

Quo vadis Ablaufsimulation – Eine Zukunftsvision aus Sicht der Automobilindustrie

Quo vadis material flow simulation – visions for the future from the view of the automotive industry

Gottfried Mayer, BMW AG, München (Germany), gottfried.mayer@bmw.de
Carsten Pöge, Volkswagen AG, Wolfsburg (Germany),
carsten.poege@volkswagen.de

Abstract: This document depicts - from the automotive point of view - a vision, where the material flow simulation should evolve into in the future. After a short introduction it describes some challenges the automotive industry actually faces and wants to give an initial point for discussing the regarding responses.

1 Einleitung

Die Ablauf- oder Materialflusssimulation ist mittlerweile ein etabliertes Werkzeug zur Planung und Absicherung von diversen Systemen und Entscheidungen geworden. Es wurden zahlreiche Entwicklungen und Forschungen rund um das Thema betrieben, es existieren viele Anwendungen, von der Standardsoftware bis hin zu Open Source Lösungen. Auch die Rechnerleistung ist in den letzten Jahren so gestiegen, dass auch umfangreiche Simulationen mittlerweile mit Standardrechnern zu beherrschen sind.

Dies wirft die Frage auf, ob das Themenfeld der Ablaufsimulation bereits „fertig“ erforscht und in den Regelbetrieb übergegangen ist oder ob es nach wie vor Handlungsbedarf gibt.

Dieser Beitrag soll, aus Sicht der Automobilindustrie, im speziellen der VDA (Verband der Automobilindustrie) Arbeitsgruppe Ablaufsimulation, zeigen, dass die Entwicklung der Methoden und Werkzeuge der Ablaufsimulation noch längst nicht am Ende des Weges angekommen ist und an welchen Stellen aus unserer Sicht aktuell Handlungsbedarf besteht.

2 Einordnung innerhalb der Simulation

Häufig ist die erste Herausforderung, wenn man sich mit dem Thema der Anwendung der Simulation beschäftigt, dass der Begriff der Simulation zwar in aller Munde ist, aber im schlimmsten Falle jeder eine andere Simulationsart meint. Beispielsweise

werden folgende Simulationsarten häufig allgemein mit dem Begriff Simulation bezeichnet:

- Ablaufsimulation oder Materialflusssimulation
- Finite Elemente Methode (FEM)
- Kinematik-Simulation
- Geometriesimulation
- Physiksimulation
- Humansimulation
- Spiele-Simulation
- „Kartonagensimulation“
- ...

Dieses Beispiel verdeutlicht, dass hier genaue Definitionen und Abgrenzungen der einzelnen Ausprägungen von Simulationen notwendig sind. Aber nicht nur die Überbegriffe sind klar zu definieren, auch innerhalb dieser benötigt man klare Unterscheidungen. Als Beispiel hierfür sei die Materialflusssimulation genannt, die zum einen als Synonym für die Ablaufsimulation verwendet wird, zum anderen wird dieser Begriff aber auch als 3D Simulation für die virtuelle Inbetriebnahme oder für die vereinfachte Darstellung des Materialflusses innerhalb der Geometriesimulation verwendet.

3 Ablaufsimulation und die Digitale Fabrik

Die Methode der Ablaufsimulation kann im Planungsprozess in den größeren Kontext der Digitalen Fabrik eingeordnet werden. Eine wichtige Rolle spielt dabei ihre Vernetzung mit den Planungssystemen, die aus Sicht der Ablaufsimulation Daten bereitstellen und mit anderen Simulationssystemen, mit denen sie interagieren kann.

3.1 Einordnung der Ablaufsimulation in der Digitalen Fabrik

Als Teil der Digitalen Fabrik hat das Thema Ablaufsimulation die engsten Berührungspunkte mit der Prozess- und der Fabrikplanung, von denen Sie Daten zur Parametrierung ihrer Modelle bezieht und deren Planungsergebnisse sie absichern kann. Soweit die Theorie. Betrachtet man die Software- Lösungen der großen Systemanbieter im Umfeld der Digitalen Fabrik, so bietet nahezu jeder eine Lösung zur Ablaufsimulation an. Aber mit der Integration in die Datenbackbones der Digitalen Fabrik tut man sich schwer.

