

Kontinuierliche Referenzmodellverwaltung für die Maschinensimulation

Werner Esswein, Sina Lehrmann und Jeannette Stark

Der Artikel stellt ein aktuelles Forschungsvorhaben vor, welches die Entwicklung einer modellbasierten Methode zur interaktiven Maschinensimulation zum Ziel hat. Es wird aufgezeigt, welche betriebswirtschaftliche Bedeutung die Erbringung dieser neuartigen Dienstleistung hat und welche Rolle die Referenzmodellierung in einem stabilen Geschäftsmodell spielt. Insbesondere die Notwendigkeit der erfahrungsbasierten Evolution des Referenzmodells sowie eine kontinuierliche und integrierte Modellverwaltung werden herausgestellt.

1 Einleitung

Der globale Wettbewerb unter den Anbietern von Kleinstserien preisintensiver Maschinen ist geprägt von kundenindividuellen Produktanforderungen und hohen Kosten in der Entwicklung und Konstruktion. Um diesen Herausforderungen zu begegnen, wird zunehmend an Technologien zur interaktiven Maschinensimulation geforscht. Die interaktive Maschinensimulation verspricht, das Maschinenverhalten bereits in den frühen Phasen des Entwicklungsprozesses realitätsnah bewerten zu können und Kundenanforderungen gezielt vor der Maschinenkonstruktion zu erheben und zu spezifizieren. Durch eine gezielte Anforderungsspezifikation und frühzeitige Bewertung des Maschinenverhaltens sollen Iterationen im Entwicklungsprozess verringert und somit eine Prozessverkürzung sowie eine Senkung der Entwicklungskosten erreicht werden.

Unter Simulation wird eine Methode verstanden, die mit Hilfe von mathematischen Modellen reale Vorgänge nachahmt (Hering und Modler 2007, S. 981ff). Im zugrundeliegenden Forschungsprojekt INPROVY sind Simulationsmodelle somit Berechnungsvorschriften, die in Form von Differentialgleichungen das Verhalten einer Maschine beschreiben. Kommen Echtzeitanforderungen und die aktive Einbindung einer oder mehrerer Personen in die Simulation hinzu, handelt es sich um eine interaktive Simulation. Um eine aktive Mitwirkung der Personen umfassend zu unterstützen, sollten möglichst viele sensorische Sinne des Menschen stimuliert werden. So werden bei Simulationen in Virtual-Reality-Umgebungen, wie bspw. 3D-Simulationen in einem Hexaplot, physikalische Reize zum Wahrnehmen von

räumlichen Sehen, von Bewegungen und von Geräuschen erzeugt, um eine möglichst realitätsnahe Arbeitsumgebung zu imitieren.

Diese Art der Simulation ist aber sehr komplex und erfordert spezifische Fachkenntnisse und viel Erfahrung, um in einem angemessenen ökonomischen Rahmen qualitativ gute Modelle erstellen und die Simulationsergebnisse sinnvoll auswerten zu können. Neben den technologischen Herausforderungen der interaktiven Maschinensimulation stellen die hohen Investitionskosten für geeignete Virtual-Reality-Umgebungen eine Ursache für den noch geringen praktischen Einsatz der Maschinensimulation dar.

Der Artikel stellt eine aktuelle Forschungsarbeit vor, deren Gegenstand die Entwicklung von Technologien zur effizienten und effektiven Durchführung von interaktiven Maschinensimulationen ist. Diese ermöglichen Unternehmen, die interaktive Maschinensimulation als Dienstleistung sowohl Maschinenherstellern als auch Komponentenzulieferern zur Unterstützung ihrer Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten anzubieten. Das Forschungsvorhaben folgt dem Ansatz der Entwurfsforschung, welche auf die zielorientierte Konstruktion von Entwurfsartefakten ausgerichtet ist, die bezüglich ihrer Nützlichkeit bewertet werden müssen (March und Smith 1995; Peffers et al. 2008). Das Vorgehen des Forschungsvorhabens lehnt sich dabei an die von Hevner et al. (2004) vorgeschlagenen Richtlinien zur Bewertung wissenschaftlicher Forschungen im Bereich der Wirtschaftsinformatik an. In einem ersten Schritt wird die Problemrelevanz aus der Anwendungsdomäne der Maschinensimulation herausgearbeitet, um die wirtschaftliche Bedeutung der angestrebten Methode abschätzen zu können. Anschließend wird auf Basis wissenschaftlicher Erkenntnisse im Bereich der Informationsmodellierung eine Methode zur modellbasierten Maschinensimulation entwickelt. Dieses Entwurfsartefakt soll abschließend im Rahmen des Forschungsprojekts als Fallstudie evaluiert werden, wozu aus den Erkenntnissen zur praktischen Relevanz und dem wissenschaftlichen Beitrag der Forschung geeignete Metriken abzuleiten sind. Für die Durchführung der Fallstudie wird eine prototypische Umsetzung in Form einer werkzeuggestützten Implementierung der Methode erfolgen.

