

Lebenszyklus von Simulationsmodellen: Anforderungen und Fallbeispiele aus der Automobilindustrie

Life Cycle of Simulation Models: Requirements and Case Studies in the Automotive Industry

Gottfried Mayer, BMW Group, München (Germany)
Sven Spieckermann, SimPlan AG, Maintal (Germany)

Abstract: There is a tendency to maintain and use simulation models, once implemented, over a period of several years. This article discusses a couple of reasons for this increase in the long term use of models. Two cases from the German car manufacturing company BMW Group are presented to illustrate the particular technical and organizational challenges related to the application of a simulation model for almost a decade.

1 Einleitung

Der Begriff Lebenszyklus wird im Zusammenhang mit Simulation in Produktion und Logistik in unterschiedlicher Art und Weise verwendet. Sargent et al. (2006) grenzen den Lebenszyklus von Simulationsmodellen vom so genannten Projektlebenszyklus ab, der sich mit der Entwicklung von Simulationsmodellen befasst. Dieser Projektlebenszyklus wird in der deutschsprachigen Literatur im Rahmen von Vorgehensmodellen für Simulationsstudien diskutiert; vgl. Rabe et al. (2008). Diese Simulationsvorgehensmodelle beschreiben die Schritte, die zur strukturierten Durchführung von Simulationsprojekten erforderlich sind. Eine Übersicht findet sich neben Rabe et al. (2008) auch in Nance und Arthur (2006). Ein anderer Zusammenhang in dem die Begriffe Simulation und Lebenszyklus verwendet werden, stellt die untersuchten realen Produktions- und Logistiksysteme in den Vordergrund: Simulation kann in allen Phasen des Lebenszyklus von Produktions- und Logistiksystemen zum Einsatz kommen. Die Lebenszyklusphasen, die in diesem Zusammenhang in zahlreichen Veröffentlichungen genannt werden, sind Planung, Inbetriebnahme und Betrieb; vgl. etwa Klingstam und Olson (2000), Kosturiak und Gregor (1999) sowie VDI-Richtlinie 3633 (VDI 2007).

Bei der folgenden Betrachtung von Simulationsmodellen spielen die Phasen wie Planung und Inbetriebnahme zwar auch eine Rolle, im Mittelpunkt steht allerdings der Lebenszyklus der Simulationsmodelle an sich. Dabei bilden insbesondere langlebige

Simulationsmodelle den Schwerpunkt der Betrachtung. Ulgen und Gunal (1998) geben 1998 den Anteil langfristig genutzter Simulationsmodelle mit etwa 20-30% an. Sie definieren langfristig genutzte Modelle als solche, die während des Lebenszyklus des realen Systems zu verschiedenen Zeitpunkten verwendet und an Veränderungen des realen Systems fortlaufend angepasst werden. Demgegenüber dienen Simulationsmodelle mit einem kurzen Lebenszyklus der Untersuchung klar abgegrenzter Fragestellungen und der Entscheidungsunterstützung in einer bestimmten Phase des Lebenszyklus eines realen Systems, überwiegend während der Planungsphase.

In den letzten Jahren lässt sich in der Automobilindustrie im Allgemeinen und bei der BMW Group im Speziellen die Beobachtung machen, dass die langfristige Nutzung einmal erstellter Modelle zunimmt und mittlerweile deutlich über 30% hinausgeht. Im folgenden zweiten Kapitel dieses Beitrags wird eine Reihe von Gründen für die Zunahme der langfristigen Nutzung von Modellen bei der BMW Group und in der Automobilindustrie insgesamt diskutiert. Das anschließende dritte Kapitel illustriert anhand zweier Anwendungsfälle aus Werken der BMW Group konkrete Beispiele für den langfristigen Modelleinsatz. Die sich daraus ergebenden technischen und organisatorischen Rahmenbedingungen werden im vierten Kapitel diskutiert. Das fünfte Kapitel fasst kurz die wesentlichen Punkte zusammen.

