage entsteht ein erheblicher Engineeringaufwand, der bis zur Größenordnung einer kompletten Neuplanung des entsprechenden Systems reichen kann.

Ein weiterer Aspekt ist die getrennte Optimierung von mechanischen, elektrischen und steuerungstechnischen Komponenten einer Maschine bzw. eines Materialflussmoduls. So wird z.B. von dem Steuerungsfachmann die Software nach softwaretechnischen Gesichtspunkten gestaltet, anstatt den mechanischen Aufbau und dessen Funktionalität abzubilden. Gerade beim Umbau eines komplexen automatischen Systems entstehen hier die Probleme, da die Systemgrenzen der Mechanikmodule nicht mit den Systemgrenzen der Softwaremodule übereinstimmen.

4. Automatisierungskonzept für wandelbare MFS

4.1. Verteilte Automatisierung in der Materialflusstechnik

Einen Lösungsansatz bietet hierfür die mechatronische Betrachtung und Gestaltung des Automatisierungssystems [4]. Dieser Ansatz klingt nicht allzu revolutionär. Aber gerade bei heutigen vollautomatisierten Materialflusssystemen wie z.B. bei einer EHB besteht der Schienenverlauf und die Fahrzeuge aus mechanischen Baukastenkomponenten nicht aber die Software. Diese wird zum Schluss über die komplette Anlage gestülpt und erledigt dabei hervorragend die Steuerung des gewünschten Materialflusses. Möchte man aber den Materialfluss umgestalten, ist es nicht nur mit dem gut plan- und überschaubaren Austausch der mechanischen Baukastenelemente getan, sondern es muss auch die Steuerungssoftware überarbeitet werden. In komplexen Materialflusssystemen in denen sowohl eine horizontale Kommunikation für das Zusammenspiel der einzelnen Komponenten, als auch einer vertikale Kommunikation zu den übergeordneten PPS und ERP-Systemen besteht, fallen deshalb hohe Engineering-, Projektions- und Inbetriebnahmezeiten an. Ein Lösungsansatz besteht in der verteilten dezentralen Automatisierung, bei der ein direkter Zusammenhang zwischen dem modularen mechanischen Aufbau einer Maschine und dem entsprechend modularisierten Steuerungsprogramm gegeben ist.

4.2. Mechatronische Funktionseinheiten

Aus dem Steuerungskonzept der verteilten Automation lassen sich Lösungsansätze ableiten, mit denen komplexe Materialflusssysteme beherrschbar werden. Ein Gedanke der verteilten Automation besteht darin, mechanische, elektrische und logische Funktionseinheiten, so genannte mechatronische Einheiten zu definieren. Diese mechatronischen Einheiten verfügen über standardisierte mechanische, elektrische und logische Schnittstellen, über die sie mit anderen Einheiten verbunden sind und so zusammen ein komplexes System bilden können. Da sie eigenständig funktionieren, lassen sie sich unabhängig von einander testen und in Betrieb nehmen.

Wendet man das Konzept der verteilten Automatisierung auf eine Elektrohängebahnanlage, die aus autonomen, intelligenten Fahrzeugen besteht, an, ergibt sich der folgende Aufbau.

Ein Fahrzeug (Katze) besteht aus mehreren Basis-Funktionseinheiten, wie z.B. dem Antrieb, dem Hubwerk und der Wegerfassung. Diese Funktionseinheiten bilden zusammengefasst ein Subsystem z.B. das Fahrzeug. Diese Subsysteme formen wiederum das gesamte Materialflusssystem. Jedes Modul in diesem System besitzt eine mechatronische Schnittstelle.

4.3. Mechatronische Schnittstelle

Bei einem EHB-Fahrzeug gestaltet sich die mechatronische Schnittstelle, über die es mit der Umwelt interagiert bzw. mit anderen Subsystemen zusammenarbeitet, folgendermaßen. Die Katze verfügt über zwei mechanische Schnittstellen. Zum einen das Lastaufnahmemittel und zum anderen das Fahrwerk, das auf die Fahrschiene passen muss. Zu der elektrischen Schnittstelle gehören die Stromversorgung und die physikalische Übertragung der Informationsdaten.

