

Diskrete, ereignisorientierte Simulation in Produktion und Logistik – Herausforderungen und Trends

Sven Spieckermann*
SimPlan AG, Maintal

Abstract

Simulation in Produktion und Logistik blickt auf eine lange Historie zurück. Neue Trends und Herausforderungen kommen und gehen. Einige Themen etablieren sich dauerhaft. Dieser Artikel versucht einen Blick nach vorn. Als Ausgangsbasis dafür dient ein Rückblick auf die letzten zehn Jahre sowie einige Schlaglichter auf die aktuelle Situation.

1 Motivation

Bei der Suche nach den Herausforderungen der Zukunft für die *diskrete, ereignisorientierte Simulation in Produktion und Logistik* lohnt sich ein Blick auf die Vergangenheit. Dieser Blick zeigt, dass die letzten zehn Jahre für die Simulationstechnologie in diesem Bereich durchaus als erfolgreich eingestuft werden können. Sowohl die Breite als auch die Tiefe der Anwendungen haben in diesem Zeitraum deutlich zugenommen.

Gleichzeitig sind zahlreiche Themen im Zusammenhang mit Simulation als innovative neue Herausforderungen oder Trends apostrophiert worden. Dazu gehören unter anderem so unterschiedliche Ansätze wie verteilte Simulation, Emulation, simulationsbasierte Optimierung, automatische Modellgenerierung oder die (Weiter-)Entwicklung von Simulationsumgebungen.

Wir werden in diesem Artikel diskutieren, welche zukünftigen Herausforderungen für die Simulation vor dem Hintergrund der Entwicklung dieser Themen zu erwarten sind. Dazu ist im folgenden zweiten Kapitel ein etwas genauerer Blick auf die erreichten Erfolge notwendig. Im dritten Kapitel werden wir dann einige Themen genauer betrachten, mit dem Ziel, sie als zukünftige Herausforderungen zu identifizieren oder auch auszuschließen. Der Platz für die eine oder andere kritische Beobachtung ist dann in Kapitel 4. In Kapitel 5 versuchen wir uns dann schließlich am Blick in die Zukunft.

2 Simulation als Erfolgsgeschichte

Simulation in Produktion und Logistik ist in den neunziger Jahren in einer ganzen Reihe von Veröffentlichungen als eine *der* Schlüsseltechnologien der Zukunft eingeordnet worden; vgl. z.B. [Gan94], [Fro96] und [Rei97]. Es soll nun im Folgenden nicht der Versuch gemacht werden zu bewerten, ob Simulation den damit verbundenen Erwartungen gerecht werden konnte. Darüber ließe sich sicher kontrovers diskutieren; vgl. z.B. die diesbezüglichen Bemerkungen in [Rab00] und [Rei00]. Vielmehr soll mit einigen

* SimPlan AG, D-63477 Maintal, Germany

Beobachtungen die These gestützt werden, dass die Simulation auf erfolgreiche Jahre zurückblicken kann, in denen ihre Verbreitung und Anwendung signifikant zugenommen hat.

Ein zentrales Beispiel dafür ist die Automobilindustrie. Mitte der neunziger Jahre gab es dort zwar auch bereits zahlreiche erfolgreiche Applikationen; vgl. die Beispiele in [Rei90], [Spi97] oder [Ülg97]. Gleichwohl hat es sich dabei eher um vereinzelte Anwendungen und auch um vereinzelte Anwender gehandelt. Heute wird Simulation in den meisten Automobilunternehmen in nahezu allen Fertigungsbereichen eingesetzt. Dazu gehören sowohl die Fahrzeugwerke mit den wesentlichen Bereichen Rohbau, Lackiererei und Montage als auch Komponentenwerke, in denen beispielsweise Motoren und Getriebe gefertigt werden, oder sogar die bereichs- und standortübergreifende Betrachtung von Lieferketten; vgl. für einen aktuellen Überblick über Anwendungsfälle z.B. [Bay02]. Parallel dazu hat die Anzahl der Simulationsanwender deutlich zugenommen. Alleine bei Audi, BMW und DaimlerChrysler dürfte es heute eine dreistellige Anzahl von Ingenieuren geben, in deren Aufgabenbereich auch die Erstellung (oder zumindest die Betreuung) von Simulationen für Produktion und Logistik fallen. Das stellt (grob geschätzt) in etwa eine Verzehnfachung in zehn Jahren dar. Diese Entwicklung erfasst mittlerweile auch die (großen) Automobilzulieferer und zahlreiche Ingenieurbüros; vgl. [Bay02, S. 2-3]. Auch dort steigt die Anzahl der Anwender und Anwendungen.

Die Planung automatisierter Logistiksysteme stellt einen weiteren Bereich dar, in dem auf den Einsatz von Simulation nicht mehr verzichtet werden kann. In zahlreichen Ausgaben der Fachzeitschriften aus diesem Anwendungsgebiet finden sich Veröffentlichungen über Simulation im Allgemeinen oder über die Rolle der Simulation in speziellen Logistikprojekten. Dabei wird in der Regel betont, dass die Planungsabsicherung mit Simulation heute eine Selbstverständlichkeit ist. Exemplarisch seien hier nur [Kem03] und [Paw04] genannt.