Die ersten Ergebnisse des vorgestellten Forschungsvorhabens resultierten in einem Architekturrahmen zur modellgestützten Simulation, der die Aufgaben und Gegenstandsbereiche der zu verwendenden Modelle definiert (Esswein et al. 2009a), sowie in einer Analyse möglicher Konstruktionstechniken, die deren Eignung für verschiedene Anwendungsfälle zur Ableitung von spezifischen Modellen aus den zu verwendenden Referenzmodellen untersucht (Esswein et al. 2009b). In beiden Arbeiten werden die verschiedenartigen Modellbeziehungen und deren Verwaltung, insbesondere die systematische Weiterentwicklung der Referenzmodelle, nicht thematisiert. Diese sollen im Rahmen des vorliegenden Artikels näher untersucht werden. Dazu wird die Problemrelevanz der modellbasierten Maschinensimulation analysiert, um darauf aufbauend erste Anforderungen an die integrierte Informationsmodellierung sowie die systematische Evolution der relevanten Modelle abzuleiten.

Der Artikel ist wie folgt gegliedert. In Kapitel 2 wird die Maschinensimulation als industrielle Dienstleistung vorgestellt. Insbesondere die Analyse der betriebs-

wirtschaftlichen Relevanz der interaktiven Maschinensimulation und die Hinderungsgründe für deren praktischen Einsatz sollen das Marktpotenzial der neuartigen Dienstleistung veranschaulichen. Im anschließenden Kapitel 3 wird die Informationsmodellierung, insbesondere die Referenzmodellierung, als Schlüsseltechnologie zur Informationsaufbereitung und Wiederverwendung von existierenden Simulationsmodellen und deren Teilmodelle definiert. Wie die Verbesserung der Dienstleistungsqualität sowie die Erhöhung der Kundenbindung durch eine kontinuierliche und integrierte Referenzmodellverwaltung erreicht werden kann, wird im Kapitel 4 näher dargestellt. Schließlich wird im Kapitel 5 die Relevanz der Referenzmodellierung und deren integrierten Verwaltung zusammengefasst, um notwendige zukünftige Forschungsarbeiten im Bereich der modellbasierten Maschinensimulation zu definieren.

2 Maschinensimulation als industrielle Dienstleistung

Bei der im Folgenden dargestellten industriellen Dienstleistung handelt es sich nicht um einen Vertreter der klassischen Wartungs- und Serviceleistungen von Maschinenherstellern. Bereits Blinn et al. (2008) weisen darauf hin, dass eine ausschließliche Betrachtung von Dienstleistungen in nachgelagerten Phasen des Produktlebenszyklus unzureichend ist und nicht den aktuellen Entwicklungen zum Angebot von hybriden Leistungsbündeln entsprechen.

In einem ersten Ansatz fällt es schwer, die interaktive Maschinensimulation als reine Dienstleistung oder als hybrides Leistungsbündel zu definieren. Das liegt zum einen daran, dass die Definitionen zur (industriellen) Dienstleistung in den einzelnen Fachbereichen kontrovers diskutiert werden (Busse 2005; Seegy 2009). Zum anderen fällt es schwer, die Leistungserbringung der interaktiven Maschinensimulation klar abzugrenzen, da sie bisher noch unzureichend in der Praxis angewendet wird und somit ein neuartiges Produkt bzw. Geschäftsmodell darstellt. Aus diesem Grund wird die interaktive Maschinensimulation im Folgenden aus Sicht des Forschungsvorhabens als Dienstleistung beschrieben, um darauf aufbauend deren betriebswirtschaftliche Relevanz sowie die Herausforderungen der praktischen Umsetzbarkeit zu beschreiben. Aus diesen Erkenntnissen leiten sich schließlich das Erfolgspotenzial der neuartigen Dienstleistung und das zugehörige Geschäftsmodell ab.

Um die interaktive Maschinensimulation näher als Dienstleistung zu charakterisieren, wird auf die terminologischen Untersuchungen von Busse (2005) und Seegy (2009) zurückgegriffen. Auch wenn eine scharfe Trennung zwischen Dienst- und Sachleistungen nicht möglich ist bzw. nicht sinnvoll erscheint, so können doch ein hoher Immaterialitätsgrad des Leistungsangebots sowie des Leistungsergebnisses als auch die Integration eines externen Faktors in den Leistungserstellungsprozess als Charakteristiken für Dienstleistungen definiert werden (Busse 2005, S. 15). Die industrielle Dienstleistung weist zudem noch einen direk-

ten oder indirekten Bezug zu Produkten aus dem Investitionsgüterbereich auf (Seegy 2009, S. 39).