Die logische Schnittstelle beinhaltet die Signale der Sensoren und die Informationen (Datentelegramme), die über ein Kommunikationssystem mit anderen Teilnehmern ausgetauscht werden.

Die mechanischen und elektrischen Schnittstellen des EHB-Fahrzeuges sind leicht überschaubar und definierbar. Dies zeigt sich in den Baukastenlösungen verschiedener EHB-Hersteller.

Wesentlich komplexer dagegen gestaltet sich die logische Schnittstelle über die, die Fahrzeuge steuerungstechnisch mit den Komponenten des automatisierten Materialflusssystems, kommunizieren.

Hier kommt ein weiterer Aspekt der verteilten Automatisierung zum Tragen.

4.4. Durchgängige Kommunikationsschicht für alle Module

Damit in einem wandelbaren, automatisierten Materialflusssystem ständig neue Teilnehmer hinzugefügt und entfernt werden können, muss es eine durchgängige systemunabhängige Verbindungsschicht für alle Klassen der Kommunikation von der Peripherie über die Steuerung bis hin zum Management und der Integration von Kanälen für die Sicherheitstechnik auf Basis von Ethernet/XML/SOAP geben [5].

Über diese Verbindungsschicht können die Module des Materialflusssystems miteinander kommunizieren, um z.B. Auftragsdaten und Statusinformationen auszutauschen. Zusätzlich muss ein autonomes Fahrzeug über Sensoren verfügen, mit denen es direkt die Umwelt erfassen kann, in der es agiert.

Mit der Verwendung der Datensprache XML, die aus dem IT-Bereich stammt, ist es möglich einen offenen und beliebig erweiterbaren Datenaustausch zu gewährleisten. Neben der eigentlichen Information werden gleichzeitig auch die Datenbezeichnung und das Datenformat übermittelt. Somit kann jeder Teilnehmer, der z.B. etwas mit dem Begriff „Auftragsnummer“ anfangen kann, diese Information auch verwerten, da die Information über das Datenformat und damit die Kodierung mitgeliefert wird. Aber auch der Mensch kann die XML-kodierten Daten unter zur Hilfenahme eines Web-Browsers einfach und optisch aufgearbeitet lesen. Dadurch schafft man die Voraussetzungen, dass automatisierte Maschinen in einem wandelbaren Materialflusssystem miteinander kommunizieren können und dazu in einer Sprache, die auch der Mensch verstehen kann.

4.5. Steuerungskonzept für autonome Materialflusssysteme in einem wandelbaren Materialflusssystem

Wie schon erwähnt, stellt die Entwicklung eines wandelbaren Materialflusssysteme hohe Anforderungen an die Gerätesteuerung der Materialflusssysteme (Fahrzeuge). Aufbauend auf den Flexibilitätsanforderungen und unter Berücksichtigung des Konzeptes der verteilten Automatisierung lässt sich folgendes Steuerungskonzept entwickeln.

Anhand eines Analogiebeispiels soll das Steuerungskonzept veranschaulicht werden. Das Straßennetz mit den Autofahrern stellt ein wandelbares Materialflusssystem dar. Jeder Autofahrer kann jeden Ort erreichen und dabei unterschiedlichste Dinge transportieren. Und das unabhängig von den anderen Autofahrern. Möchte ein Autofahrer von München nach Magdeburg fahren, plant er seine Route mit einer Straßenkarte und unterwegs orientiert er sich an den Ortsschildern bzw. Wegweisern.

Überträgt man das auf eine EHB, sieht dies folgendermaßen aus. Jeder Verzweigung wird ein globaler Waypoint zugewiesen (1. Abstraktionsschritt). In einem zweiten Abstraktionsschritt betrachtet man das System mechanisch. Da eine Weiche 3 mechanische Ein- bzw. Ausgänge besitzt, muss also jedem Ein-/Ausgang ein lokaler Waypoint zugeordnet werden. Diese Waypoints sind einfache Transponder, die an der Schiene befestigt sind und über eine eindeutige Kennung verfügen.