Bei den Softwareherstellern hat sich diese Entwicklung in einer kontinuierlich wachsenden Zahl von Installationen niedergeschlagen, wobei es dazu leider keine uns bekannten aktuellen Veröffentlichungen gibt.

Und auch die Hochschulen spiegeln den Aufschwung des Themas wider. Waren 1995 Vorlesungen zur Simulation noch nicht die Regel, so finden sie sich heute an so gut wie jeder Universität oder Fachhochschule entweder in der quantitativen Betriebswirtschaftslehre, in der Informatik oder in den Ingenieurwissenschaften.

3 Herausforderungen der „jüngeren“ Vergangenheit

Das vorangegangene Kapitel enthält einige Beispiele als Beleg für die gewachsene und weiter wachsende Verbreitung der Simulationsanwendung. Überwiegend handelt es sich dabei um Beispiele aus der *Planung* von Logistik- und Produktionssystemen. Die dafür erforderliche Technologie steht schon seit weit mehr als zwanzig Jahren zur Verfügung, wie etwa die Fallbeispiele in [Fel88] zeigen. Es hat also mehrere Jahrzehnte gedauert, bis die Simulation in der Planung logistischer Systeme die heutige Durchdringung erreicht hat.

In diesem Kapitel werden nun (ohne Anspruch auf Vollständigkeit) eine Reihe von technologisch geprägten Themen diskutiert, die in den letzten Jahren als Trends und

Herausforderungen der Simulation in Produktion und Logistik gegolten haben. Es wird sich dabei zeigen, dass einige davon unverändert eine Herausforderung darstellen oder im Trend liegen. Bei einigen anderen Themen können die Herausforderungen als gelöst und die ehemaligen Trends heute als Stand der Technik betrachtet werden. Und bei wieder anderen ist der Trend im Sande verlaufen und die Herausforderung mangels praktischer Anwendbarkeit der ersten erkennbaren Konzepte oder Lösungen von niemandem angenommen worden. Unter Berücksichtigung von Aufwand, Nutzen und Technologie könnten vielleicht ein oder zwei der Ansätze das Potenzial für eine ähnliche Verbreitung haben, wie sie die Anwendung der Planungssimulation heute erreicht hat. Die Betrachtung der Literatur, die sich mit (neuen) Herausforderungen der Simulation auseinandersetzt, zeigt, dass einige der folgenden Themen bereits seit geraumer Zeit diskutiert werden, wenn auch hier und da unter sich leicht ändernden Überschriften; vgl. dazu etwa [Kuh93], [Lor96] und [Noc02].

3.1 Integration in die betriebliche Datenverarbeitung

Die Integration der Simulation in die betriebliche Datenverarbeitung ist ein umfassendes Thema mit einer Reihe unterschiedlicher Ausprägungen, wobei sich im Wesentlichen drei Begründungen für die Notwendigkeit einer Integration unterscheiden lassen. Die erste Begründung bezieht sich auf die Verwendung von Simulationsmodellen über die Planungsphase hinaus: Wenn während der Planung eines Systems (ggf. mit relativ viel Aufwand) ein Simulationsmodell entstanden ist, dann könne dieses Modell doch auch während des Betriebs dieses Systems – entsprechend eingebunden in die übrige IT-Umgebung – genutzt werden, so die Argumentation beispielsweise in [Wen93]. Der zweite für eine Integration von Simulation und anderen IT-Systemen angeführte Grund ist die Vereinfachung der Datenbeschaffung für Simulationsstudien; vgl. wiederum [Wen93]. Und die dritte Argumentationslinie hängt mit den Defiziten von PPS-Systemen bei der Produktionsfeinplanung zusammen. Diese Unzulänglichkeiten (z.B. die begrenzten Möglichkeiten zur Modellierung der Fertigung mit ihren stochastischen Einflüssen oder die Verwendung unbegrenzter Ressourcen in der Planung) sollen durch entsprechende simulationsbasierte Werkzeuge ausgeglichen werden; vgl. u.a. [Noc93].

Nun kommt allerdings der Simulationskomponente bei Werkzeugen für die Produktionsfeinplanung ein eher untergeordnetes Gewicht zu; vgl. [Fec00] und [Noc02]. Ein Schwerpunkt der Arbeiten liegt auf der Bereitstellung möglichst einfacher Benutzeroberflächen für die Anwender in der Fertigungsvorbereitung oder Auftragsdisposition. Einen weiteren Schwerpunkt stellt die Einführung oder Erweiterung der Betriebsdatenerfassung dar, die über geeignete Rückmeldestufen verfügen muss. Neben diesen nicht unmittelbar mit der Simulation zusammenhängenden technischen Herausforderungen sehen sich die Simulationsanbieter auf diesem Feld mit Anbietern von MES (*Manufacturing Execution Systems*) oder APS (*Advanced Planning and Scheduling*) Werkzeugen konfrontiert. Diese Anbieter nehmen für ihre Software in der Regel auch in Anspruch, simulieren zu können. Und tatsächlich ist der zusätzliche Nutzen durch die Modellierungsmächtigkeit eines der marktgängigen Materialflusssimulatoren als gering einzustufen; vgl. [Noc02]. Insgesamt spielt die (diskrete, ereignisorientierte) Simulation in diesem Anwendungsbereich heute eine Nebenrolle.

