

HLA als Basis eines Simulationsbackbones für die Digitale Fabrik

Dr. Steffen Straßburger
DaimlerChrysler AG - Research and Technology
Postfach 2360, 89013 Ulm
Email: steffen.strassburger@daimlerchrysler.com

1. Einleitung

Der Beitrag stellt konzeptuelle Überlegungen für einen generischen Simulation Backbone als eine Basistechnologie für die Digitale Fabrik vor. Die Zielstellung der Digitalen Fabrik ist es, dass in Zukunft keine Fabrikanlage ohne vollständige digitale Absicherung geplant, gebaut und betrieben werden soll [1]. Diese Zielstellung erfordert neben dem Einsatz digitaler Planungs- und Konstruktionsmethoden auch den immer stärker werdenden Einsatz von Simulationen. Dies beschränkt sich nicht nur auf isolierte Fragestellungen, in denen Simulation schon heute angewendet wird. In Zukunft wird Simulation sowohl in der Planungsphase neuer Fabriken als auch als produktionsbegleitende Maßnahme eingesetzt werden und sich durchgängig über die gesamte Prozesskette ausdehnen. Zur Unterstützung dieser durchgängigen und gesamtheitlichen Betrachtung ist eine geeignete IT-Infrastruktur (ein „Simulation Backbone“) erforderlich, der verschiedene und isoliert voneinander entwickelte Simulationsmodelle miteinander verbindet und integriert. Dies ist insbesondere unter dem Aspekt der Zuliefererintegration erforderlich, da eine Fabrikanlage typischerweise von diversen Zulieferern projiziert und gebaut wird, deren (Simulations-)Modelle miteinander integriert werden müssen. Zum Aufbau eines solchen Simulation Backbone scheint die High Level Architecture for Modeling and Simulation (HLA) [2] ein geeigneter Standard zu sein.

2. Anforderungen an einen Simulation Backbone

Mit der Idee der Digitalen Fabrik nehmen die Anforderungen hinsichtlich des Simulationseinsatzes deutlich zu: Keine Produktionsanlage soll mehr geplant, gebaut und betrieben werden, ohne sie vorher vollständig digital abzusichern.

Die reale Fabrik soll mit sämtlichen Wirkzusammenhängen möglichst detailgetreu als digitales Abbild im Rechner verfügbar sein. Dazu müssen zahlreiche, isoliert voneinander entwickelte und angewendete Simulationsmodelle (z.B. von Zulieferern oder verschiedenen Fachabteilungen) integriert werden. Dies erfordert eine geeignete IT-Architektur (siehe Abbildung 1). Diese muss einerseits die einzelnen Simulationsmodelle verbinden, die entlang einer Prozesskette wirken. Dies nennt man horizontale Integration, wie sie beispielsweise bei der durchgängigen Analyse des Materialflusses auftritt. Andererseits muss diese Architektur den Datenaustausch bzw. Daten-Sharing (Datenzugriff) zwischen Simulationsmodellen unterschiedlichen Detaillierungsgrades sicherstellen. Diese vertikale Integration findet z.B. zwischen Prozess- und Anlagenebene statt. Ein Beispiel hierfür wäre die grobgranulare Materialflusssimulation eines Rohbauabschnitts und die detailliertere Betrachtung einer bestimmten Roboterzelle aus diesem Szenario, da es an dieser Zelle typischerweise Rückstaus und häufige Ausfälle gibt.

Die notwendige Architektur muss letztlich hierfür die dynamische Kommunikation und zeitliche Synchronisation zwischen den unterschiedlichsten Systemen in einer geographisch verteilten Umgebung unterstützen.

