

## **1. Zielsetzung der Arbeitsgruppe „Open Digital Factory“**

Die Durchführung von Simulationsprojekten im Bereich der Planung von Produktions- und Logistiksystemen stellt schon längst kein Novum mehr dar und ist insbesondere in der Automobilindustrie und deren Zulieferunternehmen ein fester Bestandteil des Gesamtplanungsprozesses. Allerdings haben solche Projekte eher einen einmaligen Charakter. Die Möglichkeiten, die die Simulation zur Unterstützung der laufenden Auftrags- und Produktionsplanung bietet, sind zum größten Teil noch ungenutzt. Die Gründe hierfür sind vielfältig. So wird z.B. sehr häufig der hohe Aufwand bei der Erstellung und Anpassung von Simulationsmodellen als Hindernis für einen permanenten Einsatz benannt. Hinzu kommt, dass die simulierten Produktionsanlagen und Logistiksysteme einer sehr großen Dynamik unterliegen. Diese wird zwar von Simulatoren berücksichtigt, ist aber auf ein vorab eingestelltes Verhalten innerhalb eines eingeschränkten Parameterfeldes begrenzt. Da jedoch die Parameter im realen Betrieb abhängig von den eingelasteten Aufträgen bedeutend größeren und nicht voraussehbaren Schwankungen unterliegen, ist es notwendig, die Möglichkeiten zur Anpassung des Simulationsmodells so zu gestalten, dass Mitarbeiter, die nicht in der Anwendung des Simulators geschult sind, neue Simulationsexperimente generieren und somit Ausweichszenarien erproben können.

Hinzu kommt, dass besonders in kleinen und mittelständischen Unternehmen (KMU) ein erhebliches Misstrauen gegenüber der Simulation und den damit ermittelten Ergebnissen besteht. Gerade in diesen Unternehmen wird daher die operative Planung für Aufträge häufig noch mit unzureichenden Mitteln durchgeführt und ist somit nicht effizient genug.

Zielsetzung der Arbeitsgruppe „Open Digital Factory“ (ODF) im Projekt Sim-Serv ist es, einen Weg zu finden, besonders für KMU das Konzept für ein effizientes Werkzeug zur Verfügung zu stellen, das eine erheblich verbesserte Auftrags- und Produktionsplanung ermöglicht. Dabei liegt der Fokus auf der Verknüpfung von Advanced Planning and Scheduling (APS)-Systemen mit Materialflusssimulatoren. In diesem Zusammenhang gilt es, Konzepte für Schnittstellen und Standards zu erarbeiten und zu definieren. Die grundlegende Ausrichtung der zukünftigen Entwicklungstätigkeiten und die erwarteten Vorteile einer solchen Kopplung sollen im Folgenden genauer erläutert werden.

## **2. Stand der Technik und Einordnung des Vorhabens**

Der Begriff Digitale Fabrik ist seit einiger Zeit ein viel verwendetes Schlagwort in Industrieunternehmen. Die in diesem Zusammenhang zu findenden Definitionen sind genauso vielfäl-

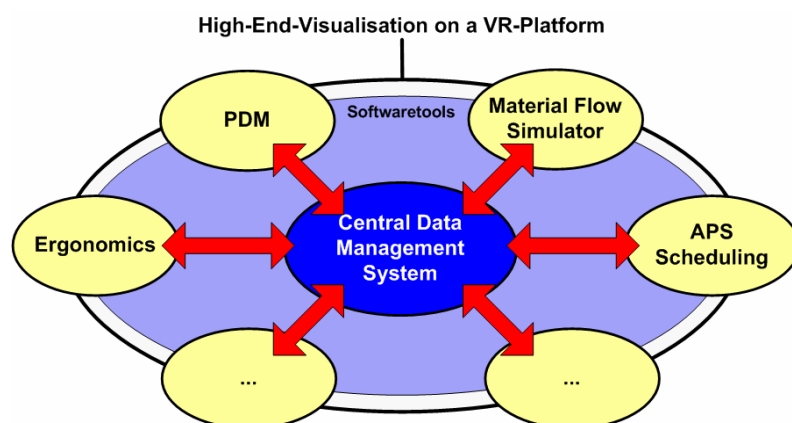
tig wie die Anforderungen, die an die Digitale Fabrik gestellt werden. Um eine Vereinheitlichung der speziellen Begriffswelt zu erzielen, ist seit ca. zwei Jahren ein Fachausschuss des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI) tätig, dessen Zielsetzung es ist, in absehbarer Zeit das Grundlagenblatt zur entstehenden Richtlinie 4499 zu erstellen. Derzeit wird in diesem Rahmen der Begriff Digitale Fabrik wie folgt definiert:

**„Die Digitale Fabrik ist der Oberbegriff für ein umfassendes Netzwerk von digitalen Modellen, Methoden und Werkzeugen – u. a. der Simulation und 3D/VR-Visualisierung –, die durch ein durchgängiges Datenmanagement integriert werden.**

**Ihr Ziel ist die ganzheitliche Planung, Evaluierung und laufende Verbesserung aller wesentlichen Prozesse und Ressourcen der Fabrik in Verbindung mit dem Produkt.“**

Die Entwicklungstätigkeiten zum Thema Digitale Fabrik sind im Moment noch sehr stark auf den Bereich der Planung von Fabriken, Produktionsanlagen, neuer Logistiksystem etc. fokussiert. Aus der obigen Definition geht jedoch deutlich hervor, dass zukünftig auch verstärkt der Betrieb von Produktionsanlagen und Fabriken mit Hilfe dieser digitalen Werkzeuge unterstützt werden soll.

Derzeit gibt es auf dem Markt zwei fortgeschrittene Konzepte der Firmen Delmia und Tecnomatix sowie einige Ansätze weiterer Unternehmen für die Digitale Fabrik. Ihnen liegt ein ähnliches Konzept zu Grunde. Eingebettet in das Produktspektrum des jeweiligen Softwarehauses handelt es sich dabei um integrierte Lösungen, die in ihrem Zentrum ein zentrales Datenmanagement-System vorsehen, über das die verschiedenen Softwaretools miteinander verknüpft sind. Auf diese Weise sollen alle Planungsergebnisse jederzeit und immer auf neuestem Stand den etwaigen Anwendern zur Verfügung stehen. Ein Virtual Reality-System bildet bei diesen Konzepten die Plattform zur High-End-Visualisierung der Planungsergebnisse, so dass eine fachübergreifende Kommunikation verschiedener Experten ungeachtet der unterschiedlichen Fachterminologien möglich ist [1]. Das folgende Bild 1 stellt den Entwurf einer Architektur der Digitalen Fabrik schematisch dar.



**Bild 1: Schematische Darstellung einer möglichen Architektur für die Digitale Fabrik**

Die Realität der Digitalen Fabrik ist allerdings noch weit von der hier skizzierten Lösung entfernt. Vielmehr gibt es bei der Umsetzung noch eine Vielzahl von ungelösten Problemen [2]. Unter anderem sind die in den Unternehmen vorhandenen Organisationsstrukturen und Prozesse nicht geeignet, die Zielsetzungen der Digitalen Fabrik zu verwirklichen. Hinzu kommt, dass die meisten Werkzeuge nur für eine einzige sehr spezielle Anwendung entwickelt wurden, was kennzeichnend für die derzeitige Softwarelandschaft im Umfeld der Digitalen Fabrik ist. In Folge dessen ergibt sich durch verschiedene Datenformate eine Schnittstellenproblematik, deren Lösung auf absehbare Zeit noch nicht gegeben ist. Besonders aber muss auf der Kostenseite die Frage gestellt werden, wie viel Digitale Fabrik eigentlich in einem Unternehmen notwendig ist. Die Antwort darauf wird immer von dem jeweiligen Unternehmen, dessen Produktspektrum, den Produktionsanlagen und –philosophien etc. abhängen und nicht allgemeingültig formuliert werden können [3].

