

Ausprägungen und Nutzungsgrad der Logistiks simulation im Umfeld der Automobilindustrie

Hannes Müller-Sommer und Steffen Strassburger
hannes.mueller-sommer@tu-ilmenau.de
steffen.strassburger@tu-ilmenau.de
Fachgebiet Wirtschaftsinformatik für Industriebetriebe
Technische Universität Ilmenau
Helmholtzplatz 3, 98693 Ilmenau

Kurzfassung

In Wissenschaft und Praxis wird die Materialflusssimulation für eine Vielzahl von Anwendungsszenarien in Produktion und Logistik verwendet. Fokus dieses Beitrags sind die unter dem Oberbegriff „Logistiks simulation“ im automobilen Umfeld zusammengefassten Ausprägungen dieser Simulationsmethode. Diese werden von den einzelnen Automobilherstellern in unterschiedlichen Detaillierungsgraden und unterschiedlichen Bandbreiten eingesetzt. Bisher konnten sich allerdings keine gemeinsamen Bezeichnungen für diese Ausprägungen der Logistiks simulation durchsetzen. Um einen einheitlichen Standard im Umfeld der automobilen Logistik zu definieren, wurde eine Umfrage bei den deutschen Automobilherstellern durchgeführt. Das Ergebnis zeigt, dass aktuell vier Ausprägungen der Simulation im Bereich der Automotive-Logistik eingesetzt werden, die auf Grund ihrer Fragestellungen sehr unterschiedlich zu behandeln sind. Dies sind die Werkssimulation, die Belieferungssimulation, die Supply-Chain-Simulation und die Verkehrsflusssimulation. Durch die übergreifende Definition der verwendeten Simulationen, Festlegung der Betrachtungsumfänge und Systemgrenzen sowie die Rolle im Produktentstehungsprozess wird eine Vergleichbarkeit geschaffen. Auf der Basis dieser Standardisierung können Zusammenarbeitsmodelle vereinbart und gemeinsame Forschungsvorhaben angestoßen werden.

1 Motivation

Um Planungen digital abzusichern werden in der Automobilindustrie seit etlichen Jahren erfolgreich Simulationen eingesetzt. Dies reicht von der Prozesssimulation von Umformprozessen über das Digitale Montage-Mock-Up bis zu Materialflusssimulationen [8]. Eine Simulation ist das Nachbilden eines Systems mit seinen dynamischen Prozessen in einem experimentierbaren Modell, um zu Erkenntnissen zu gelangen, die auf die Wirklichkeit übertragbar sind [13]. Die Reduktion von Planungs- und Produktionskosten [7] ist einer der Gründe für die zunehmende Verbreitung und Akzeptanz von Simulationen. Diese Kostenreduktion wird durch die Verlagerung der Absicherung aus der Praxis hin in die Digitale Fabrik [14] erreicht. Zudem wird die abteilungsübergreifende Zusammenar-

beit dadurch gefördert, dass ein gemeinsames Verständnis von den eingesetzten Systemen standardisiert vorgegeben wird.