Hier ist dringender Handlungsbedarf gegeben, da die Beherrschbarkeit immer komplexerer Fertigungen ohne Ablaufsimulation kaum mehr gegeben ist.

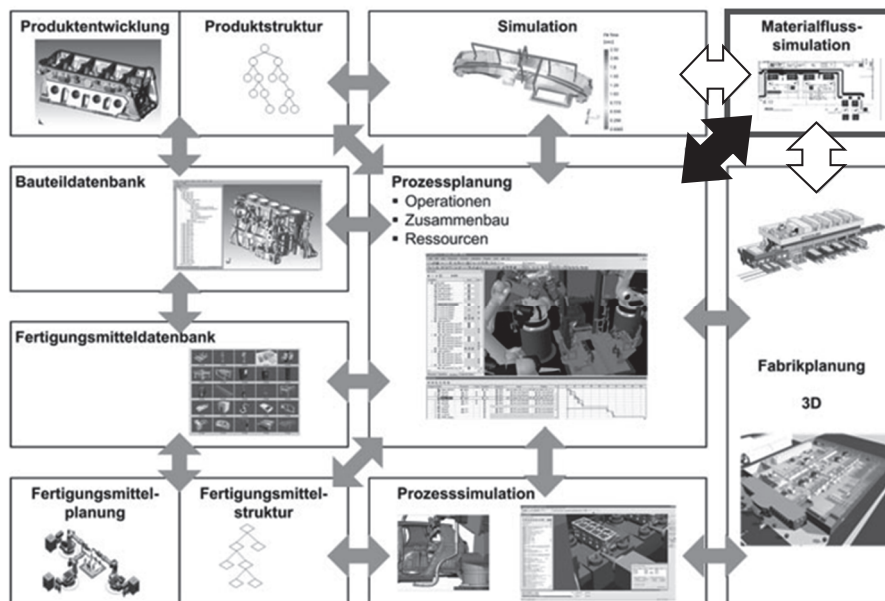


Abbildung 1: Einordnung der Materialflusssimulation im Umfeld der Digitalen Fabrik [Bracht 2011]

3.2 Datenaustausch innerhalb der Digitalen Fabrik

Um die Ablaufsimulation wirklich in die Digitale Fabrik einzubinden müssen, wie bei jedem anderen Werkzeug der Digitalen Fabrik auch, die Schnittstellen und Datenströme klar definiert sein. So sollte in Zukunft klar sein, welcher Bereich der Digitalen Fabrik welche Daten liefern muss und wer die Hoheit über die Daten hat. Aus Sicht der Ablaufsimulation seien hier exemplarisch folgende Hoheiten genannt:

- Auslegung und Dimensionierung von Schutzkreisen
- Komponentenverfügbarkeiten
- Dynamische Traces für die 3D Visualisierung

Zum Austausch der Daten werden derzeit proprietäre Schnittstellen – meist zwischen nur zwei Systemen – verwendet. Dies hat den Nachteil, dass die Anzahl der Schnittstellen, und damit der Aufwand der Pflege, mit jedem neuen Kopplungspartner wächst. Um diesen wachsenden Aufwand in Zaum zu halten, wird es nötig sein, auf neutrale, generische Schnittstellen umzustellen. Hier gibt es im Umfeld der eXtensible Markup Language, kurz XML, einige vielversprechende Ansätze, wie z. B. Automation ML oder CMSD (Core Manufacturing Simulation Data).

3.3 Visualisierung

Eine weitere Fragestellung, die im Umfeld der Ablaufsimulation vermehrt auftritt, ist die Frage nach der Visualisierung im Simulator. Soll diese sinnvollerweise in 2D oder 3D erfolgen? Diese Fragestellung ist so pauschal nicht zu beantworten. So wie es im Automobilbau größtenteils 2D Ablaufsimulations- Modelle gibt, gibt es im Schiffbau größtenteils 3D Modelle.