Als grundsätzliche Lösung der beschriebenen Problematik gilt der Ansatz, die Softwarestrukturen so offen zu gestalten, dass jederzeit das Andocken eines anderen Werkzeuges oder die Implementierung einer unternehmensspezifischen Applikation möglich ist. Hierzu müssten aber große Teile von proprietären Programmcodes und Datenformaten frei zugänglich sein. Da sich aber nahezu alle Softwarehäuser gegen diese Lösung sperren würden, weil sie bei einer solchen Vorgehensweise einen Know-how-Verlust befürchten, wird es notwendig sein, das Zusammenspiel verschiedener Programme auf anderem Wege zu ermöglichen. Aus diesen Überlegungen heraus leitet sich der Begriff Open Digital Factory her. Der damit verbundene Ansatz soll über die Definition von Standards und Schnittstellen, ohne Festlegung auf spezifische Werkzeuge, das Zusammenführen und Verwenden verschiedener Planungsergebnisse ermöglichen, also über Umwege eine offene Struktur erzeugen. Da aber das Forschungsfeld für eine solche Betrachtung bei weitem zu groß ist, sollen die Untersuchungen der Arbeitsgruppe ODF nur einen Teilaspekt der Digitalen Fabrik berühren, der im Folgenden noch genauer erläutert wird.

Liegt der Schwerpunkt bei den Entwicklungsleistungen für die Digitale Fabrik derzeit noch auf dem Planungsprozess, so wird doch zukünftig die Steuerung und Planung der Aufträge und der Produktion von zunehmender Bedeutung sein. Auch die Betrachtung der gesamten Zulieferkette ist dabei nicht zu vernachlässigen. In diesem Zusammenhang setzen sich immer mehr APS-Systeme zur Planung des operativen Geschäftes und zur Koordination der Supply Chain in den Unternehmen durch. Dabei handelt es sich um eine Erweiterung der klassischen Enterprise Resource Planning-Systeme (ERP), die bei APS die Funktion eines Datenbackbone übernehmen. Auf diese Weise können heute die begrenzten Ressourcen und Engpässe in der Produktion im Planungsprozess berücksichtigt werden. Somit ist eine

simultane, engpassorientierte Planung der Funktionsbereiche Materialwirtschaft, Beschaffung, Produktion, Transport und Vertrieb möglich. Pläne die nur aus dem ERP stammen sind aufgrund der in den Algorithmen als unbegrenzt verfügbar angenommenen Ressourcen nicht in die Realität zu übersetzen [4].

Als Schwachpunkt stellt es sich allerdings dar, dass die derzeit am Markt verfügbaren APS-Systeme die im Rahmen der Supply Chain Configuration (SCC) getroffenen Entscheidungen über die Struktur- und Ressourcenkonfiguration von Supply Chains nur unzureichend unterstützen [5]. Die feineren Planungsalgorithmen des APS bedürfen daher eines besseren Verständnisses der Abläufe und des dynamischen Verhaltens des Gesamtsystems aus Produktion und Supply Chain. Um die entsprechenden Daten für das Engpassverhalten der Produktion zu erhalten oder auch nur das Gesamtsystem besser verstehen zu können, hat sich die Ablaufsimulation als sehr nützliches Werkzeug erwiesen [6].

