

Einführung der Agententechnologie in einem produzierenden Unternehmen – Ein Erfahrungsbericht

Kurt Sundermeyer, Stefan Bussmann

Dr. Kurt Sundermeyer, Stefan Bussmann
DaimlerChrysler AG
Forschung und Technologie 3
Alt-Moabit 96a
D-10559 Berlin
E-Mail: {Kurt.Sundermeyer,Stefan.Bussmann}@daimlerchrysler.com

Stichworte: Multiagentensysteme, Flexible Fertigungssysteme, Produktionssteuerung, Technologieeinführung

Zusammenfassung

In einem Motorenwerk der DaimlerChrysler AG wurde vor vier Jahren ein Projekt initiiert, das unter anderem zum Ziele hatte, in der Großserienfertigung von Aggregaten deutlich flexibler, robuster und skalierbarer zu werden als es die heute herkömmlichen Transferstraßen ermöglichen. Dabei wurde auch die Steuerung eines neuartigen, weitaus flexibleren Materialflusses durch Agenten erwogen.

In diesem Projekt wurde dann in intensiver Zusammenarbeit von dem DaimlerChrysler Werk, den externen Steuerungsherstellern und der DaimlerChrysler Forschung eine agentenbasierte Materialflusssteuerung entwickelt, deren Verbesserungspotential in einer Simulation aufgezeigt, deren technische Machbarkeit an Hand einer Modellanlage abgesichert und deren Industrietauglichkeit mit Hilfe eines industriellen Prototypen nachgewiesen wurde. Der Prototyp wurde als By-Pass zu einer bestehenden Produktionslinie für Zylinderköpfe im Werk getestet und Kostennutzen-Analysen unterworfen.

Der Beitrag berichtet über diese Vorgehensweise aus Sicht der Forschung. Er soll demonstrieren, dass die erfolgreiche Umsetzung von Forschungsergebnissen der Agententechnologie vielen Einzelschritten unterworfen ist, nur in Zusammenarbeit unterschiedlicher und insbesondere risikofreudiger Partner möglich ist und dass Kostennutzen-Analysen letztlich ausschlaggebend für die Umsetzung sind. Ferner wird erläutert, warum diese Analysen heute schwierig sind, so dass die Übertragung der Analysen einer für die Aggregatefertigung einmal nachgewiesenen Wirtschaftlichkeit auf die Analyse anderer Produktionstypen, wie z.B. Montagelinien, nicht ohne weiteres möglich ist.

Ziel des Beitrags ist es, weitere Forschung zum Thema „Agenten in der Produktion“ zu ermutigen und aufzuzeigen, welches die kritischen Erfolgsfaktoren sind.

1. Einleitung: Motivation

Seit den ersten Arbeiten zu agentenbasierten Systemen (seinerzeit noch unter der Überschrift „Distributed Artificial Intelligence“) vor ca. 20 Jahren wird die flexible Produktions- und Materialflusssteuerung als eines der aussichtsreichen Anwendungsgebiete der Agententechnologie benannt. Obwohl intuitiv durchaus einsichtig, fehlen Belege für diese Behauptung. Zwar gibt es einige Arbeiten (wobei die Anzahl der Referenzen sich allenfalls an

zwei Händen abzählen lässt), welche die agentenbasierte Produktionssteuerung zum Thema haben (s. z.B. [ShWh85;PIKL85;TiWi92;Paru99]). Kein System ist aber unseres Wissen je zur „realen“ Anwendung gekommen, so dass die geweckten Ansprüche nicht mit der Wirklichkeit verglichen werden konnten.

Die Agententechnologie ist heute als eine der neueren Entwicklungen innerhalb der Informationstechnik in vieler Munde. Öffentlich geförderte Programme zielen auch auf Anwendungen in der Produktion. Das betrifft sowohl international und von der Europäischen Union geförderte Projekte (z.B. im „Holonc Manufacturing“ Programm) als auch das DFG Schwerpunktprogramm „Intelligente Softwareagenten in betriebswirtschaftlichen Anwendungsszenarien“, in dem namhafte deutsche universitäre Einrichtungen der Informatik, Wirtschaftswissenschaften und des Maschinenbaus beteiligt sind.

Insbesondere für diejenigen, die in diesen und ähnlichen Projekten arbeiten oder solche planen, soll dieser Bericht über ein Projekt bei der DaimlerChrysler AG die dort gemachten Erfahrungen schildern, um sichtbar zu machen, wie die Chancen der Einführung von Agententechnologie in der Produktion zu beurteilen sind, welches die Randbedingungen sind und wo die Grenzen liegen. Die technisch-wissenschaftlichen Aspekte des entwickelten Agentensystems sind an anderer Stelle beschrieben [BuSc00].

2. Projekt Produktion 2000+

In einem Motorenwerk der DaimlerChrysler AG wurde 1996 das Projekt „Produktion 2000+“¹ (P2P) initiiert, welches unter anderem zum Ziele hatte, in der Großserienfertigung von Aggregaten deutlich flexibler, robuster und skalierbarer zu werden als es die heute herkömmlichen Transferstraßen ermöglichen.

