

3.11 Steuerungskonzeption für ein neues Automobilwerk

Markus Rabe¹

Zusammenfassung

Der vollständig neue Steuerungsentwurf für ein neues Werk der Hyundai Motor Corporation wurde mit einem verteilten Simulationsmodell untersucht, das Modelle von Rohbau, Lackierung und Montage sowie Prototypen der zugehörigen Steuerungssysteme umfasste. Die prinzipielle Eignung des Steuerungskonzeptes wurde nachgewiesen, die Optimierungsalgorithmen im Detail ausgewählt und abgestimmt. Neben den direkten Ergebnissen hat sich das Modell auch als Medium des Informationsaustausches zwischen den beteiligten Teams in Asan, Ulsan und Berlin bewährt.

3.11.1 Die Aufgabe

Das Sonata-Werk der Hyundai Motor Corporation (HMC) in Asan (Korea) liegt geographisch von den Stammwerken in Ulsan und damit auch von den bestehenden Zulieferern getrennt. Die wenig optimale Infrastruktur in Südkorea bedingt eine Steuerung, die bei Lieferverzügen noch im Stundenbereich flexibel reagieren und dabei die auftragsbezogene Fertigung weiter gewährleisten kann. Dies ist z.B. durch die „Perlenketten“-Ansätze vieler europäischer Hersteller nicht gegeben.

Die am Stammsitz der HMC bestehenden Steuerungen boten hierzu ebenfalls keine Ansätze, da sie auch unter den dort einfacheren Bedingungen keine befriedigende Termintreue lieferten. Abbildung 3.11.1. zeigt die Reihenfolge, in der die Karosserien vor der Endmontage eintrafen, über der geplanten Reihenfolge.

Diese (aus mehreren Gigabyte Trackingdaten abgeleiteten) Ergebnisse zeigen, dass der Zustand weit von der idealen Diagonalen entfernt war. Auch dies war Anlass, eine völlig neue, flexible Steuerung des Werkes zu planen.

Ziel des Projektes war die Entwicklung eines Konzeptes für eine zukunftsorientierte Fertigungssteuerung sowie deren Spezifikation. Die wesentliche Randbedingung war, dass das Werk bereits im Folgejahr die Produktion aufnehmen musste. Das Projekt umfasste die Bereiche Reihenfolgeplanung, Materialwirtschaft und die dezentrale Steuerung für die Shops Rohbau, Lack und Endmontage. Ein Schwerpunkt wurde auf die Steuerung des Lack- und Montagepuffers gelegt. Die Fabrikplanung selbst lag komplett in der Regie des asiatischen Partners.

¹ Fraunhofer IPK, Pascalstr. 8-9, 10587 Berlin

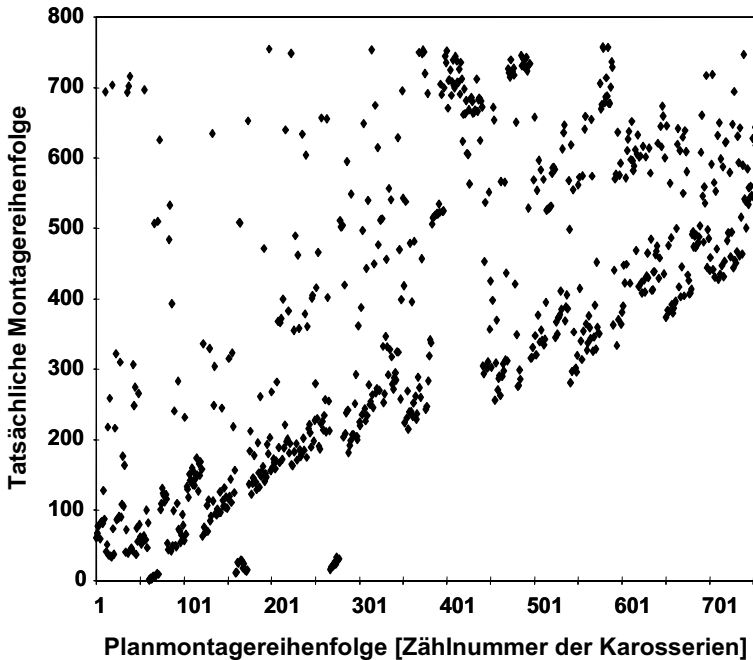


Abb. 3.11.1. Termintreue im alten Werk, bei Projektstart

3.11.2 Modelle als globales Kommunikationsmedium

Die Rahmenbedingungen

- Forderung nach einer grundlegenden Neukonzeption,
- weniger als zwei Jahre Zeit bis zur Inbetriebnahme in der neuen Fabrik,
- unterschiedliche interdisziplinäre Teams an mehreren Standorten in Asien und Europa,