Für die Erstellung eines Simulationsmodells ist noch immer das Fachwissen eines Experten notwendig. Bei der Durchführung einer Simulationsstudie wird allerdings ein Großteil der Zeit darauf verwendet, alle notwendigen Daten für die Parametrierung der Modelle zu ermitteln, aufzubereiten und in das Modell einzupflegen. Viele Simulatoren bieten heute schon Schnittstellen, die eine weitestgehend automatisierte Eingabe von neuen Parametern erlaubt [7]. Dadurch kann das Modell auch von Mitarbeitern genutzt werden, die keinerlei Erfahrungen bezüglich Simulationstechnik haben. Diese Tatsache eröffnet neue Möglichkeiten beim Einsatz der Simulation im operativen Betrieb von Fabriken und Anlagen. Wenn alle notwendigen Daten über ERP und APS zur Verfügung stehen und eine Parametrierung des Modells automatisch erfolgt, lassen sich Planungsergebnisse aus den Systemen sofort mit Hilfe der Simulation überprüfen. Hinzu kommt die Möglichkeit, bei Ausfällen von Anlagen und/oder Lieferengpässen von Zulieferern Notfallszenarien durch zu spielen und auf Basis der Simulationsergebnisse Entscheidungen für eine optimale Lösung zu treffen. Aus diesem Grunde soll die Erarbeitung der Grundlagen zur Verknüpfung von APS und Materialflusssimulation die Kernaufgabe der Arbeitsgruppe ODF sein. Die theoretische Architektur und den damit betrachteten Teilaspekt der Digitalen Fabrik stellt Bild 2 nochmals abschließend dar.

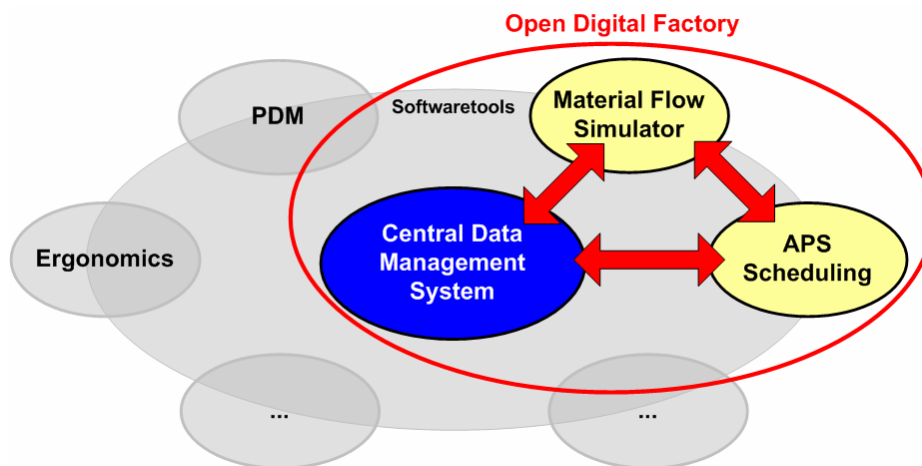


Bild 2: Betrachtungsbereich des Projektes Open Digital Factory

### 3. Konzept für die Kopplung von APS und Ablaufsimulation

Gleich der Vision der Digitalen Fabrik, wie sie derzeit besonders von der Automobilindustrie propagiert wird, basiert auch das Konzept der ODF auf einem zentralen Datenmanagement-System. Dadurch soll es in Zukunft möglich sein, auch hier eine schrittweise Erweiterung um andere Anwendungen vornehmen zu können. Die grundlegende Frage ist jedoch, welche Funktionen erforderlich sein werden, um das Konzept der ODF zu realisieren. Für den im Projekt betrachteten Teilaspekt der Digitalen Fabrik stellen sich die Anforderungen an den Materialflusssimulator demnach wie folgt dar:

Es muss möglich sein, Modelle weitestgehend automatisch zu generieren. Der Materialfluss muss von außerhalb gesteuert werden können. Damit kein Expertenwissen bei der Parametrierung des Modells notwendig ist, sollten benutzerfreundliche Bedienoberflächen geschaffen werden. Die Idee eine Art Cockpit bzw. einen Leitstand zu entwickeln, der mit einer ebensolchen Oberfläche ausgestattet ist, liegt somit nahe. Alle Daten müssen über eine Datenbank und entsprechende Schnittstellen problemlos übertragen werden können und die Auswertungen der Simulationsläufe weitestgehend automatisch in präsentationsfähigen Formaten erfolgen. Zusätzlich sollte es möglich sein, eine Interaktion des Simulators mit APS-Programmen wie zum Beispiel SAP APO, SimAL – Logomate, Inform und Precator auch während der Simulation zu erlauben. Die gemeinsame Datenhaltung sollte die entsprechenden Stammdaten, wie Produktionsspektrum und Artikeldaten sowie Maschinen-, Förderer-, Mitarbeiterdaten etc., zur Verfügung stellen. Zusammen mit Informationen über die Prozessabläufe lassen sich anhand dieser Daten dann Strategien erproben, die eine Optimierung der Materialflüsse, der Maschinenbelegung und der Auftragsverwaltung möglich machen und zusätzlich eine Kontrolle des laufenden Betriebes sowie den Abgleich mit der

