

14 Simulation von Unikatprozessen aus Sicht eines Spezialisten für Simulationsdienstleistungen



Dr. Sven Spieckermann
SimPlan AG, Maintal, Deutschland

Abstract: In der Unikatfertigung gibt es eine stetig wachsende Zahl erfolgreicher Anwendungen ereignisdiskreter Simulation. Gleichwohl steht die Simulationsnutzung – insbesondere in kommerziellen Projekten – im Vergleich zur stationären Industrie noch ganz am Anfang. Dieser Beitrag wirft einen Blick auf Herausforderungen, vor denen die Simulationsanwendung in der Unikatfertigung heute steht, wobei sich der Fokus in erster Linie auf kommerzielle und organisatorische Aspekte richtet. Beispiele aus zwei unterschiedlichen Anwendungsbereichen illustrieren die Ausführungen und verdeutlichen gleichzeitig, welche Erfolgsfaktoren entscheidend für einen nutzbringenden Einsatz ereignisdiskreter Simulation sind.

Einleitung

Ereignisdiskrete Simulation (Discrete Event Simulation; DES) hat sich in vielen Industriezweigen als Methode zur Unterstützung produktionslogistischer Planungs- und Steuerungsaufgaben etabliert. So gibt es beispielsweise in der Automobilindustrie bereits seit Mitte der neunziger Jahre des letzten Jahrhunderts Anwendungsfälle entlang der gesamten Fertigungskette und in fast allen Fertigungsbereichen (vgl. z. B. Bayer et al. 2002 sowie Ülgen und Upendram 1997). Treiber dieser Entwicklung sind einerseits Anwender aus den entsprechenden Industrien sowie andererseits Dienstleistungs- und Softwareunternehmen, die Leistungen und Produkte rund um die Simulation anbieten.

Dagegen spielt die Simulation in der Unikatfertigung im Allgemeinen und in der Bauindustrie im Speziellen eine deutlich kleinere Rolle und die Treiber der Entwicklung kommen in der Mehrzahl nicht aus der Bauindustrie. Belege für die vergleichsweise kleine Rolle der Simulation in diesem Bereich bieten sowohl die Fachliteratur als auch die kommerzielle Simulationsanwendung. So finden sich zum Beispiel in einem

Überblick von Jahangirian et al. (2010) über mehr als 250 Simulationsstudien nur ganze fünf Artikel, die im weitesten Sinne einen Bezug zur Bauindustrie aufweisen. Unsere eigene rund zwanzigjährige Anwendungspraxis mit mittlerweile rund 200 kommerziellen Simulationsstudien pro Jahr in den unterschiedlichsten Branchen hat zu bislang lediglich drei (!) bezahlten Projekten gemeinsam mit Bauunternehmen geführt. Hinzu kommt eine Reihe von Aktivitäten in der Kooperation mit Hochschulen und in Forschungsprojekten (vgl. Chahrour und Tulke 2011 für eine ähnliche Einschätzung). Bei den jährlich in den USA stattfindenden Winter Simulation Konferenzen (WSC), den größten Simulationstagungen weltweit, gibt es nun schon seit 1999 ein Themengebiet mit dem Titel „Project Management and Construction“. Eine kurze Analyse zeigt, dass in den letzten zwölf Jahren unter dieser Überschrift 169 Artikel veröffentlicht wurden. Darunter befinden sich 149 Artikel aus dem ausschließlich universitären Umfeld. An den übrigen 20 Beiträgen haben neben Autoren von Hochschulen, Mitarbeiter von Unternehmen mitgewirkt, wobei es sich dabei (in drei Fällen) um Behördenvertreter, um

Vertreter von Software- oder Beratungsfirmen (in zwölf Fällen) oder um Angehörige von Ausrüstungsherstellern (in drei Fällen) handelt. Lediglich zwei Artikel sind unter unmittelbarer Mitwirkung von Mitarbeitern aus Bauunternehmen entstanden.

Bei deutschen Simulationstagungen ergibt sich ein durchaus ähnliches Bild. Während bei der letzten ASIM-Fachtagung das Verhältnis von Beiträgen ohne Industriebeteiligung insgesamt bei etwa 40:60 lag, gab es im Vortragsbereich „Unikatprozesse“ einen Industriebeitrag unter insgesamt zehn Artikeln und dieser Beitrag befasste sich nicht mit einer Anwendung in der Bauindustrie (vgl. Zülch und Stock 2010).

Diese Zahlen unterstreichen, dass die praktische Simulationsanwendung in der stationären Industrie eine deutlich größere Rolle spielt als in der Unikatfertigung. Der vorliegende Beitrag geht im folgenden Abschnitt zunächst einmal auf Herausforderungen bei der Simulation von Unikatprozessen ein. Dabei stehen nicht in erster Linie die Unterschiede von Unikatprozessen und Prozessen in der stationären Industrie im Vordergrund. Aus diesen Unterschieden resultieren in erster Linie methodische und technische Herausforderungen. Vielmehr soll der Versuch gemacht werden, die Herausforderungen herauszuarbeiten, die darüber hinaus einer intensiveren Simulationsnutzung im Wege stehen. Diese Diskussion von Herausforderungen wird dann im dritten Abschnitt anhand von einigen Fallbeispielen illustriert. Die Beispiele sollen zeigen, wie sich mit den Herausforderungen erfolgreich umgehen lässt. Der vierte Abschnitt versucht sich an der Ableitung einiger Erfolgsfaktoren und einer Beurteilung der Erfolgsaussichten der Simulation in der Unikatfertigung, bevor der Beitrag mit einer kurzen Zusammenfassung und einem kurzen Ausblick endet.