2 Gründe für langfristige Modellnutzung

Diese Zunahme der langfristigen Nutzung von Simulationsmodellen in der Automobilindustrie hat vielfältige Gründe. Ein Grund ergibt sich aus den veränderten Anforderungen an die Fabrikplanung in diesem Bereich. „Grüne Wiese“-Planungen werden immer seltener. Stattdessen sind neue Fertigungsanlagen in vorhandene Fabrikstrukturen zu integrieren. Diese unter anderem bei der BMW Group in den letzten Jahren intensiviertere Praxis wirkt auch in Richtung einer langfristigeren Nutzung von Simulationsmodellen. Denn wenn für vorhandene Anlagen oder Strukturen bereits Simulationsmodelle existieren, ist es nahe liegend, diese Vorleistungen als Grundlage zu verwenden, um Zeit und Kosten bei der Modellerstellung zu sparen.

Ein weiterer Grund ist der auch in der Automobilindustrie zunehmende Trend zur Emulation, d. h. zur simulationsunterstützten Softwareinbetriebnahme (vgl. Mayer und Burges 2006). Die für Emulationszwecke verwendeten Simulationsmodelle werden teilweise auf Basis von Modellen erstellt, die ursprünglich für andere Zwecke erstellt worden sind. So werden Emulationsmodelle beispielsweise aus Modellen abgeleitet, die hauptsächlich für Planungszwecke eingesetzt werden. Ferner wird mit Emulation in vielen Fällen nicht nur die einmalige Softwareinbetriebnahme, sondern auch die sich über den gesamten Softwarelebenszyklus erstreckende Freigabe neuer Softwareentwicklungsstände unterstützt. Somit verstärkt der Trend zu mehr Emulation den Trend zu einer langfristigen Nutzung von Simulationsmodellen.

Ähnlich wie die Emulationsmodelle, die der Inbetriebnahmephase zuzuordnen sind, an Bedeutung gewinnen, steigt auch die Verbreitung von simulationsbasierten Werkzeugen, die in den täglichen operativen Anlagenbetrieb eingebunden sind. So findet sich etwa bei der BMW Group eine ganze Reihe von Werkssimulationsmodellen, mit deren Hilfe täglich Prognosen über Durchsätze und Fahrzeugsequenzen

erstellt werden. Diese Modelle enthalten auch Schnittstellen zu den Produktionssystemen und können mit der aktuellen Produktionssituation initiiert und gestartet werden. Diese Simulationsmodelle sind in fast allen Fällen über mehrere Jahre hinweg im Einsatz, meist während des Produktlebenszyklus eines Fahrzeugs oder der entsprechenden Produktpalette im betreffenden Werk.

Ein vierter Grund ist die zunehmende ganzheitliche Betrachtung des vollständigen Fertigungsprozesses. Simulation wird bei der BMW Group nicht mehr nur als Einzelverantwortung eines Teilbereiches der Fertigung gesehen, sondern als bereichs- und funktionsübergreifendes Werkzeug. Das führt dazu, dass in zunehmendem Maße Kopplungen zwischen Teilmodellen für Bereiche bzw. Funktionen wie z. B. Logistik, Karosseriebau, Lackiererei oder Montage gefordert werden. Die Tendenz zu derartigen umfassenderen Betrachtungen hängt mit der Erkenntnis zusammen, dass gute Lösungen für einen Teilbereich bei der Betrachtung der gesamten Fertigungskette nicht notwendigerweise ebenfalls gut sein müssen. Die erforderlichen Kopplungen zwischen den Teilmodellen lassen sich nur dann zügig und mit überschaubaren Kosten realisieren, wenn die einzelnen Modelle fortlaufend aktuell gehalten werden. So führt auch die Tendenz zu umfassenden Prozesskettenmodellen zu langfristiger Modellnutzung.

Die arbeitsteilige Modellerstellung spielt nicht nur bei Prozesskettenmodellen eine Rolle. Auch innerhalb eines Bereichs, z. B. innerhalb des Karosseriebaus ist es üblich, die Verantwortung für die Modellerstellung auf mehrere Schultern zu verteilen. Das hängt damit zusammen, dass es in vielen Fällen üblich ist, große Aufträge wie den Aufbau eines Karosseriebaus an mehrere Auftragnehmer zu vergeben. In der Regel wird an die Auftragnehmer dann auch die Simulationsverantwortung für ihre Teilbereiche delegiert. Die organisatorische und technische Herausforderung aus Simulationssicht besteht darin, aus den dezentral erstellten Modellen ein integriertes, langfristig nutzbares Gesamtmodell zu erstellen.