Die Erbringung von hybriden Leistungsbündeln, wie bspw. bei einer kundenindividuell geplanten und konstruierten Arbeitsmaschine, kann auch in Netzwerken erfolgen, in denen bestimmte Dienstleistungen von externen spezialisierten Dienstleistungsanbietern erbracht werden (Beverungen et al. 2008). Die interaktive Maschinensimulation kann eine derartig spezifische Dienstleistung darstellen, die für unterschiedliche Simulationsaufgaben und für unterschiedliche Kundengruppen erbracht werden kann. Die Analyse von potenziellen Anwendungsszenarien sowie die strukturierte Aufbereitung der erforderlichen Informationen resultieren in einem Framework zur modellgestützten Simulation (Esswein et al. 2009a). Die darin beschriebenen Ebenen und Sichten müssen noch mit geeigneten Modelltypen sowie Modelloperationen ausgestaltet werden. Dazu werden in diesem Artikel erste Anforderungen an die Referenzmodelle und die Verwaltung ihrer Modellbeziehungen erhoben.

Eine interaktive Maschinensimulation kann nicht auf „Vorrat“ produziert werden. Die parametrisierten Simulationsmodelle sowie die Einbettung in eine geeignete Virtual-Reality-Umgebung erfolgt stets problemorientiert und werden entsprechend den Kundenanforderungen an die Simulation erstellt. Dies umfasst nicht nur den Gegenstand der Simulation, also den Maschinentyp und seinen Komponenten-aufbau, sondern auch die Auswahl und Konfiguration der virtuellen Umgebung, wie bspw. eine Desktop-, Cave-, Powerwall- oder Simulator-Anwendung. Die Wünsche und Anforderungen des Kunden an die Aufbereitung und Durchführung der Maschinensimulation sind somit ausschlaggebend für die Erstellung der Simulationsmodelle sowie die Konfiguration der Virtual-Reality-Umgebung. Als Leistungsergebnis entsteht ein Simulationsmodell, welches gespeichert und wiederholt genutzt werden kann. Die eigentliche Dienstleistung besteht jedoch in der Durchführung der Maschinensimulation sowie in der aufgabenspezifischen Auswertung der Ergebnisse. Diese haben eine direkte Auswirkung auf den laufenden Geschäftsprozess. So können sie bspw. zu Strategieentscheidungen über die Entwicklung neuer Maschinenmodelle oder zur Analyse von Störfällen herangezogen werden. Ein hoher Anteil an immaterieller Leistung ist der interaktiven Maschinensimulation somit immanent.

Zur Erstellung von Simulationsmodellen und der Durchführung von Simulationen ist viel Fachwissen und Erfahrung notwendig. Die Wiederverwendung der Modelle bzw. von Teillösungen ist daher zwar wünschenswert, wird aber derzeit leider nicht methodisch unterstützt. Für Produktionsbetriebe im Investitionsgüterbereich stellt daher die Entwicklung einer eigenen Kompetenz auf dem Gebiet der Maschinensimulation eine große Herausforderung dar. Insbesondere für Unternehmen, für deren Leistungserbringung die Maschinensimulation nur eine außergewöhnliche Rolle spielt, würde eine Kosten-Nutzen-Bewertung negativ ausfallen. In den folgenden Abschnitten werden allgemeine Analyseergebnisse zur Bewertung des betriebswirtschaftlichen Potenzials und den Herausforderungen der interaktiven Maschinensimulation näher beschrieben.

2.1 Die betriebswirtschaftliche Relevanz der interaktiven Maschinensimulation

Die am Forschungsprojekt partizipierenden Unternehmen, zu denen sowohl Vertreter von Maschinenherstellern mobiler Arbeitsmaschinen als auch Komponentenzulieferern zählen, wurden hinsichtlich ihrer Bewertung der interaktiven Maschinensimulation für den zukünftigen Unternehmenserfolg befragt. Im Rahmen offener Interviews mit Mitarbeitern der Entwicklungsabteilung, der Konstruktion und des Vertriebs konnten allgemeine Vorteile der interaktiven Maschinensimulation aus Sicht des Produkts, der Kundenbeziehungen, der Prozesse und der Kosten spezifiziert werden.

Aus *Produktsicht* ermöglicht die interaktive Maschinensimulation die Umsetzung kreativer Innovationsideen, ohne den Bauraum einer Maschine konstruieren oder einen physischen Prototyp bauen zu müssen. Die Durchführung der Maschinensimulation mit variierten Parametern und deren problemorientierte Analyse führen aufgrund von reproduzierbaren Experimenten zu einem besseren technischen Verständnis der zugrundeliegenden Ursache-Wirkungs-Beziehungen.

Weiterhin kann die interaktive Maschinensimulation die *Kundenzufriedenheit* und damit die Kundenbindung erhöhen. Kundenwünsche können in einer Maschinensimulation besser spezifiziert werden, da der Kunde die Auswirkung bestimmter Maschinenkonfigurationen testen kann und sie sich nicht nur vorstellen muss. Somit wird der Kommunikationsprozess zwischen Kunde und Maschinenhersteller deutlich verbessert. Die Einbeziehung des Kunden in den Entwicklungsprozess erhöht zudem die Bindung des Kunden an das Unternehmen und die Akzeptanz der späteren Maschinenlösung.