Neben der dynamischen Kommunikation zwischen Simulationssystemen muss es ein Simulation Backbone ermöglichen, auf existierende operative IT-Systeme einer bestehenden IT-Landschaft eines Unternehmens zuzugreifen. Dies ist z.B. notwendig, um auf Basis einer aktuellen Auftragslage eine Prognosesimulation durchführen zu können. Hierfür muss die Auftragslage aus dem jeweiligen System (z.B. SAP) in die entsprechenden Simulationsmodelle eingespielt werden können. Weiterhin ist es wünschenswert, einen Online-Abgleich des Zustands der realen Anlage mit den jeweiligen digitalen Modellen durchführen zu können. Hierfür müssen Sensor-Daten der operativen IT-Systeme (z.B. Erfassung von Bearbeitungsständen) in das Simulationsmodell einfließen und das Modell entsprechend aktualisieren (siehe z.B. [3] für ein vergleichbares Szenario). Zur dynamischen Entscheidungsunterstützung ist über den Einsatz von Cloning-Technologien [4] nachzudenken. Beim Ausfall einer Maschine

oder eines Zulieferers könnten so z.B. mehrere parallele Simulationsläufe zur Evaluierung von alternativen Entscheidungen angestoßen werden, wobei alle Simulationsläufe auf dem aktuellen Systemzustand aufsetzen und durch Cloning erzeugt werden.

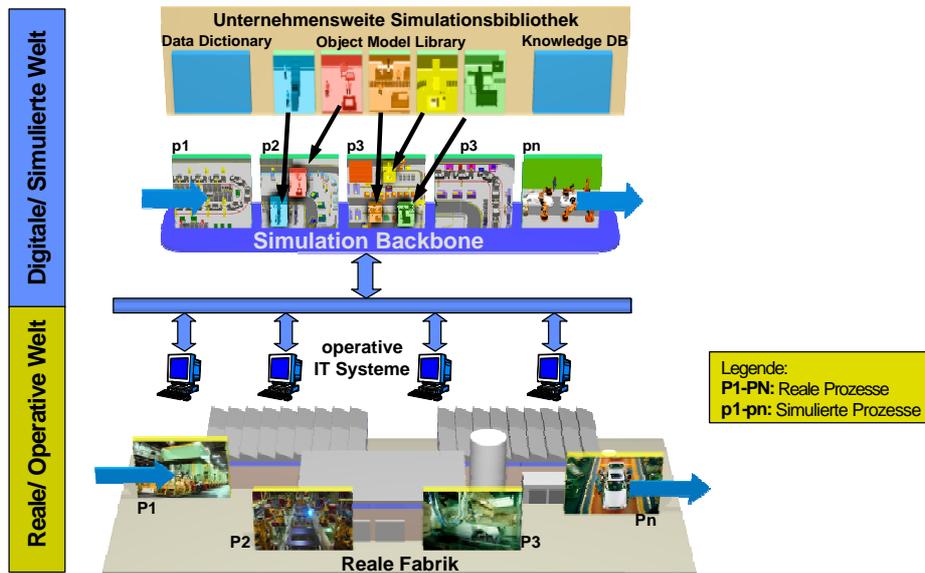


Abbildung 1: Vision der durchgängigen Integration von realer und simulierter Fabrik

3. Konzept zur Realisierung eines Simulation Backbone

Zur Realisierung einer entsprechenden Infrastruktur erscheint HLA [2] eine geeignete Basis darzustellen. HLA kann sowohl im Bereich der Digitalen Fabrik, als auch im Bereich der digitalen Produktentwicklung die entsprechenden Anforderungen erfüllen. Schnittstellen zu den relevanten Simulatoren lassen sich, in Abhängigkeit vom Support der Hersteller relativ einfach implementieren.

Im Unternehmenskontext sind jedoch neben einer Basistechnologie für eine dynamische Kommunikation der Komponenten weiterführende Überlegungen notwendig. Diese schließen die Standardisierung von Datenmodellen, die Verfügbarkeit einer unternehmensweiten Simulationsbibliothek und die Anwendung von Portaltechnologien zum Zugriff auf und zur Steuerung von Simulationen ein. Diese Themen werden in den folgenden Abschnitten näher diskutiert.

