

# Autonome und Kooperative Produktionssysteme

## Autonomous and Cooperative Manufacturing Systems

Stefan Bussmann  
Forschung und Technologie  
Daimler-Benz AG

**Zusammenfassung.** Veränderte Rahmenbedingungen führen zu einem Paradigmenwechsel in der Produktionssteuerung. Zukünftige Produktionssysteme müssen mehr Flexibilität, mehr Robustheit und eine höhere Wiederverwendbarkeit aufweisen. Agentenorientierte Techniken bieten einen neuartigen Steuerungsansatz, der mittels Autonomie und Kooperation zu flexibleren und robusteren Produktionssystemen führt. Dieser Beitrag beleuchtet die Vorteile und die Grenzen des agentenorientierten Steuerungsansatzes.

**Abstract.** The new manufacturing conditions will change manufacturing control fundamentally. Future manufacturing systems must provide more flexibility, more robustness, and a much higher re-use rate. Agent-oriented techniques offer a new approach to manufacturing control based on concepts like autonomy and cooperation that leads to flexible and robust manufacturing systems. This contribution looks at the advantages and the limits of the agent-oriented approach.

### 1 Einleitung

Die Planung und Steuerung von Produktionsprozessen gehört auf den ersten Blick sicherlich nicht zu den typischen Anwendungsfeldern agentenorientierter Techniken. Zum einen sind die Einheiten eines Produktionssystems nur bedingt autonom, da alle Einheiten die übergeordneten Produktionsziele des Unternehmens verfolgen sollen [3]. Zum anderen sind Produktionssysteme geschlossene Systeme, die auch nur von einer begrenzten Anzahl von Personen entwickelt und genutzt werden. Trotzdem ist der Einsatz von agentenorientierten Techniken bei den Anwendern in der Produktion auf ein großes Interesse gestoßen. Der Grund liegt schlichtweg darin, daß Konzepte wie Autonomie und Kooperation dringend benötigt werden, um die neuen Herausforderungen in der Produktion meistern zu können. Das Produktionsumfeld wird zunehmend komplexer und dynamischer, so daß herkömmliche Verfahren nicht mehr

ausreichend sind. Die Entwicklungen in der Produktion führen letztlich zu einem Paradigmenwechsel in der Ablaufsteuerung, dessen Ergebnis *autonome und kooperative Produktionssysteme* sein werden.

Dieser Artikel zeigt das Anwendungspotential agentenorientierter Techniken in der Produktionssteuerung auf. Zuerst werden in Abschnitt 2 die aktuellen Trends in der Produktion diskutiert und die wesentlichen Herausforderungen für die Produktionssteuerung abgeleitet. Abschnitt 3 stellt die Grundideen des agentenorientierten Steuerungsansatzes vor und erläutert wie autonome und kooperative Produktionssysteme entworfen werden. Des Weiteren wird der Abschnitt sowohl die Vorteile als auch die Grenzen des agentenorientierten Ansatzes eingehen. Diese Grenzen werden durch den holonischen Ansatz aufgehoben, dem allerdings die informationstechnische Basis fehlt. Abschnitt 4 beschreibt die Vision holonischer Produktionssysteme und diskutiert, wie der holonische und der agentenorientierte Ansatz gewinnbringend kombiniert werden können.

## **2 Trends in der Produktion**

Der andauernde Wechsel vom Verkäufer- zum Käufermarkt wird langfristig die Rahmenbedingungen für die industrielle Produktion grundlegend verändern. Die weltweit wachsenden Überkapazitäten, die Öffnung der nationalen Märkte sowie die steigenden Entwicklungskosten verschärfen den Wettbewerb zwischen den Anbietern und machen somit die Befriedigung der Kundenwünsche zum entscheidenden Erfolgsfaktor. Die optimale Befriedigung der Kundenwünsche erfordert allerdings u.a. kürzere Produktlebenszyklen, konstante Produktinnovation, Produktindividualisierung zu niedrigen Preisen (mass-customization), hohes Preis-Leistungsverhältnis und eine schnellere Reaktion auf schwankende Nachfrage.