Ziel des Projektes P2P war die Entwicklung und prototypische Umsetzung eines Produktionssystems das folgenden Anforderungen genügt:

- Hohe Verfügbarkeit und Produktivität der Gesamtanlage sowie der einzelnen Komponenten
- Hohe Robustheit gegenüber internen und externen Störungen
- Hohe Anzahl zum Teil gleichzeitig zu fertigender Werkstücktypen und -varianten
- Dieselbe oder höhere produzierte Qualität und sichere Prozesse wie bei herkömmlichen Produktionssystemen
- Schnellere Reaktionsmöglichkeiten auf Bedarfsschwankungen – hohe Stückzahl- und Variantenflexibilität

Als konkrete Pilotanwendung wurde die Produktion eines Motorenaggregats – nämlich die Zylinderkopfproduktion – ausgewählt.

Partner im Projekt waren neben den treibenden Bereichen der DaimlerChrysler AG (insbesondere Produktions- und Werkstofftechnologie/Verfahrensentwicklung (PWT/VE) und Produktionsleistungszentrum Motoren des Werkes Stuttgart-Untertürkheim) Unternehmen aus dem Maschinenbau, Steuerungshersteller und Forschungsinstitutionen.

Mit der Steuerung der neuartigen Produktionsanlage – letztlich dem Agentenanteil – befasste sich eines von sieben Teilprojekten. Die anderen Teilprojekte betrachteten z.B. neuartige

¹ Dieses Projekt ist nicht mit dem ähnlich lautenden BMBF-Projekt zu verwechseln.

Maschinenkonzepte oder die Kopplung von Fertigungs-Features mit NC-Systemen. Im folgenden wird nur auf den Agentenanteil Bezug genommen, obgleich auch die anderen Teilprojekte wesentlich zur Erreichung der oben aufgelisteten Anforderungen beigetragen haben.

3. Von herkömmlichen Transferstraßen zu flexiblem Materialfluss

Zylinderköpfe werden wie andere Aggregate der Großserienfertigung traditionell auf Transferstraßen produziert. Eine solche Anlage (s. Bild 1) besteht aus einer linearen Anordnung von ca. 100 Bearbeitungsstationen, die jeweils einen Bearbeitungsschritt (Bohren, Schleifen, Fräsen, etc.) an einem Werkstück vornehmen können. Mehrere bilden eine Einheit, die getaktet arbeitet und die über Zwischenpuffer mit anderen solchen Einheiten verknüpft ist.



Bild 1: Lineare Transferstraße (Photo und Prinzip)

Es ist klar, dass gerade für die Fertigung von Großserien dieses Bearbeitungs- und Materialflusssystem vorteilhaft ist, z.B. im Hinblick auf die extrem einfache Steuerung; zumindest solange ein und derselbe Werkstücktyp gefertigt wird und konstante Ausbringung erwartet wird.

Würden alle Bearbeitungsstationen hundertprozentig arbeiten, gäbe es in der Tat kaum Bedarf, von diesem Prinzip abzuweichen. Obgleich heutzutage die technische Verfügbarkeit der einzelnen Bearbeitungsstationen sehr hoch ist (deutlich über 90%, z.T. bei 98%) führt die lineare Anordnung zusammen mit dem getakteten Betrieb im Fehlerfall zu einer deutlich geringeren Verfügbarkeit der gesamten Anlage. Dies ist intuitiv leicht verständlich: Sobald nur eine Bearbeitungsstation einer Transferstraßeneinheit ausfällt, steht sofort die gesamte Einheit still. Wenn die Ausfallzeit groß genug ist, läuft einerseits der Puffer vor dieser Einheit voll, so dass die vorgelagerte Transferstraßeneinheit nicht weiterarbeiten kann. Andererseits werden nachfolgende Einheiten nicht mehr versorgt, so dass auch sie nicht mehr weiter produzieren können, wenn ihre Puffer leergelaufen sind. Empirisch werden diese Produktionseinbrüche sichtbar in einem sog. k-Faktor. Dieser würde im fehlerfreien Fall per Definition 1 sein, liegt aber bei realen Anlagen in der Größenordnung von 0,65 mit deutlichen Schwankungen um diesen Wert.

Da die technische Verfügbarkeit der Bearbeitungsstationen nahezu ausgereizt ist, könnte man zur Verbesserung dieser Situation an herkömmlichen Anlagen allenfalls die Größe der Puffer

zwischen den Taktstraßeneinheiten erhöhen. Theoretische Analysen zeigen jedoch, dass extrem große Pufferlängen nötig wären, um den k-Faktor signifikant zu heben. Dies ist natürlich wegen der höheren Kosten (Platz, im System gebundenes Material) nicht vertretbar.

Ein weiterer Nachteil der herkömmlichen starr verketteten Transferstraßen liegt darin, dass sie umprogrammiert werden müssen, sobald eine neue Werkstückvariante auf der Anlage produziert werden soll.