stellten besondere Herausforderungen an eine formalisierte Kommunikation. Hinzu kam die Notwendigkeit, die Implementierung der Steuerung zu einem Zeitpunkt zu beginnen, als diese noch nicht vollständig konzipiert sein konnte.

Der Umfang der Planungsaufgabe und die große Anzahl an Planungsbeteiligten bei einer nur kurzen Planungsphase führten schon früh zu der Entscheidung, dass neben der Standarddokumentation auch Modelle verwendet werden sollten, um den Planungsfortschritt zu dokumentieren. Durch dieses Vorgehen sollten auch sprachbedingte Missverständnisse bei der internationalen Zusammenarbeit von vornherein ausgeschlossen werden (Mertins et al. 1995).

Grundlage für die Entwicklung der Konzeptalternativen war eine umfangreiche Analyse der aktuellen Geschäftsprozesse und des aktuellen Produktionssystems. Um die Leistungsfähigkeit des derzeitigen Leitsystems bewerten zu können, wur-

de eine detaillierte Analyse eines dreimonatigen Produktionsprogramms und der zugehörigen Rückmeldungen durchgeführt. Parallel dazu wurden vor Ort Interviews durchgeführt, um ein detailliertes Verständnis über den derzeitigen Produktionsablauf und über den Stand der Planung für das neue Werk zu erhalten. Das Informationszentrum Benchmarking am Fraunhofer-Institut IPK unterstützte das Projektteam durch das Zusammenstellen aktueller Kennwerte zur Beurteilung der Analysedaten anhand des derzeitigen Weltniveaus. Von Beginn des Projektes an wurden alle Erkenntnisse und Ergebnisse in Modellen dokumentiert. Um die zahlreichen Querbezüge jederzeit verfolgen zu können, wurde hierzu das objektorientierte Werkzeug MO²GO² eingesetzt.

Neben der Konzeption und Spezifikation des Fertigungsleitsystems sollte auch die Bedienschnittstelle des Systems neu erstellt werden. Um die Durchgängigkeit der Planung auch auf die Anwendersicht des neuen Systems anzuwenden, wurde beschlossen, den aktuellen Entwurfsstand für das Leitsystem jeweils in einem Prototyp umzusetzen. Aufgrund der weitgehenden Verfügbarkeit der Plattform und der Wiederverwendbarkeit der Dialogelemente im Leitsystem entschied man sich für die Implementierung der Bedienoberfläche mit Visual Basic unter Microsoft Windows. Die Anbindung an die notwendigen Plandaten sollte über ein Interface auf Basis der Microsoft-Schnittstelle ODBC (Open Database Connectivity) implementiert werden, da dieses Protokoll auch im laufenden Betrieb zum Datenaustausch eingesetzt wird.

3.11.3 Das neue Steuerungssystem

Ziehende Steuerungen haben sich in vielen Bereichen als flexibler und robuster Ansatz für die Verkettung von Fertigungsbereichen erwiesen. Die hohe Variantenvielfalt und der strikte Bezug zum Kundenauftrag für jede einzelne Karosserie im Bereich der Pkw-Fertigung steht jedoch dem Einsatz einer einfachen Kanbansteuerung zwischen den Fertigungsbereichen Rohbau, Lack und Endmontage im Wege, so dass dieses Steuerungsprinzip nur für die Zulieferung der Verbrauchsteile im Rohbau und in der Endmontage eingesetzt wird. Grundansatz war, eine ziehende Steuerung zu entwickeln, die die Einsatzrestriktionen einfacher Kanbansteuerungen überwindet. Die physikalische Entkopplung der Produktionsbereiche erfolgt mit Hilfe von Karosseriepuffern zwischen den Hallen (vgl. Abb. 3.11.2.).