Eine einfache Hilfestellung für die Entscheidung, ob eine Visualisierung der in der Ablaufsimulationsstudie abgebildeten Prozesse in 2D oder 3D erfolgen soll, kann hier einen Aufwand / Nutzen Kalkulation bringen. Bisher wurde der Aufwand im Automobilbau in Relation zu dem zu erwartenden Nutzen meist als deutlich zu hoch eingeschätzt und die Entscheidung daher oft sehr schnell getroffen.

Diese scheinbare Einfachheit der Entscheidung täuscht aber über das eigentliche Problem hinweg: Warum ist der Aufwand zur Erstellung eines 3D Simulationsmodells so hoch? Und eine zweite Frage sei erlaubt: Ist die 3D Visualisierung im Simulationswerkzeug überhaupt sinnvoll, oder wäre es besser, die Visualisierung in einem separaten Visualisierungsprogramm – evtl. in Kombination mit (Bewegungs-)Daten aus anderen Systemen der Digitalen Fabrik – vorzunehmen? In einzelnen Projekten konnte durch die Visualisierung der Ablaufsimulation in einer externen 3D-Umgebung bereits ein Nutzen hinsichtlich eines besseren Verständnisses der abgebildeten Prozesse erzielt werden [vgl. Masik 2012]. Außerdem sollte die Frage erlaubt sein, ob nicht der Einsatz einer 3D-Visualisierung mit dem Ziel eines besseren Marketings für das Simulationsprojekt insgesamt nicht auch einen nicht zu vernachlässigenden Nutzen darstellt.

Da dieses Problem jedoch eigentlich eine Ebene höher, also in der Digitalen Fabrik angesiedelt ist, wird hier eine einheitliche Visualisierungsstrategie benötigt. Bei dieser müssen auch die Belange der Simulationen berücksichtigt werden. Tatsache ist, selbst wenn er zusätzliche Nutzen einer 3D Visualisierung gegenüber der „klassischen“ 2D-Darstellung nur gering ist oder diese nur in wenigen Projekten einen Mehrwert bietet, so kann durch eine deutliche Reduzierung des Aufwandes zur Erstellung von 3D Visualisierungen das Kosten / Nutzen Verhältnis positiv beeinflusst werden. Eine „3D-Visualisierung als Abfall-/Neben-Produkt“ würde vermutlich in deutlich mehr Projekten vorgenommen werden.

4 Time to market – Das Problem mit der „Durchlaufzeit“

Ein großes Problem, das oft im Bereich der Ablaufsimulation vorzufinden ist, ist dass der Kunde häufig nicht einschätzen kann, wie lange eine Simulationsstudie – oder besser die Absicherung eines Planungsergebnisses mit Hilfe der Ablaufsimulation oder einer anderen geeigneten Methode – dauern wird. Dies hängt meist damit zusammen, dass der Aufwand der Datensammlung, sowie der Verifikation und Validierung [vgl. Rabe 2008], und der Aufwand der statistischen Absicherung unterschätzt werden. Dieses Kapitel soll ein paar Gedankenanstöße geben, wie die „Durchlaufzeit“ einer Simulationsstudie in Zukunft verkürzt werden könnte.

4.1 Einsatz alternativer Lösungsmöglichkeiten

Zwei Fragen, die leider viel zu selten gestellt werden, lauten: „Ist die betreffende Fragestellung überhaupt simulationswürdig? Und, falls ja, welche Art der Simulation ist die richtige für die Fragestellung?“

Die Tatsache, daß alternative Lösungsmöglichkeiten nicht in Erwägung gezogen werden, führt unweigerlich zu dem Problem, dass zum Teil viele Simulationsstudien erstellt werden, deren Ziele in Wirklichkeit mit zum Teil erheblich einfacheren

Mitteln erreicht werden könnten. Dadurch werden Simulationskapazitäten gebunden, die aus Sicht der Ablaufsimulation sinnvoller eingesetzt werden könnten.