Für die Produktion ergeben sich aus den veränderten Rahmenbedingungen neue Herausforderungen, die mit den bewährten Methoden nicht mehr zu meistern sind. Zu diesen Herausforderungen zählen kürzere Einführungszeiten für neue Produkte und Technologien; eine steigende Variantenzahl bei hoher Stückzahl; eine flexiblere Nutzung und Skalierung von Kapazitäten; die Reduzierung der Produktionskosten durch Wiederverwendung von Anlagen; und schließlich die Erhöhung der Anlagenproduktivität durch Reduzierung von Störungen. Die genannten Herausforderungen lassen sich im wesentlichen auf folgende Trends reduzieren:

- *mehr Flexibilität*
- *mehr Robustheit*

- *höhere Wiederverwendung*

Nur Unternehmen, die die genannten Herausforderungen bei steigender Stückzahl und sinkenden Kosten meistern können, werden sich langfristig auf den Märkten behaupten.

Die Forderung nach mehr Flexibilität und höherer Wiederverwendung ist nicht mit dem CIM-Gedanken gleichzusetzen. Nicht grenzenlose, sondern gezielte Flexibilität und Wiederverwendung wird gefordert. Ein Werk, das Fahrzeugkarossen herstellt, wird nicht auf denselben Anlagen Waschmaschinen produzieren. Von jedem Karosseriewerk wird man jedoch in Zukunft erwarten, daß es schnell und wirtschaftlich zwischen aktuellen Karosserietypen wechseln kann. Entsprechend sollen Anlagen nicht für beliebige, sondern nur für ähnliche Produkte wiederverwendbar sein. Darüber hinaus wird im Gegensatz zum CIM-Gedanken keine vollständige Automatisierung angestrebt. Bei größeren Produktumstellungen ist es ausreichend, wenn nach einem physischen Anlagenumbau der Wiederanlauf mit geringem manuellen Aufwand gelingt. Eine vollständige Automatisierung des Wiederanlaufs ist in der Regel nicht wirtschaftlich.

Die veränderten Rahmenbedingungen erfordern also eine gezielte Erhöhung und Automatisierung von Flexibilität, Robustheit und Wiederverwendung in der Produktion. Solche Forderungen lassen sich jedoch mit existierenden Ansätzen nicht mehr erfüllen.

### **3 Agentenorientierter Steuerungsansatz**

Die Steuerung existierender Produktionssysteme ist meistens stark planorientiert: Zuerst wird der Produktionsprozeß im Detail geplant, dann werden die einzelnen Schritte ausgeführt. Die strikte Trennung von Planung und Ausführung führt jedoch zu einer ständigen Diskrepanz zwischen Soll und Ist. Aufgrund der äußeren Einflüsse und Störungen arbeitet die Produktion selten wie geplant. Selbst bei einer rollierenden Planung kommt die Rückmeldung in der Regel zu spät, so daß die Planung ständig versucht, die Abweichungen zu korrigieren. Die Planorientierung findet ihre Entsprechung in einer hierarchischen Steuerungsorganisation (vgl. Abb. 1). Ausgehend vom Gesamtplan werden die geplanten Arbeitsschritte über die einzelnen Ebenen der Hierarchie an die ausführenden Produktionsbereiche verteilt. Eine Anpassung des Plans erfolgt nur im Rahmen der lokalen Sicht einer Hierarchie-Einheit. Der planorientierte Steuerungsansatz ist damit in starren und störanfälligen Strukturen zementiert.