Simulation erlauben. Für diese Zielsetzung gilt es, Schnittstellen, Standards und gegebenenfalls Übergabeformate für den Datentransfer zu entwickeln, die eine Kommunikation der verschiedenen Werkzeuge in einer Art „Telegrammstil“ erlauben.

#### 4. Vorteile durch die Kopplung APS und Ablaufsimulation

Um die Vorteile des beschriebenen Konzeptes der Arbeitsgruppe ODF zu verdeutlichen, soll an dieser Stelle ein kleines Beispiel erläutert werden. Dabei handelt es sich um eine Werkstattfertigung, deren Materialsfluss mittels Staplerverkehr umgesetzt wird. Der Materialfluss sei wie folgt definiert:

- Die Werkstücke werden bei Auftragsstart aus dem Lager ausgelagert und zur ersten Bearbeitungsstation transportiert.
- Nach Abschluss des ersten Bearbeitungsschritt wird das Werkstück entweder in einem Puffer zwischengespeichert oder wie nach Arbeitsplan festgelegt zur nächsten Bearbeitungsstation weitertransportiert.
- Nach dem letzten Bearbeitungsschritt wird das fertige Werkstück in den Versandt gebracht und dort, sofern genügend Kapazitäten und das entsprechende Verpackungsmaterial zur Verfügung stehen verpackt. Dann kann es gelagert oder sofern ein LKW zur Verfügung steht sofort versandt werden.

Bild 3 zeigt den Aufbau des Beispiels mit der innerbetrieblichen Vernetzung und der Einbindung der Kopplung in die Supply Chain.