Die zweite oben angeführte Begründung für die Integration mit anderen IT-Systemen, die Vereinfachung des Austausches von Planungsdaten zwischen Simulationsmodellen und anderen Systemen, hat (speziell in der bereits angesprochenen Automobilindustrie) unter dem Schlagwort „Digitale Fabrik“ zuletzt wieder an Bedeutung gewonnen; vgl. z.B. [Wor01]. Bei näherer Betrachtung steht allerdings auch hier nicht die Simulation im Mittelpunkt der Aktivitäten. Es geht vielmehr um Effizienzgewinne in der Fabrikplanung durch Standards beim Datenaustausch, bei den Planungsprozessen und bei den eingesetzten Softwarewerkzeugen.

Da, um auf die erstgenannte Begründung für die Integration zurückzukommen, die Nutzung von Simulationsmodellen über die Planungsphase hinaus kein Selbstzweck sein kann, ist das Thema der IT-Integration insgesamt als Herausforderung an die Simulation nur sehr bedingt tragfähig. Ein spezieller Integrationsansatz, die Generierung von Modellstrukturen aus CAD-Systemen, wird in Abschnitt 3.5 vertieft diskutiert.

3.2 Verteilte Simulation

Die Idee der verteilten Simulation ist bestechend. Weitgehend unabhängig voneinander werden Simulationsmodelle erstellt und bei Bedarf mit Hilfe eines geeigneten Protokolls (der High Level Architecture, HLA) zu einem Modell verbunden. Auf diese Art und Weise können beispielsweise die Modelle von Lieferanten und einem Fertigungsunternehmen zu Modellen von Lieferketten verbunden werden. Oder es lassen sich Teilmodelle innerhalb eines Standorts zu einem gesamten Fabrikmodell verbinden.

Vor einigen Jahren wurde diesem im militärischen Bereich entstandenen Ansatz ein großes Potenzial auch für Anwendungen in Produktion und Logistik beigemessen; vgl. z.B. [Rab00]. Die aktuellen Veröffentlichungen zeugen eher von einer gewissen Ernüchterung; vgl. [Tay04]. So gut wie kein Anbieter eines kommerziellen Simulationswerkzeugs unterstützt HLA. Dabei reagieren die Softwarehäuser wiederum nur auf die Anforderungen ihrer Kunden, die offensichtlich (noch) nicht in hinreichend großer Anzahl verteilte Simulation einfordern. Möglicherweise spielt dabei eine Rolle, dass verteilte Simulation bereichs- und unternehmensübergreifende Formen der Zusammenarbeit ermöglicht *und* verlangt, für die es in der realen Welt so gut wie keine Muster gibt. In diesem Fall wären mit einer technologischen Weiterentwicklung des Ansatzes (wie gut diese auch immer sein mag) allerdings keinerlei Fortschritte im Hinblick auf die außermilitärische Verwendung verteilter Simulation zu erzielen.

3.3 Emulation

Der Simulationseinsatz während der Planung logistischer System findet in der Regel losgelöst vom Entwicklungsprozess der realen Steuerungssoftware statt. Das kann zur Folge haben, dass sich die in der Simulationsstudie entwickelten Steuerungen nicht in die Architektur des realen Materialflusssteuerungssystems einordnen lassen. Die in der Simulation entwickelten Konzepte, Algorithmen und Strategien sind damit im ungünstigsten Fall in der Realität nicht umsetzbar. Aber selbst eine realitätsnahe Strukturierung der Algorithmen im Modell alleine gewährleistet keine reibungslose Inbetriebnahme der Steuerungssoftware.

Aus diesen Gründen gewinnt die Online-Kopplung zwischen Modell und realer Steuerungssoftware immer mehr an Bedeutung. Die Idee besteht darin, die reale Software

(beispielsweise ein Lagerverwaltungssystem oder einen Materialflussrechner) vor dem Aufbau der Anlage und vor der eigentlichen Inbetriebnahme zu testen. Dazu wird das Simulationsmodell über verschiedene Schnittstellen mit der realen Steuerungssoftware gekoppelt. Der Steuerungssoftware wird „vorgespiegelt“, sie steuere bereits eine reale Anlage. So können Fehler vorab aufgedeckt und behoben werden. Der Termindruck und die Risiken sinken entsprechend.