In dem dritten Abstraktionsschritt werden nun die Waypoints mit ihren Verbindungen und den Eigenschaften dieser Verbindungen in eine Matrix eingetragen. Zu den Eigenschaften gehören z.B. die Länge, die Kapazität, die Durchfahrtsrichtung usw.

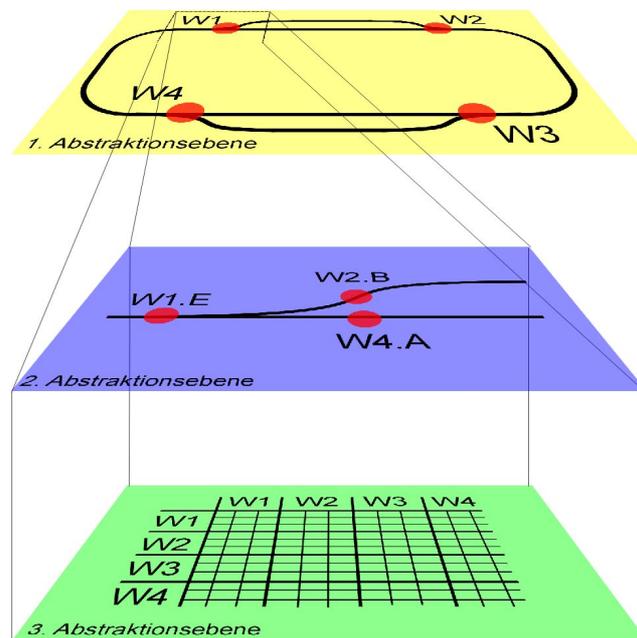


Abbildung 3: Abstraktionsschritte

Bekommt nun ein Fahrzeug den Auftrag von W1 nach W3 zu fahren, liest es sich die zentral abgelegte Waypointmatrix aus und plant selbstständig seinen Weg. Die geplante Route wird in die Matrix eingetragen, und die Waypointmatrix zurück auf einen zentralen Server geschrieben. Danach ist das nächste Fahrzeug an der Reihe, sich die Matrix auszulesen und seinen Weg zu planen.

Zu den Vorteilen dieses Steuerungskonzeptes gehört es, dass es layoutflexibel ist, da jede physikalische Veränderung des Schienenverlaufes schnell und einfach an einem Ort, der Waypointmatrix, steuerungstechnisch hinterlegt wird. Dafür müssen die Steuerungsprogramme der Fahrzeuge nicht umprogrammiert werden, wie es sonst bei dezentral gesteuerten Fahrzeugen nötig ist.

Auch bietet das Konzept eine hohe Durchsatzflexibilität. Es können jederzeit Fahrzeuge hinzugefügt oder entfernt werden, ohne dass in die Software der anderen Fahrzeuge eingegriffen werden muss. Dazu können die Schienen grundsätzlich in beide Richtungen befahren werden. Intelligente und dumme Fahrzeugen können nebeneinander in dem gleichen System operieren, da sie unabhängig von einander sind. Möchte z.B. eine Katze A eine bestimmte Strecke befahren und diese somit für die anderen Fahrzeuge sperren, wird dies in der Waypointmatrix in dem Eigenschaftsfeld des entsprechenden Streckenabschnittes vermerkt. Die Katze A muss also nicht jedes weitere Fahrzeug direkt über ihre Absichten informieren, sondern kann dies für alle über die Waypointmatrix tun und

damit auch unbekannte Teilnehmer erreichen. Die Wegplanung lässt sich dezentral auf dem Fahrzeug bzw. für alle zentral über einen Wegplaneragenten realisieren. Dieser Wegplaneragent lässt sich mit einem Verkehrsleitsystem auf Autobahnen vergleichen. Er analysiert parallel zu den Fahrzeugen die Waypointmatrix und das reale Geschehen in der Anlage. Bemerkt er Staubildungen, kann er eingreifen, indem er die Waypointmatrix umschreibt und z.B. die Streckenkapazität bestimmter Abschnitte verändert. Das Konzept bietet den Vorteil, dass man mit dem Hinzufügen eines neuen Moduls (Wegplaneragent) sein Materialflusssystem verbessern kann, ohne in die bestehenden Programme eingreifen zu müssen.