Auch die *Prozesse* des Maschinenherstellers werden positiv beeinflusst. So können Konstruktionsfehler in der Maschinensimulation frühzeitig aufgedeckt und korrigiert werden. Das führt zur Vermeidung von Iterationen im Entwicklungs- und Produktionsprozess. Darüber hinaus können Simulationsergebnisse als neutrales Element in Strategieüberlegungen über neue Produktvarianten oder Einkaufsentscheidungen genutzt werden. Auf diesem Weg kann die Kommunikation bzw. Abstimmung zwischen verschiedenen Abteilungen (z. B. F&E und Einkauf) im Unternehmen unterstützt und verbessert werden. Wenn eine vertrauensvolle Kooperation mit Komponentenzulieferern aufgebaut werden kann, könnten Simulationsmodelle für einzelne Maschinenkomponenten direkt vom Komponentenhersteller zur Verfügung gestellt werden. Die Qualität der Simulationsmodelle im Sinne einer realitätsnahen Abbildung des Komponentenverhaltens wäre wahrscheinlich besser als die bisher vom Maschinenhersteller selbst formulierten Simulationsmodelle. Die verstärkte Zusammenarbeit in der Maschinensimulation könnte zu einer synergetischen Kooperation zwischen Zulieferer und Maschinenhersteller im Entwicklungsprozess führen.

Wenn die Technologie der interaktiven Maschinensimulation soweit ausgereift ist, dass sie den Bau unreifer physischer Prototypen vermeiden bzw. den Bau reifer physischer Prototypen in späte Phasen des Entwicklungsprozesses verschieben

kann, erzielt der Maschinenhersteller auch aus *Kostensicht* signifikante Vorteile vom Einsatz interaktiver Maschinensimulation. Durch die Verringerung von Iterationen im Entwicklungsprozess werden weniger Ressourcen gebunden, sowohl in Form von entwickelnden Ingenieuren als auch in Form von Belegung der Produktionsstrecke sowie Materialeinsatz zum Um- und Neubau von Prototypen.

Den aufgezeigten Vorteilen stehen aber auch gewichtige Herausforderungen gegenüber, die den praktischen Einsatz der interaktiven Maschinensimulation bisher behindern.

2.2 Hinderungsgründe für den Einsatz von interaktiver Maschinensimulation

Die interaktive Maschinensimulation ist trotz viel versprechender Vorteile noch kaum in der Industrie verbreitet. Ein bedeutender Hinderungsgrund liegt in der aufwendigen und riskanten Erstellung der Simulationsmodelle. Eine genauere Analyse der Ursachen konnte drei Problemkategorien identifizieren, die Komplexität der Simulationsaufgabe, die Konfiguration und Steuerung der Virtual-Reality-Umgebung und die unternehmensübergreifende Kooperation zwischen Maschinenhersteller und Zulieferer.

Komplexität der Simulationsaufgabe

Die Erstellung von Simulationsmodellen für Maschinenfunktionalitäten ist eine komplexe Aufgabe, da alle relevanten Komponenten modelliert und konsistent miteinander in Beziehung gesetzt werden müssen. Für einzelne Komponentensysteme werden domänenspezifische Simulationen der Mechanik, Hydraulik oder Elektrik zahlreich in der Praxis eingesetzt. Techniken zur domänenübergreifenden Simulation sind derzeit Gegenstand der Forschung und befinden sich noch in einem Frühstadium der Entwicklung. Eine domänenübergreifende Simulation erhöht die Kompliziertheit der Simulationsmodelle, da mehr Modellkonzepte enthalten sind. Neben dem Problem der domänenübergreifenden Simulation besteht das Problem der realitätsnahen Simulation ganzer Maschinen. Eine Vielzahl von relevanten Maschinenkomponenten und ihre Abhängigkeiten müssen in dem Simulationsmodell berücksichtigt werden. Dies führt zur Erhöhung der Modellkomplexität, welche die Echtzeitfähigkeit des Simulationsmodells gefährden kann. Die Echtzeitfähigkeit ist in der interaktiven Maschinensimulation aber Voraussetzung für einen realitätsnahen Eindruck für den menschlichen Maschinenführer. Erschwert wird die Erstellung der Simulationsmodelle zusätzlich dadurch, dass sie überwiegend codebasiert und sehr maschinennah erfolgt. Die codebasierte Beschreibung der Simulationsmodelle behindert eine mögliche Wiederverwendung der Simulationsmodelle, da sie weder eine inhaltliche noch formale Aufbereitung der Modellkomponenten unterstützt. Die Anpassung, Pflege und Wiederverwendung von Simulationsmodellen ist daher für den menschlichen Ingenieur sehr schwierig und nur mit guten Informatikkenntnissen umzusetzen.