Aus den oben genannten Gründen ist einsichtig, dass zur Überwindung der Schwächen herkömmlicher Transferstraßenkonzepte ein grundsätzlich andersartiges – flexibleres - Layout der Produktionsanlage zusammen mit flexibleren Bearbeitungsstationen konzipiert werden muss. Diese größere Hardwareflexibilität muss selbstverständlich begleitet werden von einer Steuerungssoftware, die diese Flexibilität unterstützt. Dabei ist klar, dass in der Grundstruktur des Layout die bewährte lineare Struktur beibehalten sein muss, da die Bearbeitungsschritte an einem Werkstück im wesentlichen sequentiell erfolgen müssen (mathematisch strikt: einer partiellen Halbordnung unterliegen).

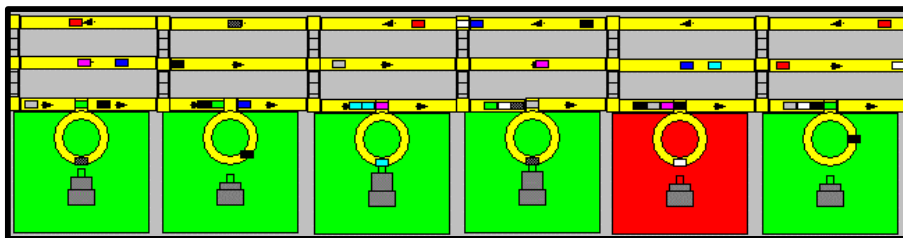


Bild 2: neues System (Prinzip)

Im Projekt P2P wurde ein Layout mit folgenden Kennzeichen konzipiert (Bild 2):

- Das Materialflusssystem besteht statt aus einer aus drei Transportstrecken. Zwei dieser Strecken transportieren in Vorwärtsrichtung, eine in Rückwärtsrichtung.
- Die Bearbeitungsstationen sind jeweils an einer Seite eines der Vorwärtsbänder angeordnet. Jede Bearbeitungsstation ist in der Lage, (in definierter Weise) Bearbeitungsschritte benachbarter Stationen zu übernehmen.
- Zwischen den Maschinen gibt es Verschiebetische, mit denen ein Werkstück auf eines der drei Bänder umgesetzt werden kann.

Mit diesem Layout und der redundanten Auslegung der Bearbeitungsmaschinen ist offensichtlich, wie Flexibilität in das System gebracht wird: Beim Ausfall einer Maschine kann ein Werkstück entweder auf eine benachbarte Station ausweichen oder in Warteschleifen solange verbleiben, bis eine Maschine in der Lage ist, die Bearbeitung vorzunehmen.

4. Vorgehensweise

In Bild 3 sind die Phasen des Projekts vom Aufzeigen des Verbesserungspotential bis zur Abnahme der prototypischen Produktionsanlage wiedergegeben.

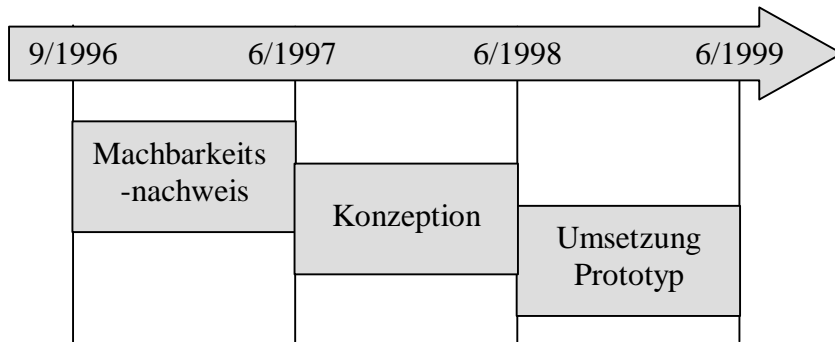


Bild 3: Zeittafel der Umsetzung von P2P

4.1 Aufzeigen von Verbesserungspotential durch Simulationsexperimente

Die DaimlerChrysler Forschung wurde beauftragt, in einer Simulation zu untersuchen, ob und welches Verbesserungspotential ein P2P-artiges System gegenüber klassischen Transferstraßen erzielen kann.

Dazu wurde zunächst die bestehende Transferstraße in einer Simulation nachgebildet. Dies ist ein nicht-trivialer wesentlicher Schritt. Nur wenn es gelingt, in einer Simulation die Daten einer bestehenden Anlage zu reproduzieren, hat man eine Chance, beim Vergleich mit einer modifizierten Anlage Verbesserungen auch zu belegen.

In einem zweiten Schritt wurde gemeinsam mit PWT/VE ein Agentensystem entworfen. Dabei wurde davon ausgegangen, dass all diejenigen Einheiten im Gesamtsystem als Agenten ausgelegt werden, die lokales Wissen haben und Entscheidungsautonomie aufweisen; hier

- ◆ Werkstücke: Jedes Werkstück kann sich entsprechend seinem momentanen Bearbeitungszustand dafür entscheiden, welche Maschine den nächsten Bearbeitungsgang übernehmen soll.
- ◆ Bearbeitungsstationen: Jede Maschine kennt den Umfang ihrer eigenen Bearbeitungskompetenzen und den Auslastungsgrad.
- ◆ Verschiebetische: Jeder Verschiebetisch kennt die Auslastung der anliegenden Bänder.

