

## **Modellgenerierung im Kontext der Digitalen Fabrik - Stand der Technik und Herausforderungen**

*Model Generation in the Digital Factory Context  
- State-of-the-Art and Challenges*

Steffen Straßburger, Sören Bergmann  
Technische Universität Ilmenau, Ilmenau (Germany)  
steffen.strassburger@tu-ilmenau.de

Hannes Müller-Sommer  
Daimler AG, Sindelfingen (Germany)

**Abstract:** This paper discusses the state of the art in automatic simulation model generation focusing on the digital factory context in the automotive industry. Recent advances of the field are discussed and classified. Future challenges are introduced.

### **1 Einleitung**

Dieser Beitrag gibt einen Überblick über verschiedene Ansätze zur automatischen bzw. teilautomatischen Generierung von Simulationsmodellen. Hierfür werden zunächst Klassifikationsmöglichkeiten für Modellgenerierungsansätze diskutiert. Im Folgenden werden aktuelle Arbeiten aus dem Kontext der Digitalen Fabrik der Automobilindustrie analysiert und in diese Klassifikation eingeordnet. Daten-austauschformate, die im Kontext der Modellgenerierung verwendet werden, werden auf ihre Praxistauglichkeit und ausgewählte Werkzeuge auf ihre Unterstützung der Modellgenerierung untersucht.

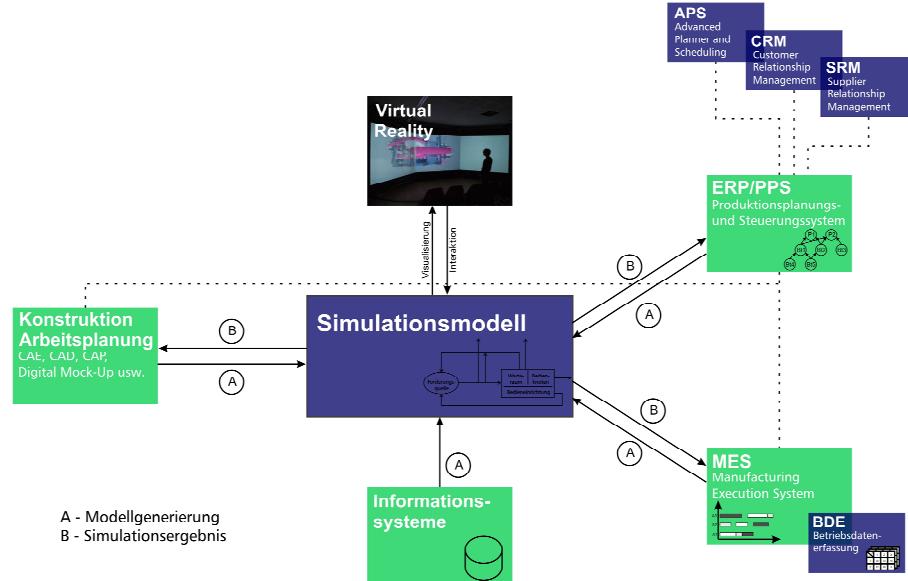
Aufbauend auf den dargestellten Resultaten werden Schlussfolgerungen gezogen, welche offenen Herausforderungen heute noch ungelöst sind, und was daher bei zukünftigen Modellgenerierungsansätzen zu beachten ist.

### **2 Datenquellen für die Modellgenerierung**

Unter dem Begriff der (teil-)automatischen Modellgenerierung werden im Simulationskontext Ansätze verstanden, bei denen ein Simulationsmodell nicht manuell mit den Modellierungswerkzeugen des gewählten Simulators erzeugt wird, sondern vielmehr über Schnittstellen und Algorithmen aus externen Datenquellen generiert

wird. Man spricht daher auch von "datengetriebener Modellgenerierung" (ECKARDT 2002; WENZEL 2009). Hierbei existiert ein breites Spektrum an potentiell geeigneten externen Datenquellen und zugehörigen IT-Systemen (vgl. Abb. 1).

Im Kontext der Planungswelt der digitalen Fabrik sind als Datenquellen insbesondere Prozessplanungs- und Layoutgestaltungswerzeuge von Interesse. Im Falle des Einsatzes der Simulation zur Unterstützung des operativen Betriebes einer Fabrik kommen weitere betriebliche Informationssysteme (ERP/PPS, MES) als wichtige Datenquellen hinzu.