Herausforderungen bei der Simulation von Unikatprozessen

Zunächst einmal gilt es zu Beginn der Diskussion von Herausforderungen einem Missverständnis vorzubeugen, dass durch

den Titel dieses Abschnitts hervorgerufen werden könnte: nicht nur die ereignisdiskrete Simulation von Unikatprozessen ist eine Herausforderung. Vielmehr ist die Erstellung von Simulationsmodellen und die Durchführung von Simulationsstudien auch vor dem Hintergrund jahrzehntelanger Erfahrungen und stetig besser werdender technischer Möglichkeiten in Form leistungsfähigerer Hard- und Software immer noch eine überaus herausfordernde Aufgabe, die in vielen Fällen von Spezialisten in „Handarbeit“ durchgeführt wird. Dies belegen beispielsweise die entsprechenden Diskussionen über die Verbesserung der Qualität von Simulationsstudien (vgl. z. B. Wenzel 2009). Dass Simulation nach wie vor eine Herausforderung darstellt, hängt zum einen damit zusammen, dass für die qualifizierte Durchführung von Simulationsstudien fundierte Grundlagenkenntnisse in Bereichen wie Software Engineering, Operations Research oder Statistik erforderlich sind. Ohne hinreichende Beherrschung dieser Grundlagen können bei der Erstellung von Simulationsmodellen oder der Bewertung von Simulationsergebnissen Fehler auftreten, vor denen die verfügbare Simulationssoftware nicht schützen kann (vgl. z. B. Law 2007, S. 76-77). Darüber hinaus erfordert der eigentliche Analyse-, Abstraktions- und Modellierungsprozess so viel Erfahrung, dass hin und wieder davon die Rede ist, dass Simulation ebenso sehr Kunst wie Wissenschaft sei (vgl. z. B. Shannon 1998 sowie die Ausführungen dazu in Rabe et al. 2008, S. 70). An beidem, an der Notwendigkeit, die entsprechenden Grundlagen zu beherrschen und an der für die Modellierung notwendigen Erfahrung, ändert auch die vergleichsweise große Zahl von Simulationsstudien in der stationären Industrie nichts.

Möglichkeiten und Grenzen der Simulation

Tatsächlich erwächst in gewisser Weise gerade daraus eine der ersten Herausforderungen für die Simulationsanwendung in der Unikatfertigung: aus einer durch die (scheinbare) Selbstverständlichkeit der Simulation-

anwendung in der stationären Industrie resultierenden Überschätzung der Technologie und einer unvollständigen Kenntnis der genauen Möglichkeiten und Grenzen ergeben sich Ansprüche an die Simulation, die sich kaum je werden einlösen lassen. Das wird unter anderem daran deutlich, dass trotz aller (vielfach auch unter dem Schlagwort der „Digitalen Fabrik“ gehandelten) Verheißungen hinsichtlich der Beschaffung von Daten durch durchgängiges Datenmanagement (vgl. VDI 2008), in der Praxis in nahezu allen Simulationsstudien die individuelle Datenzusammenstellung und -aufbereitung in Tabellenkalkulationswerkzeugen oder projektspezifischen Datenbanken gang und gäbe ist. Dieser Sachstand ist durchaus ernüchternd und seine Ursachen wären eine ganz eigene Diskussion wert. Trotzdem gibt es hier und da in der Unikatfertigung den Anspruch, von der heutigen Situation, die durch eine Durchführung von Simulationen in ausgesuchten Einzelfällen gekennzeichnet ist, nahtlos in eine Welt der datenintegrierten automatischen Modellgenerierung überzugehen. Dabei ist die automatische Modellgenerierung, bei der es (stark verkürzt wiedergegeben) darum geht, ein Simulationsmodell auf Basis von Daten weitgehend automatisch zu erzeugen, ebenfalls ein Themenfeld, auf dem die stationäre Industrie seit Jahren um Fortschritte bemüht ist, ohne wirklich einen entscheidenden Durchbruch erreicht zu haben (vgl. z. B. Lorenz und Schulze 1995 sowie Spieckermann 2005). Die *erste Herausforderung* bei der Simulation von Unikatprozessen scheint also mithin zu sein, überhaupt erst einmal ein angemessenes und realistisches Verständnis von den Möglichkeiten und Grenzen der Technologie zu entwickeln und sich vor diesem Hintergrund dann realisierbare Fortschritte vorzunehmen. Und diese Fortschritte können schwerlich darin bestehen, Probleme zu lösen, die selbst in Branchen, in denen weit mehr Erfahrung mit Simulation besteht, in den vergangenen zehn oder zwanzig Jahren noch nicht gelöst werden konnten.

Nutzen- statt Technikfokussierung

Wenn in der Literatur von Herausforderungen bei der Simulation von Unikatprozessen die Rede ist, dann bezieht sich das in der Regel darauf, dass die Abläufe in der Unikatfertigung eine Reihe von Besonderheiten mit sich bringen, die die Durchführung von Simulationsstudien nicht leichter machen (vgl. z. B. Kugler und Franz 2008, Voigtmann und Bargstädt 2008 oder Spieckermann et al. 2010). Zu diesen Besonderheiten gehören:

- der Unikatcharakter der entstehenden Produkte,
- die besondere Zeit- und Kostensituation bei der Planung und Durchführung von Bauprojekten,
- der Einsatz unterschiedlichster Ressourcen, die in vielen Fällen mobil sind,
- die sich während der Erstellung des Produktes wandelnde und nicht vollständig klar abgrenzbare Produktionsstätte,
- der hohe Umfang manueller Tätigkeiten mit einer großen Anzahl an Ausführungsmöglichkeiten und
- Störeinflüsse wie etwa Wetterbedingungen, mit denen die stationäre Industrie in der Regel nicht konfrontiert ist.