² <http://www.um.ipk.fhg.de/mogo/bprhome.htm>

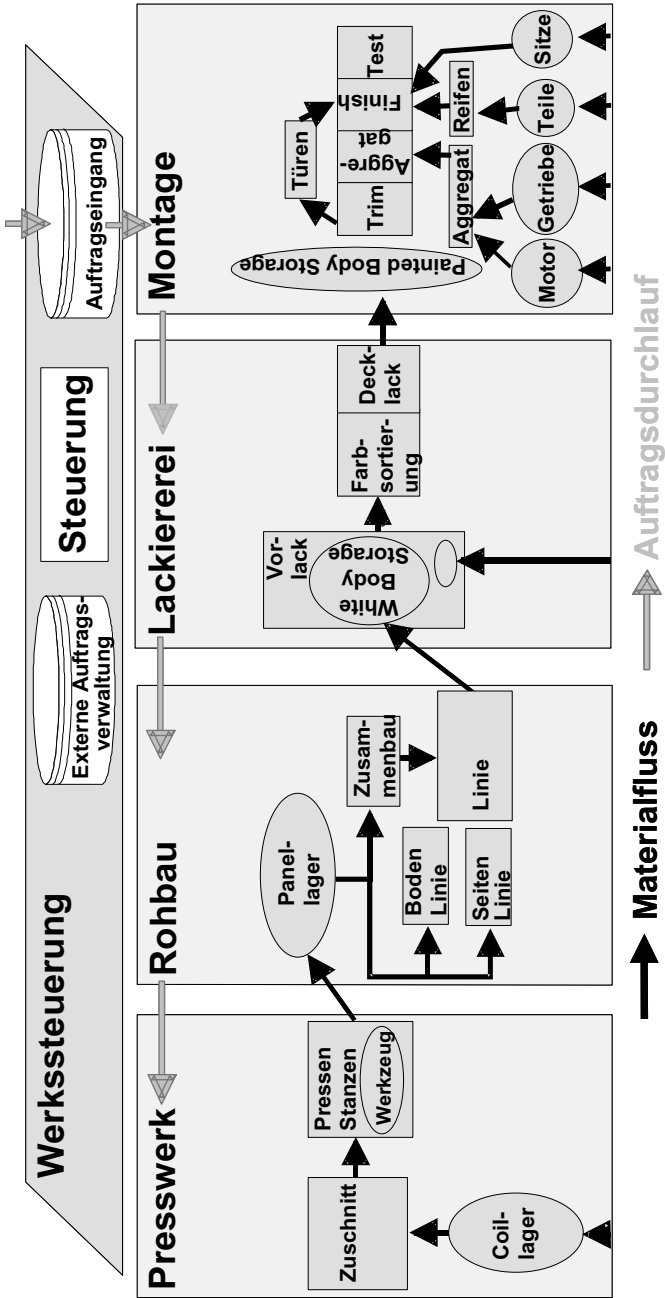


Abb. 3.11.2. Konzept der ziehenden Fertigungssteuerung

Für die traditionelle schiebende Steuerung hat sich jedoch gezeigt, dass die erforderliche Größe dieser Pufferbereiche für eine vollständige Entkopplung bei den durch die derzeitige Fertigungstechnologie gegebenen Störungen unakzeptabel groß ist. Eine wesentliche Verringerung der Puffer wird durch die Implementierung einer ziehenden Planung der Sollreihenfolge erreicht. Hier wird die Tagesreihenfolge ausgehend von der Endmontage gebildet. Diese Reihenfolge wird vom Planungsmodul des Fertigungsleitsystems entsprechend den Anforderungen der Lackiererei in kleineren Zeitscheiben umgeplant, um eine möglichst geeignete Lackplanreihenfolge zu ermitteln. Diese wiederum wird für die Belange des Rohbaus innerhalb wiederum kleinerer Zeitscheiben umgeplant, wobei größere Zeitscheiben als Preview zur Verfügung stehen (Abb. 3.11.3.).

