

# Materialflusssysteme für wandelbare Fabrikstrukturen

Willibald A. Günthner, Markus Heinecker und Michael Wilke, TU München

**Der Trend zur Mass Customization führt zu einem grundlegenden Neuaufbau der Fabrikstrukturen. Zukünftige Fabriken müssen in der Lage sein, sich schnell auf die individuellen Kundenwünsche einstellen zu können. Dies verlangt kurze Reaktionszeiten und eine sehr hohe Flexibilität im Aufbau und in den Abläufen.**

**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.**

Heute hingegen 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. In dynamischen Produktionsstrukturen kommen deshalb heute meist manuelle Förder-systeme, wie z.B. Stapler und Hubwagen, zum Einsatz (Bild1).

Neben dem Trend zur Mass Customization [1] stellen weitere Veränderungen der Marktsituation neue Herausforderungen an zukünftige Materialflusssysteme. Zunehmende Verkürzungen der Produktlebenszyklen in Verbindung mit einem hohen Innovationsdruck im Bereich der Produktionstechnologien, der Trend zur Fertigung kundenindividueller Produkte und damit gekoppelt eine hohe Variantenvielfalt erfordern wandelbare Materialflusssysteme, die eine schnelle und effiziente Anpassung der physischen Logistiksysteme hinsichtlich Größe, Funktion und Strukturen auf veränderte Rahmenbedingungen ermöglichen.

## Wandelbare Materialflusssysteme

In Ergänzung zur Flexibilität, die als Möglichkeit zur Veränderung in vorgehaltenen Dimensionen und Szenarien bezeichnet werden kann, besitzen wandelbare Materialflusssysteme zusätzlich die Eigenschaft, auf ungeplante und nicht vorgedachte eintretende Ereignisse reagieren zu können.

Bild 1: Status innerbetrieblicher Logistik bei kundenindividueller Produktion



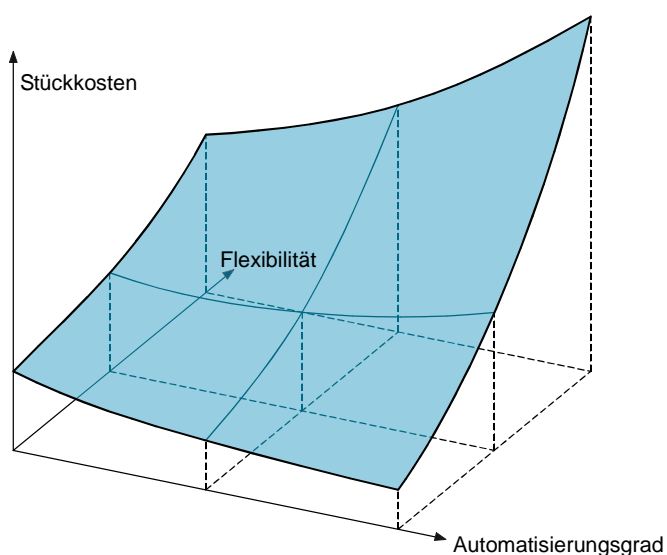
Ein wandelbares Materialflusssystem muss deshalb, um sich auf jede, auch ungeplante Veränderung einstellen zu können, folgende Flexibilitätsanforderungen erfüllen [2]:

- **Fördergutflexibilität:**  
Das System muss in der Lage sein, unterschiedlichste Produkte transportieren zu können.
- **Layoutflexibilität:**  
Jeder Ort in der Fabrik muss bedient werden können, bzw. das Materialflusssystem muss sich schnell auf veränderte Materialflüsse und Betriebsmittelanordnungen 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 aufgrund der hohen Investitionskosten nicht wirtschaftlich zu betreiben und deshalb kaum zu realisieren. Aus diesem Grunde ist eine Ergänzung des Anforderungsprofils von wandelbaren Materialflusssystemen um die Eigenschaften Erweiterungsfähigkeit und Integrationsfähigkeit notwendig, die Voraussetzung für einen wirtschaftlichen Betrieb darstellen.

- **Erweiterungsfähigkeit:**  
Eine Erweiterung des Produktionsbereiches erfordert von Materialflusssystemen sowohl neue Hallenbereiche als auch zusätzliche Übergabepplätze innerhalb bestehender Bereiche bedienen zu 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.