Herausforderungen stellen diese Punkte aber in erster Linie aus der Sicht des Modellierers und Simulationsspezialisten dar, der Prozesse und Strukturen abbilden muss, die in dieser Form etwa in der Serienfertigung nie oder sehr selten auftreten. Die Sicht des Anwenders auf diese Liste ist aber eine andere: der Umgang mit engen Budgets, Kostenüberschreitungen, knappen Ressourcen und wechselnden Wetterlagen gehört zum Tagesgeschäft, und in diesem Tagesgeschäft werden die damit verbundenen Anforderungen mehr oder weniger gut bewältigt. Soll ein Modellierungswerkzeug wie Simulation den Umgang mit diesen Anforderungen unterstützen oder gar verbessern, dann ist es selbstverständlich, dass sie in angemessener Weise in die entstehenden Modelle eingehen müssen. Anwender sind in der Regel an der Lösung ihrer Probleme interessiert, und nicht

an der Lösung von Modellierungsaufgaben von Simulationsspezialisten. Eine geeignete Abbildungsmächtigkeit ist aus der Perspektive des Anwenders insoweit eine notwendige Bedingung für den Einsatz von Simulation. Eine ganz zentrale, wenn nicht sogar die zentrale hinreichende Bedingung ist hingegen, dass klar wird, welchen Beitrag die eingesetzte Technologie (also die Simulation) zur Lösung der Aufgaben des Anwenders tatsächlich leisten kann. Es muss mithin eine Nutzenargumentation in den Vordergrund treten, und dabei muss diese Argumentation möglichst konkret werden. Aussagen, dass sich mit Simulation Risiken besser beherrschen lassen oder Komplexität besser überschauen lässt, sind in dieser Hinsicht viel zu allgemein. Insofern ist die *zweite Herausforderung* die Verdeutlichung des konkreten Anwendernutzens. Je kürzer dabei der Weg zu monetär bewertbarem Nutzen ist, umso schneller wird die Anzahl praktischer Anwendungen steigen.

Hinsichtlich des Nutzens von Simulationen erliegt – so lehrt die Erfahrung – der eine oder andere Simulationsexperte einem weiteren Missverständnis: Anwendernutzen entsteht nicht per se aus den Ergebnissen eines Simulationsmodells. Es ist noch nicht nutzbringend, wenn die Auslastung von Ressourcen unter dynamischer Inanspruchnahme errechnet wird oder wenn drei verschiedene Netzpläne dynamisch bewertet werden können. Der Anwendernutzen entsteht in dem Moment, in dem klar wird, was sich daraus für den realen Prozess an Konsequenzen ableiten lässt. Ohne diesen letzten Schritt, die Klärung der Frage, was der Anwender genau aus den Ergebnissen zu lernen hat, bleibt die Simulationsanwendung Selbstzweck.

Natürlich ist es ebenso notwendig wie legitim, sich mit den oben skizzierten technischen Aspekten auseinanderzusetzen. Aber das wird die Akzeptanz des Anwenders nicht steigern und auch nicht unmittelbar Anwendernutzen erzeugen. Ganz im Gegenteil: wenn – wie das bei zahlreichen Veröffentlichungen der Fall ist – die Simulationstechnik im Vordergrund steht, ist das für viele Anwender eher irritierend. Das gilt umso mehr,

wenn die technischen Fragen sich neben den Besonderheiten von Unikatprozessen auch auf Modellierungskonzepte oder Details der verwendeten Simulationssoftware erstrecken.

Vielfalt der Ansätze und Anwendungen

Unter dem Sammelbegriff „Simulation von Unikatprozessen“ finden sich in der Literatur zahlreiche Fallbeispiele vom Schiffbau (vgl. z. B. Steinhauer 2006 und Caprace et al. 2011), über die Baustellenlogistik (vgl. z. B. Weber 2006), Erdbewegungen (vgl. z. B. Wimmer et al. 2010) und Brückenbau (vgl. z. B. Wu et al. 2010) bis zum Maschinenbau (vgl. z. B. Majohr et al. 2008), wobei sich die Diskussion technischer Möglichkeiten unter anderem mit agentenbasierten Ansätzen (vgl. z. B. Kugler und Franz 2007), Constraint-basierten Verfahren (vgl. z. B. Beißert et al. 2008), Netzplänen (vgl. z. B. Huhnt und Enge 2007 und Majohr et al. 2008) und Petri-Netzen (vgl. z. B. Franz 1999) befasst. Diese Aufzählung ist bei weitem nicht vollständig. Sie soll lediglich verdeutlichen, wie groß die Bandbreite von Anwendungen und technologischen Ansätzen im Bereich der Simulation von Unikatprozessen ist. Da, wie einleitend bereits diskutiert, die Anzahl der Fallbeispiele gleichzeitig relativ gering ist, ergibt sich für den interessierten Anwender, der sich mit der Thematik zu befassen beginnt, ein stark fragmentiertes Bild. Aus dieser Beobachtung wiederum ergibt sich in zweierlei Hinsicht Handlungsbedarf:

Zum einen erscheint es aus der Sicht des Simulationspraktikers, der die Rahmen- und Randbedingungen wissenschaftlichen Arbeitens außer Acht lassen darf, wünschenswert, dass es zu einer gewissen Fokussierung von Forschungsanstrengungen kommt. Ein signifikanter Fortschritt auf einem bestimmten Teilbereich wird durch eine solche Konzentration erfahrungsgemäß wahrscheinlicher. Es erscheint wenig zielführend, wenn – bewusst zugespielt formuliert – jeder Lehrstuhl seinen eigenen Simulationsansatz verfolgt. Forschungsprojekte wie MEFISTO (vgl. Scherer und Schapke 2010) oder ForBau (vgl.