Als Simulationsexperte freut man sich zwar, wenn die Nachfrage nach Simulationen groß ist, aber eine Lösung, im einfachsten Fall mit einer Tabellenkalkulation oder einem anderen geeigneten statischen Verfahren ist für Fragestellungen ohne stochastischem Anteil, oder bei unvollständigen oder wenig präzisen Eingangsdaten häufig ausreichend.

Dieser Punkt ist aus akademischer Sicht bereits intensiv ausgeleuchtet worden, findet aber leider in der Industrie wenig Zuspruch, da diese Methoden nicht so bekannt sind, wie die Materialflusssimulation. Hier muss noch „Aufklärungsarbeit“ geleistet werden, dass der Simulationsexperte das richtige Werkzeug aussucht und hier nicht pauschalisiert werden darf.

4.2 Optimierung von Simulationsstudien

Ist die Frage nach der Simulationswürdigkeit geklärt und das richtige Werkzeug bestimmt, beginnt die eigentliche Simulationsstudie.

Für Simulationsstudien existieren diverse Vorgehensmodelle, eines davon zeigt die Abbildung 2 [vgl. Mayer 2012].

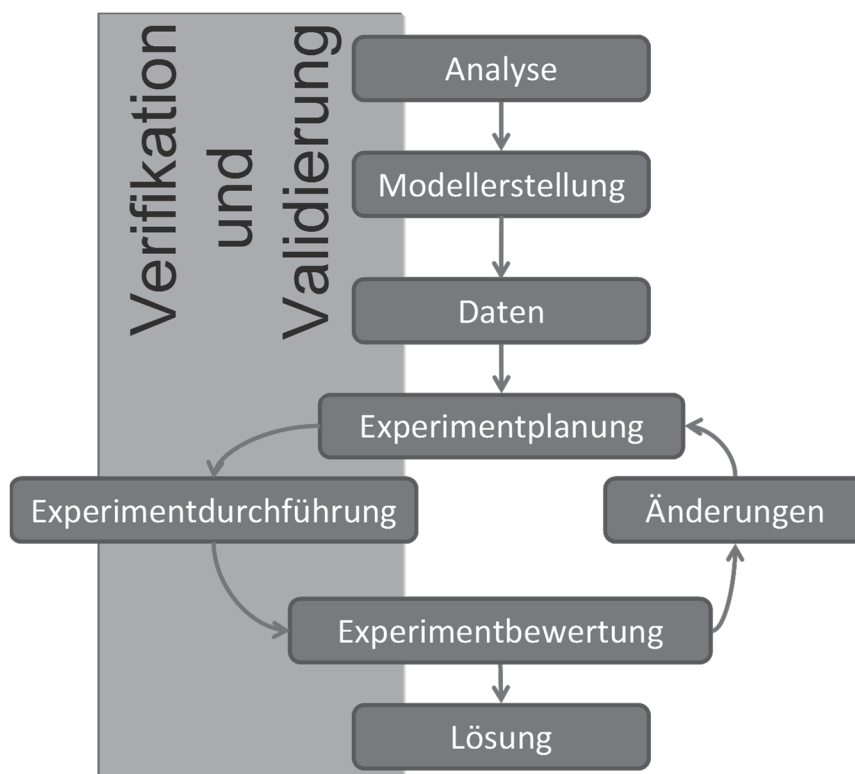
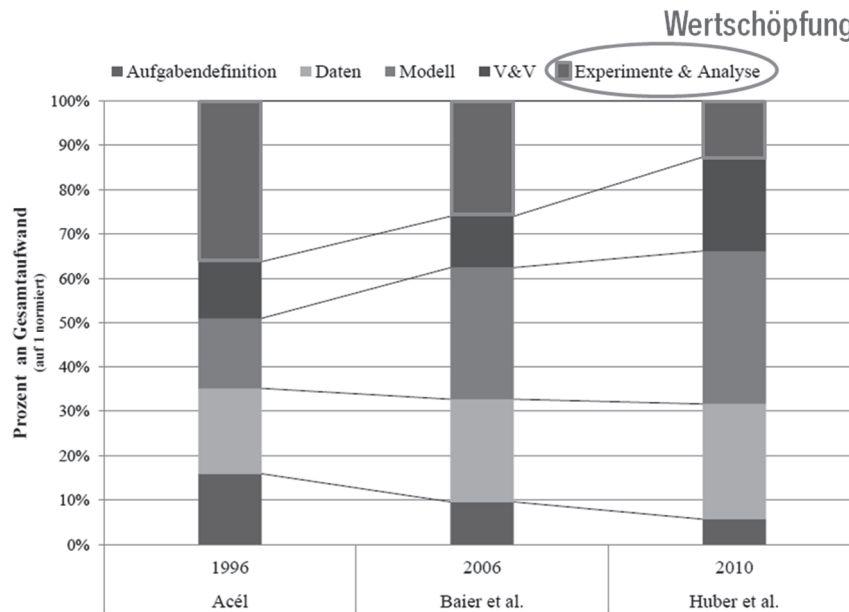