*Abbildung 1: Datenquellen zur Modellgenerierung*

### 3 Klassifikationsmöglichkeiten

Es gibt ein recht breites Spektrum an Klassifikationsmöglichkeiten für Ansätze zur Modellgenerierung. In Anlehnung an (ECKARDT 2002) können drei Grundansätze zur Automatisierung der Erstellung diskret-ereignisgesteuerter Simulationsmodelle unterschieden werden:

1. **Parametrische Ansätze:** Kennzeichnend für diesen Ansatz ist, dass Modelle auf Basis existierender, in Bibliotheken gespeicherter Simulationsbausteine erstellt werden, die vom Modellgenerator auf Basis von Parametern selektiert und konfiguriert werden.
2. **Strukturbasierte Ansätze:** Ausgangspunkt der Modellgenerierung bilden in diesem Ansatz Daten, die die Struktur des abzubildenden Systems beschreiben. Hierzu zählen nach ECKARDT (2002) insbesondere Fabriklayoutdaten aus entsprechenden CAD-Systemen.

3. Hybrid-wissensbasierte Ansätze: Diese Ansätze kombinieren Verfahren der künstlichen Intelligenz (Expertensysteme, neuronale Netze u.ä.) mit den beiden bisher dargestellten Verfahren.

Betrachtet man die in Abschnitt 4 näher vorgestellten Ansätze, kann man kritisch hinterfragen, ob diese Klassifikation heute noch sinnvoll ist. Insbesondere im Kontext der digitalen Fabrik sind häufig sowohl strukturelle (d.h. layoutbasierte) Daten für die Modellbildung relevant, als auch Parameterdaten, die die simulationsrelevanten Eigenschaften grafischer Objekte näher beschreiben. Insofern könnten fast alle aktuellen Verfahren als "hybrid" klassifiziert werden und, da häufig ein Ziel auch die Nutzbarmachung von Expertenwissen ist, auch als hybrid-wissensbasiert.

In Tabelle 1 werden daher weiter untersetzte Möglichkeiten zur Klassifikation von Modellgenerierungsansätzen in Form eines morphologischen Kastens aufgezeigt.

<b>Kriterium</b>	<b>Ausprägung</b>				
Einsatzfall der generierten Simulationsmodelle	planungsbegleitend			betriebsbegleitend	hybrid
	strategisch (z.B. Standort)	taktisch (z.B. Layout, Puffergrößen)			
Fertigungstyp	Job-Shop		Flow-Shop		Open-Shop
Fokussiertes Gewerk	Montage	Lackiererei	Logistik	Fördertechnik	Andere
Nutzergruppe	Fachabteilung		Simulationsexperte		Jeder
Grad der Automatisierung der Modellerstellung	keine	teilautomatisch			voll automatisch
		Struktur	Verhalten	beides	
Ansatz der Modellerstellung	Standardisierte Eingabeformulare	Dialoggeführt (Wizard o.ä.)	Referenzmodelle	Direkter generischer Modellaufbau	
				eine Datenquelle	alle relevanten Systeme
Unterstützte Phasen der Simulationsstudie	Modellerstellung		Verifikation und Validierung	Experiment / Initialisierung	mehrere
Technische Umsetzung der Schnittstelle	textbasiert (z.B. *.csv)	tabellenbasiert (z.B. Excel)		XML (z.B. CMSD)	Datenbank (z.B. SQL)
Art der fachlichen Schnittstelle	layoutbasiert (z.B. SDX)		produktbasiert (z.B. STEP)	prozessbasiert	sonstige / hybrid
Wiederverwendung des Modells	Keine		mehrmalig		
	keine weiteren Fragestellungen	nicht wirtschaftlich	manuelle Nachbearbeitung	Neuparametrisierung	kontinuierliche Anpassung

**Tabelle 1:** Klassifikationsmöglichkeiten von Modellgenerierungsansätzen

## 4 Überblick über existierende Ansätze

Bestrebungen zur Automatisierung der Erzeugung von Simulationsmodellen sind als Idee nicht neu und werden seit über 15 Jahren verfolgt. Frühe Arbeiten zur layoutbasierten Modellgenerierung finden sich bereits bei LORENZ und SCHULZE (1995); bereits die Arbeiten von SPLANEMANN (1995) können als hybrid bezeichnet werden, weil hier sowohl CAD-Daten als auch Daten anderer Informationssysteme (PPS) für die Modellgenerierung herangezogen werden.