Agentenorientierte Techniken (AOT) hingegen bieten einen neuartigen Steuerungsansatz, der zu einer flexiblen und robusten Produktionssteuerung führt. Grundsätzlich bleibt zwar eine gewisse Vorplanung dort erhalten, wo sie für die Vorbereitung des Produktionsprozesses notwendig ist, z.B. bei der Bedarfs- und

Ressourcenplanung. Die eigentliche Prozeßplanung wird jedoch dezentralisiert und mit der Ausführung und der Prozeßüberwachung in einzelnen autonomen Einheiten zusammengefaßt. Die Hierarchie bleibt ebenfalls als Ordnungsstruktur erhalten, dient jetzt aber nur noch der Zieldekomposition und der übergreifenden Koordination des Produktionsprozesses (vgl. Abb. 2). Das Ergebnis dieses agentenorientierten Steuerungsansatzes ist ein *autonomes und kooperatives Steuerungssystem*.

Ähnliche Konzepte zur dezentralen Steuerung des Produktionsprozesses mittels Zielen wurden bereits mit der Fraktalen Fabrik für die unternehmensweite Organisation propagiert [14]. Doch jetzt erst ist mit den agentenorientierten Techniken die Informationstechnologie verfügbar, diese Konzepte auch in der Produktionssteuerung entsprechend umzusetzen.

### **3.1 Struktureller Aufbau der Steuerung**

Der erste Schritt bei der Konzeption einer autonomen und kooperativen Produktionssteuerung ist die Zuordnung eines Agenten zu jeder physischen Produktionseinheit. Dieser Agent, im folgenden Basisagent genannt, verfügt über das lokale Wissen der Einheit und steuert die Produktionsabläufe in dieser Einheit. In [2] zum Beispiel wurde ein Karosseriebau- und Montagewerk mit Hilfe von agentenorientierten Techniken modelliert. Jeder Produktionslinie wurde ein Agent zugeordnet, der den Produktionsprozeß in dieser Linie steuert, überwacht und optimiert. Autonom plant und kontrolliert dieser Agent die Abläufe in seiner Produktionslinie.

Die Basisagenten werden wie Produktionsmittel zu Gruppen zusammengefaßt und einem Agenten zugeordnet. Dieser Agent, im folgenden Bereichsagent genannt, koordiniert die Zielvorgabe und die Interaktionen mit anderen Bereichen, während die Basisagenten weiterhin über die Produktionsmittel in ihrem Einzugsbereich verfügen. Die Basisagenten verlieren also aufgrund der Aggregation nicht ihre Autonomie, zeigen aber eine hohe Bereitschaft, gemeinsam die Ziele des Bereichs zu erreichen. In diesem Sinne sind die Basisagenten *semi-autonom*. Die Aggregation wird fortgesetzt, bis das gesamte Produktionssystem in einer Hierarchie von Agenten abgebildet ist.

Das Ergebnis des ersten Konzeptionsschrittes ist also der strukturelle Aufbau des agentenbasierten Steuerungssystems. Der Aufbau beinhaltet die Identifikation der notwendigen Agenten und ihrer strukturellen Beziehungen untereinander.

### **3.2 Steuerung des Produktionsprozesses**

Der zweite Schritt bei der Konzeption einer autonomen und kooperativen Produktionssteuerung ist die Festlegung der Steuerungsverfahren. Diese Verfahren müssen drei grundsätzliche Aufgaben erfüllen: 1. Die Produktionsziele bzw. die sich aus

den Zielen ergebenden Aufgaben werden auf die Basisagenten verteilt; 2. die Basisagenten steuern ihre Einheit entsprechend der Ziele bzw. Aufgaben; und 3. die Agenten koordinieren die Ausführung der Aufgaben und passen die Vorgaben entsprechend der Situation und der vorgegebenen Ziele an.