3 Zwei Fallbeispiele für langfristige Modellnutzung

Die intensive Nutzung der Simulationstechnologie in der BMW Group reicht bis in die achtziger Jahre des letzten Jahrtausends zurück. Für Fertigungsbereiche wie den Karosseriebau wurden bereits vor mehr als zehn Jahren umfassende Anwendungskonzepte eingeführt, auf deren Basis sämtliche der in Abbildung 1 dargestellten Projektphasen sowie sich anschließende Fragestellungen in der laufenden Serie mit Simulation begleitet werden (vgl. Griffel 1999).

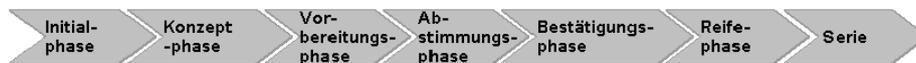


Abbildung 1: Übersicht über die Projektphasen.

Als Konsequenz dieser seit langem eingesetzten durchgängigen Konzepte für den Simulationseinsatz finden sich heute in der BMW Group zahlreiche Fälle der langfristigen Nutzung von Simulationsmodellen. In diesem Kapitel werden zwei Beispiele beschrieben: das Karosseriebaumodell des BMW Werkes München und das Modell der lackierten Karosserie des MINI Werkes in Oxford. Das erste Bei-

spiel vermittelt einen guten Eindruck von den Anforderungen an die Simulationsunterstützung innerhalb eines Teilbereichs der Fertigung (Karosseriebau), während das zweite Fallbeispiel darüber hinaus zeigt, welche Rolle bereichsübergreifende Fragestellungen oder die Softwareinbetriebnahme spielen können.

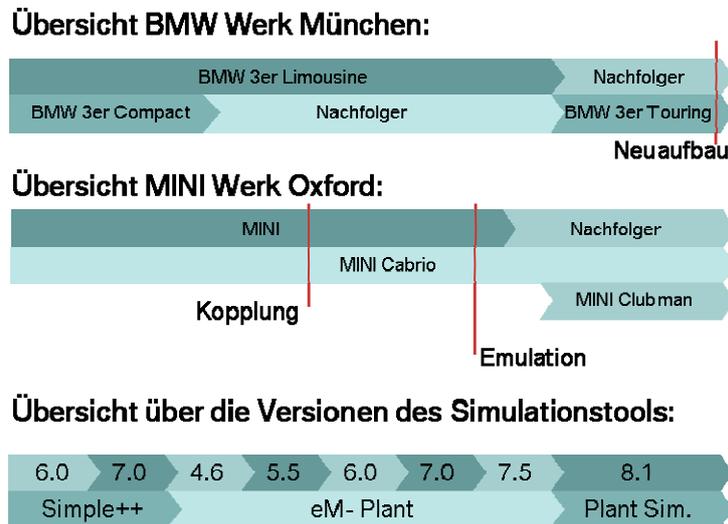


Abbildung 2: Produzierte Fahrzeuge in den Beispielwerken und Softwareversionen des Simulationstools.

Abbildung 2 vermittelt in den oberen beiden Teilen in abstrahierter Darstellung einen Eindruck von der Belegung der beiden beispielhaft ausgewählten Werke mit Fahrzeugmodellen der BMW Group. Der untere Teil der Abbildung zeigt, welche Versionsentwicklung das bei der BMW Group im Einsatz befindliche und für die beiden Beispiele verwendete Simulationstool in diesem Zeitraum genommen hat.

3.1 Simulation im Karosseriebau des Werks München

Der maßgebliche Auslöser für den Aufbau eines Simulationsmodells für den Karosseriebau des BMW Werk München war die für das Jahr 1999 vorgesehene Integration eines neuen Fahrzeuges (des BMW 3er Compact) in die bestehende Fertigung. Hierzu wurde in einem ersten Schritt die bereits existierende Fertigung der 3er Limousine inklusive des Vorgängermodells des BMW 3er Compact abgebildet, um das Simulationsmodell durch einen Vergleich mit dem Realsystem zu verifizieren. Nach der erfolgreichen Abbildung und Validierung des Simulationsmodells anhand des vorhandenen Fertigungsprozesses wurde die geplante Fertigung des BMW 3er Compact in die Modellstrukturen integriert.