Die diskret ereignisorientierte Simulation hat sich als Standardmethode für dynamische Absicherungen durchgesetzt [16]. Eine diskret ereignisorientierte Simulation berechnet den neuen Zustand eines Modells zu Ereigniszeitpunkten, während sich der Zustand des Modells zwischen Ereignissen nicht verändert. Daraus entwickelte sich das Werkzeug der Materialflusssimulation, das im Umfeld der Automobilproduktion etabliert ist [4]. Es existiert ein weites Spektrum kommerzieller Simulationstools, exemplarisch seien Plant Simulation (Siemens PLM), Witness (Lanner Group) sowie AutoMod (Brooks Automation) aufgeführt, die diese Methodik unterstützen. Diese Simulationstools haben sich in den letzten Jahren sowohl im Funktionsumfang wie auch in der Anwenderfreundlichkeit weiterentwickelt und geben heute Antworten auf die spezifische Fragestellungen. Dank der Schnittstellenversorgung (SST) von Produktionsplanungssystemen [6], [11], [12], der SST der Fördertechnik [15] und der SST der Prozess- und Layoutplanung [10] können Simulatoren (teil-)automatisiert Modelle aufbauen. Die Materialflusssimulation wird von allen deutschen Automobilherstellern (OEMs) als Absicherungs- und Optimierungswerkzeug verwendet, die unterschiedlichen Historien und Organisationsstrukturen lassen allerdings keine direkten Vergleiche bezüglich des Einsatzes und der Verbreitung von Logistiksimulationen zu [4]. Gerade aber diese Vergleichbarkeit bringt entscheidende Vorteile mit sich, ohne dass die OEMs ihre Kernkompetenzen offen legen, angefangen von dem gemeinsamen Begriffsverständnis über die Ausschreibung von Simulationsprojekten für Dienstleister bis hin zum gemeinsamen Erkennen von Handlungsfeldern für übergreifende Forschungsvorhaben.

In den letzten Jahren nahm der Einsatz der Simulationstools im Bereich Logistik deutlich zu. Auf Grund von inhomogenen Prozess-, Organisations- und IT-Landschaften der OEMs sind auch die Anforderungen an die verwendeten Simulationstools unterschiedlich. In der heutigen Zeit kann sich keiner der OEMs auf Grund von wirtschaftlichen Rahmenbedingungen, gesteigener Variantenzahl und verschärftem Wettbewerbsdruck Unwirtschaftlichkeit leisten. Daher ist die Standardisierung der unterschiedlichen Logistiksimulationen wichtiger denn je. Ziel ist es, teure Mehrfachentwicklungen einzusparen, den Aufwand der jeweiligen Datenbeschaffung und Plausibilisierung inklusive Verifizierung und Validierung wirtschaftlich im Rahmen zu halten [9], [2]. Gleichzeitig werden mit einer gemeinsamen Strategie die daraus resultierenden Synergieeffekte wie ein gemeinsames Anforderungsmanagement gewinnbringend genutzt. Dies bezieht sich auf den kompletten Produktentstehungs- und Produktlebenszyklus. Das Ergebnis ist nicht nur die Reduktion der Kosten für alle Beteiligten, z.B. durch gemeinsame Entwicklungen, sondern schafft eine vergleichbare Tiefe von Logistiksimulationsprojekten auf der gemeinsamen Suche nach dem Optimum. Das Ergebnis dieser Umfrage mündet in der VDA-Handlungsempfehlung „Logistiksimulation“.

2 Methodisches Vorgehen

Eine mit den Mitgliedern des VDA-UAG Ablaufsimulation durchgeführte Befragung hatte das Ziel, ein gemeinsames Verständnis der im VDA organisierten Simulationsexperten zum Thema Logistiksimulation zu schaffen und die unterschiedlichen Ausprägungen

gen der Simulation im Bereich Logistik einheitlich zu beschreiben. Diese Befragung wurde im Februar 2009 als strukturiertes Interview mit sechs Simulationsexperten der einzelnen OEMs durchgeführt. Die heterogenen Antworten wurden zusammengefasst (Bild 2) und mit den Simulationsexperten diskutiert und verabschiedet. Trotz des kleinen Stichprobenumfangs ist davon auszugehen, dass die Antworten der Teilnehmer ein substantiiertes Gesamtbild der momentan von den Automobilherstellern eingesetzten Logistiksimulationen widerspiegeln.

3 Definition der unterschiedlichen Logistiksimulationen

Die Fragestellungen der Umfrage adressieren die unterschiedlichen Simulationen, die im Bereich der Logistik von Automobilherstellern unter dem Begriff „Logistiksimulation“ zusammengefasst werden. Die zugrunde liegende Methode ist hierbei jeweils die diskrete ereignisgesteuerte Simulation, im Anwendungsfokus Materialflusssimulation. Diese wird in den einzelnen Gewerken sowie gewerkeübergreifend eingesetzt.