Dieser auch als Emulation bezeichnete Ansatz – der unter anderem in [Noc02] als eine Innovation im Simulationsumfeld diskutiert wird – ist nicht neu. Anwendungsberichte und Studien finden sich u.a. in [Sch93], [Bre97], [Noc97] oder [Gut00]. Der immer stärkere Druck insbesondere auf die Lieferanten von Steuerungssoftware, Inbetriebnahmezeiten zu verkürzen, trägt jedoch offenbar dazu bei, dass sich diese Technologie aktuell einer stark wachsenden Nachfrage erfreut. Auf diesem Feld können sich für die Simulation in den nächsten Jahren interessante Perspektiven ergeben.

3.4 Simulationsbasierte Optimierung

Simulationsmodelle sind Bewertungsmodelle und keine Optimierungsmodelle. Ein einzelner Simulationslauf mit einem stochastischen Simulationsmodell liefert lediglich *eine Stichprobe* der Zielwerte für bestimmte vorgegebene Parameter. Simulationsbasierte Optimierung verspricht diesen Mangel zu heilen in dem eine Optimierungsstrategie und ein Simulationsmodell verknüpft werden. Das Ziel der Verknüpfung ist es, die Eingangsparameter des Modells ohne manuelle Eingriffe sukzessive so zu verbessern, dass im Sinne der Aufgabenstellung bessere Zielwerte erreicht werden; vgl. dazu etwa [Kre85], [Fis88] und [And98].

Sowohl die Simulationsanwender als auch die Anbieter kommerzieller Simulationssoftware haben der simulationsbasierten Optimierung großes Potenzial beigemessen, wie die zahlreichen Anwendungsbeispiele und Softwarewerkzeuge belegen; vgl. für einen Überblick dazu etwa [Spi02, S. 55-64]. Dieser Ansatz bringt es jedoch in der Regel mit sich, dass ein Simulationsmodell für eine Vielzahl von Parameterkombinationen ausgewertet werden muss. Daher ist die Verwendung von Modellen, die nicht speziell für die Kopplung mit einer Optimierungsstrategie entworfen worden sind, aus Rechenzeitgründen in vielen Fällen nicht möglich. Insofern sind vor einer breiten Verwendung dieses Verfahrens etwa in typischen Logistiksimulationsprojekten noch signifikante Verbesserungen bei den Laufzeiten der Modelle erforderlich.

3.5 Automatische Modellgenerierung

CAD-Daten sind für Simulationsmodelle in Produktion und Logistik wesentliche Eingabegrößen. So erfolgt die Visualisierung des Materialflusses in zahlreichen Studien auf einem Layout des geplanten Systems. Darüber hinaus können aus einer CAD-Zeichnung aber weit mehr Angaben gewonnen werden, beispielsweise die Abmessungen von Förderelementen, die Typen der Förderelemente (zumindest wenn der CAD-Zeichner eine entsprechende Typisierung vorgenommen hat) und ggf. auch die Verkettung der Förderelemente.

Mit den Ansätzen zur automatischen Modellgenerierung wird nun versucht, möglichst viele dieser Angaben ohne manuelle Eingriffe in ein Simulationsmodell zu übertragen. Dazu gehört der Aufbau des Layouts im Modell unter Rückgriff auf die Modellbausteine,

die das Verhalten der Förderelementtypen in der Zeichnung geeignet nachbilden. Ferner sollten die Abmessungen automatisch aus der Zeichnung in das Modell übernommen werden.

Wie bei anderen in diesem Kapitel diskutierten Themen auch, reichen die Ursprünge der Modellgenerierung aus (CAD-)Daten schon relativ lange zurück; vgl. [Lor95]. Ein Grund, warum der Durchbruch des Ansatzes noch nicht gelungen ist, hängt mit technischen Problemen zusammen: In aller Regel wird der Modellierer an einem generierten Modell Ergänzungen vornehmen (müssen), beispielsweise in dem er Steuerungsregeln hinzufügt. Wenn sich nun das Layout ändert, kann im Modell in vielen Fällen mit den gleichen Regeln weitergearbeitet werden. Dazu sollten dann aber bei einer erneuten Übergabe von Daten zwischen CAD-System und Simulator die Steuerungsregeln erhalten bleiben. Es bedarf also eines abgestimmten Änderungsmanagements, das einen Abgleich zwischen CAD- und Simulationsdaten vornimmt. Die meisten Ansätze zur automatischen Modellgenerierung bieten diesen Abgleich bislang nicht an. Ein zweiter Grund für die geringe Verbreitung der Verfahren zur Modellgenerierung ist, dass der anteilige Aufwand für den Aufbau des Layouts im Simulationsmodell in vielen Studien vergleichsweise niedrig ist. Eine Automatisierung dieses Vorgangs trägt dann kaum dazu bei, den Gesamtaufwand für die Studie zu reduzieren. Definitiv keine Einsparung ist bei Modellen zu erzielen, die nicht layoutorientiert sind. Sehr gering ist die Einsparung in der Regel bei Modellen, deren Komplexität sich in erster Linie aus den erforderlichen Steuerungsregeln ergibt.