Die Zieldekomposition und Aufgabenverteilung erfolgt in der Regel über Ausschreibungsmechanismen. Ein klassisches Ausschreibungsverfahren wurde in [13] vorgeschlagen und in [12] auf die Fertigungssteuerung angewendet. In diesem Verfahren werden Unterziele bzw. abgeleitete Aufgaben von einem Bereichsagenten spezifiziert und den zugeordneten Agenten bekanntgemacht. Die Agenten antworten mit Angeboten und der Agent, der das beste Angebot (aus Sicht des Bereichsagenten) gemacht hat, wird mit der Ausführung beauftragt (vgl. Abb. 3). Idealerweise ist die Zieldekomposition vollständig. In manchen Fällen ist es jedoch notwendig, daß bestimmte Aufgaben von den Bereichsagenten übernommen werden, um globale Aspekte der Produktionsziele sicherzustellen. Beispiele für zentral zu lösende Aufgaben sind in [1,4] zu finden.

Für die Ausführung der Aufgaben verwenden die Basisagenten herkömmliche, für die jeweilige Aufgabenstellung entwickelte Steuerungs- und Optimierungsverfahren. Während der Ausführung wird jedoch der Ablauf überwacht und die Steuerungsstrategie bei sich verändernden Prozeßbedingungen entsprechend angepaßt. Entsprechende Agentenarchitekturen, die eine konstante Überwachung und Anpassung des Agentenverhaltens erlauben, wurden bereits in [11] umfassend vorgestellt.

Aufgrund der starken Dezentralisierung von Planungs- und Steuerungsaufgaben beschränken sich die Interaktionen zwischen den Agenten auf einer Ebene im wesentlichen auf den Materialaustausch. Bei Ankunft des Materials veranlaßt der Basisagent die erforderliche Behandlung in seinem Einzugsbereich. Entsprechend verursacht das Material eine Aufgabenverteilung durch einen Bereichsagenten, wenn es in seinen Bereich eintritt. Diese Form des *Late commitment* reduziert den Bedarf an Umplanung erheblich, da Entscheidungen erst dann gefällt werden, wenn sie zwingend notwendig sind. In verschiedenen Fällen müssen Entscheidungen jedoch vor Ankunft des Materials gefällt werden. Insbesondere bei Montageprozessen ist eine vorzeitige Veranlassung von Materialfluß-Strömen erforderlich, damit diese am Ende des Produktionsprozesses montiert werden können. Dazu muß der Verlauf des Materials durch die Produktion so koordiniert werden, daß das Material zur gleichen Zeit am gleichen Ort zusammenfließt. Ein erster Ansatz zur dezentralen Planung von Arbeitsgängen wurde in [7] vorgestellt.

Die Steuerung des Produktionsprozesses basiert also auf folgenden Prinzipien: Zum

einen wird die Steuerung *so dezentral wie möglich und nur so zentral wie nötig* ausgeführt. Die Verteilung der einzelnen Aufgaben erfolgt dabei durch Ausschreibung, eine spezielle Form der Koordination. Zum anderen wird die Ausführung der Aufgaben *so spät wie möglich und nur so früh wie nötig* geplant. Lediglich Aufgaben, die die Zusammenarbeit mehrerer Bereiche erfordern, werden mit anderen Agenten abgestimmt.

### **3.3 Vorteile und Grenzen des Ansatzes**

Die Vorteile des agentenorientierten Steuerungsansatzes liegen zum einen in der modularen und strukturtreuen Abbildung des Produktionsprozesses und zum anderen in der Zusammenfassung von Planung und Ausführung begründet.

Die strukturtreue Abbildung der Produktionseinheiten durch Basisagenten erhöht die Korrespondenz von Steuerungs- und Produktionssystem und fördert sowohl die Transparenz des Steuerungsprozesses als auch die Übereinstimmung von Planung und Realität. Gleichmaßen wird die Komplexität des Steuerungsprozesses durch die modularen Einheiten und die zum Produktionssystem korrespondierende Steuerungsstruktur beherrschbar gemacht.

Die Zusammenfassung von Planung und Ausführung in autonomen Einheiten sichert die Flexibilität und Robustheit des Produktionssystems. Aufgrund des Late commitments entscheiden die Agenten erst zum letztmöglichen Zeitpunkt über die nächsten Schritte und können so die aktuelle Situation im Produktionsprozeß in die Entscheidung einbeziehen. Des weiteren werden aufgrund der Autonomie die Abhängigkeiten zwischen den Einheiten auf ein Minimum beschränkt und eine Abstimmung erfolgt nur dort, wo sie unbedingt notwendig ist. Veränderungen und Störungen verlieren somit an Einfluß, da sie zum alltäglichen Ablauf gehören.