3.1 Standardisierung

Im Kontext der industriellen Anwendung von Simulation allgemein spielen Standards eine entscheidende Rolle. Mit der Zielstellung eines Simulation Backbones verstärkt sich die Notwendigkeit. Die Schnittstellen zwischen den verschiedenen Simulationen müssen exakt und in einer für alle Beteiligten einheitlich zu interpretierenden Weise definiert sein. HLA bietet für diese Forderung eine Lösung. Es wird zum einen auf der API-Ebene ein Standard definiert (die HLA Federate Interface Specification, IEEE Standard 1516.1), der von allen Simulationen zur Kommunikation genutzt werden muss. Bis auf geringfügige Ausnahmen [5] bildet dieser Standard eine solide Basis für die Kommunikationsanforderungen eines Simulation Backbones.

Zum anderen wird für die Standardisierung der Datenebene ein Template vorgegeben, dass zur Vereinbarung eines konkreten Standards in Abhängigkeit von den beteiligten Anwendungen genutzt werden muss. Hierbei handelt es sich um ein sogenanntes Object Model Template, kurz OMT (IEEE Standard 1516.2). Aus diesem OMT sind dann konkrete Federation Object Models abzuleiten, die dann ihrerseits genau definieren, welche Datenobjekte und Interaktionsnachrichten zwischen den Simulationen ausgetauscht werden können.

Zur Standardisierung industrieller Anwendungen ist über die Entwicklung sogenannter Referenz-FOMs, wie sie im Bereich der militärischen Trainingssimulationen verbreitet sind, nachzudenken. So wäre es z.B. sinnvoll, ein Referenz-FOM für den Bereich „Manufacturing Simulation“ und ein Referenz-FOM für den Bereich „Product Simulation“, an das dann die jeweiligen Zulieferer gebunden wären, zu entwickeln. Ein Ausschnitt für einen Vorschlag für ein Manufacturing Referenz-FOM, das derzeit bei der DaimlerChrysler AG im Einsatz ist, findet sich in Abbildung 2.

Object	Attribute	Datatype	Cardinality	Units	Resolution
AGV	FederateID	string	1		
	X	double	1		
	Y	double	1		
	Z	double	1		
	RotX	double	1		
	RotY	double	1		
	RotZ	double	1		
Part	GeometryID	string	1		
	FederateID	string	1		
	X	double	1		
	Y	double	1		
	Z	double	1		
	RotX	double	1		
	RotY	double	1		
PowerAndFree	GeometryID	string	1		
	FederateID	string	1		
	X	double	1		
	Y	double	1		
	Z	double	1		
	RotX	double	1		
	RotY	double	1		
Robot	GeometryID	string	1		
	DCF	string	1		
	JointValues	string	1		

Abbildung 2: Manufacturing Reference FOM (Vorschlag)

3.2 Unternehmensweite Simulationsbibliothek und Portalintegration

Im Kontext von Großunternehmen muss eine generelle Basislösung für einen Simulation Backbone auch eine Möglichkeit zur Verwaltung von Simulationsmodellen bereitstellen. Diese sollte typischerweise eine unternehmensweiten Modellbibliothek mit den üblichen Funktionen eines Repositories (Verwaltung, Versionierung, Sortierung nach Kriterien, Stichwortsuche, etc.) bieten. Unter HLA wird hierfür der Begriff eines „Modeling and Simulation Resource Repositories“ (MSRR) genutzt.

Unter dem Aspekt der Simulationsintegration bzw. Kopplung zur Laufzeit muss dieses MSRR jedoch auch den Gedanken der Komponentenintegration unterstützen: Es muss möglich sein, verschiedene Modelle aus dem Repository zu selektieren und miteinander (möglichst mit graphischer Unterstützung) zu verbinden und dann in einer lauffähigen Form zu exportieren.