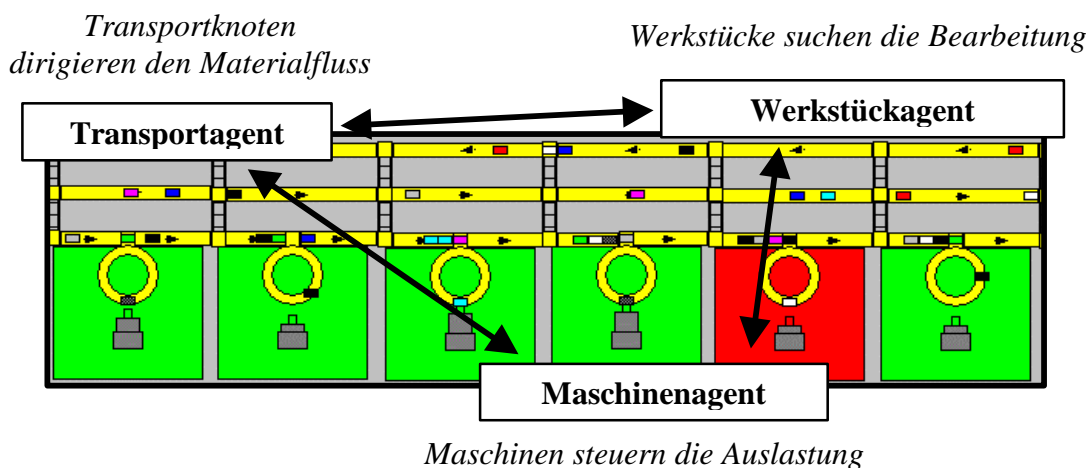


Bild 4: Prinzip des Agentenansatzes

Mit dieser Zuordnung von physischen Einheiten im System zu Agenten (s. Bild 4) ergibt sich, dass zu jeder Zeit ca. einhundert Agenten operieren.

Gemäß dieses Entwurfs wurden Koordinierungsalgorithmen geschrieben, die auf Ausschreibungen beruhen. Diese Algorithmen sind an anderer Stelle beschrieben [BuSc00]. Festzuhalten ist, dass in dem realisierten System keine zentrale Instanz existiert, sondern dass sich das System entsprechend der einlaufenden Werkstücke, dem Auslastungsgrad und Fehlerzustand der Anlage selbst organisiert.

Die Implementierung des Agentensystems erfolgte in Zusammenarbeit mit dem DAI Labor der TU Berlin in Java. Über eine Kopplung mit einem eigenen Simulationstool wurde die Steuerung simuliert und vom Agentensystem angesteuert. Eine prototypische Kopplung der Agentenimplementierung an Steuerungseinheiten (SPSen) wurde von der TU Berlin durchgeführt.

Bei der Auswertung der Simulation wurden Fehlerausfallwahrscheinlichkeiten für die Komponenten der Anlage zugrunde gelegt. Diverse Testreihen zeigten durchgehend, dass der Durchsatz, gemessen am k-Faktor, nicht nur deutlich steigt (von ca. 0,65 auf über 0,8), sondern auch glatter verläuft als im Falle der Transferstraßen; s. Bild 5.

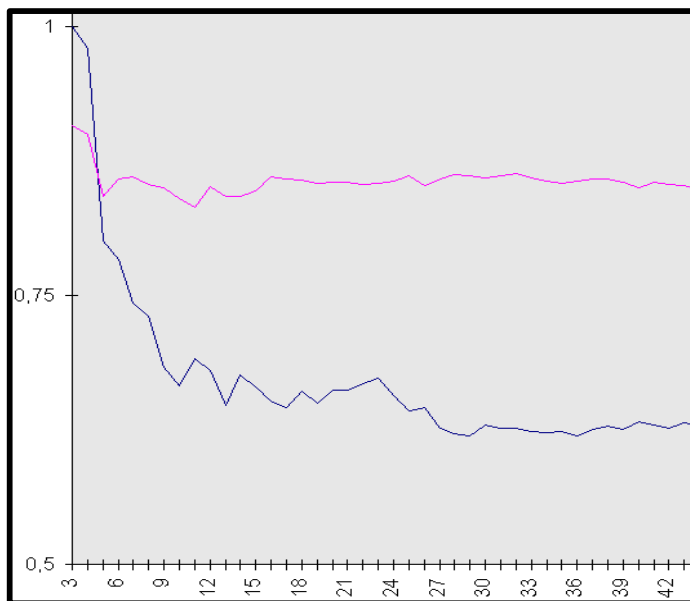


Bild 5: Vergleich k-Faktoren

Ferner konnte gezeigt werden, dass mit der in P2P erreichten Kopplung von Agenten- und Featuretechnologie Losgröße 1 gefahren werden kann, ohne dass dies sich in der guten Performanz des Systems bemerkbar macht.