Dem agentenorientierten Steuerungsansatz sind jedoch auch Grenzen gesetzt. Flexibilität setzt Entscheidungsalternativen voraus. Alternativen bestehen jedoch nur dort, wo entweder Ressourcen mit überlappenden Fähigkeiten oder parallele Transportwege vorhanden sind. Des weiteren ist Wandelbarkeit von Steuerungen zwar erforderlich, aber nur dann nutzbar, wenn die Mechanik in gleicher Weise wandelbar ist. Eine Maschine ist zum Beispiel nur dann wirklich wandelbar, wenn die Spannvorrichtung bei gleichbleibender Genauigkeit an unterschiedliche Werkstücke angepaßt werden kann. Die Grenzen des agentenorientierten Steuerungsansatzes sind also durch die Mechanik und den physischen Aufbau des Produktionssystems gesetzt. Das Potential agentenorientierter Techniken wird erst dann voll ausgeschöpft, wenn die Mechanik in die Überlegungen einbezogen wird. Genau dies ist der Ansatz Holonischer Produktionssysteme.

## **4 Holonic Manufacturing Systems**

Holonische Produktionssysteme, im Englischen als Holonic Manufacturing Systems (HMS) bezeichnet, wurden bereits Anfang der 90er Jahre als neues Paradigma für die Produktion vorgeschlagen und haben seit dem sehr große Beachtung sowohl im universitären als auch im industriellen Bereich erhalten. Die Grundidee holonischer Systeme stammt von dem Philosophen Arthur Koestler, der dieses Konzept entwickelte, um biologische und soziale Systeme zu beschreiben [10]. Auf der einen Seite entwickeln diese Systeme während der Evolution stabile Zwischenzustände, die autark sind. Auf der anderen Seite ist es in lebenden oder sozialen Systemen schwierig, einen Bestandteil als Ganzes oder als Teil zu identifizieren: Beinahe alles ist Ganzes und Teil zugleich. Aufgrund dieser Beobachtungen schlug Koestler den Begriff "Holon" vor, welcher sich aus dem griechischen Wort "Holos", d.h. Ganzem, und dem griechischen Suffix "-on", d.h. Teil, zusammensetzt.

Die Übertragung des holonischen Konzeptes auf die Produktion wurde ursprünglich durch die Defizite existierender Produktionssysteme motiviert, die sich auf zwei Kernpunkte reduzieren [8]: Erstens, die Evolution der zu fertigenden Produkte wird durch die existierende Produktionsinfrastruktur nur unzureichend unterstützt. Zweitens, existierende Produktionssysteme erreichen keine ausreichende Produktivität außerhalb normaler Produktionsbedingungen. Diese Defizite sind hauptsächlich durch eine zentrale und hierarchische Steuerung verursacht, die zu einem starren Kommunikations- und Befehlsfluß führt. Hinsichtlich der CIM-Systeme wurde hervorgehoben, daß diese inflexibel, instabil und schwierig zu warten sind und somit zu keiner Verbesserung existierender Systeme führen. Holonische Systeme versuchen die obengenannten Defizite mit Hilfe von Autonomie, Kooperation und Selbstorganisation zu beseitigen.

### **4.1 HMS Vision**

Ein holonisches Produktionssystem besteht aus autonomen und autarken Produktionseinheiten, die Holone genannt werden. Jede Einheit des Produktionsprozesses, wie z.B. eine Maschine, ein Transporter, aber auch ein Auftrag kann ein Holon sein, solange es in der Lage ist, sein Verhalten autonom zu steuern [6]. Im Gegensatz zu einem Agenten umfaßt ein Holon sowohl den informationstechnischen als auch den mechanischen Teil der Produktionseinheit (sofern ein mechanischer Teil vorhanden ist). HMS bezieht also auch die Mechanik des Produktionssystems in die Strukturierung ein.