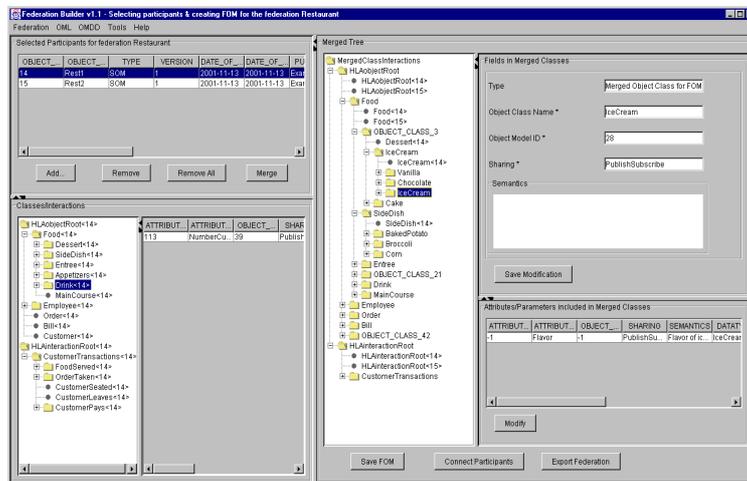


Abbildung 3: Federation Builder User Interface

Ein wichtiger Aspekt hierbei ist das Mapping von möglicherweise verschiedenen Datenmodellen. Obwohl die Nutzung von standardisierten Datenmodellen zur Kopplung von Simulationen die zu bevorzugende Variante ist, muss eine allgemeine Lösung auch den Fall berücksichtigen, dass die zu kopplenden Simulationen auf unterschiedlichen Datenmodellen (unter HLA: Simulation Object Models, SOMs) basieren.

Bezüglich der Implementierung sollte ein MSRR auf aktuellen Portaltechnologien basieren und im Intranet eines Unternehmens von jedem Arbeitsplatz über einen Standard Web-Browser verfügbar sein. Das MSRR sollte weiterhin die Möglichkeit des Simulationsstarts (lokal und remote) bieten.

Zur Validierung dieser Konzepte hat DaimlerChrysler in einem internen Forschungsprojekt ein interaktives Werkzeug, Federation Builder, entwickelt, mit dem man schnell und effizient aus einzelnen

Simulationsmodellen einen Simulationsverbund aufbauen und verwaltet werden kann. Dies geschieht durch Auswahl und Verknüpfung der auszutauschenden Objekte, Attribute und Parameter (Mapping), die in den Objektmodellen jedes Simulationsmodells definiert wurden. Weiterhin können verschiedene Simulationsmodelle mittels Federation Builder über Quellen-Senken-Beziehungen miteinander verbunden werden. Federation Builder basiert auf einer DB2-Datenbank als Backend-System und bietet ein Java-basiertes User-Interface (Abbildung 3).

Die Prototypenphase der Federation Builder Entwicklung hat sich als erfolgreich erwiesen. In weiterführenden Schritten ist an der Portalintegration, einer besseren graphischen Nutzeroberfläche und der Tool-Startfunktionalität zu arbeiten.

3.3 Universeller Federate Adapter

Eine Voraussetzung für die Nutzung des Federation Builders ist, dass die jeweiligen Simulationssysteme bereits über HLA-Schnittstellen verfügen. Zur Reduktion des Erstellungsaufwandes solcher Schnittstellen hat DaimlerChrysler eine Softwarebibliothek (den Universal Federate Adapter (UFA)) entwickelt. Ähnliche Bestrebungen gibt es von diversen anderen Parteien [7].

Der UFA erlaubt die einfache Anbindung an die RTI und erledigt Zusatzaufgaben wie Namen- und Einheitenumrechnungen, die aus generierten Konfigurationsdateien des Federation Builders entnommen werden.

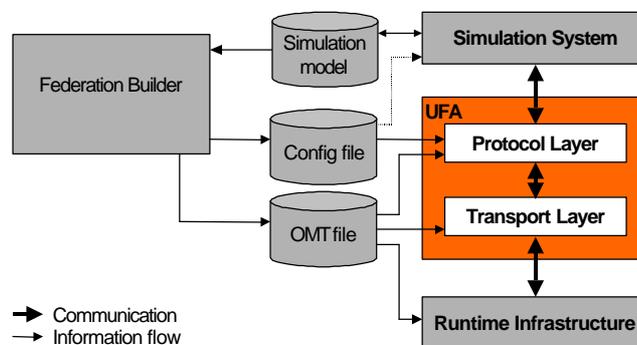


Abbildung 4: Zusammenspiel von Federation Builder und Universal Federate Adapter

Abbildung 4 gibt einen Überblick über das Zusammenspiel von UFA und Federation Builder. Detailliertere Informationen können [5] und [6] entnommen werden.