Günthner und Borrmann 2011) oder auch Kooperationen wie SimCoMar oder SIMoFIT (vgl. Steinhauer 2011) leisten bemerkenswerte Beiträge hinsichtlich der Bündelung von Entwicklungsarbeiten. Allerdings gibt es auch eine ganze Reihe von Arbeiten, bei denen sich der Eindruck einstellt, dass das vielzitierte Rad noch einmal neu erfunden wird.

Zum anderen ergibt sich aus der Vielzahl der Anwendungen und technologischen Möglichkeiten der Bedarf einer gewissen Systematisierung. Das kann bei einem Überblick über die Fachliteratur beginnen und sich bis zu geeigneten Taxonomien erstrecken. Als ein Indiz dafür, wie groß der Bedarf diesbezüglich ist, mag gelten, dass an der einen oder anderen Stelle in der Bauwirtschaft die Notwendigkeit gesehen wird, sich mit Grundbegriffen wie Modell und Simulation erneut auseinanderzusetzen (vgl. Flemming und Schach 2011). Interessanterweise kommt dabei teilweise eine andere Begriffsdefinition heraus als die unter anderem auch von den Simulationsexperten im VDI erarbeitete (vgl. VDI 2010). Ein wenig hängt natürlich die oben als erste Herausforderung diskutierte Unklarheit über Möglichkeiten und Grenzen der Simulationstechnologie mit dem Mangel an Systematisierung und klarer begrifflicher Abgrenzung zusammen.

Für diese beiden Handlungsfelder, die Systematisierung von Anwendungen, Begriffen und Lösungen sowie die Abstimmung und Fokussierung von Forschungsanstrengungen, erscheint „Herausforderung“ ein etwas zu starker Begriff zu sein. Gleichwohl können auf diesen Feldern sicher wichtige Beiträge zur Steigerung der Anwenderakzeptanz geleistet werden.

Fallbeispiele aus der Unikatfertigung

In diesem Abschnitt werden Fallbeispiele der Simulationsanwendung aus dem Bereich der Unikatprozesse diskutiert, die dadurch gekennzeichnet sind, dass sie in der industriellen Praxis (weitgehend) außerhalb von Forschungsprojekten zustande gekommen sind oder dass sie außerhalb von Forschungspro-

jekten betrieben werden. In den beschriebenen Fällen spielen Unternehmen eine Rolle, die über Forschungsgelder hinaus Mittel in die Hand genommen haben, um Simulationen zu erstellen oder Simulationsmodelle zu betreiben, weil sie den Nutzen entsprechend hoch bewerten. Es ist in diesen Beispielen also jeweils gelungen, die oben beschriebene zweite Herausforderung, die Verdeutlichung des Anwendernutzens, zu bewältigen. Für Anwendungsbeispiele, die im Rahmen von Forschungsprojekten erarbeitet wurden sei beispielsweise auf Günthner und Borrmann (2011), Scherer und Schapke (2010) sowie die Tagungsbände der ASIM (www.asim-fachtagung-spl.de) und der WSC (www.wintersim.org) verwiesen.

Simulation im Schiffbau

Wie unter anderem in Steinhauer (2006) und Steinhauer (2011) beschrieben, wendet die Flensburger Schiffbaugesellschaft mbH & Co. KG (FSG) die Simulationstechnik in einer für die Unikatfertigung ganz außergewöhnlichen Breite und Tiefe an.

Wie Abbildung 1 im Überblick darstellt, wird bei der FSG Simulation in so gut wie allen Fertigungsbereichen eingesetzt: Profilverfertigung, Brennerie, Vorfertigung, Selektions- und Modulmontage, Konservierung, Schiffskörpermontage, Schiffseinrichtung und Logistik werden virtuell analysiert und das nicht nur einmalig, sondern regelmäßig und in unterschiedlichsten Zyklen und Genauigkeitsgraden.

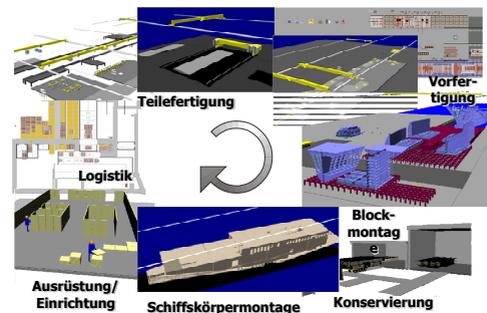


Abb. 1: Simulationsbasierte Produktionsplanung bei der FSG (Quelle: Steinhauer 2008)

So wird beispielsweise permanent der Soll-Terminplan mit einer Simulationsprognose abgeglichen, Belegungen von Ressourcen (Maschinen, Kranen, Personal, Flächen) vorab geprüft und aus der Simulation abgeleitet, Varianten, die sich z. B. aus unterschiedlichen Ressourcenbereitstellung ergeben, gegenübergestellt und vieles mehr.

Die Datenbereitstellung erfolgt mit Hilfe einer Simulationsdatenbank, die mit Terminplaninformationen, Konstruktionsdaten, Personalplanungsdaten und zahlreichen anderen Informationen gefüttert wird (vgl. Steinhauer 2006).

Die Erfolge der FSG beim Simulationseinsatz und die unter Beteiligung der FSG entstandene Kooperationsaktivität SimCoMar (Simulation Cooperation in the Maritime Industries) haben dazu geführt, dass mit den Simulationsmethoden und Simulationsbausteinen mittlerweile weitere Werften wie die Nordseewerke in Emden oder die Lürssen-Werft erfolgreich arbeiten.