Im Kontext der Digitalen Fabrik wurde bisher als Anwendung der Materialflusssimulation insbesondere der Bereich Produktion betrachtet. Hier existiert unter den OEMs bereits ein breites gemeinsames Verständnis. In der Produktionssimulation steht das Werkstück selbst, d.h. die Karosserie, im Mittelpunkt der Untersuchung, betrachtet wird der Produktfluss durch die Produktion. Die Logistiksimulation wurde bisher nicht intensiv genug diskutiert, um ein gemeinsames Verständnis der im VDA-Unterarbeitskreis (UAG) Ablaufsimulation beteiligten Unternehmen zu schaffen, daher ist die Begriffswelt bisher sehr heterogen. In der Logistik treffen vier unterschiedliche Betrachtungsdimensionen aufeinander: der Auftrag/die Information (Auftragsfluss), das Werkstück (Karossenfluss), die zu verbauenden Teile (Teilefluss, teilweise wird auch die Karosserie als Teil betrachtet) und das Transportmittel (Verkehrsfluss). Daraus lassen sich folgende Ausprägungen der Simulation identifizieren, die im Umfeld der automobilen Logistik angewendet werden:

- Werkssimulation
- Belieferungssimulation
- Supply-Chain-Simulation
- Verkehrsflusssimulation

Bild 1 gibt einen ersten Überblick über die in den einzelnen Ausprägungen der Logistiksimulationen betrachteten Simulationsumfänge. Diese unterschiedlichen Ausprägungen der Logistiksimulation wurden im Rahmen des strukturierten Interviews bezüglich der folgenden Kriterien untersucht (vgl. Bild 2):

- Betrachtungshorizont
- Systemgrenzen
- Gewerke
- Simulationszeitpunkt im Produktentstehungsprozess/Lebenszyklus
- Detaillierung
- Wiederverwendung

- Umfang
- Platz-/Längenorientierung

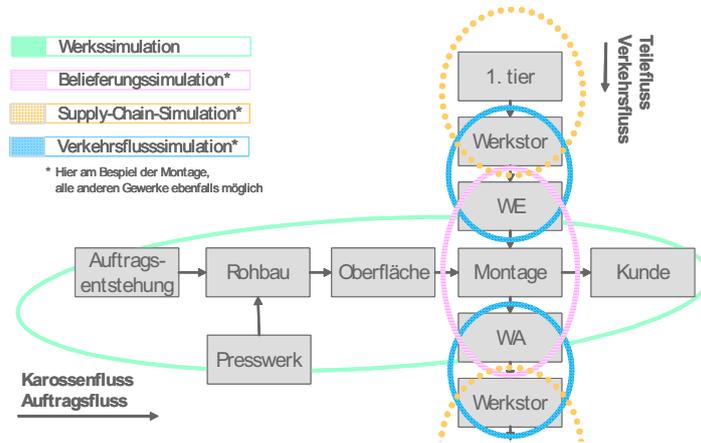


Bild 1: Unterschiedliche Ausprägung der Logistiksimulation.

4 Logistiks Simulationen im Detail

Einen tabellarischen Überblick über die Untersuchung gibt Abbildung 2.

Definition	Betrachtung	Systemgrenze	Gewerk	PEP	Detaillierung
Logistiks Simulation	Auftragsfluss Produktfluss (Werkstatt) Teilefluss Transportmittel	Lieferant Werkstor Wareneingang Bereitstellort Warenausgang Werkstor Lieferant/Kunde*	Stufe1 (Presswerk) Stufe2 (Karosseriebau) Stufe3 (Oberfläche) Stufe4 (Montage)	Konzeptphase Planungsphase Anlauf Serie	stark abstrahiert sehr fein
Werkssimulation	x x	werden nicht betrachtet		x x x x x	x x x x
Belieferungssimulation	x x x	x x x x	x x x	x x x x	x x x x
Supply-Chain-Simulation	x x x	x x x x	Gewerkeunabhängig	x x x x	x x x x
Simulation Verkehrsfluss	x	x x x x	Gewerkeunabhängig	x x x	x x x x