Austauschformate für Simulationsmodelle, die nicht an spezielle Simulationswerkzeuge gebunden sind, könnten einen wesentlichen Beitrag zur Verbreitung der Modellgenerierung leisten. Ein wichtiges Beispiel dafür ist das Format *simulation data exchange* (sdx), das auch bereits von einigen Simulatoren unterstützt wird; vgl. [Moo99].

3.6 Weiterentwicklung von Simulationsumgebungen

Bei der Entwicklung von Simulationswerkzeugen sind bestimmte Entwicklungsstufen oder „Schübe“ zu beobachten. In [Sch92] ist die Entwicklung in fünf Schritten von 1950 bis 1990 von höheren Programmiersprachen über die Unterstützung bei der Ablaufkontrolle oder bei Zufallszahlen bis zu integrierten Simulationsumgebungen (z.B. Automod, SIMPLE++, SimPro) beschrieben. Auch in den neunziger Jahren hat es Neuentwicklungen von Simulationswerkzeugen gegeben, z.B. Enterprise Dynamics, Flexsim oder AnyLogic. Ohne Berücksichtigung von AnyLogic könnte man integrierte *objektorientierte* Simulationsumgebungen als den sechsten Entwicklungsschritt bezeichnen. Tatsächlich ist diese Einstufung zum Einen nicht treffend, weil sich bereits SIMPLE++ und SimPro objektorientierter Ansätze bedienen, und zum Anderen, weil AnyLogic mit der Zusammenfassung diskreter und kontinuierlicher Modellierungsprinzipien in einer Umgebung diese Systematik sprengen würde.

Interessant ist zunächst einmal das bloße Faktum, dass es überhaupt immer wieder Neuentwicklungen von Simulationswerkzeugen gibt. Denn mit der zunehmenden Anzahl von Installationen etablierter Simulatoren wird die Markteintrittsbarriere für neue Werkzeuge tendenziell immer höher. Wenn ein großer Konzern eine zweistellige Anzahl von Simulationslizenzen *einer* bestimmten Software im Hause hat, und insbesondere wenn die gleiche oder eine größere Anzahl eingearbeiteter Mitarbeiter mit der Software

regelmäßig arbeitet, dann muss eine andere Simulationssoftware schon sehr deutliche Vorteile bieten, damit ein Umstieg ernsthaft erwogen wird. Tatsächlich ist uns (fast) kein Fall bekannt, in dem ein solcher Schritt vollzogen worden ist.

Die technischen Herausforderungen an die Systemhersteller haben sich aus Sicht der Anwender in den vergangenen Jahren kaum gewandelt: kurze Rechenzeiten unter Verwendung möglichst effizienter Algorithmen, einfache Anwendbarkeit, hohe Systemstabilität, fehlerfreie Grundelemente (hier handelt es sich leider nicht um eine Selbstverständlichkeit), Wiederverwendbarkeit von (Teil-)Modellen, offene Systemarchitektur mit Unterstützung von Schnittstellenprotokollen etc. Überblicksdarstellungen zu den Anforderungen an die Werkzeuge und Stellungnahmen der Softwarehäuser dazu gibt es immer wieder in Podiumsdiskussionen bei den *Winter Simulation Conferences*; vgl. etwa [Ban03]. Einen Überblick über den Markt für Simulationssoftware gibt alle zwei Jahre Swain; vgl. [Swa03].

4. Verbesserungspotenziale

Die bisherigen Ausführungen zeichnen ein durchaus positives Bild der Entwicklung von Simulation in Produktion und Logistik. Es gibt allerdings auch Beobachtungen, die Raum geben für negative Anmerkungen, von denen einige in diesem Kapitel in loser Folge diskutiert werden sollen.

Bei SimServ, einem von der Europäischen Union geförderten virtuellen Institut („Virtual Institute“; vgl. [Kra04]), war trotz der Möglichkeit, Fördergelder für Simulationsprojekte in Anspruch zu nehmen, eine deutliche Zurückhaltung zu beobachten. Die Anzahl der gemeinsam mit der Industrie durchgeführten Projekte war eher überschaubar. Die Beteiligung an öffentlichen Vorstellungen und Foren, beispielsweise auf der Hannover Messe für Industrie im Jahr 2004, war verhalten.

Eine weitere Beobachtung ist, dass die Mitgliederzahl der ASIM (Arbeitsgemeinschaft Simulation) seit mehr als zehn Jahren stagniert, (wenngleich sich die Fachgruppe „Simulation in Produktion und Logistik“ in diesem Zeitraum bei moderatem Wachstum zur mitgliederstärksten Untergliederung entwickelt hat).