Ein wesentliches Problem der automatischen Modellgenerierung ist die Abbildung komplexer Systemverhaltens. Das Problemspektrum beginnt bereits bei der Abbildung von einfachen Steuerstrategien (Pufferstrategien, Routingentscheidungen u.ä.). Diese sind zwar simulationsseitig häufig noch recht gut durch einfache Parametrisierung von Bausteinen abbildbar, vielfach fehlen jedoch in den Ausgangssystemen (Prozessplanungswerkzeuge, Fabriklayout-Tools) die entsprechenden Modellierungsmöglichkeiten, oder, so sie existieren liegt es nicht im Kompetenz- und Aufgabenbereich des Planers, diese zu nutzen.

Die Arbeit von ROOKS (2009) ist in diesem Kontext angesiedelt. Sie verwendet als Datenquellen die digitale Prozessplanung und ergänzt diese um Layoutinformationen aus einem anderen System. Der Vorschlag von Rooks ist, die typischerweise in Planungssystemen fehlenden Beschreibungen von Verhaltensregeln (wie Steuerstrategien) durch den Planer im Planungssystem ergänzen zu lassen, damit diese für die Modellgenerierung zur Verfügung stehen. Somit wird es technisch zwar möglich, lauffähige Simulationsmodelle zu generieren, ob diese Möglichkeit jedoch praktisch umsetzbar ist (fehlende Simulationskompetenz der Planer), hängt vom konkreten Einsatzszenario ab.

Einen anderen Ansatz für die Problematik der Generierung von Steuerstrategien untersucht die Arbeit von SELKE (2004). Hier ist die Modellgenerierung in einem betriebsbegleitenden Kontext angesiedelt und es wird versucht, die Steuerstrategien automatisch durch Auswertung von Zustandsdaten des realen Systems zu erkennen.

Der Schwierigkeitsgrad der automatisierten Generierung von Steuerungs- und Routingstrategien ist jedoch noch als relativ einfach zu bezeichnen. Das Problemspektrum der automatischen Generierung von komplexerem Systemverhalten geht jedoch noch wesentlich darüber hinaus. Dies spiegelt sich mit der Charakteristik bausteinorientierter Simulatoren, die - je nach Umfang der bereitgestellten Simulationsbibliotheken - zwar in der Lage sind, geschätzte 70-90 % eines realen Systems mit ihren vordefinierten Bausteinen über einfache Parametrisierungen abzubilden, jedoch für die restlichen 10-30 % händische Eingriffe des Modellierers auf der nächst tiefen Modellierungsebene benötigen. Auf dieser Ebene besteht dann die Möglichkeit, komplexere Verhaltenslogiken mittels algorithmischer Modellierungsansätze über eingebaute Skript- bzw. Simulationssprachen der Simulatoren abzubilden. Die automatische Generierung solcher Verhaltenslogiken ist jedoch schwierig und beschränkt sich typischerweise auf einfache Entscheidungsregeln bzw. -tabellen.

Mit dem Standardisierungsgedanken der digitalen Fabrik besteht die Hoffnung, trotz dieser generellen Problematik zu komplett automatisiert aufbaubaren Simulationsmodellen zu kommen. Hierfür werden dann u.U. Einschränkungen bzgl. der All-

gemeingültigkeit der Ansätze in Kauf genommen und die Modellgenerierung z.B. auf ein spezifisches Gewerk und festgelegte Randbedingungen beschränkt. WURDIG und WACKER (2008) stellen eine derartige Lösung für den Bereich der Fördertechnik vor.