Während der Planung bis zum Anlauf des neuen Fahrzeuges wurde das Simulationsmodell immer weiter detailliert. Nach erfolgtem Anlauf des neuen Fahrzeugmodells diente es dem Werk als Betreiber des Karosseriebaus fortlaufend zur

Analyse und Absicherung von Szenarien, die sich aus dem Tagesbetrieb ergeben haben. Außerdem wurde eine Reihe von Umbaumaßnahmen, die aufgrund von Veränderungen an der Produktionstechnik oder der Fördertechnik erforderlich wurden, untersucht und mit Simulationsexperimenten abgesichert.

In der Planungsphase der nachfolgenden BMW 3er Limousine und des BMW 3er Touring, die seit 2004 im BMW Werk München gefertigt werden, wurde erneut das zu diesem Zeitpunkt seit fünf Jahren bestehende und immer wieder angepasste Modell als Grundlage verwendet. Die Förder- und Anlagentechnik für die beiden neuen Fahrzeugmodelle musste in das Simulationsmodell integriert werden. Ferner war nach dem Auslauf des BMW 3er Compact das Modell um die entsprechenden Umfänge zu bereinigen. Wie in der realen Anlage auch, waren im Modell also zunächst neue Umfänge zu ergänzen und dann nicht mehr benötigte Umfänge in geeigneter Weise „zurückzubauen“. Anschließend diente das Simulationsmodell, das nun bereits den Lebenszyklus eines Fahrzeugmodells vollständig begleitet hatte, dem Karosseriebaubetreiber erneut als Modell zur Untersuchung tagesaktueller Aufgabenstellungen, die sich aus der laufenden Fertigung ergaben.

Nach dem das Simulationsmodell Anfang des Jahres 2008 ausgehend von der im Jahr 1999 gelegten Basis fast neun Jahre im Einsatz war, haben softwaretechnische Gründe zu diesem Zeitpunkt einen Neuaufbau des Modells erforderlich gemacht. Im Januar 2008 hat die BMW Group konzernweit auf die Version 8.1 des Simulationswerkzeugs Plant Simulation umgestellt. Unter dieser Version war das Modell, dessen Ursprünge noch auf die Version 6.0 der Vorgängersoftware Simple++ zurückgehen (vgl. Abbildung 2), nicht mehr lauffähig. Die erforderlichen Anpassungen am ursprünglichen Modell für eine Nutzung mit dem neuen Simulationswerkzeug wären in etwa so aufwändig gewesen wie der Aufbau eines neuen Modells (selbstverständlich unter Nutzung des vorhandenen Modells als „Feinspezifikation“). Da sich die Begleitung des Karosseriebaubetriebs mit Simulation bereits bewährt hatte, wurde das Simulationsmodell auf Basis des aktuellen Stands der Simulationssoftware neu aufgebaut.

3.2 Simulation für die lackierte Karosserie im MINI Werk Oxford

Der Aufbau des Simulationsmodells für das MINI Werk Oxford geht auf Anforderungen aus dem Jahr 2001 zurück. Zu diesem Zeitpunkt wurden im Karosseriebau zahlreiche Maßnahmen zur Umsetzung der wachsenden Stückzahlanforderung an den MINI und an das MINI Cabrio geplant. Diese Maßnahmen sollten mit dem Modell untersucht und abgesichert werden. Im Anschluss daran wurde das Modell – ähnlich wie das Modell des Werks München auch – vom Betreiber zur Untersuchung von tagesaktuellen Fragestellungen eingesetzt. Einen Schwerpunkt bildete dabei die kontinuierliche Prüfung und Weiterentwicklung von Steuerungsabläufen in der Fördertechnik. Für die Planung der Nachfolger der beiden MINI Modelle diente das einmal erstellte Simulationsmodell ebenso als Basis, wie bei der Integration des MINI Clubman. Insoweit gleicht der Simulationseinsatz in Oxford der im vorangegangenen Abschnitt beschriebenen Vorgehensweise in München.