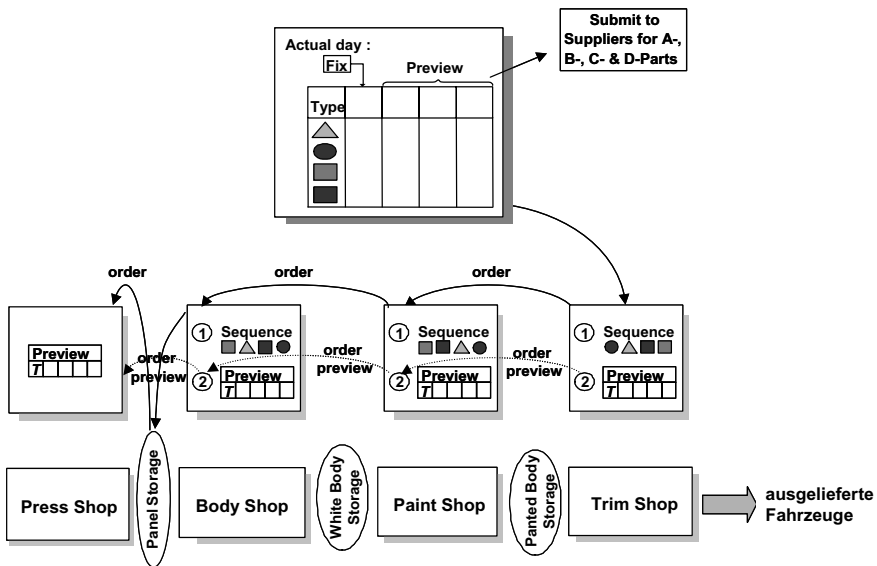


Abb. 3.11.3. Shop-spezifische Differenzierung der Aufträge

Die Größe der Zeitscheiben und bei Anwendung der Taktzeiten die daraus abzuleitende Anzahl umzuplanender Karosserien ist nach unten durch die Anzahl der Varianten im Produktionsspektrum des Vorbereiches begrenzt und nach oben durch die Größe des Zwischenpuffers.

3.11.4 Simulations- und Testumgebung

Um den Forderungen nach Innovation und extrem kurzer Umsetzungszeit nachkommen zu können, wurde parallel zur Spezifikation des Steuerungskonzeptes begonnen, die Steuerung zu implementieren. Zugleich waren jedoch sowohl das Gesamtsteuerungskonzept als auch die einzelnen Umplanungs- und Korrekturmechanismen daraufhin zu testen, ob sie korrekt und flexibel auf Störungen der Pro-

duktion (insbesondere in der Lackierung) sowie der Zulieferung reagierten. Hierzu wurden die drei Shops mit Simulation abgebildet und zunächst mit Prototypen der Steuerungssysteme verbunden. Im weiteren Verlauf des Projektes wurden verfeinerte Modelle mit den Vorläufern der endgültigen Steuerung auf die gleiche Weise verknüpft. Als Datenbasis für Störungen wurden nach Möglichkeit Trackingdaten der Werke in Ulsan verwendet.