3.4 Anbindung an operative IT-Systeme

Eine weitere Aufgabe eines Simulations Backbones ist Integration der Simulation mit der vorhandene IT-Infrastruktur eines Unternehmens. Dadurch soll ein direkter Zugriff auf aktuelle, operative Daten ermöglicht werden, die sowohl bei der Modellerstellung (siehe z.B. [8]) als auch als Online-Input-Daten während eines Simulationslaufs Verwendung finden. Gleichzeitig können Simulationsergebnisse unmittelbar im operativen Betrieb genutzt werden. Dies wird den wirtschaftlichen Einsatz von Simulation weiter erhöhen und die Qualität und Zuverlässigkeit von simulationsbasierter Prognosen deutlich verbessern.

3.5 Modellgenerierung

Im Kontext der Digitalen Fabrik gibt es natürlich nicht nur darum, Simulationsmodelle miteinander zu integrieren. Ein Hauptaufgabengebiet der Digitalen Fabrik ist die Einführung digitaler Planungsmethoden, die beispielsweise von Tools der Firmen Delmia (Process Engineer) und Tecnomatix (eM-Planner) unterstützt werden. Hierbei geht es hauptsächlich um die strukturierte Verwaltung von Produkt-, Prozess- und Ressourcendaten zur Planung neuer Fertigungsanlagen. Dieser Planungsprozess wird durch den gezielten Einsatz von Simulationen entscheidend unterstützt. Um dies durchgängig und ohne doppelte Datenhaltung durchführen zu können, muss die Generierung von dynamischen Simulationsmodellen aus statischen Planungsmodellen von den genannten Tools unterstützt werden. Abbildung 5 skizziert den anzustrebenden Weg vom statischen Planungsmodell zur verteilten Simulation.

Ausgangspunkt bildet das statische Planungsmodell aus dem ein dynamisches Simulationsmodell generiert wird. Hierfür bieten die jeweiligen Systeme wie Process Engineer oder eM-Planner bereits eingeschränkte Möglichkeiten. Typischerweise muss das Simulationsmodell um bestimmte Daten und

Eigenschaften, die im Planungsmodell nicht erfasst sind, ergänzt werden. Mit diesem dynamischen Simulationsmodell kann dann bereits experimentiert werden. Änderungen am Simulationsmodell sollten idealerweise ins Planungsmodell zurück gespielt werden können. Das Simulationsmodell wird im MSRR abgespeichert und steht für die weitere Nutzung im Zusammenspiel mit anderen Modellen zur Verfügung. Hierfür sind die entsprechenden Modelle im MSRR auszuwählen, zu verknüpfen und als Federates zu exportieren. Diese können dann, gegebenenfalls unter Nutzung aktueller Auftragsdaten, miteinander ausgeführt werden.

Wichtig ist hierbei, dass die Duplizierung von Daten und Modellen in mehreren Datentöpfen durch den vorgestellten Ansatz vermieden werden kann.