Holone kooperieren mit anderen Holonen während des Produktionsprozesses, um die übergeordneten Ziele des Produktionsunternehmens zu erreichen. Die

Kooperationsformen sind identisch zu denen der agentenorientierten Techniken und entwickeln sich entlang des Material- und Informationsflusses. Im Gegensatz zum agentenorientierten Steuerungsansatz wird aber im holonischen Ansatz der Mensch explizit in den Produktionsablauf einbezogen. Arbeiter, Meister usw. werden als Bestandteil des holonischen Produktionssystems gesehen. Christensen [6] schlägt aus diesem Grund drei Schnittstellen für ein Holon vor: eine mechanische Schnittstelle, eine Schnittstelle für die Kommunikation mit anderen Holonen und eine Interaktionsschnittstelle für menschliche Arbeitskräfte (vgl. Abb. 4).

Ein System von Holonen, welches sich als Ganzes wiederum autonom und kooperativ verhalten kann, wird als Holarchie bezeichnet [6]. Holarchien sind somit rekursiv in dem Sinne, daß ein Holon wiederum aus mehreren Holonen bestehen kann. Diese Struktur kann jedoch im Gegensatz zu starren Hierarchien von den Holonen jeder Zeit verändert werden. Darüber hinaus kann ein Holon in mehreren Holarchien enthalten sein. Das Konzept der Holarchie erlaubt somit die Selbstorganisation des Produktionssystems.

Die holonische Vision wird zur Zeit im Rahmen des internationalen Projekts *Holonics Manufacturing Systems* [9] verfolgt, welches wiederum Teil des internationalen Forschungsrahmens *Intelligent Manufacturing Systems* (IMS) ist. An dem internationalen Projekt HMS sind akademische und industrielle Forschungseinrichtungen aus den Regionen Australien, Kanada, Europa, Japan und den USA beteiligt. Das Ziel dieses Projekts ist die Entwicklung einer generischen holonischen Produktionstechnologie und der Nachweis von Machbarkeit und Potential der Technologie an Hand verschiedener industrieller Anwendungen.

#### **4.2 HMS versus AOT**

Holonics Manufacturing Systems und agentenorientierte Techniken sind offensichtlich ähnliche Steuerungsansätze, da beide autonome und kooperative Produktionssysteme anstreben. Bezüglich der Komponenten (Holone vs. Agenten) und der Organisationsstruktur (Holarchie vs. Hierarchie) gibt es jedoch verschiedene, nicht notwendigerweise unverträgliche, aber zumindest keine identischen Ansichten. Insbesondere geht HMS aufgrund der Einbeziehung der Mechanik und des Menschen klar über den agentenorientierten Steuerungsansatz hinaus. Es stellt sich folglich die Frage, ob HMS den agentenorientierten Steuerungsansatz subsumiert oder ob eine Kombination beider Ansätze den erwarteten Nutzen für den Endanwender erhöht.

Die Vision von HMS, motiviert durch die Defizite existierender Produktionssysteme, beschreibt wie der Produktionsprozeß organisiert und gesteuert werden sollte. Die Vision konzentriert sich dabei zum einen auf die grundlegende Organisation des Produktionssystems (Holone/Holarchie) und zum anderen auf die Integration von

Mechanik, Steuerung und Menschen. Bislang gibt es jedoch nur wenige Grundlagenarbeiten, die die Realisierung von Holonischen Systemen beschreiben.