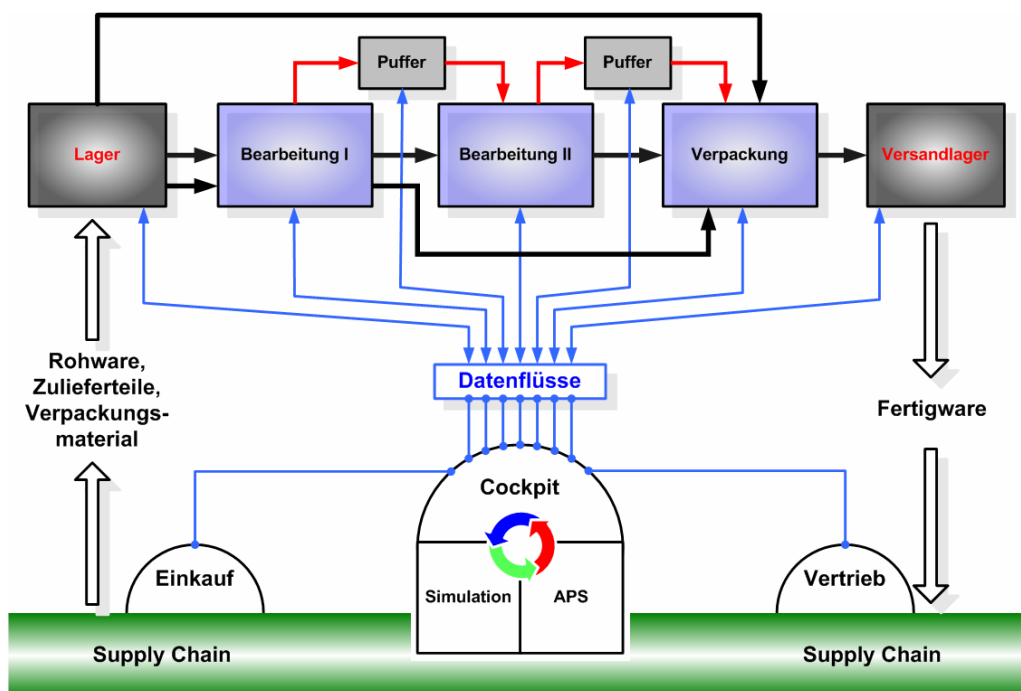


Bild 3: Schematische Darstellung der Kopplung

Dieser recht einfache Ablauf macht bereits deutlich, dass hier eine gewisse Anzahl von Handlungsalternativen existiert. Schon bei der Implementierung dieser Fertigung muss zunächst ein Verständnis für die spezifische Dynamik dieses Systems erzeugt werden. Dazu kann ein Simulationsmodell entwickelt und mit den Plandaten parametrisiert werden. Aus den ersten Simulationsexperimenten ergibt sich wiederum der notwendige Input um das APS mit grundlegenden Informationen über Verfügbarkeiten der Ressourcen, Engpässe etc. zu versorgen. Im weiteren Betrieb der Anlage steht das Simulationsmodell über die Kopplung sofort bereit, bei Unregelmäßigkeiten in der Produktion oder bei Störungen der Zulieferkette What-If-Szenarien zu generieren. Dazu müssen aber die Betriebsdaten permanent erfasst werden. Neben den elementaren Informationen, wann welcher Auftrag beginnen soll bzw. fertig gestellt worden ist, müssen die Informationen bezüglich ungeplanter Unterbrechungen und Transporte an das APS zurückgemeldet werden. Bei Ausbleiben einer Lieferung von Verpackungsmaterial oder dem Ausfall einer einzelnen Maschine beispielsweise, können sofort Notfallszenarien generiert und Handlungsalternativen gefunden werden, so dass ein Stillstand der Anlagen vermieden bzw. minimiert werden kann. Besonders unter dem Aspekt einer flexiblen Produktion kann ein gegebenenfalls modifiziertes Simulationsmodell neue Daten für die Algorithmen des APS bei einer Neukonfiguration von Anlagen oder einem einschneidenden Produktwechseln liefern. Nicht nur die reine Auftragsdisposition sondern auch die übergreifende Logistik wird somit in die Lage versetzt, nicht nur auf Auftragsebene ein Optimum zu finden und somit nachhaltig kurze Durchlaufzeiten zu erhalten, Bestände zu reduzieren und die Anlagenauslastungen zu maximieren, sondern zusätzlich auch die Auswirkungen auf den Materialfluss zu erkennen und aus der Rückkopplung Maßnahmen abzuleiten. Alle diese Möglichkeiten bedeuten einen eindeutigen Zeitvorteil und führen somit bei der Planung und im Betrieb zu erheblichen Kosteneinsparungen.

## **5. Besonderer Nutzen der ODF für KMU**

Am Beispiel der diskreten Ablauf- bzw. Materialflusssimulation lässt sich ein Szenario erläutern, wie es kennzeichnend ist für die softwaretechnische Situation in KMU. Auf dem europäischen Markt gibt es eine gewisse Anzahl von verfügbaren Materialflusssimulatoren, wie AutoMod, Arena, DOSIMSI-3, eMPlant, EnterpriseDynamics, Quest, SimPro und Witness. Werden die Kosten für Schulung und Hardware nicht beachtet, so muss für den Einsatz dieser Simulatoren mit Anschaffungskosten zwischen 5.000€ und 50.000€ gerechnet werden.