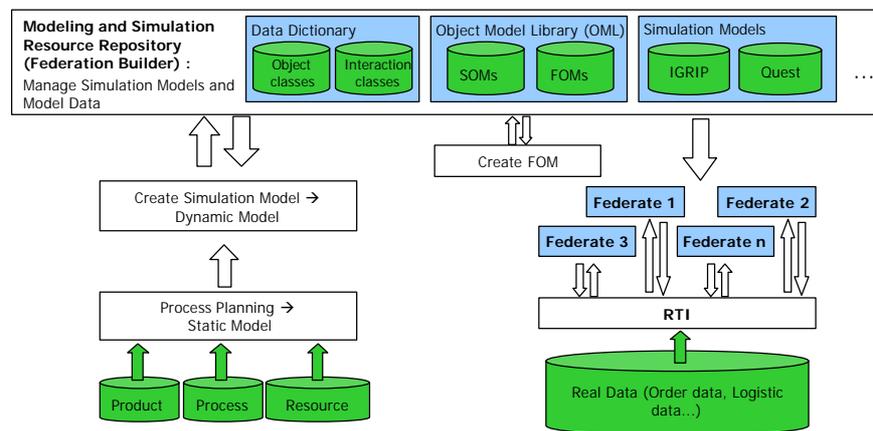


Abbildung 5: Kopplung von Simulationsmodellen im Kontext der Digitalen Fabrik

4. Nutzenpotential

Für die erfolgreiche Einführung eines Simulation Backbones im industriellen Kontext der Digitalen Fabrik ist neben der technischen Machbarkeit (die absolut zu bejahen ist) die Frage des Nutzenpotentials und der Kosten(-ersparnis) zu stellen. Nur wenn sich hier eine signifikante Verbesserung gegenüber der herkömmlichen (monolithischen) Nutzung von Simulationen ergibt, lässt sich der Einsatz rechtfertigen. Leider ist es eine nicht-triviale Aufgabe, prozessuale Verbesserungen und Kosteneinsparungen im Arbeitsablauf zu quantifizieren. Die folgenden Kriterien können hierbei als Anhaltspunkte und Argumentationshilfe dienen:

- **Wiederverwendbarkeit vorhandener Modelle**
Durch die Möglichkeit, vorhandene Modelle entsprechend eines Komponentenansatzes wiederzuverwenden spart Ressourcen im Vergleich zur monolithischen Modellerstellung. Eine neue Simulation kann durch Wiederverwendung existierender modular aufgebauter Simulationsmodelle zusammengesetzt werden. Dies führt zu einer signifikanten Aufwandsreduzierung. Weiterhin wird die Integration fremdergestellter Simulationsmodelle (z.B. von Lieferanten ermöglicht).
- **Aufteilung der Problemstellung in Teilprobleme und Nutzung des bestgeeigneten Simulators**
Mit der Bereitstellung eines Simulations Backbones wird es möglich, eine Problemstellung beliebig in zu modellierende Teilprobleme aufzusplitten und das jeweils geeignetste Werkzeug für ein Teilproblem zu verwenden. Dies erlaubt eine Arbeitsteilung und in vielen Fällen eine genauere Abbildung bei schnellerer Erreichung der Lösung.
- **Geheimhaltungsaspekte**
Durch das Komponentenparadigma können Modelle als Blackbox betrachtet werden, wenn z.B. internes Wissen eines Zulieferer im Bereich der Produktsimulation geheim gehalten werden soll oder die Partner in einer Supply Chain interne Abläufe nicht preisgeben wollen. Modelle können sogar geographisch verteilt ausgeführt werden, so dass sich bestimmte Fragen von Vertrauenswürdigkeit und Datensicherheit von selbst lösen.
- **Beschleunigung der Programmausführung**
Teilt man eine große Simulation in mehrere Teilsimulationen auf verschiedenen Computern auf, so kann dadurch die Simulation insgesamt beschleunigt werden.

Bezüglich der Kostenersparnis durch verteilte Simulation kann argumentiert werden, dass gewisse Problemstellungen erst durch die Kopplung von Modellen erkannt und gelöst werden können. So ist ohne die Möglichkeit der Kopplung von Simulationsmodellen ist eine umfassende, wirklichkeitsnahe Simulation hoher Aggregationsebenen gar nicht möglich. Erst die Kopplung ermöglicht umfassende, wirklichkeitsnahe Simulation und erschließt somit heute nicht erreichbare Optimierungspotenziale. Dies wird z.B. erreicht, indem Simulationen hoher hierarchischer Ebenen vertikal mit unterlegten (detaillierteren und somit wirklichkeitsnäheren) Modellen gekoppelt werden.