Nun scheint beides in einem Widerspruch zur oben angeführten Zunahme der Anzahl an Simulationsanwendern im gleichen Zeitraum zu stehen. Eine nahe liegende Erklärung könnte sein, dass die Bereitschaft und das Interesse zur Mitwirkung in Gremien oder Verbänden bei vielen Anwendern nicht (mehr) vorhanden sind bzw. nie vorhanden waren. Das hängt möglicherweise mit den nächsten Beobachtungen zusammen: Simulation ist heute für zahlreiche Anwender etwas Selbstverständliches. Sie haben nicht mehr – wie vielleicht noch vor einem Jahrzehnt – das Gefühl mit einem besonders neuen und innovativen Verfahren an ihren Planungsproblemen zu arbeiten, wenn sie Simulation einsetzen. Simulationstechnologie ist damit von einer anspruchsvollen Herausforderung zu einer (vermeintlich) leicht zu beherrschenden Nebensache geworden. Eine Konsequenz aus dieser Haltung ist eine hier und da zu beobachtende Sorglosigkeit im Umgang mit den Grundlagen der Simulation. Das erforderliche statistische Wissen ist beispielsweise nicht bei jedem Anwender vorhanden. Daraus resultieren bedauerlicherweise immer wieder Studien mit Ergebnissen, die (statistisch) schlecht abgesichert oder im schlimmsten Fall sogar falsch sind. Ein Mangel an Qualität ist also eine weitere

negative Beobachtung, die im Zusammenhang mit der gestiegenen Verbreitung von Simulation heute gemacht werden muss.

5. Herausforderungen der Zukunft

Der Blick auf die Herausforderungen der Zukunft hat eine organisatorische und eine technologische Perspektive. Aus organisatorischer Sicht wird eine wichtige künftige Herausforderung darin liegen, einen Rahmen zu schaffen, der die Erstellung qualitativ hochwertiger Simulationsstudien angemessen unterstützt. Die Herausforderung „Qualität“ ergibt sich aus der zunehmenden Anzahl von Anwendern und dem in immer geringerem Maße erforderlichen Spezialistentum; vgl. auch Kapitel 4. Innerhalb der ASIM wird hier entsprechende Grundlagenarbeit geleistet; vgl. z.B. [Wei04]. Ohne die Unterstützung der Hersteller von Simulationssoftware werden die dabei erarbeiteten Standards aber wohl kaum die Mehrheit der Anwender erreichen. Die Hersteller wiederum, denen durchaus an qualitativ hochwertiger Modellierung gelegen sein sollte, befinden sich in einem gewissen Interessenskonflikt. Hinweise auf nicht-triviale Grundlagen von Simulationsmodellen fördern (und das ist nicht polemisch gemeint) den Verkaufserfolg von Simulationssoftware in aller Regel nicht. Dies voraussehend hat übrigens [Lor96] angedeutet, dass es besser sein könnte, Simulation doch nur den Spezialisten vorzubehalten.

Gefordert hinsichtlich der Einhaltung von Qualitätsstandards sind im Übrigen nicht nur industrielle Anwender, Hersteller von Simulationswerkzeugen und Simulationsdienstleister. Auch Lehrstuhlinhaber, die teilweise kommerzielle Simulationsaufgaben von Studenten bearbeiten lassen, müssen auf die notwendige Professionalität bei der Abwicklung achten. Und in der Lehre muss auch unbedingt die Sensibilisierung für die theoretischen Grundlagen der Simulation erfolgen. Besonderes Gewicht sollte dabei auf der Statistik liegen.

Aus technologischer Sicht scheinen einige wenige der in Kapitel 3 diskutierten Themen nennenswertes Marktpotenzial für die Zukunft zu haben. Dazu gehören beispielsweise die Emulation oder auch der Austausch von CAD- und Modelldaten über werkzeugunabhängige Austauschformate. Die übrigen Themen bieten sicher stets Raum für Weiterentwicklung und Forschung. Ihre verbreitete Nutzung im kommerziellen Umfeld ist allerdings noch nicht abzusehen. Dazu fehlt es beispielsweise an Rechenleistung (simulationsbasierte Optimierung) oder an organisatorischen Konzepten und Unterstützung durch die Hersteller (verteilte Simulation). Andere Themen (Digitale Fabrik, Produktionsfeinplanung) sind nicht in erster Linie Herausforderungen für die Simulationstechnologie. Hier handelt es sich vielmehr um breiter angelegte IT-Themen.

Eine der größten Herausforderungen ist möglicherweise, dass es derzeit offensichtlich so gut wie keine neuen, technologischen Themen gibt, auf denen sich die diskrete, ereignisorientierte Simulation in natürlicher Weise als Lösung aufdrängt. Das ist einerseits eine Herausforderung in kommerzieller Hinsicht, da Software- und Dienstleistungsanbieter mit innovativen Lösungen in der Regel bessere Erlöse erzielen können. Und andererseits sollte für die Forschung im Simulationsumfeld die Suche nach derartigen Herausforderungen sowieso im Mittelpunkt stehen.