Da sich das MINI Werk Oxford im Zusammenhang mit wachsenden Stückzahlen, einer zunehmenden Anzahl von Typen und Varianten sowie den speziellen Anforder-

rungen des „Kundenorientierten Vertriebs- und Produktionsprozesses“ (vgl. Pietsch 2002) besonderen Herausforderungen ausgesetzt sah, wurde im Jahr 2004 beschlossen, die komplette Lieferkette des Zwischenproduktes „lackierte Karosserie“ abzubilden. Auf diese Art sollten Aussagen zur Liefertreue (Sequenzstabilität der angelieferten lackierten Karosserien) am Eingang der Montage gemacht werden.

Daher wurde die Fertigung in der Lackiererei ebenfalls im Detail modelliert. Das Lackierereimodell und das Modell des Karosseriebaus wurden so ausgelegt bzw. erweitert, dass die beiden Simulationsmodelle gekoppelt werden konnten. Mit dem gekoppelten Modell, das zwei große Fertigungsbereiche inklusive der sich jeweils anschließenden Speicherbereiche (Karossenlager) komplett abbildet, ist es möglich, für definierte Stückzahlenszenarien bereichsübergreifende Engstellen zu finden und Maßnahmen zu ihrer Behebung zu verifizieren. Ergänzend kann der Einsatz neuer Arbeitszeitmodelle für große Teile des Werks bewertet werden.

Das bereichsübergreifende Modell wurde neben der Planungsaufgabenstellung zusätzlich zur Absicherung der Einführung eines neuen Produktionsleitsystems im MINI Werk Oxford eingesetzt. Die BMW Group setzt in ihren Werken eine standardisierte Software zur Steuerung der Fertigungsabläufe ein, die in den vergangenen Jahren sukzessive eingeführt worden ist. Die Einführung einer solchen Software hat in der Regel unmittelbare Auswirkungen auf die Produktion und ist mit Risiken verbunden, die bis zu einem Produktionsstillstand reichen können. Emulation kann zur Minimierung dieser Risiken verwendet werden (vgl. für Ausführungen zum BMW Produktionsleitsystem sowie zu Details für den Emulationseinsatz Mayer und Burges 2006). Im Fall des MINI Werks Oxford wurden im bereits vorliegenden Simulationsmodell die notwendigen Schnittstellen zum Produktionsleitsystem ergänzt. Auf diese Weise konnte zügig eine Emulationsumgebung erstellt werden.

Das in bestimmten Teilen mittlerweile fast acht Jahre alte Modell ist derzeit sowohl zur Unterstützung regelmäßig auftretender Anforderungen der Verantwortlichen für den Karosseriebau, für die Lackiererei und für den übergreifenden Prozess „lackierte Karosserie“ im Einsatz. Ferner wird es zur Unterstützung bei Aktualisierungen des Produktionsleitsystems verwendet. Die besonderen simulationstechnischen Herausforderungen in diesem Fallbeispiel bestehen darin, dass

- sowohl das Modell des Karosseriebaus als auch das Modell der Lackiererei regelmäßig (von unterschiedlichen Verantwortlichen) aktualisiert werden müssen, d.h. an Änderungen des realen Systems angepasst werden
- mit beiden Teilmodellen sowohl getrennt als auch als integriertes Modell für die Prozesskette „lackierte Karosserie“ experimentiert werden muss,
- dabei die Möglichkeit, das Modell zu Emulationszwecken einzusetzen, erhalten bleiben soll, d.h. die entsprechenden Schnittstellen zum Produktionsleitsystem müssen bei Modelländerungen jeweils mitgepflegt, zumindest aber erhalten bleiben.

Im folgenden Kapitel werden eine Reihe von Rahmenbedingungen diskutiert, die erfüllt sein sollten, um diesen und anderen mit der langfristigen Nutzung von Modellen verbundenen Herausforderungen effizient und effektiv zu begegnen.

4 Rahmenbedingungen langfristiger Modellnutzung

In den beiden diskutierten Fallbeispielen sind Simulationsmodelle über annähernd ein Jahrzehnt genutzt und weiterentwickelt worden. Diese langfristige Modellnutzung wird durch einige technische und organisatorische Erschwernisse begleitet. Dazu gehören, neben den in Abschnitt 3.2 bereits angesprochenen Punkten, folgende Aspekte:

- Regelmäßige Versionswechsel der verwendeten Simulationssoftware;
- Weiterentwicklung der von der Simulationssoftware bereitgestellten sowie der unter Umständen von den Modellierern ergänzten Simulationsbausteine;
- Unterschiedliche Aktualisierungserfordernisse für unterschiedliche Bereiche eines bereichsübergreifenden Modells (weil beispielsweise Veränderungen im Karosseriebau durch Fahrzeugmodelle, aber Veränderungen in der Lackiererei durch die Technologien der Lackapplikation getrieben sind);
- Verschiebungen in den Aufgabenbereichen bei den Personen, die für die Modellbetreuung unmittelbar verantwortlich sind;
- Wechsel der verantwortlichen Personen;
- Unterschiedliche Modellentwickler (intern, extern).