Abbildung 2: Vorgehensmodell nach AssistSim/EDASim, Hessen Agentur Partnertag, 2009

Die VDA Arbeitsgruppe Ablaufsimulation hat in diesem Modell den Teil der Experimentplanung bis hin zur Lösung als Wertschöpfung der Ablaufsimulation definiert.

Betrachtet man den Zeitaufwand für eine Simulationsstudie, so erkennt man schnell, dass der Bereich der Wertschöpfung bei Weitem nicht den größten Teil der Studie selbst einnimmt (Abbildung 2). Im Gegenteil, betrachtet man die Zeitscheiben über die Umfragejahre hinweg, so erkennt man sogar, dass der Zeitaufwand für wertschöpfende Tätigkeiten abnimmt.



Quelle: Dissertation Lars Huber, Umfrageergebnisse 2010VDA weit

Abbildung 3: Aufwand bei Simulationsstudien, Dissertation Lars Huber, 2012

Gründe hierfür sind vor allem in den gesteigerten Anforderungen aus dem Wettbewerb der Automobilproduzenten zu sehen. Daraus resultieren immer mehr Derivate (Typen), zum Teil auch auf den gleichen Produktionslinien produziert, mehr Varianten pro Derivat, vermehrt internationale Produktions- und Logistik-Netzwerke, höhere Bebauungsdichte in den Werken und Produktionshallen, neue Steuerungskonzepte bis hin zu komplett neuen Produktionskonzepten und auch neue Vertriebskonzepte. Dies hat folgende Auswirkungen auf die Ablaufsimulation:

- Steigende Komplexität
- Höherer Detaillierungsgrad
- Anstieg des Umfangs der benötigten Eingangsdaten

Ein Instrument dem entgegenzuwirken kann hier ein optimierter Workflow sein, der aber im Moment noch nicht vollständig gegeben ist. Hierfür ist es zuerst einmal unabdingbar, dass die Ablaufsimulation als feste Größe in die Planungsprozesse integriert ist. Dadurch wird erreicht, dass kein Meilenstein der Planung erreicht

werden kann, ohne dass zumindest geprüft wurde, ob das Planungsergebnis durch eine Simulationsstudie abgesichert werden soll.

Eine Integration in den Planungsprozess löst aber das Problem der geringen Wertschöpfung nicht.

Nach wie vor die größte Herausforderung der Ablaufsimulation in der Automobilindustrie liegt im Bereich der Eingangsdaten. Die benötigten Daten liegen derzeit meist inhomogen und nicht immer vollständig vor. Hier ist es nötig, innerhalb der Digitalen Fabrik Lösungen anzubieten, die eine singuläre Bereitstellung für alle in den Systemen vorhandenen Daten vorsieht. Ist dies erfolgt, so muss eine (teil-)automatische Datenübernahme möglich sein. Dieser sollte eine explizite Methode zur Plausibilisierung der Werte (Vollständigkeit, Richtigkeit) zur Seite stehen.