Unternehmensübergreifende Kooperation

Derzeitige Forschungen in den Ingenieurwissenschaften untersuchen geeignete Instrumente zur domänenübergreifenden Beschreibung der Simulationsmodelle. Eine geeignete und standardisierte Sprachbeschreibung würde auch dem bisher fehlenden Austausch von Simulationsmodellen bzw. relevanten Informationen zwischen Maschinenhersteller und Zulieferer entgegenwirken. Der mangelnde unternehmensübergreifende Wissenstransfer ist aber nicht zuletzt auch auf das Risiko der Weitergabe von wettbewerbskritischen Informationen zurückzuführen. Die Folge ist, dass der Maschinenhersteller alle simulationsrelevanten Zulieferkomponenten mit den ihm zur Verfügung stehenden Informationen nachbilden muss. Da diese Informationen in der Regel nicht den gleichen Umfang aufweisen wie die, die dem Komponentenhersteller zur Verfügung stehen, besteht das Risiko, dass die Simulationsmodelle eine schlechte Qualität, im Sinne von nicht realitätsnahen Maschinenfunktionalitäten, aufweisen. Fehlende Informationen zu Produktkomponenten können unter Umständen auch dazu führen, dass die Simulationsmodelle nicht in der erforderlichen Modelltiefe konstruiert werden können.

Konfiguration und Steuerung der VR-Umgebung

Neben den Modellen zur Simulation der Maschinenfunktionalität erfordert eine interaktive Maschinensimulation weitere Modelle zur Konfiguration und Steuerung der VR-Umgebung. Diese Modelle umfassen neben 3D-Grafiken zur Darstellung der Maschine und der Teststrecke auch Bewegungssteuerung und Soundmodelle. Weiterhin müssen Netzwerkkommunikation und Konfiguration der Simulationssoftware vorgenommen werden. Welche Modelle mit welchen Parametern in das Simulationsmodell integriert werden müssen, hängt maßgeblich vom Simulationsziel und der eingesetzten Hardware ab. Zum Einen ist diese Hardware, wie Hexaplot, Cave oder Powerwall, sehr preisintensiv in der Anschaffung, zum Anderen erfordert deren Konfiguration und Bedienung qualifiziertes und erfahrenes Fachpersonal.

Weiterhin existiert keine modulare Toolkette, die über standardisierte Schnittstellen eine flexible Durchführung von Maschinensimulationen ermöglicht. Da die Simulationsmodelle meist nicht plattformunabhängig erstellt und gepflegt werden können, müssen in dem Workflow von der Erstellung der Simulationsmodelle bis zur Steuerung der VR-Umgebung häufig manuelle Transformationsarbeiten durchgeführt werden.

2.3 Erfolgspotenzial des Dienstleistungsangebots zur interaktiven Maschinensimulation

Zusammenfassend sind die größten Hinderungsgründe für den Einsatz der interaktiven Maschinensimulation die hohen Investitionskosten der Virtual-Reality-Umgebung, die Gefahr der Weitergabe von wettbewerbskritischen Informationen an Konkurrenten und die fehlende systematische Methode zur Erstellung, Pflege und

Wiederverwendung der Simulationsmodelle. Die beiden erst genannten Nachteile können durch einen externen Dienstleister gelöst werden. Da das Kerngeschäft des Dienstleisters die interaktive Maschinensimulation darstellt, ist die Auslastung der Virtual-Reality-Umgebung dementsprechend hoch und wird sich daher schneller amortisieren. Weiterhin kann ein externer Dienstleistung als Trustcenter fungieren und die Vertraulichkeit der Simulationsmodelle als Teil seines Dienstleistungsangebots garantieren. Simulierende Maschinenhersteller bzw. Zulieferer bieten bereits ihren Kunden auftragsspezifische Simulationen als Teil ihres Leistungsangebots an.

Die Entwicklung einer systematischen Methode zur Erstellung, Pflege und Wiederverwendung der Simulationsmodelle auf Basis der Informationsmodellierung wird in den folgenden Kapiteln näher vorgestellt.

Das Erfolgspotenzial für das beschriebene Dienstleistungsangebot wird hoch eingeschätzt, da die Markteintrittsbarrieren relativ hoch sind. Wie bereits dargestellt, erfordert die Erstellung von Simulationsmodellen eine hohe Fachkompetenz und viel Simulationserfahrung. Diese zu entwickeln, ist jedoch sehr zeitintensiv und erfordert die reale Durchführung verschiedener Projekte. Wenn somit ein Pionier sich auf dem Markt platzieren konnte, ist die Wahrscheinlichkeit sehr hoch, dass er erfolgreich ist, wenn er seine Kernkompetenz – die Erfahrung – schützt und kontinuierlich weiterentwickelt. Der im Folgenden vorgestellte Ansatz soll die systematische Integration von Projekterfahrung unterstützen und somit zur kontinuierlichen Verbesserung der Dienstleistungsqualität sowie der Stärkung der Wettbewerbsposition beitragen.

3 Referenzmodellierung als Befähiger zur Dienstleistungserbringung

Die aufgezeigten Potenziale für den Einsatz von Maschinensimulation können nur genutzt werden, wenn eine systematische Informationsverwaltung gewährleistet werden kann, die eine methodisch gestützte Erstellung der Simulationsmodelle sowie deren modulare Wiederverwendung ermöglicht. Dazu wird in der angestrebten Methode auf die Informationsmodellierung zurückgegriffen. Zur Komplexitätsreduktion und zur systematischen Wiederverwendung von Simulationsmodellen bzw. deren flexiblen Anpassung an projektspezifische Anforderungen sollen insbesondere die Methoden der konzeptionellen Modellierung und der Referenzmodellierung zum Einsatz kommen.