Sind diese Kosten für sich genommen schon ein Hindernis bei der Einführung von Simulationstools in KMU, so erweist sich das Fehlen des notwendigen Bedienungspersonals als nahezu unüberwindbare Hürde. Selbst wenn es gelingt, einen Mitarbeiter für diese Aufgabe abzustellen und auf der entsprechenden Software schulen zu lassen, ist der Mangel an Erfahrungen nicht auszugleichen und die Qualität der ersten Simulationsstudien in Frage zu stellen. Daher ist es fast unumgänglich, zusätzlich einen Simulationsexperten in das Projekt zu involvieren, was abermals zu weiteren Kosten führt. Wird nun noch der Aspekt hinzugezogen, dass Simulationsstudien häufig als einmalige Optimierungsprojekte in den Unternehmen durchgeführt werden, so wird deutlich, dass ein wirtschaftlicher Einsatz der Simulationssoftware nur dann möglich ist, wenn das Tool einer zusätzlichen Verwendung zugeführt werden kann.

Das einfache Beispiel der Materialflusssimulation macht deutlich, dass im Bezug auf kleine und mittelständische Firmen eine umfassende Integration aller planerischen und betrieblichen Softwaretools der Digitalen Fabrik nicht sinnvoll ist, da die komplette Digitalisierung bis hin zum Einsatz von VR-Werkzeugen derzeit mehr Vision als Realität ist und dies das Budget und die Personalverfügbarkeit dieser Unternehmen rigoros überschreitet. In Ermangelung eigener Planungsabteilungen und häufig unzureichender Werkzeuge zur Auftragsdisposition laufen diese Unternehmen Gefahr, den Anschluss an die Innovationen der Digitalen Fabrik zu verlieren. Dennoch erwachsen aus bestehenden Kunden-Zuliefererverhältnissen Zwänge, neue Werkzeuge für die Planung und Steuerung der Betriebe zur Anwendung zu bringen. In der Umsetzung könnte dies in Form eines „Cockpits“ bzw. eines Leitstandes erfolgen, der die beiden Applikationen Ablaufsimulation und APS miteinander verbindet.

Warum aber stellt nun die in der Arbeitsgruppe ODF entworfene Kopplung von APS und Ablaufsimulation besonders für KMU einen großen Vorteil da? Um diese Frage beantworten zu können, muss man sich die grundsätzlichen Bedingungen und Anforderungen an die Produktion in KMU bewusst machen. Häufig ist ein relativ großes Produktspektrum und/oder eine hohe Variantenvielfalt in kleinen und mittelständischen Unternehmen zu finden. In Verbindung mit kürzeren Produktlebenszyklen und den dadurch geringeren Produktionsstückzahlen sowie schwankenden Nachfragemengen besteht der Zwang, eine hohe Flexibilität der Produktion zu gewährleisten. Um nun nicht zu große Bestände anzuhäufen, kurze Durchlaufzeiten und hohe Maschinenauslastungen zu erhalten, ist eine angemessene Planung nötig, besonders, wenn Zulieferteile kostenintensiv sind und/oder lange Lieferzeiten haben. Auch für große Unternehmen können diese Aussagen übernommen werden. Allerdings haben solche Firmen zumeist ein anderes Produktportfolio, größere Stückzahlen und höher automatisierte verkettete Produktionsanlagen, die nur einen bestimmten Produktbereich ab-

decken. Hinzu kommt, dass Stückzahlvorteile direkt zu größeren Abnahmemengen bei Rohware und Zukaufteilen und somit zu günstigeren Einkaufspreisen und stabileren Zulieferbedingungen führen. Zudem können diese Firmen größere Bestände in Kauf nehmen, wenn die Notwendigkeit dazu besteht. Somit sind die Planungsprozesse für Produktion und Logistik bei KMU und großen Unternehmen kaum vergleichbar. Die aufgeführten Faktoren machen aber deutlich, dass ein Werkzeug, das in der Lage ist die notwendige Planung zu unterstützen und mit Simulation abgesicherte Ergebnisse zu liefern, einen wertvollen Beitrag zur Effizienzsteigerung besonders in KMU leisten kann.