	Wiederverwend.	Umfang	Orientier
	sehr hoch hoch niedrig sehr niedrig	>3 Personen/Monate 1-3 Personen/Monate 1-4 Personen/Wochen <1,1 Personen/Woche	platzorientiert längenorientiert
Werkssimulation	x x	x x x	x
Belieferungssimulation	x x	x x x	x
Supply-Chain-Simulation	x	x x	x
Simulation Verkehrsfluss	x	x	x

Bild 2: Detaillierte Betrachtung der Logistiksimulationen.

4.1 Werkssimulation

Eine Werkssimulation ist die gewerkeübergreifende Simulation von starr verbundenen Kapazitäten. Starr bedeutet in diesem Zusammenhang, dass die Entkopplungspuffer zwischen den Gewerken mit einer endlichen Größe zur Verfügung stehen. Das Ziel der

Werkssimulation ist die Abbildung der gewerkeübergreifenden Prozesskette, um gesamtheitliche wie auch detaillierte Fragestellungen bearbeiten zu können [4]. Betrachtet werden zum einen der Produktfluss – der Weg der Karossen durch das Unternehmen. Zum anderen steht der Auftragsfluss, der Weg des Kundenauftrages mit seiner Reihenfolge im Fokus. Daraus lassen sich unter Anderem folgende Fragestellungen ableiten [4]:

- Bestimmung der Reihenfolgegüte, Verwirbelungsprofile
- Durchsatz hpv (hours per vehicle), Durchlaufzeiten
- Optimale Auslastung
- Steuerung der Gewerke
- Dimensionierung der Entkopplungspuffer zwischen den Gewerken
- Zusammenspiel unterschiedlicher Schicht- und Arbeitszeitmodelle

In der Regel werden Werkssimulationen mit einem abstrakten Detaillierungsgrad modelliert und eingesetzt. Der Aufwand für die Datenbeschaffung, Modellierung, Validierung & Verifikation sowie für Experimente ist, verglichen mit den anderen Ausprägungen, hoch. Grob betrachtet sind die einzelnen Gewerke als Black-Boxen dargestellt, was als Abbildungstiefe für die gesamtheitlichen Fragestellungen in der Regel ausreicht [4]. Für gewerkespezifische Fragestellungen können die einzelnen Black-Boxen weiter detailliert werden. Hierzu können z.B. Möglichkeiten der hierarchischen Modellierung verwendet werden, die einige Simulationswerkzeuge bieten (z.B. Plant Simulation über Unternetzwerke). Alternativ besteht auch die Möglichkeit der Modellkopplung über Standards wie die High-Level-Architecture [5], [1]. Wichtig ist hier allerdings die Beherrschbarkeit der Detaillierung [15]. Werkssimulationen werden über den gesamten Produktentstehungsprozess eingesetzt, meist wird das Modell über den Lebenszyklus auf dem aktuellen Stand gehalten. Aber auch bei relativ kleinen Projekten, beispielsweise einem geplanten Umbau eines Sortierpuffers, werden Werkssimulationen eingesetzt, um geplante Investitionen im Bezug auf ihre Wirtschaftlichkeit wie auf ihre Integration in das Gesamtnetz abzusichern. Dies spiegelt sich auch in einer hohen Wiederverwendung der einzelnen Modelle wider.