JENSEN (2007) entwickelte ein Verfahren zur Kopplung verschiedener industrieller produktionsnaher Datenhaltungssysteme mit dem Ziel einer automatischen Modellgenerierung. Kern seiner Arbeit ist das Zusammenführen verschiedener Datenquellen zu einem Datenframework auf der Basis von Web-Diensten. Diese enthalten eine Logik, mit der diese Daten flexibel in einer XML-Datei aufbereitet werden. Hierbei wird auch auf BDE-Daten der bestehenden Produktion zugegriffen, die in betriebsbegleitenden Systemen vorgehalten werden. Die XML-Datei kann auf einem Client-Rechner grafisch dargestellt und an Fragestellungen der Simulation angepasst werden. Danach erfolgt mittels XML-Parsern eine Übergabe an unterschiedlichen Simulatoren, die das Modell erzeugen, ausführen und analysieren. Es können mit dieser Lösung Fragestellungen wie Kapazitätsanalysen, Losgrößenbestimmung und Pufferdimensionierung adressiert werden.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass diverse praxistaugliche Ansätze existieren, Simulationsmodelle zumindest teilautomatisiert zu generieren. Diese sind jeweils auf ein konkretes betriebliches Szenario (Gewerk, Untersuchungsziel, u.ä.) zugeschnitten. Weiterhin ist eine strikte Trennung in planungsbegleitende und betriebsbegleitende Ansätze zu erkennen. Die technischen Umsetzungen sind aufgrund fehlender Standards als sehr heterogen zu charakterisieren.

## 5 Datenstandards und Werkzeugunterstützung

Im Zuge einer möglichst allgemeingültigen Gestaltung von Ansätzen zur "datengetriebenen Modellgenerierung" ist zu diskutieren, welche Rolle hierbei Datenstandards zum Austausch der relevanten Informationen für die Modellgenerierung zukommt. Die Anzahl zur Verfügung stehender Standards ist als gering einzustufen. Das schon ältere SDX-Format (Simulation Data Exchange; vgl. SLY, MOORTHY 2001) sowie der neuere SISO-Standard CMSD (Core Manufacturing Simulation Data; vgl. SISO 2009) zählen zu den wenigen überhaupt existierenden Standards auf diesem Gebiet.

Das SDX-Format ist auf reine Layoutinformationen beschränkt. Geometrische Objekte können hierbei bereits im CAD-System (z.B. FactoryCAD) als simulationsrelevant gekennzeichnet und mit Parametern, die im Prozess der Modellgenerierung relevant sind, ausgestattet werden. SDX unterstützt hierbei nach SLY und MOORTHY (2001) sogar ansatzweise ein zyklisches Vorgehen. Modellgenerierungszyklen können danach mehrfach durchlaufen werden, wenn sich z.B. das Layout im CAD-System ändert, ohne dass im Simulator getätigte Ergänzungen verloren gehen. SDX wird von einigen kommerziellen Simulatoren (z.B. AutoMod, WITNESS, Simul8, Plant Simulation) als Importformat unterstützt, bei CAD-Systemen beschränkt sich die Unterstützung des SDX-Formats auf FactoryCAD.

SDX hat als Datenaustauschformat für geometriebezogene Daten zwar eine gewisse Verbreitung gefunden, für darüber hinausgehende Anforderungen im Rahmen einer Modellgenerierung ist es jedoch als unzureichend zu betrachten, da z.B. Informatio-

nen bzgl. Verhaltenslogiken oder Initialisierungsdaten nicht abgebildet werden können. SDX stellt auch keinen offenen Standard dar, da dessen Entwicklung in den Händen eines Hersteller (Siemens) liegt.

Das relative junge CMSD-Format stellt den Versuch eines offenen Standards dar, der neben layout- und strukturbbezogenen Informationen auch Systemlastdaten (z.B. Aufträge) und Steuerdaten (Werkerzuordnungen, Schichtpläne, u.ä.) in ein standardisiertes, XML-basiertes Format integriert. Da die Eignung dieses Formats zur Modellgenerierung an anderer Stelle in diesem Tagungsband diskutiert wird (vgl. BERGMANN, STRASSBURGER 2010) soll hier auf eine detaillierte Diskussion verzichtet werden. Es sei hier lediglich angemerkt, dass auch CMSD keine vollständige Lösung für die Problematik der Generierung von Verhaltenslogiken liefert und dass bisher keine Unterstützung dieses Formats durch Systemhersteller existiert. Der Standard bietet jedoch nach Einschätzung der Autoren ein relativ hohes Potential für eine weitreichende Unterstützung von Modellgenerierungsansätzen.

Neben Formaten mit konkretem Simulationsbezug kommen in Modellgenerierungsansätzen z.T. auch allgemeinere Standards (z.B. STEP) oder spezielle Grafikimport und -export-Formate zum Einsatz. Diese werden für den jeweiligen Modellgenerierungszweck adaptiert und ggf. proprietär erweitert (vgl. SPLANEMANN 1995).