In engem Zusammenhang mit den benötigten Daten ist – natürlich unter Berücksichtigung der zu beantwortenden Fragestellung – die Wahl des richtigen Detaillierungsgrades zu sehen. Hier muß aus Sicht der Verringerung der Projektlaufzeit der Grundsatz „so detailliert wie nötig, so grob wie möglich“ gelten.

Stehen die Planungsdaten in der gewünschten Güte bereit, so ist es auch möglich, Simulationsmodelle mit Hilfe einer (teil-)automatischen Modellgenerierung zu erzeugen und so den Zeitaufwand der Modellerstellung zu reduzieren. Momentan fehlt in diesem Umfeld derzeit noch die Möglichkeit, Daten aus unterschiedlichsten Planungssystemen automatisch zu Verknüpfen.

Ein weiterer Punkt, der zu einer Steigerung der Wertschöpfung beitragen kann, ist eine Unterstützung des Simulationsexperten beim Experimentdesign und bei der Experimentdurchführung. Hier sollten auch gezielt Algorithmen eingesetzt werden, die eine Lösungsfindung beschleunigen.

Zu guter Letzt sollte es möglich sein, Ergebnisauswertungen teilautomatisch durchzuführen. Die Erfahrung zeigt, dass etwa 50% der benötigten Auswertungen immer wieder gleich sind. Somit könnten diese Ergebnisse, in die richtige Form gebracht, ohne zusätzlichen Aufwand zugänglich gemacht werden.

Der wichtigste Punkt bei allen genannten Optimierungsmöglichkeiten, ist, die Validierung und Verifikation möglichst einfach und effizient anwendbar zu machen.

4.3 Interoperabilität von Simulatoren

Um die Rolle der Ablaufsimulation in Zukunft weiter zu stärken, wird es nötig sein, die Interoperabilität zu anderen Simulations-Sparten herzustellen oder weiter auszubauen.

Als Beispiel sei hier die Virtuelle Inbetriebnahme (VIBN) genannt, die in unterschiedlichen Hierarchiestufen durchgeführt werden kann. So ist es meist notwendig, eine VIBN für eine Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) mit einer eigens dafür entwickelten Software durchzuführen. Eine Inbetriebnahme der übergeordneten Steuerung (die sogenannte Emulation [vgl. Grillitsch 2010, Mayer 2006]), bei der es darum geht, nicht eine Steuerung, sondern einen Bereich oder ein ganzes Gewerk abzubilden, kann aber durchaus mit den Werkzeugen der Ablaufsimulation durchgeführt werden.

Da derzeit die Nachfragen für eine hybride Verwendung der o.g. Methodiken besteht, wird es Zunehmens wichtiger, dass die unterschiedlichen Werkzeuge kompatibel zueinander sind oder gemacht werden.

5 (Immer wieder) Standards

Die Standardisierung der Ablaufsimulation schreitet voran, aber ist sie überhaupt sinnvoll? Aus Sicht der VDA Arbeitsgruppe ist sie nicht nur sinnvoll, sondern notwendig, wenn man die Ablaufsimulation kontinuierlich und nachhaltig betreiben will. Auch wenn der Abstimmungsaufwand, der zu Beginn einer Standardisierung notwendig ist, oft zäh und langwierig ist, so ist sie unabdingbar, um eine Mindestqualität der Modelle sicherzustellen und eine langfristige Pflege und Wartung der Modelle zu ermöglichen [vgl. Mayer 2010a].

Ein Punkt, der dabei bedacht werden muss, ist, dass vereinheitlichte Objekte viel größer sein und mehr Funktionen enthalten können, als nativ für einen einzelnen Verwendungszweck erstellte. Daher sollte der Aufbau des Standards wohl durchdacht sein, so dass er auch mit angemessenem Aufwand anwendbar ist und der Anwender nicht durch zu hohe Komplexität überfordert wird.

Ein zentral wichtiger Punkt für alle Standardisierungsaktivitäten ist, wieder einmal, die Dokumentation. Ohne eine umfangreiche Dokumentation, die alle Bausteine und Funktionen vollständig beschreibt und Schulungsunterlagen, die einen Einstieg in das Werkzeug ermöglichen, ist ein Standard nichts wert, da er von den Anwendern nicht akzeptiert werden wird.