AOT hingegen sind eine allgemeine Software-Technologie für den Entwurf und die Realisierung autonomer und kooperativer Systeme. Die Technologie bietet Konzepte wie Autonomie, Koordination, Verhandlung oder Gruppenbildung an und stellt die entsprechenden Techniken und Algorithmen bereit. Der agentenorientierte Steuerungsansatz wendet diese Konzepte und Techniken auf die Produktionssteuerung an. Der resultierende Aufbau des Steuerungssystems ist weitgehend kompatibel mit dem holonischen Aufbau. Der holonische Ansatz geht lediglich einen Schritt weiter, indem Holarchien, d.h. flexible und multiple Hierarchien gebildet werden, was jedoch nicht im Widerspruch zu AOT steht. Auf der anderen Seite bietet der agentenorientierte Steuerungsansatz die erforderlichen Kooperationstechniken für die Steuerung des Produktionsprozesses. Sowohl für die Aufgabenverteilung als auch für die Koordination von Kapazitätsauslastung und Materialfluß kann auf entsprechende agentenorientierte Algorithmen zurückgegriffen werden.

Der Vergleich von HMS und AOT zeigt also, daß beide Ansätze komplementäre Sichtweisen auf dieselbe Vision haben. HMS betrachtet den gesamten Produktionsprozeß einschließlich Mechanik, Steuerung und Menschen, während sich der agentenorientierte Steuerungsansatz auf die Informationsverarbeitung in der Steuerung konzentriert (vgl. Abb. 5). Beide Ansätze können sich folglich bei der Realisierung eines durchgängigen autonomen und kooperativen Produktionssystems ergänzen. Insbesondere können agentenorientierte Techniken, wie in Abschnitt 3 beschrieben, den Entwurf und die Realisierung der Informationsverarbeitung in einem holonischen Produktionssystem entscheidend unterstützen (vgl. [5]).

## **5 Zusammenfassung**

Die Produktionssteuerung bietet ein großes Anwendungspotential für agentenorientierte Techniken. Konzepte wie Autonomie und Kooperation ermöglichen die Entwicklung von Produktionssystemen, die flexibel, robust und wiederverwendbar sind. Das Potential dieser Konzepte kann jedoch erst dann voll ausgeschöpft werden, wenn diese Konzepte auch auf die Mechanik angewendet werden. Die holonische Vision beinhaltet diese Erweiterung und bildet folglich den geeigneten Rahmen für den Einsatz agentenorientierter Techniken in der Produktion. Agentenorientierte Techniken in Verbindung mit der holonischen Vision werden somit zum entscheidenden Technologie-Lieferant für die nächste Generation der Produktionssysteme.

## Referenzen

- [1] *Baumgärtel, H., Bussmann, S., Klosterberg, M.:* Combining Multi-Agent Systems and Constraint Techniques in Production Logistics. In: Proc. of the 6th Annual Conf. on AI, Simulation and Planning in High Autonomy Systems, La Jolla, Ca, USA, 1996, pp. 361 - 367.
- [2] *Baumgärtel, H., Bussmann, S., Klosterberg, M.:* Multi-Agent Coordination of Material Flow in a Car Plant. In: Proc. of the 2nd Conf. on Practical Applications of Intelligent Agents and Multi-Agent Technology (PAAM'97), London, UK, 1997, pp. 227 - 236.
- [3] *Burkhard, H.-D.:* Einführung in die Agenten-Technologie. In diesem Heft.
- [4] *Bussmann, S.:* A Multi-Agent Approach to Dynamic, Adaptive Scheduling of Material Flow. In: J.W. Perram, J.-P. Müller (eds.): Distributed Software Agents and Applications (MAAMAW'94), LNAI 1069, Springer-Verlag, Berlin, Germany, 1996, pp. 191 - 205.
- [5] *Bussmann, S.:* An Agent-Oriented Architecture for Holonic Manufacturing Control. In: Proc. of 1st Open Workshop IMS Europe, Lausanne, Switzerland, 1998.
- [6] *Christensen, J.:* Holonic Manufacturing Systems: Initial Architecture and Standards Directions. In: Proc. of 1st European Conf. on Holonic Manufacturing Systems. European HMS Consortium, Hannover, Germany, 1994.
- [7] *Hahndel, S., Fuchs, F., Levi, P.:* Distributed Negotiation-Based Task Planning for a Flexible Manufacturing Environment. In: J.W. Perram, J.-P. Müller (eds.): Distributed Software Agents and Applications (MAAMAW'94), LNAI 1069, Springer-Verlag, Berlin, Germany, 1996, pp. 179 - 190.
- [8] HMS Press Release, Revision 3.6, HMS Server. In [9].
- [9] Holonic Manufacturing Systems Consortium. <<http://hms.ifw.uni-hannover.de/hms/hms.html>>.
- [10] *Koestler, A.:* The Ghost in the Machine. Arkana Books, 1989.
- [11] *Müller, J.:* Kontrollarchitekturen für autonome, kooperierende Agenten. In diesem Heft.
- [12] *Parunak, H.V.D., Irish, B.W., Kindrick, J., Lozo, P.W.:* Fractal Actors for Distributed Manufacturing Control. In: Proc. of the 2nd Conf. on AI Applications (CAIA'85), Miami, USA, 1985, pp. 653 - 660.
- [13] *Smith, R.G.:* The Contract Net Protocol: High-Level Communication and Control in a Distributed Problem Solver. IEEE Transactions on Computers, C-29(12), Dec. 1980, pp. 1104 - 1113.
- [14] *Warnecke, H.-J.:* Die Fraktale Fabrik. Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg, 1992.