Vor diesem Hintergrund ist die Schaffung und Einhaltung von Standards eine wichtige Voraussetzung für die langfristige Nutzung von Simulationsmodellen. So hat sich die BMW Group bereits Mitte der neunziger Jahre entschieden, konzernweit ein einheitliches Simulationswerkzeug einzusetzen. Dieser erste Standardisierungsschritt im Simulationsbereich hat maßgeblich dazu beigetragen, den Wissensaustausch zwischen den Simulationsverantwortlichen aus unterschiedlichen Abteilungen zu vereinfachen und zu intensivieren. Seit einigen Jahren wird der Einsatz des Simulationswerkzeugs nun ergänzt durch die Verwendung des VDA Automotive Bausteinkastens der VDA Arbeitsgruppe Ablaufsimulation (vgl. Heinrich und Mayer 2006). Dieser Bausteinkasten, der ergänzt ist um eine Reihe von BMW Group spezifischen Bausteinen, bildet mittlerweile die Grundlage für fast alle Modelle, die erstellt werden. Die Verwendung des Bausteinkastens wird im Leitfaden für die Simulationsanwendung in der BMW Group verbindlich vorgeschrieben. In diesem Leitfaden ist ferner geregelt, dass

- jeder Modellierer bei der Modellierung bestimmte Richtlinien hinsichtlich Modellstruktur, Namensgebung von Modellelementen und Kommentierung von Quelltexten einhalten muss,
- bei der Modellbildung ein vorgegebenes Vorgehensmodell (Modellspezifikation, Modellierung, Modelldokumentation) Anwendung zu finden hat,
- die Ablage aller im Projektverlauf verwendeten Dateien sowie die Dateinamensgebung vorgegebenen Konventionen folgen muss,
- Modelle wo immer das notwendig und sinnvoll ist, von vornherein so ausgelegt werden, dass sie mit anderen Modellen gekoppelt werden können, und dass Schnittstellen zum BMW Produktionsleitsystem integrierbar sind. Insbesondere letzteres erfordert auch eine geeignete Strukturierung des Simulationsmodells.

Selbst wenn diese Regeln eingehalten werden und Standards zur Anwendung kommen, bringt das Verbinden von Teilmodellen im Detail weitere Anforderungen mit sich. Um Teilmodelle bei Bedarf in einem Modell zusammenführen zu können,

müssen identische Bausteinkastenversionen bei der Erstellung der Teilmodelle verwendet werden. Das erfordert ein hohes Maß an Disziplin der beteiligten Programmierer und schränkt ihre Flexibilität bei der Anpassung von Bausteinen ein.

Neben den bisher beschriebenen, in erster Linie technischen Rahmenbedingungen, können Simulationsmodelle nur dann über mehrere Jahre hinweg gepflegt und weiterentwickelt werden, wenn auch die organisatorischen Rahmenbedingungen diesen Prozess unterstützen. Dazu muss zunächst einmal das Thema Simulation so in der Unternehmensorganisation positioniert sein, dass kontinuierlich Ressourcen für die damit verbundenen Aktivitäten bereitgestellt werden. Einmal eingearbeitete und ausgebildete Mitarbeiter müssen die Chance haben, sich über einige Jahre mit einem signifikanten Teil ihrer Kapazität um Simulationsaufgabenstellungen, Modelle und Experimente zu kümmern. Bei einem anstehenden Wechsel eines Stelleninhabers (der in großen Organisationen ja in vielen Fällen nach einer bestimmten Zeit explizit gefordert und gefördert wird), darf das erworbene Wissen nicht verloren gehen. Dazu müssen geeignete Schulungs-, Einarbeitungs- und Übergangskonzepte erarbeitet werden und zur Anwendung kommen.