4.2 Belieferungssimulation

Die Belieferungssimulation untersucht das Zusammenspiel der unterschiedlichen Belieferungsprozesse mit den Einsatzfaktoren und dem Zusammenspiel mit anderen Gewerken. Die Belieferungssimulation legt ihren Fokus auf den Teilefluss. Das Simulationsmodell basiert auf dem Layout der Produktionshalle. Ziel ist es, die zu verbauenden Teile unter den logistischen Vorgaben termingerecht am Bereitstellort (BO) vorzuhalten, und dies mittels der Simulation dynamisch abzusichern. Auch eine Kopplung mit Montagesimulationen ist möglich, um die einzelnen Abrufe je BO exakt auf der Belieferungsseite simulieren zu können. Daraus lassen sich folgende Untersuchungen identifizieren:

- Betrachtung unterschiedlicher Versorgungsvarianten
- Versorgungssicherheit (Anzahl Abrisse) mit optimalem Lagerbestand am BO
- Abrufintervalle und Wiederbeschaffungszeiten
- Bestimmung der Einsatzfaktoren bspw. Anzahl und Auslastung von Staplern Glättung von Bedarfsspitzen

- Strategiebetrachtung (z.B. Teilebedarfssteuerung über Kanbankarten/Knopfabruf)
- Szenarienbetrachtung (z.B. staplerfreie Versorgung)

Die Systemgrenzen sind in der Regel der Wareneingang (Quelle) und der BO (Senke), für die komplette Abbildung inklusive der Entsorgungsprozesse sind die Systemgrenzen der Wareneingang und der Warenausgang. Belieferungssimulationen werden in allen Gewerken mit Logistikversorgung eingesetzt. Insbesondere das Presswerk, der Karosseriebau und die Montage haben durch einen entsprechenden Teileumfang eine hohe Simulationswürdigkeit. Um belastbare Ergebnisse von Belieferungssimulationen zu erhalten ist eine hohe Detaillierung notwendig. Dies bedeutet unter anderem, dass die einzelnen Routenzüge und Stapler mit dem zugehörigen Schichtmodell parametrisiert werden, im Idealfall sogar mit MTM-Werten (Methods-Time Measurement). Im Produktentstehungsprozess werden Belieferungssimulationen hauptsächlich in der späteren Planungsphase eingesetzt, wenn der Reifegrad der Belieferungsprozesse einen entsprechenden Stand erreicht hat. Aber auch in der Serie werden Belieferungssimulationen eingesetzt, unter anderem für Szenarien, weitere Baureihen auf einem Band zu fertigen. Durch die hohe Detaillierung und die spezifische Fragestellung ist eine Wiederverwendung der Simulation bisher nur mit großem Aufwand realisierbar, in der Praxis werden diese Modelle daher in der Regel nur selten nochmals eingesetzt. Der Erstellungsaufwand reicht von mehreren Personenwochen, beispielsweise für Kleinserien, bis hin zu Projekten, die sich über mehrere Quartale erstrecken können.

4.3 Supply-Chain-Simulation

Die Supply-Chain-Simulation bildet auf Grundlage des Supply-Chain-Managements [3] die Lieferkette von den Lieferanten bis zum Werkstor ab, weiter wird sowohl der Weg des fertigen Produktes zum Kunden oder der Rückweg des Leergutes zum Lieferanten betrachtet. Auch die Lieferkette zwischen den unterschiedlichen Werken innerhalb eines OEMs werden mit Supply-Chain-Simulationen untersucht, beispielsweise wenn der Antriebsstrang räumlich getrennt gefertigt und über das öffentliche Verkehrsnetz zur Montage geliefert wird. Ziel ist die organisatorische wie ökonomische Optimierung der Supply-Chain bei gleichzeitiger Sicherstellung der Versorgung. Hier lassen sich Untersuchungen aus folgenden Themenfeldern ableiten:

- Liefertreue, insbesondere im Rahmen des Global Sourcing
- Prozessoptimierung
- Wirtschaftliche Standortauswahl