*Bild 2: Flexibilität und Automatisierung unter Kostengesichtspunkten bei heutigem Entwicklungsstand*

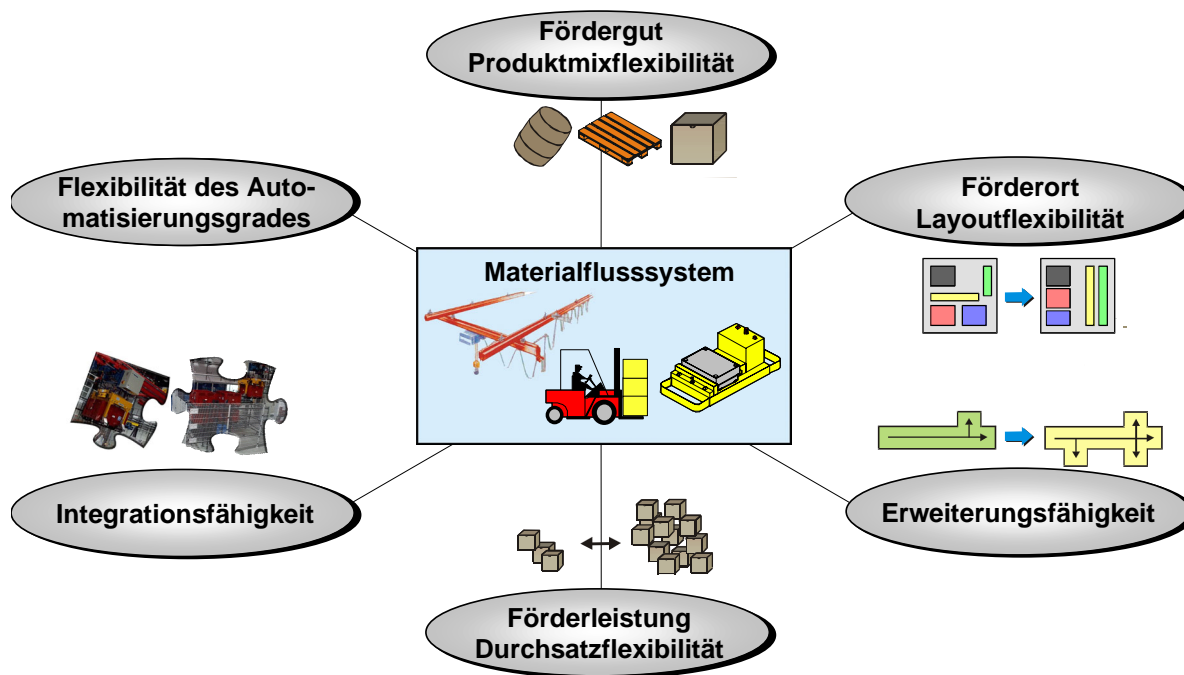


Darüber hinaus stellt die Flexibilität des Automatisierungsgrades eine zusätzliche Eigenschaft an die Wandelbarkeit dar. In Abhängigkeit der durchzuführenden Materialflussaufgabe soll immer eine Annäherung an den optimalen Betriebspunkt zwischen Wandelbarkeitsanforderungen, Kosten und Automatisierungsgrad möglich sein (Bild 2).

Das Materialflusssystem zukünftiger Fabrikstrukturen lässt sich somit durch die Anforderungen Fördergutflexibilität, Layoutflexibilität, Durchsatzflexibilität, Erweiterungs-

fähigkeit, Integrationsfähigkeit und Flexibilität des Automatisierungsgrades charakterisieren (Bild3).

Bild 3: Anforderungen an wandelbare Materialflusssysteme [2]



Eine mögliche Ausprägungsform des Materialflusssystemes für eine wandelbare Fabrikstruktur stellt eine aus standardisierten, mechatronischen Modulen aufgebaute Fabrik dar.

### Mechatronische Module

Eine modular aufgebaute Fabrik setzt sich, vergleichbar mit dem Baukastenprinzip in der Produktentwicklung, aus materialflusstechnischen Modulen zusammen, die skalierbar automatisiert sind und über standardisierte Schnittstellen verfügen. Diese materialflusstechnischen Module stellen eigenständige Funktionseinheiten dar.