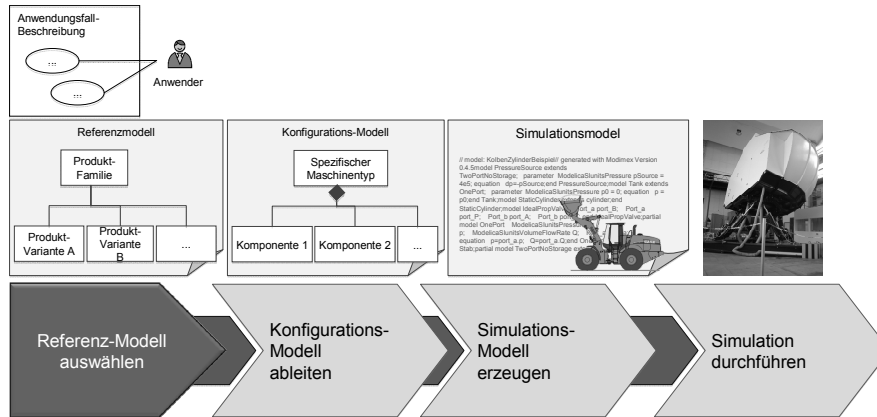


Abb. 1. Referenzmodell-basierte Methode zur Maschinensimulation

Abb. 1 stellt die Referenzmodell-basierte Methode zur Vorbereitung und Durchführung einer interaktiven Maschinensimulation skizzenhaft dar.

Ausgangspunkt für die Erstellung und systematische Wiederverwendung existierender Simulationsmodelle und deren flexible Anpassung an projektspezifische Anforderungen ist die reale Produktstruktur der betrachteten Maschine. Auf der Fachebene (Ebene der realen Produktstruktur) soll ein Referenzmodell die möglichen Produktvarianten verwalten und die Ableitung einer individuellen Produktspezifikation ermöglichen. Diese Grundstruktur der Produktvariante umfasst den hierarchischen Aufbau der Maschine aus den einzelnen Produktkomponenten. Der Detaillierungsgrad sollte dabei so gewählt werden, dass zugelieferte Systemkomponenten umgehend identifiziert werden können. Über dieses Modell der realen Produktstruktur erfolgt die Integration, Steuerung und Konfiguration der einzelnen Modelle, die für die Simulation notwendig sind. Die notwendigen Modelle bilden dabei unterschiedliche Gegenstandsbereiche ab und befinden sich auf unterschiedlichen Abstraktionsstufen. Zur Strukturierung dieser Abstraktionsstufen wurde das Framework zur modellbasierten Simulation entwickelt (Esswein et al. 2009a). Die Prozesssicht stellt dabei die Durchführung der Dienstleistung dar.

Mit Hilfe der konzeptionellen Modelle sollen die Simulationsmodelle sowie alle notwendigen Konfigurationen der Simulationsumgebung verwaltet, integriert und wiederverwendet werden. Das entwickelte Referenzmodell dient dabei als Ausgangsbasis zur Konfiguration der Arbeitsmaschine. Operationen auf den abgeleiteten Modellen sowie Modelltransformationen führen weiterhin zur Erstellung eines konsistenten Simulationsmodells. Dabei soll insbesondere auf die generierenden und nicht generierenden Konstruktionstechniken der Referenzmodellierung zurückgegriffen werden (Esswein 2009b; Becker et al. 2004; vom Brocke 2007). Die prototypische Implementierung und Evaluation der Referenzmodell-basierten Methode im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojekts bietet für die Forschung innerhalb der Wirtschaftsinformatik die Chance, diese Konstruktionstech-

niken in einer realen, nicht trivialen Fallstudie zu untersuchen und zu bewerten. Damit kann ein Beitrag zur geforderten externen Validität der Referenzmodell-Theorien (Fettke und Loos 2004) geleistet werden.

Abb. 2 stellt eine beispielhafte Modelltransformation von der Fachebene in die Simulationsebene dar. Die Fachebene fokussiert die reale Produktstruktur und umfasst somit alle relevanten Informationen, die in herkömmlichen ERP-Systemen hinterlegt sind, wie bspw. Lieferanten und Komponenteneigenschaften. Desweiteren spezifiziert sie die relevanten Schnittstellen zum Geschäftsprozess, der den Rahmen für die Maschinensimulation bildet und auf den das Dienstleistungsprodukt, also die Simulationsergebnisse, direkt einwirkt. Die Simulationsebene abstrahiert dagegen von geschäftsprozess-relevanten Informationen und betrachtet ausschließlich simulationsrelevante Informationen.