Die Systemgrenzen der Supply-Chain-Simulationen sind der externe oder interne Lieferant sowie das Werkstor. Auf der anderen Seite sind die Systemgrenzen vom Werkstor bis zum externen oder internen Kunden bzw. die Leergutrückführung zum Lieferanten definiert. Das Modell ist in der Regel wenig detailliert, im Vordergrund stehen Aussagen zu Liefertreue und über die Prozessoptimierung. Das Zusammenspiel der unterschiedlichen Gewerke innerhalb eines OEMs wird in dieser Art der Simulation nicht betrachtet, diese Fragestellungen werden in Werkssimulationen abgebildet. Supply-Chain-Simulationen werden im kompletten Produktentstehungsprozess wie auch über den Life-

cycle eingesetzt, um die Belieferung abzusichern. Die niedrige Wiederverwendungsrate der Simulationsmodelle resultiert aus einem in der Regel wenig reproduzierbaren Szenario und langfristig abgeschlossenen Prozessen und Lieferverträgen. Der Erstellungsaufwand ist je nach Projekt unterschiedlich, es reicht von wenigen Personenwochen bis hin zu mehreren Personenmonaten.

4.4 Verkehrsflusssimulation

Die Simulation des Verkehrsflusses stellt eine wichtige, wenn auch überschaubare, Abbildung der Realität dar. Im Zentrum der Betrachtung stehen hier Untersuchungen zum innerbetrieblichen Werksverkehr. Ziel ist die optimale Austaktung und Aussagen zu der Verkehrswegebelaugung, beispielsweise das Verkehrsaufkommen bei der LKW-Anlieferung am Wareneingang. Daraus lassen sich Fragestellungen aus folgenden Themenfeldern ableiten:

- Aussagen zur internen Verkehrsbelastung
- Notwendige Anzahl von Abladestellen
- Anzahl der Parkplätze mit deren Auslastung und Vergabeschlüsseln
- Auslastung an den Werkstoren und an den Wareneingängen bzw. -ausgängen.

Die Systemgrenzen sind hier das Werkstor, ggf. der Parkplatz davor und der Wareneingang. Auf der anderen Seite ist es der Warenausgang und wieder das Werkstor. Die Detaillierung variiert je nach Aufgabenstellung, der Aufwand ist im Vergleich zu den anderen Logistiksimulationen allerdings relativ gering. Im Produktentstehungsprozess werden Verkehrsflusssimulationen in der Planung und in der Serie eingesetzt. Durch eine entsprechende Parametrisierung können auch Hüllkurvenuntersuchungen mit ausgewertet werden. Die Wiederverwendung dieser Modelle ist auf Grund der punktuellen Fragestellung recht gering, einzelne Module wie das Layout können jedoch auch von anderen Modellen verwendet werden.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Diese Auswertung legt einen Grundstein für eine Standardisierung der Simulation im Logistikumfeld der im VDA organisierten Automobilhersteller. Identifiziert und beschrieben wurden vier Ausprägungen der Simulation, die im Bereich der Logistik zur Anwendung kommen. In den unterschiedlichen Dimensionen konnte festgestellt werden, wie differenziert die einzelnen Simulationen zu betrachten sind und wie sich diese von den anderen abgrenzen. Weiterhin leitet sich aus den Ergebnissen ein Handlungsbedarf dahingehend ab, wie z.B. der Wiederverwendungsgrad von Modellen erhöht und der Aufwand für die Modellerstellung reduziert werden kann.

Um eine Standardisierung herbeizuführen fließen die Erkenntnisse dieser Umfrage in eine Handlungsempfehlung des VDA zum Thema Materialflusssimulation in der Logistik ein, die bei allen im VDA organisierten Unternehmen kommuniziert wird. Gleichzeitig wird eine aufbauende Untersuchung bei durchgeführt, um diese unterschiedlichen Ausprägungen der Simulation eingehender zu vergleichen. Diese beinhaltet nicht nur die detaillierte Analyse des Ist-Standes, sondern identifiziert auch die unterschiedliche Orga-

nisation der Simulation in der Praxis. Diese Ausgangssituation bietet die Möglichkeit, auf den Standard weiter aufbauend wissenschaftlich neue Handlungsfelder zu identifizieren und diese in gemeinsamen Projekten voranzutreiben. Gerade in der heutigen Zeit ist dies wichtiger denn je.