6. Zusammenfassung

Der vorliegende Artikel hat einige technologische und organisatorische Herausforderungen für die diskrete, ereignisorientierte Simulation in Produktion und Logistik diskutiert. Auffallend dabei ist, dass viele der angesprochenen Themen auch schon vor fünf oder zehn Jahren als Herausforderungen galten. Und es ist davon auszugehen, dass in fünf oder zehn Jahren Ansätze wie verteilte Simulation oder simulationsbasierte Optimierung in mancherlei Hinsicht immer noch eine Herausforderung darstellen. Zu einem ganz ähnliche Schluss kommen übrigens auch Barton et al. die sich im Rahmen der *Winter Simulation Conference* 2003 Gedanken über die zukünftige Entwicklung der Simulation gemacht haben; vgl. [Bar03]. In Anlehnung an diese Veröffentlichung kann man abschließend nur dazu auffordern, die SimVis 2010 und die SimVis 2015 bereits vorzumerken, und sich zu vergewissern.

Literatur

- [And98] S. Andradottir. *Simulation Optimization*. In: J. Banks, Hrsg., *Handbook on Simulation*, S. 307-333, Wiley, Chichester, 1998.
- [Ban03] J. Banks, J.C. Hagan, P. Lendermann, C. McLean, E.H. Page, C.D. Pegden, O. Ülgen, J.R. Wilson. *The Future of the Simulation Industry*. In: S. Chick, P.J. Sánchez, D. Ferrin und D.J. Morrice, Hrsg, *Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference*, S. 2033-2043, SCS, San Diego, 2003.
- [Bar03] R. Barton, P. Fishwick, J. Henriksen, R. Sargent, J. Twomey. *Panel: Simulation – Past, Present and Future*. In: S. Chick, P.J. Sánchez, D. Ferrin und D.J. Morrice, Hrsg, *Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference*, S. 2044-2050, SCS, San Diego, 2003.
- [Bay02] J. Bayer, T. Collisi, S. Wenzel (Hrsg). *Simulation in der Automobilindustrie*, Springer, Berlin, 2002.
- [Bre97] E. Breilmann und H. Herrmann. *So schnell kann's gehen. Commissioning by Simulation – Test des New World Cargo Centres am Bildschirm*. *Materialfluss* 10-12: S. 12-15, 1997.
- [Fec00] T. Fechteler, M. Schulz, S. Spieckermann und R. Splanemann. *Integrierte simulationsgestützte Leitstände zur Feinplanung der Produktion*. In: K. Mertins und M. Rabe, Hrsg, *The New Simulation in Production and Logistics*, S. 165-174, IPK Berlin, Eigenverlag, 2000.
- [Fel88] K. Feldmann und B. Schmidt (Hrsg). *Simulation in der Fertigungstechnik*. Springer, Berlin, 1988.
- [Fis88] J. Fischer. *Some Remarks on Optimizing Simulated Systems*. In: A. Sydow, S.G. Tzafestas und R. Vichnevetsky, Hrsg, *System Analysis and Simulation*. Vol. I: *Theory and Foundations*, *Mathematical Research*, S. 251-254, Bd. 46, Akademie, Berlin, 1988.

- [Fro96] H. Fromm. *Industrielle Anwendungserfahrungen und Erwartungen an die Fortschritte der Simulation*. ASIM Mitteilungen, Bd. 54, S. 1, 1996.
- [Gan94] P. Gangl. *Simulation – eine Schlüsseltechnologie der 90er Jahre*. In: J. Biethahn, W. Hummeltenberg, B. Schmidt und T. Witte, Hrsg, Fortschritte in der Simulationstechnik, S. 1-10, Vieweg, Braunschweig, 1994.
- [Gut00] K. Gutenschwager, K.-A. Fauth, S. Spieckermann und S. Voß. *Qualitätssicherung lagerlogistischer Steuerungssoftware durch Simulation*. Informatik Spektrum, 23, S. 26-37, 2000.
- [Kem03] J. Kemper und J. Dietrich. *Erst simulieren, dann realisieren*. F+H Fördern und Heben, 53(5): S. 282-283, 2003.
- [Kra04] J. Krauth, *The Virtual Institute Sim-Serv: Web Based Services for Simulation in Production and Logistics*. In: K. Mertins und M. Rabe, Hrsg, Experiences from the Future, S. 309-318, Fraunhofer IRB, Stuttgart, 2004.
- [Kre85] K.-J. Krechel-Mohr und I. Molnar. *Ein universelles Optimierungsmodul zur Lösung von Entscheidungsproblemen in der Simulation*. In: D.P.F. Möller, Hrsg, Simulationstechnik. Proceedings, Springer, S. 290-296, Berlin, 1985.
- [Kuh93] A. Kuhn, A. Reinhardt und H.-P. Wiendahl, Hrsg. *Handbuch der Simulationsanwendungen in Produktion und Logistik*. Vieweg, Braunschweig, 1993.
- [Lor95] P. Lorenz und T. Schulze. *Layout Based Model Generation*. In: C. Alexopoulos, K. Kang, Hrsg, Proceedings of the 1995 Winter Simulation Conference, S. 728-735, ACM Press, New York, 1995.
- [Lor96] P. Lorenz. *Einführung in die Tagung Simulation und Animation*. ASIM Mitteilungen, Bd. 54, S. I-VIII, 1996.
- [Moo99] S. Moorthy, *Integrating the CAD Model with Dynamic Simulation: Simulation Data Exchange*. In: P.A. Farrington, H.B. Nembhard, D.T. Sturrock und G.W. Evans, Hrsg, Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference, S. 276-280, SCS, San Diego, 1999.
- [Noc93] B. Noche und P. Scholtissek. *Anwendungen der Simulation in der Unternehmensplanung*. In: A. Kuhn, A. Reinhardt und H.-P. Wiendahl, Hrsg, Handbuch der Simulationsanwendungen in Produktion und Logistik, S. 267-307, Vieweg, Braunschweig, 1993.
- [Noc97] B. Noche. *Kopplung von Simulationsmodellen mit Leitrechnern*. In: A. Kuhn und S. Wenzel, Hrsg, Fortschritte in der Simulationstechnik. Tagungsband des 11. ASIM-Symposiums in Dortmund, Vieweg, Braunschweig, 1997.
- [Noc02] B. Noche. *Innovative Anwendungen*. In: B. Noche und G. Witt, Hrsg, Anwendungen der Simulationstechnik in Produktion und Logistik, S. 13-23, SCS-Europe, Ghent, 2002.