Bei der FSG hat der Simulationseinsatz eine Durchdringung erreicht, die den Vergleich mit der Automobilbranche in keiner Weise scheuen muss. Das Simulationsteam bei der Werft ist seit mittlerweile über zehn Jahren aktiv und besteht aus mehreren Simulationspezialisten. Die Simulation ist ein wichtiges Werkzeug geworden bei der mittelfristigen Gestaltung der Produktions- und Logistikabläufe der Werft und bei der kurz-, mittel- und langfristigen Produktionsplanung. Die Integration der Simulation in diese Abläufe ist, ähnlich wie bei dem einen oder anderen Automobilhersteller, so hoch, dass viele Planungs- und Entscheidungsprozesse ohne Simulation gar nicht mehr denkbar sind.

Auch wenn keine genauen Zahlen veröffentlicht sind ist davon auszugehen, dass der im Laufe der Jahre erarbeitete Nutzen den kontinuierlich anfallenden Aufwand für Personal, Hard- und Software deutlich übersteigt. Eine Übertragbarkeit auf andere Werften ist, wie bereits oben angedeutet, erfolgreich gelungen. Auch an einer Übertragung auf andere Unikatfertiger wird gearbeitet (vgl. Steinhauer und König 2010), allerdings hat die kommerzielle Durchdrin-

gung hier bei weitem noch nicht den Status erreicht wie bei der FSG. Das hängt sicher auch damit zusammen, dass sich die Gegebenheiten in der Bauindustrie in einigen wichtigen Aspekten deutlich von den Gegebenheiten im Schiffbau unterscheiden. Ein wichtiger Punkt, der den Flensburgern die effektive Simulationsanwendung erleichtert, ist, dass sie mit einem einmal aufgebauten Simulationsmodell der kompletten „Baustelle“ (d. h. der Werft) über Jahre und mehrere Unikatprodukte (d. h. Schiffe) hinweg arbeiten können (vorausgesetzt, das Modell der Werft wird auf aktuellem Stand gehalten; vgl. auch den Abschnitt zu Erfolgsfaktoren). Diesbezüglich sind die Vorbedingungen in der Bauindustrie etwas ungünstiger, weil sich Baustellen für jedes neue Bauvorhaben in der Regel wieder komplett anders darstellen. Gleichwohl lassen sich aus dem FSG-Beispiel wichtige Erfolgsfaktoren ableiten, wie unten diskutiert wird.

Simulationseinsatz für Baustellen

Bei den Fallbeispielen in diesem Abschnitt geht es um Simulationsprojekte, zu denen es im Rahmen von kommerziellen Dienstleistungsprojekten in der Bauindustrie gekommen ist. Auftraggeber war jeweils ein Bauunternehmen und ausführend ein auf Simulationsdienstleistung spezialisierter Dienstleister.

In diese Kategorie fallen zwei Projekte, die sich mit der Simulation von sogenannten Feldfabriken befassen. Aufgabe dieser Feldfabriken war es, an Ort und Stelle (d. h. in unmittelbarer räumlicher Nähe zur Baustelle) im Fertigungstakt der Baustelle bzw. nach Fertigungsfortschritt der Baustelle Betonfertigteile zur Verfügung zu stellen. Das wichtigste Ziel der Simulation dieser Feldfabriken war jeweils zu prüfen, ob mit der vorgesehenen Konfiguration der jeweiligen Fabrik die geplante Ausbringung an Betonfertigteilen erreicht wird und somit die reibungslose Versorgung der Baustelle sichergestellt werden kann. Im Einzelnen waren dazu Kranressourcen und das Layout der Fabriken zu betrachten und der von der Baustelle induzierten Nachfrage nach Fertigtei-

len gegenüberzustellen. In Gesprächen mit Bauingenieuren und mit Simulationsexperten ist teilweise eingewendet worden, dass es bei diesen Beispielen nur eingeschränkt um die Simulation von Unikatprozessen gehe, da Feldfabriken im Grunde die gleichen Merkmale wie stationäre Fabriken aufwiesen und nur „zufällig“ mit der Baustelle ihren Standort ändern würden. Sicher ist es bei den Feldfabriken (wie aber auch bei der einen oder anderen Simulationsanwendung im oben diskutierten Schiffbau) eine Frage der genauen Abgrenzung, wann von Simulation von Unikatprozessen die Rede sein kann und darf, und wann eine Simulation stationärer Prozesse vorliegt. Allerdings lassen sich die Simulationsuntersuchungen der Feldfabriken auch aus der Perspektive der zweiten Herausforderung betrachten: Dann lässt sich feststellen, dass hier im Auftrag eines Bauunternehmens Simulationen von Abläufen auf Baustellen durchgeführt wurden, die dazu geführt haben, dass nachweislich Ressourcen in Form von Personal, Bekranung und Schalungen eingespart werden konnten. Der Nutzen aus den Untersuchungen für die erste Baustelle war so groß, dass es kurz danach zu einem weiteren Simulationsprojekt für eine zweite Feldfabrik gekommen ist. Weitere Projekte waren vorgesehen, sind aber nicht zustande gekommen, weil der zuständige Projektingenieur beim Bauunternehmen den Verantwortungsbereich gewechselt hat; ein organisatorisches Problem, auf das im nächsten Abschnitt noch einmal eingegangen wird.