4.2 Technischer Machbarkeitsnachweis

Der Einsatz von Agenten zur Steuerung des Materialflusses bedeutete allerdings eine völlig neue Steuerungsebene. Zum einen müssen die Agenten (bei einer Anlagenlänge von bis zu 1000m) über ein lokales Netzwerk miteinander verbunden werden, um die Ausschreibungen durchführen zu können. Zum anderen müssen die Maschinen- und Transportagenten die Anlagenkomponenten in Echtzeit ansteuern. Für einen solchen Steuerungsansatz gab es

jedoch weder Erfahrungen aus der laufenden Produktion noch aus anderen Industrieprojekten, die einen reibungslosen Betrieb unter industriellen Bedingungen zusichern konnten.

Um das Investitionsrisiko beim Einsatz in einer neuen Anlage zu minimieren, finanzierte das Werk eine Modellanlage, an der die technische Machbarkeit des neuen Steuerungsansatzes nachgewiesen werden konnte (Bild 6). Diese Modellanlage im Maßstab 2:1 stellte den Materialfluss über die drei Transportstrecken mit den jeweiligen Verschiebetischen dar. Die Bearbeitungsstationen waren lediglich als Ausschleusungen realisiert.

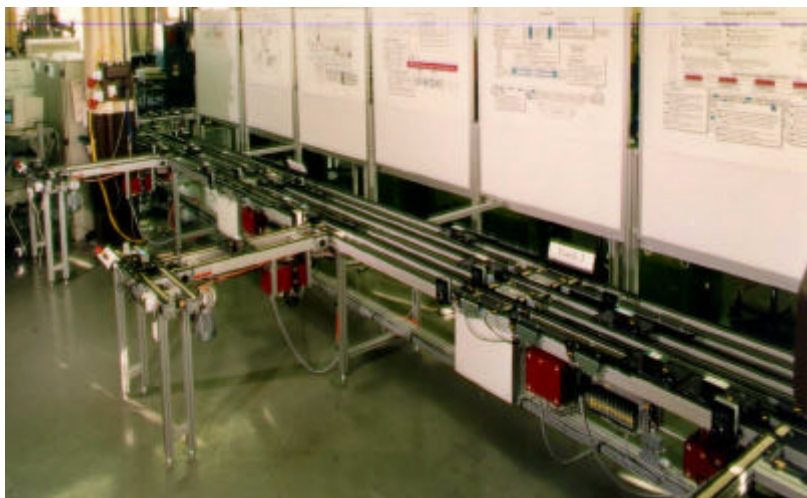


Bild 6: Modellanlage

Die Modellanlage war nicht nur ein wichtiger Zwischenschritt im Hinblick auf den Nachweis der technischen Machbarkeit, sondern auch im Hinblick auf die Akzeptanz des neuen Ansatzes durch das gehobene Management und die Produktion. Software-Agenten kann man nicht anfassen und einem Nicht-Steuerungstechniker auch nur schwer verständlich machen. Auch eine Simulation kann (bei einem Investitionsvolumen von vielen Millionen) nur bedingt überzeugen. An Hand einer (Modell-)Anlage können jedoch die Auswirkungen der Agenten verdeutlicht werden, und diese sind letztlich für ein produzierendes Unternehmen, das nicht nach seiner ästhetischen Software, sondern nach seinen physischen Produkten beurteilt wird, ausschlaggebend.

Nachdem die Simulation aufgezeigt hatte, dass die Produktivität und Robustheit einer P2P-artigen Anlage durch eine agentenbasierte Steuerung erhöht werden kann, und nachdem in umfangreichen Versuchen an der Modellanlage bewiesen werden konnte, dass auch das Materialflusssystem technisch angesteuert werden kann, wurde beschlossen, einerseits eine industrietaugliche Steuerungssoftware entwickeln zu lassen und andererseits den Aufbau eines realen Anlagen-Prototypen vorzubereiten.

4.3 Industrietaugliche Steuerungssoftware

Die von der DaimlerChrysler Forschung für die Ansteuerung der Simulation entwickelte Agentensoftware war lediglich für den Machbarkeitsnachweis gedacht. Es versteht sich, dass nur professionelle und in der Sparte etablierte IT-Hersteller in der Lage sind, Software zu entwickeln und zu pflegen, die den Anforderungen an einen industriellen Dauerbetrieb gerecht werden.

Hinzu kommt, dass für Simulationen – sinnvollerweise – zugrunde gelegt wird, dass Agenten, deren Kommunikation und Schnittstellen zu anderen Systemen fehlerfrei sind; d.h. die Robustheit der Implementierung wird zunächst per se konstatiert. Dies ist aber im industriellen Einsatz nicht garantiert. Aufgrund von Hardware-Fehlern können Teile eines Steuerungssystems komplett ausfallen.