Titel:  
itti1.fig  
Erstellt von:  
fig2dev Version 3.1 Patchlevel 2  
Vorschau:  
Diese EPS-Grafik wurde nicht gespeichert  
mit einer enthaltenen Vorschau.  
Kommentar:  
Diese EPS-Grafik wird an einen  
PostScript-Drucker gedruckt, aber nicht  
an andere Druckertypen.

Abbildung 1: Klassischer Steuerungsansatz

Titel:  
itti2.fig  
Erstellt von:  
fig2dev Version 3.1 Patchlevel 2  
Vorschau:  
Diese EPS-Grafik wurde nicht gespeichert  
mit einer enthaltenen Vorschau.  
Kommentar:  
Diese EPS-Grafik wird an einen  
PostScript-Drucker gedruckt, aber nicht  
an andere Druckertypen.

Abbildung 2: Agentenorientierter Steuerungsansatz

Titel:  
itti3.fig  
Erstellt von:  
fig2dev Version 3.1 Patchlevel 2  
Vorschau:  
Diese EPS-Grafik wurde nicht gespeichert  
mit einer enthaltenen Vorschau.

Abbildung 3: Ausschreibung von Zielen und Aufgaben [12]

Titel:  
itti4.fig  
Erstellt von:  
fig2dev Version 3.1 Patchlevel 2  
Vorschau:  
Diese EPS-Grafik wurde nicht gespeichert  
mit einer enthaltenen Vorschau.  
Kommentar:  
Diese EPS-Grafik wird an einen  
PostScript-Drucker gedruckt, aber nicht  
an andere Druckertypen.

Abbildung 4: Architektur eines Holons

```
Title: itti5.fig  
Creator: fig2dev Version 3.1 Patchlevel 2  
CreationDate: Thu Mar 26 20:53:31 1998
```

Abbildung 5: Sichtweisen von HMS und AOT auf das Produktionssystem

**Stefan Bussmann**  
**Daimler-Benz AG**  
**FT3/KA**  
**Alt-Moabit 96a**  
**D-10559 Berlin**  
**email: Stefan.Bussmann@dbag.bln.DaimlerBenz.com**

**Dipl.-Inform. Stefan Bussmann** studierte Informatik an der Universität Kaiserslautern und dem Institut National Polytechnique de Grenoble. Seine Diplomarbeit verfaßte er 1992 am Deutschen Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz. Seit 1993 ist er als wissenschaftlicher Mitarbeiter bei der Daimler-Benz Forschung Informationstechnik im Bereich Multi-Agenten-Systeme mit dem Anwendungsschwerpunkt Produktion tätig.