In einem dritten, direkt von einem Bauunternehmen beauftragten Simulationsprojekt ging es um die Überprüfung der von einem Bauherrn ausgewiesenen Lager- und Umschlagflächen für angelieferte Baumaterialien bei einer umfangreichen Umbaumaßnahme in einem produzierenden Stahlunternehmen. Die Fertigung im Stahlunternehmen sollte während der Umbaumaßnahmen (mit gewissen Einschränkungen) weitergehen. Das Bauunternehmen war der Ansicht, dass die Flächen für eine termingerechte Fertigstellung der Bauwerke nicht ausreichend seien und es zu einer Beeinträchtigung der Lo-

gistikabläufe kommen würde, zumal die Flächen teilweise auch für die Lagerung von Rohmaterialien, Zwischen- und Endprodukten des umzubauenden Betriebs genutzt werden sollten. Für Transporte von und zu den Flächen waren auch in diesem Beispiel Krane erforderlich. Statische Rechnungen des Bauunternehmens wiesen darauf hin, dass mehr Flächen und zusätzliche Bekranung erforderlich sein würde. Dem stellte der Bauherr eigene statische Kalkulationen gegenüber, die (scheinbar) die Machbarkeit der ursprünglichen Planung nachwies. Mit Hilfe der vom Bauunternehmen in Auftrag gegebenen Simulation konnte schließlich im Detail gezeigt werden, dass die Ressourcen für Lagerung und Transport tatsächlich nicht ausreichen würden. Aufgrund der expliziten Berücksichtigung der Zeit in der ereignisdiskreten Simulation war es möglich zu analysieren, wann genau in der auf zwölf Monate veranschlagten Umbauzeit es zu Engpässen kommen würde. Im Einzelnen konnte auch prognostiziert werden, welche Teile und welche Lieferungen in welchen Konstellationen für eine Überbelegung welcher Lagerflächen bzw. eine Überlastung der Krane verantwortlich sein würden. Die detaillierten Ergebnisse und Analysen haben es dem Auftragnehmer letztlich ermöglicht, den Auftraggeber von der Notwendigkeit einer Änderung der ursprünglichen Planung zu überzeugen. Der in diesem Projekt entstandene Nutzen ist immens. Er liegt in der Abwendung des Schadens, der sowohl für den Auftragnehmer als auch für den Auftraggeber entstanden wäre, wenn das Bauvorhaben mit den ursprünglich vorgesehenen Ressourcen begonnen worden wäre. Es wären aller Voraussicht nach deutliche Verzögerungen im Bauablauf durch Probleme bei Anlieferung und Lagerung der Baumaterialien entstanden. Es liegt in der Natur der Sache, dass sich der genau Nutzen nicht beziffern lässt, weil die Schwierigkeiten dank des Simulationsprojektes vermieden werden konnten. Laut Angaben von Auftraggeber und Auftragnehmer übersteigt er jedoch die Aufwendungen für die Simulation bei weitem.

Festzuhalten ist für die in diesem Abschnitt beschriebenen Beispiele, dass sich der Simulationseinsatz jeweils bezahlt gemacht hat. Gleichzeitig haben diese Erfolge allerdings nicht dazu geführt, dass Simulation dauerhaft in den beteiligten Unternehmen etabliert worden wäre. Das leitet direkt zur Diskussion von Erfolgsfaktoren für einen nachhaltigen Simulationseinsatz im nun folgenden Abschnitt über.

Erfolgsfaktoren und Erfolgsaussichten

Die Diskussion der Herausforderungen und der Beispiele macht deutlich, wie wichtig eine Nutzenargumentation für den Einstieg in die Simulationstechnologie und für die Entscheidung über einzelne Simulationsprojekte ist. Es liegen allerdings in vielerlei Hinsichten „Welten“ zwischen der Durchführung von Simulationsprojekten im Einzelfall auf der einen Seite und der dauerhaften Verankerung von Simulationstechnologie in der Unternehmensorganisation auf der anderen Seite. Wenn es, wie in vielen Unternehmen der Automobilbranche oder bei der FSG, gelingt, Simulation langfristig und nachhaltig zu nutzen, reduziert sich in der Regel der Aufwand für die Bereitstellung von Simulationsergebnissen deutlich. Das liegt daran, dass dann eben nicht für eine einzelne Studie aufwändig Daten gesammelt, Prozesse analysiert und Modelle erstellt werden müssen, sondern dass der Großteil der Daten vorhanden oder aber zumindest klar definiert ist, wie die Daten zu beschaffen sind, und dass vorhandene Modelle im besten Fall unmittelbar genutzt oder nur auf den neuesten Stand gebracht werden müssen. Insgesamt ist die dauerhafte und langfristige Nutzung der Technologie geeignet, die Kosten-Nutzen-Relation des Simulationseinsatzes deutlich zu verbessern.

Die Erfolgsfaktoren für eine solche dauerhafte Nutzung sind interessanterweise zum überwiegenden Teil organisatorischer und nur zum geringen Teil technischer Natur, und damit nicht in erster Linie von den Besonderheiten der Unikatprozess abhängig. Zu

den Erfolgsfaktoren zählen (vgl. Mayer und Spieckermann 2010):

- die Entscheidung für eine unternehmens- oder branchenweit einheitliche Softwareplattform,
- Standards hinsichtlich der Gestaltung von Eingangsdaten, Schnittstellen und Simulationsmodellen,
- Definition und kontinuierliche Bereitstellung von Ressourcen für die Betreuung von Simulationsprojekten in der Unternehmensorganisation,
- eingearbeitete und ausgebildete Mitarbeiter müssen sich mittel- bis langfristig mit zumindest 50 % ihrer Kapazität um Simulationsaufgabenstellungen kümmern können und
- es muss sichergestellt werden, dass mit einem Wechsel eines Mitarbeiters das Simulations-Know-How im Unternehmen erhalten bleibt.

Das Beispiel der FSG ist gut geeignet zu unterstreichen, wie wichtig Kontinuität im personellen Bereich ist. Hier hatte ein kleiner Kreis von Personen über viele Jahre hinweg die Möglichkeit mit Unterstützung durch das Management an Abläufen, Strukturen, Daten und Modellen zu arbeiten – mit den oben beschriebenen Erfolgen.