In einem weiteren Schritt wurden daher von PWT/VE und den Steuerungsherstellern die industriellen Anforderungen an ein in der Großserienproduktion eingesetztes (operatives) Agentensystem ermittelt. Ausgehend von dem erheblich erweiterten Anforderungskatalog wurde von der DaimlerChrysler Forschung dann eine Spezifikation für ein industrietaugliches und robustes Steuerungssystem entwickelt. Dazu mussten die Koordinierungsalgorithmen der Simulation wesentlich erweitert werden. Der Nachweis algorithmischer Eigenschaften (Verklemmungsfreiheit, Fairness, Verstopfung der Anlage) geschah weitgehend mit formalen Beweisen und, wo das nicht möglich war, durch Validierung in umfangreichen Simulationen (z.B. Forderung nach hoher Produktivität unter variierenden Eingangsparametern, stabiler Output des Systems zur verlässlichen Einsteuerung in die Motorenmontage).

Diese industrietaugliche Spezifikation wurde von Schneider Electric, einem Steuerungshersteller, in C++ implementiert [ScNe00]. Im Gegensatz zur Forschungsimplementierung erfüllt die Schneider-Implementierung alle Anforderungen an einen industriellen Einsatz und basiert auf kommerzieller Steuerungshardware und -software. Eine solche Implementierung ist notwendig, um den Agentenansatz überhaupt im Produktionsbetrieb testen zu können.

4.4 Realer Prototyp

Parallel zur Entwicklung der Steuerungssoftware erfolgte der Aufbau des realen Prototypen. Das Werk entschloss sich trotz der hohen Kosten von 10 Mio. DM, parallel zu einer bereits bestehenden Transferstraße ein P2P-System als By-Pass zu installieren, um den Betrieb des Prototypen direkt mit einem existierenden Produktionssystem vergleichen zu können. Dieser By-Pass, bestehend aus sechs Bearbeitungsstationen, ist – aufgrund der auf den neuartigen Maschinen vergrößerten Bearbeitungsumfänge – in der Lage mehr als die Hälfte aller am Werkstück benötigten Arbeitsschritte durchzuführen.



Bild 7: P2P Anlage (Quelle: Bleichert, Osterburken)

4.5 Tests und Bewertung des Systems

Die im Frühjahr 1999 fertiggestellte P2P-Anlage wurde bis zum Sommer intensiv vom Werk getestet und musste mehrere scharf definierte Quality Gates passieren. Diese Gates betrafen nur zum Teil die Agentensteuerung. Hervorzuheben ist aber, dass es gerade die agentenbasierte Steuerung war, die sich als am robustesten herausstellte. Störungen wurden eher in der Steuerung der Bearbeitungsstationen, der Verschiebetische und der externen Systeme (z.B. Datenbanken) beobachtet.

Die eingangs genannten Anforderungen an das neuartige Produktionssystem konnten (durch das erfolgreiche Zusammenspiel der verschiedenen Teilprojekte) voll erfüllt werden:

- Hohe Verfügbarkeit und Produktivität der Gesamtanlage sowie der einzelnen Komponenten: letztlich ausgewiesen durch den höheren k-Faktor.
- Hohe Robustheit gegenüber internen und externen Störungen: wiederum ablesbar am erhöhten k-Faktor und der stark reduzierten Varianz dieses Faktors.
- Hohe Anzahl zum Teil gleichzeitig zu fertigender Werkstücktypen und -varianten: Aufgrund der Dezentralisierung, Modularität und der in den Algorithmen inhärenten Selbstorganisation ist das System in der Lage, zu jedem Zeitpunkt einen beliebigen Mix von Varianten zu verarbeiten.
- Dieselbe oder höhere produzierte Qualität und sichere Prozesse wie bei herkömmlichen Produktionssystemen: bewiesen durch Belastungstests und den Dauerbetrieb.
- Schnellere Reaktionsmöglichkeiten auf Bedarfsschwankungen – hohe Stückzahl- und Variantenflexibilität: Wiederum bedingt durch die dezentrale und modulare Softwarestruktur, die das physische Layout abbildet, ist es möglich die Anlage bedarfsgerecht abzuändern, ohne dass an der Software Änderungen vorgenommen werden müssen.

5. Schlussfolgerungen

Mit dem beschriebenen System wurde die akademische Agententechnologie gewissermaßen in die raue industrielle Wirklichkeit transferiert. Der Anwendungskontext ist die flexible und robuste Produktionssteuerung einer Aggregatfertigung in der Automobilindustrie. Im folgenden werden die wesentlichen dabei gewonnenen Erfahrungen bezogen auf das Umfeld, das Vorgehen und die Technologie aufgelistet.