- [Paw04] G. Pawellek und A. Schönknecht. *Simulation in Planung und Betrieb logistischer Systeme*. Logistik für Unternehmen 9/2004, S. 62-65, 2004.
- [Rab00] M. Rabe. *Future of Simulation in Production and Logistics: Facts and Visions*. In: K. Mertins und M. Rabe, Hrsg, *The New Simulation in Production and Logistics*, S. 21-43, IPK Berlin, Eigenverlag, 2000.
- [Rei90] H.J. Reiche. *Zehn Jahre rechnerunterstützte Fabrikplanung in einem Automobilunternehmen*. In: VDI-Berichte 824, S. 151-173, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1990.
- [Rei97] G. Reinhart and K. Feldmann. *Simulation – Schlüsseltechnologie der Zukunft? Stand und Perspektiven*. Utz, München, 1997.
- [Rei00] A. Reinhardt. *Geschichte von Materialflußsimulatoren*. Leseexemplar zum Plenarvortrag auf der 9. ASIM-Fachtagung "Simulation in Produktion und Logistik", Berlin und Kassel, 2000.
- [Sch92] B. Schmidt, *Simulationssysteme der fünften Generation*. Technica 21, S. 23-28, 1992.
- [Sch93] A. Schürholz, W. Amann, D. Strassacker. *Anwendungen der Simulation als Entwicklungs- und Testumgebung für Steuerungssoftware*. In: A. Kuhn, A. Reinhardt und H.-P. Wiendahl, Hrsg, *Handbuch Simulationsanwendungen in Produktion und Logistik*, S. 217-234, Vieweg, Braunschweig, 1993.
- [Spi97] S. Spieckermann und K. Gutenschwager. *Simulation in the Automotive Industry – Applications and Prospects*. In: M.R. Heller, Hrsg, *Automotive Simulation '97 – Fifth European Engineering Simulation Symposium*, S. 65-74, SCS International, San Diego, 1997.
- [Spi02] S. Spieckermann. *Neue Lösungsansätze für ausgewählte Planungsprobleme in Automobilrohbau und -lackiererei*. Shaker, Aachen, 2002.
- [Swa03] J.J. Swain. *Simulation Reloaded: Sixth biennial survey of discrete-event software tools*. OR/MS Today 30(4): S. 46-57, 2003.
- [Tay04] S. Taylor. *Distributed Simulation in Industry: Status and Perspectives*. In: K. Mertins und M. Rabe, Hrsg, *Experiences from the Future*, S. 23-42, Fraunhofer IRB, Stuttgart, 2004.
- [Ülg97] O. Ülgen und S. Upendram. *Productivity Simulation in the Automotive Industry*. In: M. Ades und R. Fray, Hrsg, *Simulation International XIV Proceedings of the 1997 Simulation Multiconference*, S. 199-204, SCS International, San Diego, 1997.
- [Wei04] M. Weiß, S. Collisi-Böhmer, J. Krauth, O. Rose, S. Wenzel. *Qualitätskriterien für Simulationsstudien – Wunsch oder Wirklichkeit?*. In: K. Mertins und M. Rabe, Hrsg, *Experiences from the Future*, S. 239-250, Fraunhofer IRB, Stuttgart, 2004.

- [Wen93] S. Wenzel und R. Meyer. *Kopplung der Simulation mit Methoden des Datenmanagements*. In: A. Kuhn, A. Reinhardt und H.-P. Wiendahl, Hrsg, Handbuch Simulationsanwendungen in Produktion und Logistik, S. 347-368, Vieweg, Braunschweig, 1993.
- [Wor01] D. Wortmann. *Traum-Fabriken. Von der Simulationstechnik zur Digitalen Fabrik*. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 96(6): S. 342-344, 2001.