Inwiefern sich diese Erfolge auf andere Unternehmen mit Unikatprozessen übertragen lassen, wie also die Erfolgsaussichten des Simulationseinsatzes etwa in der Bauindustrie sind, ist nicht in erster Linie eine Frage der Technologie – diese Einschätzung sollte mittlerweile deutlich geworden sein. Ausschlaggebend wird vielmehr sein, dass sich Unternehmensverantwortliche finden, die – ähnlich wie bei der FSG seit 1997 geschehen – ein solides, langfristig tragfähiges Fundament für den Einsatz von Simulationstechnologie in ihrem Unternehmen legen. Es gibt durchaus Indizien dafür, dass das auch in Unternehmen der Bauindustrie gelingen kann. Die Zeiträume, bis diesbezüglich über Erfolgsbeispiele referiert werden kann, werden sich allerdings eher in Jahren als in Monaten messen.

Zusammenfassung und Ausblick

Dieser Artikel hat versucht, einen kritischen Blick auf Herausforderungen und Erfolgchancen des Simulationseinsatzes in der Unikatfertigung zu werfen. Dabei galt der Fokus in erster Linie kommerziellen und organisatorischen Aspekten und nur am Rande den technischen Unterschieden zur stationären Industrie. Illustriert wurden diese Aspekte anhand von Fallbeispielen aus dem Schiffbau und aus der Bauindustrie sowie durch die Betrachtung einiger Veröffentlichungen. Insgesamt hat sich gezeigt, dass es in der Zukunft vor allem darum gehen muss, vorhandene Ansätze aus der Forschung in die unternehmerische Praxis zu überführen und von Pilotanwendungen zur nachhaltigen Verankerung in der Unternehmensorganisation zu gelangen – ein Prozess, der sicher noch einige Jahre in Anspruch nehmen wird.

Literatur

- Bayer, J.; Collisi, T.; Wenzel, S. (Hrsg.): Simulation in der Automobilindustrie, Springer, Berlin, 2002.
- Beißert, U.; König, M.; Bargstädt, H.-J.: Simulation von Ausführungsstrategien mit Hilfe von Soft Constraints und lokaler Suche. In: Rabe, M. (Hrsg.): Advances in Simulation for Production and Logistics Applications, Tagungsband der 13. ASIM-Fachtagung, Fraunhofer IRB, Stuttgart, S. 141-150, 2008.
- Caprace, J.-D.; Da Silva, C.; Rigo, P.; Martins Pires, F.: Discrete Event Production Simulation and Optimisation of Ship Block Erection Process. In: Bertram, V. (Hrsg.): COMPIT'11, Proceedings of the 10th International Conference on Computer and IT Applications in the Maritime Industries, TU Hamburg-Harburg, S. 271-284, 2011.
- Chahrouh, R.; Tulke, J.: Anbindung der Simulation an eine BIM-Umgebung, Chancen und Anforderungen im Vergleich zur Terminplanung. In: Franz, V. (Hrsg.): 2. IBW-Workshop Simulation von Unikatprozessen – Neue Anwendungen aus Forschung und Praxis. Tagungsband, Kassel University Press, S. 63-79, 2011.
- Franz, V.: Simulation von Bauprozessen mit Hilfe von Petri-Netzen. In: Hohmann, G. (Hrsg.): Simulationstechnik, Tagungsband des 13. ASIM-Symposiums, Weimar, SCS Europe BVBA, Ghent, S. 47-60, 1999.
- Flemming, C.; Schach, R.: Zum Begriff der Simulation. In: Franz, V. (Hrsg.): 2. IBW-Workshop Simulation von Unikatprozessen – Neue Anwendungen aus Forschung und Praxis. Tagungsband, Kassel University Press, S. 1-10, 2011.
- Günthner, W.; Borrmann, A. (Hrsg.): Digitale Baustelle – innovativer Planen, effizienter Ausführen. Springer, Berlin, 2011.
- Huhnt, W.; Enge F.: Simulationsmodelle für die Ausführung von Bauleistungen. In: Franz, V. (Hrsg.): 1. IBW-Workshop Simulation in der Bauwirtschaft. Tagungsband, Kassel University Press, S. 29-50, 2007.
- Jahangirian, M.; T. Eldabi, A. Naseer, L.K. Stergioulas, T. Young: Simulation in manufacturing and business: A review, European Journal of Operational Research 203, 1-13, 2010.
- Kugler, M.; Franz, V.: Entwurf eines multiagentenbasierten Referenzmodells für Simulation im Hochbau. In: Franz, V. (Hrsg.): 1. IBW-Workshop Simulation in der Bauwirtschaft. Tagungsband, Kassel University Press, S. 69-83, 2007.
- Kugler, M.; Franz, V.: Einsatz von Simulation zur Effizienzsteigerung von Produktionsprozessen im Bauwesen. In: Rabe, M. (Hrsg.): Advances in Simulation for Production and Logistics Applications. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, S. 151-160, 2008.
- Law, A.: Simulation Modeling and Analysis, 4. Auflage, McGraw-Hill, Boston, 2007.
- Lorenz, P.; Schulze, T.: Layout Based Model Generation. In: Alexopoulos, C.; Kang, K. (Hrsg.): Proceedings of the 1995 WSC, ACM Press, New York, S. 728-735, 1995.
- Majohr, M. F.; Rose, O.; Völker, M.: Simulationsbasierte Heuristik zur personalori-