Umfeld

- Nicht die Technologie suchte eine Anwendung, sondern ein Problem schrie nach einer neuartigen Lösung. Bezeichnenderweise gab es vor diesem Hintergrund auch keine akademischen Diskussionen über die Vor- und Nachteile zentraler gegenüber dezentraler Lösungen. Früh stand fest, dass wenn das avisierte komplexere Materialflusssystem überhaupt realisiert würde, die Steuerung über ein Agentensystem erfolgen würde.
- Dabei wurde die Agententechnologie aufgrund des hohen Investitionsrisikos – eine Produktionsanlage kostet bis zu 100 Mio. DM – durchaus nicht von allen Entscheidungsträgern von vornherein akzeptiert. Der Einsatz neuer Technologie birgt immer ein gewisses Risiko. Ist die Technologie allerdings für den Betrieb der neuen

Anlage unabdingbar, steigt das Risiko dramatisch an. Eine Anlage, die gar nicht oder auch nur teilweise die Produktionsziele der Großserienproduktion erfüllt, erzeugt (durch Produktionsausfall) einen enormen finanziellen Schaden.

- Das Projekt konnte nur deshalb erfolgreich umgesetzt werden, weil ein visionärer Unternehmensbereich und ein risikofreudiger IT-Partner beteiligt waren; letztlich repräsentiert durch für die Umsetzungsidee überzeugte Personen, die angesichts immer wieder auftretender Zweifel bereit waren das nötige human/political engineering durchzuzufechten.

Vorgehen

- Der erste wesentliche Schritt ist es, die Anwendung selbst genau zu verstehen. Notwendig ist ein genaues Prozessverständnis, um die Vorteile und Nachteile bestehender Lösungen bewerten zu können.
- Ein SW-Prototyp – und sei er noch so realitätsnah – ist der kleinste Schritt zu einer realen Anwendung. Kein für die Produktion Verantwortlicher wird allein aufgrund einer Simulation seine – im allgemeinen eingespielten – Abläufe verändern. Bevor ein Kernprozess ersatzlos auf eine neue Technologie umgestellt wird, muss diese erst ihre Verlässlichkeit im industriellen (Test-)Betrieb demonstrieren. Dies war mit der Hauptgrund für die Installation eines Prototypen (als By-Pass).
- Allgemein verfügbare agentenbasierte Softwaresysteme - und seien sie noch so sauber implementiert – sind weit davon entfernt, den industriellen Anforderungen zu genügen. Zum Einsatz in der Industrie kommt es nur dann, wenn sich professionelle und etablierte IT-Hersteller engagieren. Die für P2P entwickelte Steuerungssoftware setzt nicht auf einer prototypischen Agentenplattform auf, sondern wurde von Schneider Electric auf industrietauglichen kommerziellen Hardware- und Softwaresystemen realisiert.
- Der Transfer erfolgte über die gesamte Laufzeit des Projekts unter scharf definierten Quality Gates mit definierten Abbruchkriterien.
- Am Ende geht es um eine Kostennutzen-Rechnung. Dem erhöhten Nutzen der flexibleren und robusteren Anlage stehen deutlich erhöhte Kosten (für das erweiterte Materialflusssystem und die neuartigen Bearbeitungsstationen gegenüber). Allerdings gibt es derzeit keine Verfahren, die Vorteile P2P-artiger Anlagen verlässlich quantitativ abzuschätzen. Die größere Robustheit wird zwar bestimmt durch den erhöhten Durchsatz, Vorteile wie Skalierbarkeit und Variantenflexibilität sind aber für die Bereiche, die neuartige Anlagen planen, bislang nicht quantitativ belegbar und unterliegen einer subjektiven Einschätzung.

Technologie

- Der Einsatz der Agententechnologie hat zu einem flexibleren und robusteren Produktionsprozess geführt, welches vorher so in der Großserienproduktion nicht denkbar gewesen wäre. Des weiteren bietet das neue Produktionssystem *à la P2P* ein sehr breites Einsatzspektrum in der Aggregatefertigung bei gleichbleibend hoher Leistungsfähigkeit. Dieses Ergebnis ist allerdings nicht allein auf die Agententechnologie zurückzuführen, auch wenn die Agententechnologie einen entscheidenden Beitrag dazu geleistet hat. Die Ziele von P2P konnten nur durch das Zusammenspiel der verschiedenen Teilprojekte (von

denen der agentenbasierte Materialfluss nur eines war) erreicht werden. Ein agentenorientierter Ansatz muss immer mit anderen Techniken (wie in P2P) gekoppelt werden, um in einem Produktionsprozess wirksam werden zu können.

- Der agentenorientierte Ansatz aus P2P ist nicht notwendigerweise auf andere Produktionsprozesse außerhalb der Aggregatefertigung, wie z.B. Motorenmontage, übertragbar. In der Montage geht es darum, die einlaufenden Materialströme der Aggregatebereiche aufeinander so abzustimmen, dass die richtigen Teile zur gleichen Zeit am gleichen Ort sind, um montiert zu werden. Hierfür müssen die Koordinierungsalgorithmen aus P2P signifikant erweitert werden. Ähnliches gilt für Produktionstypen anderer Industriebereiche, wie z.B. die der Halbleiterindustrie.

6. Fazit

Das Projekt P2P hat durch die erfolgreiche Zusammenarbeit verschiedenster Bereiche und Firmen ein neuartiges Produktionssystem entwickelt, welches für die Großserienfertigung von Aggregaten ein neues Maß an Flexibilität und Robustheit erzeugt. Das agentenbasierte Steuerungssystem hat dazu einen entscheidenden Beitrag geleistet und im Leistungstest sowie im darauf folgenden normalen Produktionsbetrieb alle hohen Erwartungen erfüllt. Die Agententechnologie hat damit ihre Großserientauglichkeit bewiesen.