6 Literatur

- [1] *Baier, J.*: Ein Beitrag zur simulationsgestützten Kostenanalyse auf Prozesskostenbasis in der Nutzfahrzeugproduktion. Shaker, Aachen, 2002.
- [2] *Baier, J.; Ruf, H.; Hill, H.*: Verknüpfung von Materialflusssimulation und Planungsdatenbanken. In *Zeitschrift für den wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, 2006.
- [3] *Baumgarten, H. Hrsg.*: Das Beste der Logistik. Innovationen, Strategien, Umsetzungen. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 2008.
- [4] *Bayer, J.; Collisi, T.; Wenzel, S.(.) Hrsg.*: Simulation in der Automobilproduktion. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 2003.
- [5] *Institute of Electrical and Electronics Engineers*: High-Level Architecture (HLA), IEEE Standards 1516, 1516.1, 1516.2, IEEE-Publishing, New York, 2000.
- [6] *Jensen, S.*: Eine Methodik zur teilautomatisierten Generierung von Simulationsmodellen aus Produktionsdatensystemen am Beispiel einer Job Shop Fertigung. Dissertation. University Press, Kassel, 2007.
- [7] *Krause, F.-L.*: Digitale Fabrik. In *ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, 2001, 96; S. 84.
- [8] *Kuhn, A.; Rabe, M.(.) Hrsg.*: Simulation in Produktion und Logistik. Fallbeispielsammlung. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1998.
- [9] *Rabe, M.; Spiekermann, S.; Wenzel, S. Hrsg.*: Verifikation und Validierung für die Simulation in Produktion und Logistik. Qualitätskriterien für die Simulation in Produktion und Logistik, Vorgehensmodelle und Techniken. Planung und Durchführung von Simulationsstudien. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2008.
- [10] *Rooks, T.*: Rechnergestützte Simulationsmodellgenerierung zur dynamischen Absicherung der Montagelogistikplanung bei der Fahrzeugneutypplanung im Rahmen der Digitalen Fabrik, Dissertation. In (Bracht, U. Hrsg.): Innovationen in der Fabrikplanung und Organisation, Shaker Verlag, Aachen, 2009.
- [11] *Selke, C.*: Entwicklung von Methoden zur automatischen Simulationsmodellgenerierung. Dissertation. In (Reinhart, G. Hrsg.): Schriftreihe Forschungsberichte iw. Utz Verlag, München, 2005.
- [12] *Splanemann, R.*: Teilautomatische Generierung von Simulationsmodellen aus systemneutral definierten Unternehmensdaten. In (Universität Bremen Hrsg.): Bremer Schriften zur Betriebstechnik und Arbeitswissenschaft. Verlag Mainz, Aachen, 1995.

- [13] *Verein Deutscher Ingenieure*: VDI Richtlinie 3633-1 Simulation von Logistik- Materialfluss- und Produktionssystemen. Beuth Verlag, Berlin, 2000.
- [14] *Verein Deutscher Ingenieure*: VDI Richtlinie 4499-1 Digitale Fabrik, Grundlagen. Beuth Verlag, Berlin, 2008.
- [15] *Wacker, R.*: Automatische Generierung von Simulationsmodellen auf Basis einer Socket-Lösung mit Planungsdatenbank und dem Simulationssystem Quest von Delmia am Beispiel des Montagewerkes 2 in Tuscaloosa/USA des Unternehmens DaimlerChrysler, Diplomarbeit, Sindelfingen, 2003.
- [16] *Wenzel, S.*: Modellbildung in der ereignisdiskreten Simulation. In (Arbeitsgemeinschaft Simulation Hrsg.): ASIM Nachrichten, 2002-2; S. 10–15.