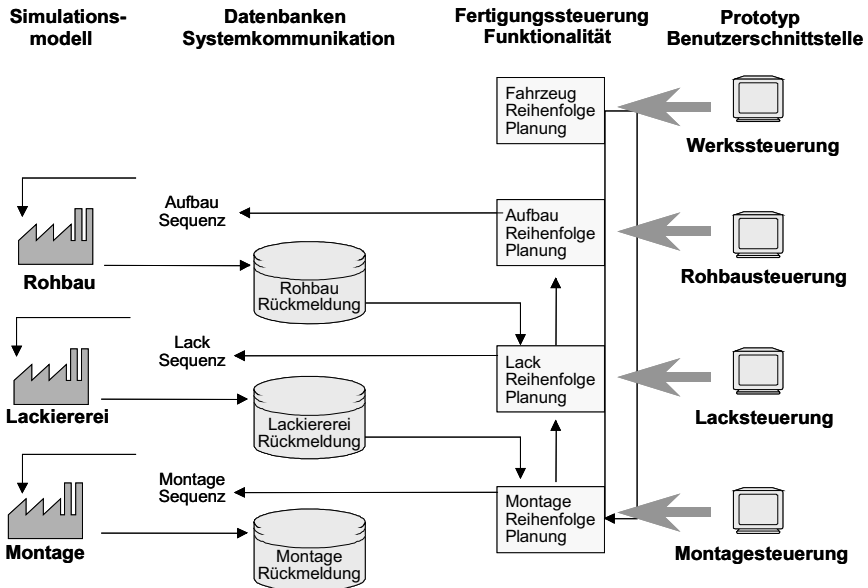


Abb. 3.11.4. Verteiltes Simulations- und Steuerungsmodell

Abbildung 3.11.4. zeigt die grundsätzliche Struktur des verteilten Modells. Die Verbindung der Modelle erfolgte über ein Ethernet, über das auch die Datenbankzugriffe abgewickelt wurden. Simulationsseitig wurde hier „Dynamic SQL“, eine Digital Equipment-spezifische Erweiterung des SQL, mit der zur Laufzeit Tabelleneigenschaften abgefragt und neue Abfragen generiert werden können, verwendet, wobei die Kommunikation über das Digital-Equipment-spezifische Ethernet-Protokoll „DECNET“ erfolgte. Steuerungsseitig kam ODBC auf dem Internet-Protokoll TCP/IP zur Anwendung. Der Datenbankserver wurde unter dem Betriebssystem VMS in einem VAX/DEC-Alpha-Cluster betrieben. Details zu dem Simulationsmodell finden sich bei (Rabe u. Rieger 1996) sowie bei (Mumm et al. 1998).

Die Verbindung von Steuerungsprototyp (mit Benutzungsoberfläche) und Simulationsmodellen liefert drei wesentliche Vorteile:

- Die Steuerung kann während der Entwicklung jederzeit und mit geringen Kosten an der „virtuellen“ Produktion erprobt werden.

- Die Aussagen aus der Materialflusssimulation sind wesentlich genauer, weil sie nicht nur den aktuellen Planungsstand der Einrichtungen, sondern auch der Steuerungssoftware wiedergeben.
- Darüber hinaus kann das System zur Schulung von Mitarbeitern an der Steuerung dienen, ohne dass hierbei der Betrieb der Anlage beeinflusst wird.

3.11.5 Ergebnisse

Die Untersuchung dieses Ansatzes mit Hilfe von Simulation und Prototyp (Abb. 3.11.3.) ergab, dass mit der ziehenden Planung eine bemerkenswerte Verbesserung zu erreichen ist. Die in Anbetracht der logistischen Einbindung des neuen Werkes erforderliche Termintreue konnte jedoch noch nicht ausreichend gewährleistet werden.

Daher wurde untersucht, inwieweit die Anwendung der sog. späten Taufe zu einer weiteren Verbesserung beitragen kann. Die vorherigen Leitsysteme des Herstellers ordneten die Karosserie im Rohbau dem Kundenauftrag bereits fest zu. Dadurch wurden für jede Karosserie bereits sehr früh alle Farb- und Ausstattungsoptionen festgelegt. Da die Zahl der Karosserievarianten aber weit geringer als die Zahl der Ausstattungsvarianten ist, ist diese frühe Zuordnung technologisch nicht notwendig. Auch für bereits lackierte Karosserien sind im Planungsvolumen häufig noch mehr als eine Ausstattungsvariante für die Endmontage verfügbar. Die erhöhte Flexibilität der Zuordnung einer Karosserie zu einem Auftrag erhöht aber die Komplexität des Leitsystems, da zum einen aus Gründen der Herstellerhaftung die Produktionshistorie für jedes ausgelieferte Fahrzeug dokumentiert werden und zum anderen die Materialabrufsteuerung auf Basis der Karosserienummer erfolgen muss, wenn nicht das Fahrzeugidentifizierungssystem ständig umprogrammiert werden soll.

Da dieser Mechanismus somit weitgehende Auswirkungen auf das zugrundeliegende Datenmodell haben würde, wurde der Integration des Mechanismus in den Prototypen eine eingehende Analyse des zu erwartenden Produktmixes für das neue Werk vorangestellt. Diese Analyse zeigte, dass der zusätzliche Aufwand gerechtfertigt sein könnte, da die gewonnene Planungsflexibilität beträchtlich ist. Eine einfache Implementierung der späten Taufe zwischen Rohbau und Lack sowie zwischen Lack und Endmontage zeigte, dass durch die Kombination der Maßnahmen die Reihenfolge für die Endmontage vollständig eingehalten werden konnte. Dabei gingen diese Untersuchungen von der pessimistischen Annahme aus, dass im neuen Werk keine Reduzierung der Störungen aufgrund verbesserter Produktionstechnologien auftritt. Abbildung 3.11.5. zeigt, dass durch das neue Leitsystem die Kapazität der Karosseriepuffer ausreicht, um die Abweichungen in der Fahrzeugreihenfolge auszugleichen.