- entierten Steuerung komplexer Montage-
linien. In: Rabe, M. (Hrsg.): *Advances in
Simulation for Production and Logistics
Applications*. Fraunhofer IRB Verlag,
Stuttgart, S. 387-396, 2008.
- Mayer, G.; Spieckermann, S.: Life-cycle of
simulation models: requirements and
case studies in the automotive industry.
In: *Journal of Simulation* 4(4), S. 255-
259, 2010.
- Rabe, M.; Spieckermann, S.; Wenzel, S.:
Verifikation und Validierung für die Si-
mulation in Produktion und Logistik –
Vorgehensmodelle und Techniken. Ber-
lin: Springer, 2008.
- Scherer, R.; Schapke, S.-E. (Hrsg.): *Mefisto:
Management – Führung – Information –
Simulation im Bauwesen*, Institut für
Bauinformatik, Dresden, 2010.
- Shannon, R.: Introduction to the art and
science of simulation. In: Medeiros D.;
Watson E.; Carson J; Manivannan, M.
(Hrsg.): *Proceedings of the 1998 Winter
Simulation Conference*, Washington
(USA). IEEE, Piscataway, S 7-14, 1998.
- Spieckermann, S.: Diskrete, ereignisorien-
tierte Simulation in Produktion und Lo-
gistik – Herausforderungen und Trends.
In: Schulze, T.; Horton, G.; Preim, B.;
Schlechtweg, S. (Hrsg.): *Simulation und
Visualisierung 2005*, Proceedings. SCS
Publishing House e. V., Erlangen, S. 3-
14, 2005.
- Spieckermann, S.; Habenicht, I.; Zeller, G.;
Zimmermann, J.: Simulation zur Prüfung
von Montage- und Logistikabläufen. In:
Scherer, R.; Schapke, S.-E. (Hrsg.): *Me-
fisto: Management – Führung – Informa-
tion – Simulation im Bauwesen*, Institut
für Bauinformatik, Dresden, S. 131-146,
2010.
- Steinhauer, D.: Simulation im Schiffbau -
Unterstützung von Werftplanung, Pro-
duktionsplanung und Produktentwick-
lung bei der Flensburger Schiffbau-
Gesellschaft. In: Wenzel, S. (Hrsg.): *Si-
mulation in Produktion und Logistik
2006*, Tagungsband der 12. ASIM-
Fachtagung, SCS Publishing House e.V.,
Erlangen, S. 1-14, 2006.
- Steinhauer, D.: The Simulation Toolkit
Shipbuilding (STS) – 10 Years of Coop-
erative Development and Interbranch
Applications. In: In: Bertram, V. (Hrsg.):
COMPIT'11, Proceedings of the 10th In-
ternational Conference on Computer and
IT Applications in the Maritime Indus-
tries, TU Hamburg-Harburg, S. 453-465,
2011.
- Steinhauer, D.; König, M.: Konzepte zum ef-
fektiven Aufbau von Simulationsmodel-
len für die Unikatproduktion. In: Zülch,
G.; Stock, P. (Hrsg.): *Integrationsaspekte
der Simulation: Technik, Organisation
und Personal*. Tagungsband der 14.
ASIM-Fachtagung, KIT Scientific Pub-
lishing, Karlsruhe, S. 157-164, 2010.
- Ülgen, O.; Upendram, S.: Productivity Simu-
lation in the Automotive Industry. In:
Ades, M.; Fray, R. (Hrsg.): *Simulation
International XIV Proceedings of the
1997 Simulation Multiconference*, S.
199-204, SCS International, San Diego,
1997.
- VDI-Richtlinie 3633, Blatt 1: Simulation
von Logistik-, Materialfluss- und Pro-
duktionssystemen – Grundlagen. VDI-
Handbuch Technische Logistik, Bd. 8,
Gründruck, Beuth, Berlin, 2010.
- VDI-Richtlinie 4499, Blatt 1: Die Digitale
Fabrik, Grundlagen, VDI-Handbuch
Technische Logistik, Bd. 8, Weißdruck,
Beuth, Berlin, 2008.
- Voigtmann, J. K.; Bargstädt, H.-J.: Simu-
lation von Baulogistikprozessen im Aus-
bau. In: Rabe, M. (Hrsg.): *Advances in
Simulation for Production and Logistics
Applications*. Fraunhofer IRB Verlag,
Stuttgart, S. 131-140, 2008.
- Weber, J.: Simulation von Logistikkonzept-
en auf Baustellen. In: Wenzel, S.
(Hrsg.): *Simulation in Produktion und
Logistik 2006*, Tagungsband der 12.
ASIM-Fachtagung, SCS Publishing
House e.V., Erlangen, S. 571-580, 2006.
- Wenzel, S.: Modellbildung und Simulation
in Produktion und Logistik – Stand und
Perspektiven. In: Elst, G. (Hrsg.): Ta-
gungsband zum ASIM-Treffen

- STS/GMMS. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, S. 7-16, 2009.
- Wimmer, J.; Horenburg, T.; Günthner, W.; Yang, J.; Bormann, A.; Rank, E.: Evaluierung einer 3D-Modell-basierten Ablaufsimulation von Erdbauprozessen in der Praxis. In: Zülch, G.; Stock, P. (Hrsg.): Integrationsaspekte der Simulation: Technik, Organisation und Personal. Tagungsband der 14. ASIM-Fachtagung, KIT Scientific Publishing, Karlsruhe, S. 141-148, 2010.
- Wu, I.-C.; Bormann, A.; Beißert, U.; König, M.; Rank, E.: Bridge Construction Schedule Generation with Pattern-Based Construction Methods and Constraint-Based Simulation. In: *Advanced Engineering Informatics*, 24(4), S. 379-388, 2010.
- Zülch, G.; Stock, P. (Hrsg.): Integrationsaspekte der Simulation: Technik, Organisation und Personal. Tagungsband der 14. ASIM-Fachtagung, KIT Scientific Publishing, Karlsruhe, 2010.