Dieser Erfolg war jedoch nur möglich durch die konsequente Zusammenarbeit zwischen Produktionswerk, Systemlieferanten und Forschung. Ohne einen dieser Partner wäre es nicht möglich gewesen, in einem so kurzen Zeitraum das agentenbasierte Steuerungssystem nicht nur zu entwickeln, sondern auch noch industrietauglich umzusetzen und im Produktionsalltag auf Herz und Nieren zu prüfen. Die Einbindung aller (internen und externen) Partner und die stufenweise Umsetzung des radikal neuen Ansatzes sind somit die entscheidenden Erfolgsfaktoren für die Einführung der Agententechnologie in die Produktion.

Literatur

[BuSc00] *S. Bussmann, K. Schild*: Self-Organizing Manufacturing Control: An Industrial Application of Agent Technology. In: Proc. 4th Int. Conf. on Multi-agent Systems (ICMAS'2000). Boston, MA, USA, 2000, S. 87 – 94.

[Paru99] *H.V.D. Parunak*: Industrial and Practical Applications of DAI. In *G. Weiss* (Hrsg.): Multiagent Systems – A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence. MIT Press, Cambridge, MA, USA, 1999, S. 377 – 421.

[PIKL85] *H.V.D. Parunak, B.W. Irish, J. Kindrick, P.W. Lozo*: Fractal Actors for Distributed Manufacturing Control. In: Proc. of the 2nd Conf. on AI Applications (CAIA'85). Miami, FL, USA, 1985, S. 653 – 660.

[ShWh85] *M.J. Shaw, A.B. Whinston*: Task Bidding and Distributed Planning in Flexible Manufacturing. In: Proc. of the 2nd Conf. on AI Applications (CAIA'85). Miami, FL, USA, 1985, S. 184 – 189.

[ScNe00] *R. Schoop, Ralf Neubert*: Agent-Oriented Material Flow Control System Based on DCOM. In: Proc. of the 3rd Int. Symposium on Object-Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC-2000). Newport Beach, USA, 2000.

[TiWi92] *K.J. Tilley, D.J. Williams*: Modelling of Communications and Control in an Auction-Based Manufacturing Control System. In: Proc. of the IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, 1992, S. 962 - 967.

Introduction of agent technology into a manufacturing company – Experiences from an industrial project –

Kurt Sundermeyer, Stefan Bussmann

Keywords: multi-agent systems, flexible manufacturing systems, production control, technology introduction

Abstract

Four years ago, an engine plant of DaimlerChrysler AG initiated an industrial project, which had as a goal to design and implement a production system for large-series aggregate manufacturing that is more flexible and more robust than existing transfer lines. For the control of the newly designed flexible material flow system, the project considered to use an agent-based approach.

In intensive cooperation, the DaimlerChrysler plant, external control suppliers, and the DaimlerChrysler research unit developed an agent-based approach for the control of the flexible material flow, showed its potential for improvement in simulation, demonstrated the technical feasibility with the help of a physical demonstrator, and implemented a prototype that was tested as a by-pass to an existing transfer line for cylinder heads and finally analyzed by the plant with respect to its profitability.

This paper reports – from the point of view of the research unit – on the development steps necessary to implement the new production system. It is argued that the successful transfer of agent-oriented research results into a production environment requires several steps. In particular, the transfer is only successful if all units affected are integrated into the development process, if the technical feasibility is shown with the help of a physical demonstrator, and if the project provides a profitability analysis comparing existing and new technology. The goal of this paper is to motivate more research concerning "agents in production" and, based on the experience made, to highlight the critical factors for a successful transfer of agent-oriented research results.

Einführung der Agententechnologie in einem produzierenden Unternehmen – Ein Erfahrungsbericht –

Kurt Sundermeyer, Stefan Bussmann

Kernpunkte für das Management

Der Beitrag berichtet über die erfolgreiche Umsetzung einer agentenbasierten Steuerung in der Motorenproduktion der DaimlerChrysler AG und zeigt die kritischen Erfolgsfaktoren für die Umsetzung der Agententechnologie in einem produzierenden Unternehmen auf. Folgende Faktoren werden für die erfolgreiche Umsetzung von Agententechniken als kritisch angesehen:

- Die erfolgreiche Einführung von Agententechnologie erfordert die konsequente Zusammenarbeit zwischen Endanwendern, Systemlieferanten und Forschung.
- Verbesserungspotential, technische Machbarkeit und Industrietauglichkeit müssen stufenweise nachgewiesen werden, um das hohe Investitionsrisiko zu minimieren und entsprechende Akzeptanz beim Endanwender zu schaffen.
- Entscheidend für die Umsetzung ist letztlich die Durchführung einer (betriebswirtschaftlichen) Kostennutzen-Analyse.