Dieses Steuerungskonzept für die Fahrzeugsteuerungen ist erweiterungs- und integrationsfähig und erfüllt damit weitere wichtige Anforderungen für eine wandelbares automatisiertes Materialflusssystem. Es ist sowohl für Elektrohängekran-/Hängebahnsysteme wie auch für fahrerlose Transportsysteme anwendbar. Durch die strikte Modularisierung und den klar gezogenen Systemgrenzen mit ihrer standardisierten mechatronischen Schnittstelle, werden außerdem redundante Steuerungsvorgänge bzw. Datenhaltung vermieden.

5. Fabrik der Zukunft

Zukünftige autonome, dezentral gesteuerte Materialflusssysteme werden über standardisierte Schnittstellen verfügen, über die sie mit ihrer Umwelt interagieren und somit in der Lage sind, sich auf jede Veränderung selbständig einstellen zu können. Der Einsatz solcher Materialflusssysteme führt zu einer Reduzierung der Inbetriebnahmezeiten, da jede mechatronische Funktionseinheit vom Hersteller unabhängig vom späteren Gesamtsystem getestet werden kann. Auch treten im Betrieb Vorteile auf. Der Fabrikbetreiber kann schnell auf die Gegebenheiten des Marktes reagieren und sein Materialflusssystem optimal an die neuen Produktionsanforderungen anpassen, in dem z.B. Materialflusssysteme entfernt, hinzugefügt oder mit anderen Fabriken ausgetauscht werden können.



Abbildung 4: Fabrik der Zukunft

An die Materialflusssysteme für die Fabriken der Zukunft werden hohe Anforderungen gestellt. Hierbei stellt die Entwicklung von wandelbaren automatisierten Materialflusssystemen einen entscheidenden Punkt dar. Um die Kluft zwischen der Flexibilität und Automatisierung zu überwinden, bedarf es neuer Automatisierungsansätze und einer standardisierten offenen Kommunikation zwischen den Modulen des Materialflusssystems und auch dem Menschen. Hier bietet der Gedanke der verteilten Automatisierung auf Basis der idA-Technologieplattform mit seinen Spezifikationen einen ersten Lösungsansatz an. Mit diesem Ansatz gilt es, oben beschriebene Steuerungskonzepte für wandelbare Materialflusssysteme zu entwickeln.

Neben den Anforderungen für die Automatisierung zukünftiger Materialflusssysteme entwickelt der Lehrstuhl fml im Rahmen der folgenden Projekte weitere Anforderungen und Lösungen für die Materialflusssysteme zukünftiger Fabriken.

- Sonderforschungsbereich 582 „Marktnahe Produktion individualisierter Produkte“ Teilprojekt M2 - Wandelbare Logistikstrukturen in Minifabriken (gefördert von der DFG)
- Sicherheitsleitlinien für automatisierte Krananlagen im produzierenden Umfeld (gefördert von der AiF)
- MATVAR - Materialflusssysteme für variable Fertigungssegmente im dynamischen Produktionsumfeld (gefördert vom BMBF)

6. Literatur

- [1] Piller, F.: Mass Customization. Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter, Deutscher Universitäts-Verlag, 2001
- [2] Schenk, M.; Seelmann-Eggebert, R.: Die Kundenwunschfabrik – Anforderungen und Lösungsansätze, TU Chemnitz: Fachtagung Vernetzt planen und produzieren, Chemnitz, 12. Oktober 2000, Tagungsband
- [3] Günthner, W.A.: Verbundforschungsprojekt MATVAR – Wege zum wandelbaren Materialflussnetz, Hebezeuge und Fördermittel, Berlin 40 (2000) 5, S. 267 – 270
- [4] IDA – Buchwitz, Martin, Auf neuen Wegen zu Standards für verteilte Intelligenz, Tagungsband / SPS IPC Drives Nürnberg 2001, Hüthig GmbH & Co. KG Heidelberg
- [5] White Paper 1.0, www.ida-group.org, 2001