Für die Ablaufsimulation ist eine Standardisierung hinsichtlich folgender Punkte in Arbeit oder angedacht:

- Bausteine innerhalb des Simulators
- Schnittstellen zu Planungssystemen
- Schnittstellen zu externen Visualisierungssystemen
- Aufbau der Modelle, Modellierungsrichtlinien
- Qualitätskriterien
- Validierung und Verifikation
- Dokumentationsumfänge

Für den Erfolg von Standardisierungsvorhaben ist es wichtig, dass die unterschiedlichen Gremien, die sich mit dem Themenfeld beschäftigen, intensiv zusammenarbeiten und alle Betroffenen angemessen eingebunden werden. Aus Sicht der Ablaufsimulation innerhalb der Automobilindustrie sind das die VDA Arbeitsgruppe Ablaufsimulation, der VDI (Verein Deutscher Ingenieure) und die ASIM (Arbeitsgemeinschaft Simulation der GI, Gesellschaft für Informatik e. V.).

Welche Nachteile hat nun das Thema Standardisierung? Hier wäre zu nennen, dass für den Anwender ein Einarbeitungsaufwand entsteht, seine persönliche Freiheit bei der Modellerstellung eingeschränkt wird und er – je nach seinem persönlichen Skill-Level und der Aufgabenstellung – unter Umständen einen höheren zeitlichen Aufwand durch die Verwendung des Standards in Kauf nehmen muss.

Demgegenüber sind als Vorteile zu nennen: Die langfristige Pflege und Wartung der Simulationsmodelle wird überhaupt erst durch die Verwendung von Standards ermöglicht. Ein Support der Anwender bei Problemen mit dem Werkzeug und eine

Qualitätskontrolle der u.U. extern erstellten Modelle sind mit deutlich geringerem Aufwand verbunden, wenn die verwendeten Bausteine innerhalb des Simulators gleich sind. Zusätzlich können Modelle an andere Kollegen ohne große Einarbeitung übergeben und ggf. zu größeren (Gesamt-)Modellen kombiniert werden. Und, der wichtigste Punkt, das Wissen der Simulationsexperten ist leichter aufzubauen, zu erhalten und ggf. auf weitere Anwender übertragbar.

Aus der Abwägung der genannten Vor- und Nachteile ist in den vergangenen Jahren eine in der Automobilindustrie weit verbreitete Standard-Bibliothek für Simulationsobjekte entstanden – der VDA Automotive Bausteinkasten [vgl. Mayer, 2010b]. Inzwischen wird die Anwendung dieser Bibliothek unterstützt durch diverse Dokumente, wie z.B. eine umfassende, mehrsprachige Dokumentation, umfangreiches Schulungsmaterial und Ausführungsanweisungen für die Durchführung von Simulationsprojekten. In der Zukunft wird der VDA Automotive Bausteinkasten ein Kernelement der Simulationsstrategie der beteiligten Unternehmen bilden.

6 Neue Anwendungsfälle (Forschungsprojekte)

Ein wichtiger Schlüssel zum Erfolg der Ablaufsimulation war schon immer die Zusammenarbeit von Forschung und Industrie. Diese Kooperation wird auch die Zukunft weiter bestimmen.

Einen wertvollen Beitrag kann diese Zusammenarbeit bei neuen Anwendungsfällen liefern, die derzeit in der Automobilindustrie noch nicht im Fokus stehen. Als Beispiele wären hier zu nennen:

- Simulation von Verbrauchswerten (Energiesimulation): In diesem Feld sind zwar die ersten Schritte bereits gemacht, aber eine vollständige Abbildung aller Energie- und Medienverbräuche, deren Erzeugungen und ggf. auch der zu ihrer Bereitstellung notwendigen Infrastruktur ist derzeit noch nicht möglich. Zusätzlich wäre es interessant zu untersuchen, ob durch die Kopplung verschiedener Simulatoren für unterschiedliche Anwendungsbereiche – zum Beispiel von Modellen der Belüftungssimulation einer Produktionshalle und der Ablaufsimulation der in dieser Halle installierten Produktionsanlage – ein zusätzlicher Erkenntnisgewinn erzielt werden kann.
- Simulation von Bautätigkeiten: Da auch in der Automobilindustrie viel und oft gebaut wird, wird dieses Feld der Ablaufsimulation sicherlich in den Fokus rücken. Vor allem, wenn die Bautätigkeit in einem aktuell betriebenen Werk stattfindet, hat die Bau-Logistik u. U. einen Einfluss auf die Produktionslogistik.
- Simulation von Personenströmen: Durch die steigende Bebauungsdichte innerhalb der Werken und der Hallen in den einzelnen Fabriken entsteht immer mehr die Frage: Ist es noch möglich, die Arbeiter zum Schichtwechsel ohne große Probleme an ihre Arbeitsplätze zu bringen? Was passiert im Notfall?

Anhand dieser beliebig erweiterbaren Liste ist schnell ersichtlich, dass es auch in Zukunft Bedarf an intensiver Zusammenarbeit zwischen Forschung und Technik geben wird. Hier wird der Erfolg natürlich daran gemessen werden, wie viele der Forschungsprojekte und Kooperationen dann auch Eingang in die Simulationsanwendungen der Automobilindustrie finden. Dabei wird die gemeinsame Aufgabe darin bestehen, nicht nur Forschungsprojekte durchzuführen, sondern diese

auch, bei positiven Ergebnissen, zur Umsetzung in der Praxis und zur Anwendung in der Industrie zu bringen.

7 Zusammenfassung

Als Fazit bleibt festzuhalten, dass schon viele kleine und große Schritte zur Professionalisierung des Einsatzes und zur Erweiterung der Anwendungsgebiete der Ablaufsimulation in der Automobilindustrie gegangen wurden, aber immer neue Aufgaben, Herausforderungen und Simulationsarten zeigen, dass das Themenfeld der Ablaufsimulation immer noch nicht fertig erforscht und vollständig in die Anwendung gebracht wurde. Dieser Beitrag hat daher bei weitem nicht den Anspruch auf Vollständigkeit, er soll vielmehr zur Motivation beitragen, das Thema immer wieder zu hinterfragen und wenn nötig, neu zu definieren.

Literatur

- Bracht, U.; Geckler, D.; Wenzel, S.: Digitale Fabrik - Methoden und Praxisbeispiele. Berlin: Springer 2011
- Masik, S.; Pöge, C.: Virtuelle Abläufe, realer Nutzen - Mit virtueller Realität Materialflüsse in der Autoindustrie planen. Digital Engineering Magazin 5/2012
- Rabe, M.; Spieckermann, S.; Wenzel, S.: Verifikation und Validierung für die Simulation in Produktion und Logistik. Berlin, Heidelberg: Springer 2008.
- Mayer, G.; Spieckermann, S.; Wenzel, S.: Steigerung der Produktivität in Simulationsstudien mit Assistenzwerkzeugen. ZWF 3/2012
- Grillitsch, U.; Mayer, G.: Auf dem Weg zum Standard – Virtuelle Inbetriebnahme von IT-Steuerungssystemen in der Produktionssteuerung. Karlsruhe: Tagungsband zur ASIM Fachtagung 2010
- Mayer, G.; Burges, U.: Virtuelle Inbetriebnahme von Produktionssteuerungssystemen in der Automobilindustrie mittels Emulation. Kassel: Tagungsband zur ASIM Fachtagung 2006
- Mayer, G.; Spieckermann, S.: – Life-cycle of simulation models: requirements and case studies in the automotive industry. Journal of Simulation No. 4/2010
- Mayer, G.; Pöge, C.: Auf dem Weg zum Standard – Von der Idee zur Umsetzung des VDA Automotive Bausteinkastens. Karlsruhe: Tagungsband zur ASIM Fachtagung 2010