Diverse Ansätze basieren auch auf komplett proprietären Datenformaten, auch wenn diese häufig unter Nutzung von XML als Beschreibungssprache definiert werden.

Voraussetzung für die Implementierung von selbstentwickelten Modellgeneratoren auf Seiten der Simulatoren sind geeignete Schnittstellen zum Einlesen der Eingangsdaten und die Fähigkeit der simulatorenigen Skriptsprache zur "ferngesteuerten" Erstellung bzw. Parametrierung von Modellen. Hierbei ist es hilfreich, wenn der Simulator über Grundkonzepte objektorientierter Programmierung verfügt. Aus eigenen Erfahrungen der Autoren bieten gängige Simulatoren der Digitalen Fabrik wie Plant Simulation oder QUEST, aber auch reine Simulationssprachen wie SLX hierfür die notwendigen Mechanismen.

Es ist somit festzuhalten, dass heutige Werkzeuge der Digitalen Fabrik den Prozess der datengetriebenen Modellgenerierung zwar prinzipiell ermöglichen, es sich bei existierenden Lösungen aufgrund fehlender Standards heute jedoch meist um proprietäre Insellösungen handelt, die auf eine konkrete Problemklasse zugeschnitten ist.

## 6 Offene Herausforderungen

Aus den Diskussionen der beiden vorhergehenden Abschnitten lassen sich Entwicklungsbedarfe ableiten, die in zukünftigen Forschungsarbeiten und idealerweise auch in den Roadmaps der Simulatorhersteller Berücksichtigung finden sollten.

So ist einerseits die Unterstützung zyklischer Vorgehensweisen (Modelle werden mehrfach generiert, da sich Planungsdaten ändern) ein kritisches Element für eine breite Akzeptanz von Modellgenerierungsansätzen. Die Notwendigkeit hierfür ergibt sich aus dem teilautomatisierten Charakter der meisten Modellgenerierungsansätze, bei denen gewisse Modellierungsumfänge händisch im Simulator nachgepflegt werden müssen. Ist dieser Aufwand bei jeder Iteration eines Modellgenerierungszyklus zu erbringen, sinkt die Akzeptanz der Modellgenerierung drastisch. Erste Ansätze

zur Unterstützung zyklischer Vorgehensweisen existieren z.B. bei SDX-Importfiltern und dem AMG-Baustein von Plant Simulation, jedoch fehlt eine konsequente und systematische Weiterentwicklung.

Ein verwandtes Problem sind die häufig fehlenden Möglichkeiten des Rückspielens von Ergebnisdaten in die ursprünglichen Datenhaltungssysteme (STRASSBURGER u.a. 2006). Dies betrifft sowohl Modelländerungen, die sich als Ergebnis der Simulationsstudie ergeben, als auch Informationen, die den operativen Betrieb einer Fabrik im Sinne einer simulationsbasierten Fertigungssteuerung unterstützen könnten.

Generell stellt sich die Frage, wie Expertenwissen des Simulationsexperten, welches für die Modellerzeugung unverzichtbar ist und in Planungssystemen bzw. anderen Datenhaltungssystemen nicht abgebildet wird, erfasst und wiederverwendbar nutzbar gemacht werden kann. Ein Lösungsansatz wäre hier beispielsweise die Etablierung eines Simulationsgerüsts, welches in Analogie zum Mengengerüst einmalig für einen Simulationskontext gefüllt wird und in nachfolgenden Modellgenerierungszyklen bzw. Simulationsstudien mit ähnlichem Zweck automatisiert genutzt werden kann.

Weiterhin ist ein Fehlen von lebenszyklusübergreifenden Modellgenerierungsansätzen, d.h. Ansätzen, die sowohl in der Planungsphase, also auch in der operativen Phase einer Fabrik anwendbar sind, zu konstatieren. Forschungsziele zur Etablierung derartiger Ansätze müssten sich u.a. mit Fragen einer teilautomatischen Validierung bzw. Kalibrierung von Modellen beschäftigen, die gewährleisten, dass Modelle, die auf Basis von Daten der Planungsphase generiert wurden, mit der real implementierten Fabrik übereinstimmen. Derartige Abgleiche könnten z.B. auf Daten der Betriebsdatenerfassung basieren.