Auf Basis der realen Produktstruktur wird eine Maschinenstruktur abgeleitet, die alle für die Maschinensimulation relevanten Informationen umfasst und von nicht benötigten Informationen abstrahiert. Eine Produktkomponente auf Fachebene kann dabei von unterschiedlich vielen Simulationskomponenten erster Ordnung beschrieben werden. So kann eine Produktkomponente bspw. keine Entsprechung auf Simulationsebene haben, wenn sie für die Simulationsaufgabe nicht relevant ist. Es ist aber auch denkbar, dass eine Produktkomponente durch mehrere Simulationskomponenten repräsentiert wird, weil der Aufbau des Simulationsmodells es so erfordert.

Das zentrale Integrationselement für die Verwaltung und Anpassung der Simulationsmodelle ist die Produktkomponente auf Fachebene. Diese ist entsprechend mit den konzeptionellen Simulationskomponenten zu verknüpfen. Ziel des Produktmodells auf Fachebene ist es, den Austausch einer spezifischen Produktkomponente hinsichtlich der Auswirkungen auf das Simulationsmodell zu bewerten.

Neuartig an diesem Vorgehen ist, dass auch für die Darstellung dieser Simulationsmodelle auf Modellierungssprachen der konzeptionellen Modellierung zurückgegriffen werden soll. Auf der Simulationsebene wird weiterhin eine zweistufige Erstellung der Simulationsmodelle angestrebt. Das Simulationsmodell 1. Ordnung repräsentiert die Struktur des spezifischen Maschinenmodells unabhängig von der vorliegenden Simulationsaufgabe. Dabei stellen die Modellelemente Platzhalter für Maschinenkomponenten dar, die mindestens einer Komponente auf Fachebene zugeordnet werden kann. Die Komponente auf Simulationsebene ist somit existenzabhängig von der Komponente auf der Fachebene, beinhaltet aber andere Beschreibungsmerkmale, wie bspw. Vektoren und Koordinatensysteme.

Aus den aufgabenneutralen Simulationsmodellen werden die Simulationsmodelle 2. Ordnung abgeleitet. Dazu werden in Abhängigkeit der spezifischen Anforderungen der vorliegenden Simulationsaufgabe geeignete Berechnungsvorschriften den Maschinenkomponenten zugeordnet. Erschwerend für die Modellverwaltung ist, dass dieser Übergang vom aufgabenneutralen zum aufgabenspezifischen Simulationsmodell willkürlich sein kann. Komponenten können dabei zusammengefasst, geteilt, übernommen, weggelassen oder hinzugefügt werden. Für die Bewertung der Simulationsergebnisse und die Verbesserung der Qualität der Simula-

tionsmodelle ist es jedoch notwendig, dass diese Transformationsschritte dokumentiert und nachvollziehbar sind. Weiterhin erfolgt die Parametrierung des Modells. Dazu werden unter anderem Werte der Komponenten aus der Fachebene übernommen, bspw. Masse und Leistung.

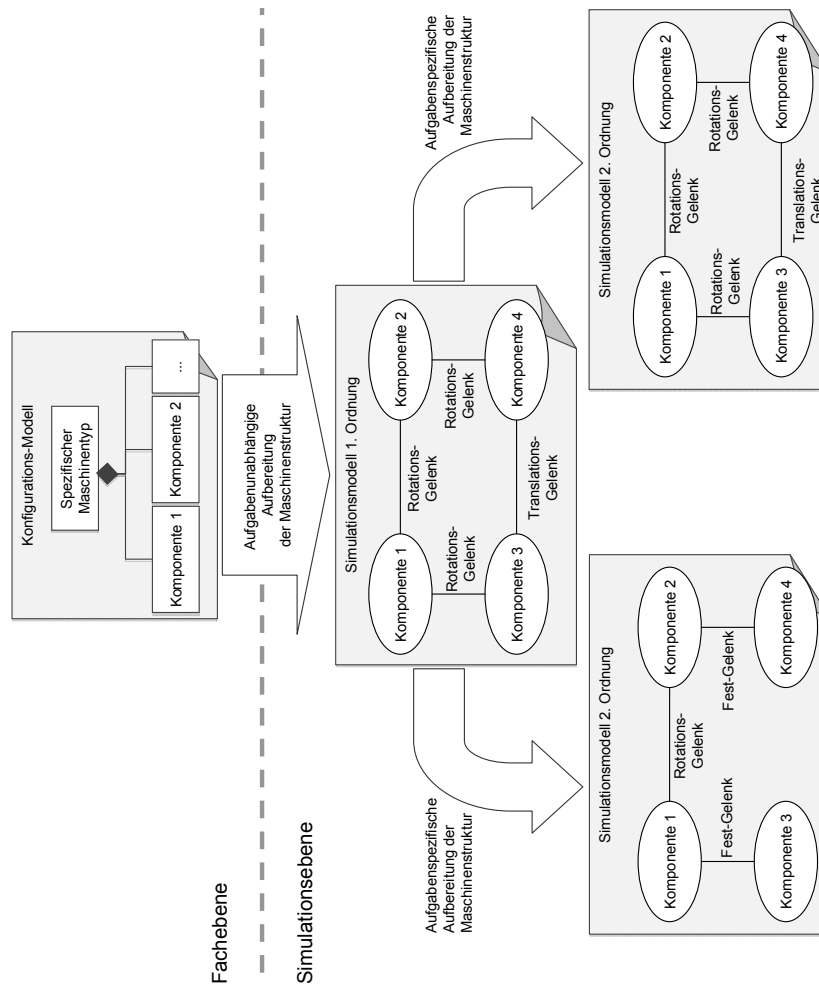


Abb. 2. Beispielhafte Modelltransformation von der Fachebene in die Simulationsebene