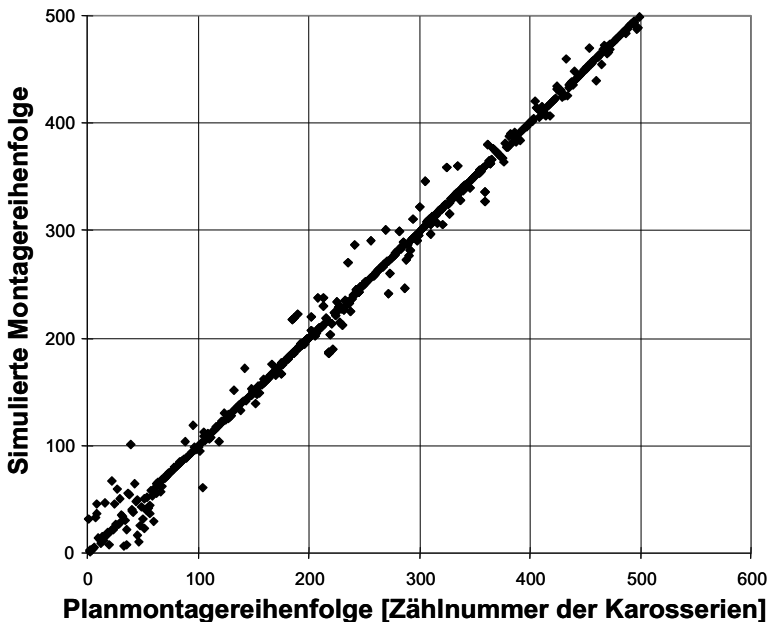


Abb. 3.11.5. Termintreue im neuen Steuerungskonzept (simuliert)

3.11.6 Fazit und Ausblick

Nach Abschluss der Konzeptions- und Spezifikationsphase wurde das System vor Ort implementiert. Kernfunktionalitäten wurden im Parallelbetrieb in einem vorhandenen Werk getestet, bevor die Inbetriebnahme im Montagewerk erfolgte.

Nachgewiesen wurde, dass auch für die variantenreiche Auftragsfertigung die Prinzipien der Kunden-Lieferanten-Verkettung innerhalb der Fertigungsbereiche erfolgreich eingesetzt werden können. Für die erfolgreiche Lösung dieser komplexen Aufgabenstellung war das Verständnis des Objektsystems von grundlegender Bedeutung – weit wichtiger als aktuelle Trends. Dieses Verständnis kann nur durch die konsequente Anwendung modellbasierter Beschreibungstechniken für alle Aspekte des Objektsystems erreicht werden. Hier hat sich der Einsatz objektorientierter Modellierung als wesentliche Voraussetzung erwiesen.

Das verteilte Simulationsmodell vereinfachte deutlich die Abstimmung im interkontinentalen und interkulturellen Entwicklungsteam und lieferte genaue Aussagen für die Auswahl und Abstimmung geeigneter Steuerungsalgorithmen. Als Ergebnis entstand eine Steuerung, die nicht nur die geographischen Probleme in Korea kompensierte, sondern sogar bessere Ergebnisse erbrachte als die bestehenden Werke in Ulsan.

Kritisch lässt sich sagen, dass sowohl die objektorientierte Modellierung der Prozesse im Team als auch die verteilte Simulation einen Aufwand verursacht haben, der nur angesichts der Projektgröße in Verbindung mit der Zeitnot akzep-

tabel ist. Seit dem Abschluss der Arbeiten in Asan hat das Fraunhofer IPK daher – teilweise in internationalen Verbundprojekten – an der Vereinfachung dieser Mechanismen gearbeitet. Wesentliche Verbesserungen, die heute für die objektorientierte Modellierung zur Verfügung stehen, sind z.B.

- Ein- und Auskoppeln von Modellteilen für einzelne Teams,
- weltweiter Zugriff auf die aktuellen Modelle über Internet-Viewer und
- Vordefinition beliebiger Auswertungen über eine Makrosprache.