Eine weitere Herausforderung der Grundlagenforschung besteht in der Problematik der tool-übergreifenden komponentenbasierten Modellbildung und betrifft die Frage, wie Interoperabilität zwischen automatisiert generierten Modellkomponenten in verschiedenen Simulatoren gewährleistet werden kann.

## 7 Zusammenfassung

In diesem Beitrag wurden verschiedene Klassifikationsmöglichkeiten von automatisierten Modellgenerierungsansätzen diskutiert und aktuelle Arbeiten entsprechend eingeordnet. Es ist festzustellen, dass es zwar ein weites Spektrum an teilautomatischen Lösungen gibt, für eine vollautomatisierte Modellgenerierung heute jedoch häufig noch prinzipielle Hemmnisse existieren und händische Eingriffe des Simulationsexperten notwendig sind. Zukünftige Entwicklungsbedarfe (Unterstützung zyklischer Modellgenerierungsansätze, phasenübergreifende Langzeitgültigkeit der generierten Modelle, Standardisierung von Datenformaten und Schnittstellen...) wurden aufgezeigt und diskutiert.

## Literatur

- BERGMANN, Sören; STRASSBURGER, Steffen: Generierung und Integration von Simulationsmodellen unter Verwendung des Core Manufacturing Simulation Data (CMSD) Information Model. In: Integrationsaspekte der Simulation: Technik, Organisation und Personal. Hrsg.: ZÜLCH, Gert; STOCK, Patricia. Karlsruhe: KIT Scientific Publishing, 2010, S. 461-468.
- ECKARDT, Frank: Ein Beitrag zu Theorie und Praxis datengetriebener Modellgeneratoren zur Simulation von Produktionssystemen. Aachen: Shaker Verlag, 2002.
- JENSEN, Sven: Eine Methodik zur teilautomatisierten Generierung von Simulationsmodellen aus Produktionsdatensystemen am Beispiel einer Job Shop Fertigung. Kassel: Dissertation, Universität Kassel, 2007.
- LORENZ, Peter; SCHULZE, Thomas: Layout Based Model Generation. In: Proceedings of the 1995 Winter Simulation Conference. Hrsg.: ALEXOPOULOS, C.; KANG, K. New York: ACM Press, 1990, S. 728-735.
- ROOKS, Tobias: Rechnergestützte Simulationsmodellgenerierung zur dynamischen Absicherung der Montagelogistikplanung bei der Fahrzeugneutypplanung im Rahmen der Digitalen Fabrik. Clausthal: Dissertation, TU Clausthal-Zellerfeld, 2009.
- SELKE, Carsten: Entwicklung von Methoden zur automatischen Simulationsmodellgenerierung. München: Dissertation, Technische Universität München, 2004.
- SISO: Standard for: Core Manufacturing Simulation Data – UML Model (Entwurfsversion vom 11. Mai 2009), Simulation Interoperability Standards Organization (SISO) – CMSD Product Development Group, 2009.
- SLY, David; MOORTHY, Shreekanth: Simulation data exchange (SDX) implementation and use. In: Proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference. Hrsg.: PETERS, B. A.; SMITH, J. S.; MEDEIROS, D. J.; ROHRER, M. W. Piscataway, NJ: IEEE, 2001, S. 1473-1477.
- SPLANEMANN, Ralph: Teilautomatische Generierung von Simulationsmodellen aus systemneutral definierten Unternehmensdaten. In: Bremer Schriften zur Betriebstechnik und Arbeitswissenschaft Band 5. Bremen: Dissertation, Universität Bremen, 1995.
- STRASSBURGER, Steffen; SEIDEL, Holger; SCHADE, Rico; MASIK, Steffen: Werkzeuge und Trends der digitalen Fabrikplanung - Analyse der Ergebnisse einer Onlinebefragung. In: Proceedings der 12. ASIM-Fachtagung Simulation in Produktion und Logistik. Hrsg.: WENZEL, Sigrid. Kassel: SCS Publishing House, 2006, S. 391-402.
- WURDIG, Thomas; WACKER, Roland: Generische Simulationslösung für Fördertechnik. In: Advances in Simulation for Production and Logistics Applications. Hrsg.: RABE, Markus. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2008, S. 11-20.
- WENZEL, Sigrid: Modellbildung und Simulation in Produktion und Logistik – Stand und Perspektiven. Dresden: ASIM Workshop, 2009.