Sind diese technischen und organisatorischen Bedingungen erfüllt, so liegt ein belastbarer Rahmen für den Simulationseinsatz und für die langfristige Pflege und Verwendung von Modellen vor. Der spezielle Nutzen des langfristigen Einsatzes von Modellen liegt in deutlich verkürzten Zeiten zur Bearbeitung von Simulationsaufgabenstellungen, da nahezu jederzeit ein aktuelles Modell des Fertigungssystems verfügbar ist und im einfachsten Fall gar nicht modelliert werden muss, sondern unmittelbar experimentiert werden kann. Auch ist der Aufwand für die Pflege und Anpassung eines einmal erstellten großen Simulationsmodells in der Regel geringer, als der Aufwand für das wiederholte Implementieren ein und desselben Fertigungsbereichs.

5 Zusammenfassung

Es gibt in der Automobilindustrie aus unterschiedlichen Gründen einen Trend zu langfristiger Modellnutzung. Wie dieser Beitrag an zwei Beispielen verdeutlicht hat, kann die Lebensdauer einzelner Modelle dabei unter Umständen acht Jahre oder mehr betragen. Eine Standardisierung im technischen Bereich (Simulationswerkzeuge und Bausteinkästen) sowie im organisatorischen Bereich (Personalentwicklung für Simulationsexperten, Leitfäden für Simulationsprojekte) trägt nachhaltig dazu bei, den mit der langen Lebensdauer von Modellen verbundenen Herausforderungen zu begegnen.

Literatur

- Griffel, N. (1999) Prozesskette Ablaufsimulation – Voraussetzung zur systematischen Planung komplexer Produktionssysteme mit hohem Nutzungsgrad. München, Hieronymus
- Heinrich, S.; Mayer, G. (2006) Ablaufsimulation im VDA – Ein Bericht aus der Arbeitsgruppe. In: Wenzel, S. (Hrsg.): Simulation in Produktion und Logistik 2006, Tagungsband zur 12. ASIM-Fachtagung. SCS Publishing House, Erlangen, S. 541-550
- Klingstam, P.; Olsson, B.-G. (2000) Using simulation techniques for continuous process verification in industrial system development. In: Joines, J.A.; Barton, R.R.; Kong, K.; Fishwick, P.A. (Hrsg.): Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference. IEEE, Piscataway, S. 1315-1321
- Kosturiak, J.; Gregor, M. (1999) Simulation in production system life cycle. In: Computers in Industry 38 (1999) 2, S. 159-172
- Mayer, G.; Burges, U. (2006) Virtuelle Inbetriebnahme von Produktionssystemen in der Automobilindustrie mittels Emulation. In: Wenzel, S. (Hrsg.): Simulation in Produktion und Logistik 2006, Tagungsband zur 12. ASIM-Fachtagung. SCS Publishing House, Erlangen, S. 541-550
- Nance, R.E.; Arthur, J.D. (2006) Software requirements engineering: Exploring the role in simulation model development. In: Garnett, J.; Brailsford, S.; Robinson, S.; Taylor, S. (Hrsg.): Proceedings of the 2006 Operational Research Society Simulation Workshop. The Operational Research Society, Birmingham, UK, S. 117-127
- Pietsch, D. (2002) Das neue Vertriebs- und Produktionssystem der BMW Group. In: Zeitschrift für die Automobilwirtschaft (2002) 1, S. 45-51
- Rabe, M.; Wenzel, S.; Spieckermann, S. (2008) Verifikation und Validierung für die Simulation in Produktion und Logistik. Springer, Berlin
- Sargent, R.G.; Nance, R.E.; Overstreet, C.M.; Robinson, S.; Talbot, J. (2006) The Simulation project life-cycle: Models and realities. In: Perrone, L.F.; Wieland, F.P.; Liu, J.; Lawson, B.G.; Nicol, D.M.; Fujimoto, R.M. (Hrsg.): Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference. IEEE, Piscataway, S. 863-871
- Ulgen, O.; Gunal, A. (1998) Simulation in the automobile industry. In: Banks, J. (Hrsg.): Handbook of Simulation. John Wiley, New York, S. 547-570
- VDI (2007) Richtlinie 3633 Blatt 1 „Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen“. Berlin, Beuth