Noch dramatischer ist der Fortschritt im Bereich der verteilten Simulation. Für das Asan-Projekt wurde die gesamte Kommunikation von Hand programmiert, zunächst in Anbindung an das Simulationstool MOSYS (Spur et al. 1990), in der Detaillierung vor Ort dann mit ARENA (Rockwell Software Inc.). Diese Erfahrungen wurden in dem Projekt IMS MISSION genutzt (IMS 97001, in Europa gefördert mit Mitteln der Europäischen Gemeinschaft im Rahmen des RTD Specific Programme, EP 29 656). Entstanden ist nicht nur eine enge Verbindung zwischen objektorientierter Modellierung und (nicht notwendigerweise objektorientierter) Simulation. Auch die Erstellung verteilter Modelle wurde dramatisch vereinfacht. Die aus MISSION entstandene „Verbindungssoftware“ GLUE4D stellt einen Satz an Simulationsbausteinen zur Verfügung, die das Einfügen einer Schnittstelle so einfach machen wie die Definition von Quellen und Senken (Rabe et al. 2001). Die erforderlichen Konfigurationsdateien werden aus dem objektorientierten Gesamtmodell erstellt, ohne dass hierfür noch ein weiteres Simulationsmodell erforderlich wäre. Die Kommunikation läuft direkt zwischen den gleichberechtigten Einzelmodellen unter Nutzung der vom DMSO, einer Abteilung des amerikanischen Verteidigungsministeriums, entwickelten High Level Architecture (HLA), von der insbesondere die eigentliche Kommunikationssoftware „Run Time Infrastructure“ (HLA-RTI) genutzt wird (Rabe u. Jaekel 2000). Umgesetzt wurde die Schnittstelle zunächst für die Simulationswerkzeuge ARENA und Taylor EDL (Enterprise Dynamics). Der verfügbare Standard-Adapter lässt jedoch den Anschluss anderer Simulationswerkzeuge zu.

Auch der Anschluss von Drittsystemen wie den Steuerungsprototypen des Asan-Projektes ist möglich. Daher ist bei dem nächsten derartigen Projekt eine Programmierung von Schnittstellen allenfalls noch für die Steuerungsprototypen notwendig, wobei aber auch hier das Interface vollständig spezifiziert ist, und entsprechende Funktionsbibliotheken zur Verfügung stehen.

Die Überprüfung von Steuerungssystemen mit Simulationsmodellen lässt sich daher heute noch wesentlich effizienter durchführen. Wenn in kurzer Zeit innovative Steuerungen geplant und umgesetzt werden sollen, dürfte an dieser Technologie kein Weg vorbeiführen.

Literatur

- Enterprise Dynamics, <http://www.enterprisedynamics.com>
- Mertins K, Albrecht R, Beck S, Bahns O, La Pierre B, Rieger P, Sauer O (1995) Gaining Certainty While Planning Factories and Appropriate Order Control Systems – a Case Study. Proceedings Seminar CAD/CAM 1995, Bandung, pp 8B1-8B20
- Mumm A, Mazzocco C, Rabe M, Vollmer L (1998) Auftragsdurchlauf, Produktions- und Fertigungssteuerung. In: Kuhn A, Rabe M (Hrsg) Simulation in Produktion und Logistik: Fallbeispielsammlung. Springer, Berlin Heidelberg New York, S 149-180
- Rabe M, Rieger P (1996) Test und Bewertung eines Konzeptes zur Fertigungssteuerung mit Hilfe der Simulation. 7. ASIM-Tagung Simulation – Anwendernutzen und Zukunftsaspekte. Dortmund
- Rabe M, Garcia de Gurtubai G, Jaekel FW (2001) Modelling and Simulation for Globally Distributed Enterprises. In: Proceedings of the EUROSIM 2001 conference, Delft, (CD ROM Publication)
- Rabe M, Jaekel FW (2000) Simulation for Globally Distributed Enterprises. 12th European Simulation Symposium (ESS), Hamburg, September 2000, S 322-327
- Rockwell Software Inc., <http://www.arenasimulation.com>
- Spur G, Mertins K, Wieneke B, Rabe M (1990) Modellierung von Informations- und Materialflüssen für die Auslegungsplanung. In: ZWF 85 (1990), Nr 1, S 8-13