Auf der Kostenseite muss aber immer noch mit einem gewissen Aufwand gerechnet werden. Allerdings sind die Investitionen für die zu koppelnden Werkzeuge lohnender, da sie eine permanente Unterstützung der Produktion erlauben und somit ständig zum Einsatz kommen. Hinzu kommt, dass das einmal in der Anwendung der Tools geschulte Personal auf Dauer eine Kompetenz im Umgang mit den Programmen entwickeln und somit der Einsatz von Experten sukzessive zurückgefahren werden kann. Wird also im Rahmen der Implementierung noch ein Simulationsexperte für die Modellierung benötigt, können spätere Modifikationen oder die Neuerstellung der Modelle von Mitarbeitern des Unternehmens selbst durchgeführt werden. Dieser Trainingseffekt ist nicht zu unterschätzen.

Abschließend seien die Ergebnisse der Arbeitsgruppe Open Digital Factory nochmals zusammengefasst. Das oben beschriebene Konzept liefert der Zielanwendungsgruppe KMU sowohl schnelle und greifbare Ergebnisse, Optimierungspotentiale und Vorteile bei der Planung bzw. Restrukturierung von Produktionssystemen als auch eine höhere Produktivität im operativen Betrieb. Trotz der Potenziale, die die Ansätze der ODF in diesem Projekt ausweisen, sind zum Abschluss noch ein paar kritische Anmerkungen zu dem Konzept zu geben. Generell ist die Implementierung eines APS wegen der für das Unternehmen anwendungsspezifisch notwendigen Änderungen deutlich teurer als der Kauf eines Materialflusssimulators. So beginnen die Preise für APS-Systeme bei ca. 15.000€ und ein Budget für die Anpassungen muss zusätzlich vorgesehen werden. Allerdings muss nochmals deutlich herausgestellt werden, dass in Zukunft auch der Einsatz von APS verstärkt in KMU notwendig sein wird, da steigende Variantenvielfalt und sinkende Stückzahlen erhöhte Ansprüche an die Flexibilität der Produktion stellen und eine detaillierte Planung der Abläufe und Fertigungsaufträge zwingend notwendig machen wird. In diesem Sinne stellt das Konzept der ODF einen zielführenden Ansatz für die Umsetzung von Teilaspekten der Vision „Digitale Fabrik“ für kleine und mittelständische Unternehmen dar.

## Quellenverzeichnis

- [1] Bracht, U.; Masurat, T.: „Modernes Planungsvorgehen mit Werkzeugen der Digitalen Fabrik“, Tagungsband „Digitale Fabrik- Potenziale für kleine und mittlere Unternehmen“, 14.-15.03.2002, Kongresszentrum Erfurt, 2002
- [2] Bracht, U. und Masurat, T.: „The Digital Factory between Vision and Reality“, Computers in Industry, Elsevier, Special Issue „Digital Factory“ 2004
- [3] N.N., „Produktionsplanungssysteme: Was Automatisierer über APS wissen müssen“, SPS Magazin 7 2003, TeDo-Verlag
- [4] Bracht, U. und Masurat, T., 2002, „Die vergessenen Fabriken“, wt-online (2002) 4, 154-158
- [5] Pibernik, R., „Dynamische Supply Chain Configuration mit Advanced Planning Systems“, Tagungsband „Quantitative Methoden in ERP und SCM“, Uni Duisburg, 10.03.2004
- [6] [http://www.tecnomatix.de/downloads/Pressespiegel\\_Kooperationsfähigkeit\\_wird\\_gross\\_geschrieben\\_Feb\\_03.pdf](http://www.tecnomatix.de/downloads/Pressespiegel_Kooperationsfähigkeit_wird_gross_geschrieben_Feb_03.pdf), Februar 2003
- [7] Masurat, T., Schwarzer, S. und Bethke, M., „Interne Impulse zur Optimierung finden – Betriebsbegleitende Simulation von indirekten Bereichen zum Aufzeigen der Notwendigkeit zur organisatorischen Anpassung“, Industrie Management 3, 2004