Die Frage der Kostenersparnis kann jedoch endgültig erst bei Vorliegen entsprechender Erfahrungen bezüglich des Kostenaufwands zum Aufbau und zur Kopplung der Simulationsmodelle beantwortet werden. Diesbezügliche Untersuchungen sind z.Zt. Gegenstand eines internen DaimlerChrysler Pilotprojektes.

5. Zusammenfassung

Dieser Beitrag hat konzeptuelle Überlegungen für einen generischen Simulation Backbone als eine Basistechnologie für die Digitale Fabrik vorgestellt. Mittels eines derartigen Simulation Backbones, für den sich HLA als Kommunikationsstandard anbietet, wird es möglich, das heute vorhandene Nutzenpotential von zumeist monolithischen Simulationen entscheidend zu erweitern. Simulation sowohl in der Planungsphase als auch als produktionsbegleitende Maßnahme kann vom Integrationsgedanken profitieren.

In verschiedenen internen DaimlerChrysler-Forschungsprojekten wurden HLA-Schnittstellen für die Simulationssysteme QUEST und IGRIP, das Office-Programm Excel und das Virtual Reality-System DBView entwickelt. Diese Schnittstellen basieren auf einem einheitlichen Schnittstellenkonzept des Universal Federate Adapters. Weiterhin wurde der Prototyp eines unternehmensweiten Modeling and Simulation Resource Repositories (Federation Builder) konzipiert und implementiert. Gemeinsam bilden diese Aktivitäten die Grundlage zur Einrichtung eines Simulation Backbones.

Derzeitige Aktivitäten konzentrieren sich auf die Evaluierung des Nutzenpotentials der entwickelten Lösungen und der Ableitung weitergehender Anforderungen. Zukünftige Arbeiten in Richtung der Integration mit operativen IT-Systemen sind beabsichtigt.

6. Referenzen

- [1] *Schiller, E., W. Seuffert*: Digitale Fabrik bei DaimlerChrysler: Bis 2005 realisiert. In: Automobil Produktion, 2/2002.
- [2] *Straßburger, S.*: Distributed Simulation Based on the High Level Architecture in Civilian Application Domains. Ghent: SCS-Europe BVBA, 2001. ISBN 1-565552180.
- [3] *Schulze, T., U. Klein, S. Lange, S. Straßburger, K.-C. Ritter, R. Jesse*: Integration von Echtzeit-/Online-Informationen in verteilte Simulationen auf Basis der High Level Architecture. In: Proceedings Simulation und Visualisierung '99, (Eds.) O. Deussen, V. Hinz, P. Lorenz. Magdeburg, 4.-5. März 1999, SCS International, pp. 167-180.
- [4] *Schulze, T., S. Straßburger, U. Klein*: HLA-Federate Reproduction Procedures in Public Transportation Federations. In: Proceedings of the 2000 Summer Simulation Conference 2000, eds. B. Waite and A. Nisanci. July 16-20, 2000. Vancouver, Canada.
- [5] *Straßburger, S., A. Hamm, G. Schmidgall, S. Haasis*: Using HLA Ownership Management in Distributed Material Flow Simulations. In: Proceedings of the 2002 European Simulation Interoperability Workshop. June 2002. London, UK.
- [6] *Straßburger, S., G. Schmidgall and S. Haasis*: Distributed Manufacturing Simulation as an Enabling Technology for the Digital Factory. Journal of Advanced Manufacturing Systems (JAMS). Vol. 2, No. 1 (2003) 111-126.
- [7] *Rabe, M., F.W. Jaeckel, M. Dassisti, M. Erriquez*: Generic Adapter for Distributed Simulation. In: Proceedings Simulation und Visualisierung 2003, (Eds.) T. Schulze, S. Schlechtweg, V. Hinz. Magdeburg, 6. und 7. März 2003, SCS International, pp. 205-216.
- [8] *Jensen, S., A. Reinhardt*: Integration industrieller DV-Systeme zur automatischen Modellgenerierung in der Getriebeproduktion. In: Proceedings Simulation und Visualisierung 2003, (Eds.) T. Schulze, S. Schlechtweg, V. Hinz. Magdeburg, 6. und 7. März 2003, SCS International, pp. 337-348.