Solche Funktionseinheiten können einzelne Fertigungsstationen, einzelne Montageplätze aber auch komplette Montagebereiche einer Baugruppe beinhalten. Darüber hinaus wird der modulare Ansatz auch auf andere Bereiche des innerbetrieblichen Materialflusses, z.B. Lager, Kommissionierung, übertragen. Die Ausprägung der Module bzw. der Modulgrenzen richtet sich nach den Anforderungen der Flexibilität. Falls eine direkte Koppelung der Module möglich ist, wird der Materialfluss direkt zwischen den Modulen über die standardisierten Schnittstellen abgewickelt. Ist es dagegen z.B. aufgrund räumlicher Gegebenheiten nicht realisierbar, die Module miteinander zu koppeln, übernehmen fördertechnische Module den Materialfluss.

Die größte Wandelbarkeit der Fabrik erreicht man, indem die einzelnen Module für sich eine möglichst große Produktflexibilität besitzen, d.h. möglichst viele Prozessschritte zur Verfügung stellen. Für eine kundenindividuelle Produktion würde dies bedeuten, dass diese Module, um jeden Kundenwunsch erfüllen zu können, „eierlegende Wollmilchsäue“ darstellen müssten, die aber keinen wirtschaftlichen Einsatz ermöglichen. Genau hier greift der Vorteil der Modularisierung ein, um dieses Problem zu lösen und einen wirtschaftlichen Betrieb wandelbarer Materialflusssysteme zu gewährleisten. Die Wandelbarkeit wird deshalb einerseits durch eine wirtschaftlich

sinnvolle Prozessflexibilität der einzelnen Module an sich und andererseits durch die Kombination der einzelnen Module zu einem Gesamtsystem erzeugt.

Für die Beschreibung solcher Module bietet sich die mechatronische Betrachtungsweise an. Jedes automatisierte Modul, sei es ein Lager, eine Kommissionierzelle oder ein Transportfahrzeug, besteht aus mechanischen, elektrischen und steuerungstechnischen Komponenten, die für sich ein Subsystem bilden und getrennt von den anderen Modulen implementiert und getestet werden können. Aufgrund der an jeden Modul vorhandenen standardisierten Schnittstellen ist es möglich, einzelne Module auszutauschen ohne dabei in die restlichen Prozesse eingreifen zu müssen.

### **Module mit standardisierten mechatronischen Schnittstellen**

Analog zur mechatronischen Beschreibung der Module verfügen die Schnittstellen über mechanische, elektrische und informationstechnische Komponenten. Über die mechanische Schnittstelle werden Behälter physikalisch mittels entsprechender Materialflusstechnik an andere Module übergeben.

Die Stromversorgung und die physikalische Datenübertragung finden über die elektrische Schnittstelle statt. Damit das Modul mit weiteren Modulen des Gesamtsystems wie auch mit dem menschlichen Bediener kommunizieren kann, verfügt es über eine informationstechnische Schnittstelle. Diese drei Schnittstellen bilden zusammengefasst die mechatronische Schnittstelle des Moduls.

Um eine Wandelbarkeit eines Gesamtsystems, in dem Module entfernt, bzw. verändert werden können, zu erreichen, muss die mechatronische Schnittstelle des Moduls standardisiert sein.

An die mechanische Seite der Schnittstelle werden z.B. Anforderungen wie die Kompatibilität zu standardisierten Behältertypen gestellt.

Gerade bei automatisierten Systemen stellt sich die informationstechnische Schnittstelle als problematische Komponente dar, da diese die Grundvoraussetzung für die Zusammenarbeit der verschiedenen Geräte bzw. Module ist. Dazu kommt die Schwierigkeit eine Schnittstelle zu definieren, die auch den Anforderungen zukünftiger neuer Fabrikmodule entspricht, ohne dass dies explizit geplant wurde. Damit deshalb in einer wandelbaren, automatisierten Fabrik ständig neue Module 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 geben. Die besten Voraussetzungen hierfür bietet eine Kommunikation auf Basis von Ethernet/XML/SOAP [3], [4].

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 einer wandelbaren Fabrikstruktur miteinander kommunizieren können und dazu in einer Sprache, die auch der Mensch verstehen kann. Da aber eine Kommunikation auf Basis von XML große Datenmengen zur Folge hat, muss ein Bussystem mit möglichst hoher Übertragungsrate eingesetzt werden. Hierfür bietet sich das Ethernet an, das neben den hohen Übertragungsraten und den niedrigen Kosten sich als der Standard im IT-Bereich durchge-

setzt hat. Aber auch für den Einsatz im Automatisierungsbereich gibt es schon Lösungen (ProfiNet/SOAP).

### **Fazit**

Heutzutage schrecken vor allem klein und mittlere Unternehmen davor zurück, hoch automatisierte Anlagen im Bereich des Materialflusses einzusetzen. Gerade kleine und mittlere Unternehmen besetzen aufgrund ihrer Fähigkeit, sich schnell auf die veränderten Marktbedingungen und Kundenwünsche einstellen zu können, Marktpositionen. Hier wäre ein starres automatisiertes Materialflusssystem und ein starrer Fabrikaufbau hinderlich. Darum bedarf es eines wandelbaren, kostengünstigen Fabrikaufbaus und Materialflusssystems. Der Einsatz von Modulen mit standardisierten Schnittstellen im Bereich des physikalischen und des informationstechnischen Materialflusses bietet die Voraussetzungen für ein kostengünstiges, effektives und zuverlässiges Gesamtsystem.

Zwar treten bei der Anschaffung und bei dem Aufbau einer modularen Fabrik höhere Kosten auf, aber diese Kosten werden schnell durch die gewonnene Fähigkeit, sich jederzeit den Kundenwünschen anpassen zu können, amortisiert. Bedingt durch die standardisierten Schnittstellen ist der Zeitanteil der Inbetriebnahme und vor allem beim Umbau deutlich zu reduzieren, so dass innerhalb kurzer Zeit die modulare Fabrik aufgebaut bzw. umgebaut werden kann. Wertvolle Zeitverluste durch Stillstand der Produktion und damit verbunden finanzielle Einbußen können deutlich vermindert werden.

Im Rahmen des Sonderforschungsbereiches SFB 582 „Marktnahe Produktion individualisierter Produkte“ erarbeitet der Lehrstuhl fml in dem Teilprojekt M2 „Wandelbare Logistikstrukturen in Minifabriken“ Anforderungen und Lösungen für den Aufbau und die Gestaltung wandelbarer Materialflusssysteme, die in Fabriken, die kundenindividuell produzieren, eingesetzt werden können. Ein Teilergebnis wird der Aufbau und die Ausprägung der standardisierten, mechatronischen Schnittstellen sein.

### **Kontakt**

Technische Universität München  
Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik  
Boltzmannstraße 15  
85748 Garching  
Tel.: 089/ 289 15921  
Fax: 089/ 289 15922  
E-Mail: [kontakt@fml.mw.tum.de](mailto:kontakt@fml.mw.tum.de)  
URL: [www.fml.mw.tum.de](http://www.fml.mw.tum.de)

### **Autorenbeschreibung:**

**Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing. W. A. Günthner** ist Ordinarius des Lehrstuhls für Fördertechnik Materialfluss Logistik an der TU München

**Dipl.-Ing. Michael Wilke** ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik mit den Arbeitsgebieten Materialfluss und Logistik

**Dipl.-Ing. Markus Heinecker** ist wissenschaftlicher Assistent am Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik mit den Arbeitsgebieten Materialfluss und Logistik

**Literaturverzeichnis:**

- [1] Piller, F.: Mass Customization. Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter, Deutscher Universitäts-Verlag, 2001
- [2] Handrich, W.: Flurfreie flexible Materialflusstechnik für dynamische Produktionsstrukturen, Herbert Utz Verlag Wissenschaft, München, 2002-05-29
- [3] IDA – Buchwitz, Martin, Auf neuen Wegen zu Standards für verteilte Intelligenz, Tagungsband / SPS IPC Drives Nürnberg 2001, Hüthig GmbH & Co. KG Heidelberg
- [4] White Paper 1.0, [www.ida-group.org](http://www.ida-group.org), 2001

**Schlüsselwörter:**

Wandelbare Fabrikstrukturen, Materialflusssysteme, mechatronische Module, mechatronische Schnittstelle, kundenindividuelle Produktion

**Englisch:****Title: Materials handling systems for changeable factory structures**

The trend of mass customization requires a fundamental reorganisation of the factory structure. Future factories have to be able to react quickly on the individual desire of the customer. That requires short reaction times and a high flexibility of structures and processes.

Mass Customization leads to a reduction of the batch size, increases the number of production orders and that increases the total materials handling and controlling expense vastly.

**Keywords:**

Materials handling systems, changeable factory structures, mechatronic module, mechatronic interface, mass customization