Neben den technischen Herausforderungen der werkzeuggestützten Ableitung von Konfigurationsmodellen aus Referenzmodellen ist bei dem beschriebenen Vorgehen die semantische Integration der verschiedenen Modelle sicherzustellen. Das folgende Kapitel stellt dabei die herausragende Rolle eines kontinuierlichen und systematischen Referenzmodellmanagementsystems vor.

4 Kontinuierliche Modellverwaltung als Voraussetzung zur erfahrungsbasierten Modellevolution

Die semantische Integration der Modelle auf unterschiedlichen Abstraktionsebenen, aber auch die Verwaltung der Beziehung zwischen dem ursprünglichen Referenzmodell und dessen abgeleiteten Modellen ist notwendig, um frühere Modelllösungen zu analysieren, zu bewerten und zu vergleichen. Nur unter diesen Voraussetzungen sind eine systematische Evolution der Referenzmodelle und die Qualitätsverbesserung der interaktiven Maschinensimulation möglich.

Der Dienstleistungsnehmer erwartet, dass er von den Erfahrungen des Dienstleistungsanbieters profitiert. Um die Dienstleistung der interaktiven Maschinensimulation erfolgreich anbieten zu können, sollten die Simulationserfahrungen des Dienstleisters größer sein als die des Maschinenherstellers. Das heißt, er sollte mehr Projekte durchgeführt und vielseitigere Probleme gelöst haben. Diese Erfahrung sollte sich in der Fähigkeit des Dienstleisters niederschlagen, Simulationsmodelle effektiv und effizient erstellen zu können.

Auf der anderen Seite kann der Dienstleister sein Angebot dahingehend erweitern, dass er die kundenspezifischen Modelle hinsichtlich neuer Erkenntnisse aktualisiert.

Voraussetzung, um beide Anforderungen erfüllen zu können, ist eine systematische Erfassung der Projekterfahrungen sowie eine methodische Weiterentwicklung des Referenzmodells. Beide Aspekte werden in den folgenden Abschnitten näher diskutiert.

4.1 Erfahrungsbasierte Modellverbesserung

Eine einzelne Erfahrung stellt eine Schlussfolgerung (Erfahrungsurteil) eines Subjekts dar, welches aufgrund der subjektiven Wahrnehmung und Interpretation der Realwelt (Erfahrungssituation) zu dieser gekommen ist (Hammel 1997). Nimmt das Subjekt viele Erfahrungssituationen wahr, in denen es zu ähnlichen Erfahrungsurteilen kommt, kommt es zu einer Verallgemeinerung des Erfahrungsurteils. Das bedeutet, dass die Erfahrung nicht mehr auf die einzelne Situation zurückgeführt werden kann, sondern als allgemeingültig erklärt wird. In diesem Zusammenhang wird Erfahrung oft auch im Sinne von ausgebildeten Fähigkeiten des Subjekts verwendet (Hammel 1997).

Neben menschlichen Individuen wird auch einer Organisation die Fähigkeit der Erfahrung zugesprochen. Stellt eine Organisation das Subjekt im Erfahrungsprozess dar, so kann von einer organisationalen Erfahrung gesprochen werden. Eine Organisation kann dabei als ein System aufgefasst werden, welches eine eindeutige Grenze zu seiner Umwelt aufweist und durch eine Zielausrichtung sowie eine geregelte Arbeitsteilung geprägt ist (Schreyögg 2008). Das Dienstleistungsunternehmen und seine Mitarbeiter, die an der Durchführung der Dienstleistung beteiligt sind, sind in dem vorgestellten Ansatz als Organisation zu interpretieren. Die

Erfahrungen, die im Rahmen der Simulationsprojekte gemacht werden, gelten somit als organisationale Erfahrung.

Der Wert einer Erfahrung für eine Organisation wird durch ihr Potenzial bei der zukünftigen Aufgabendurchführung und somit zur Erreichung der gesetzten Ziele bestimmt. Die Differenzierung der Potenzialstufen von Erfahrungen erfolgt anhand der Kriterien Neuheit, Wirkungskraft, Wahrscheinlichkeit der Wiederholung, Kausalitätszusammenhänge und Reichweite (Esswein und Lehrmann 2009).

- *Potenzialstufe 0 (wertlos)*
Die Erfahrung hat keine Auswirkung auf die organisationale Zielerreichung oder die Wahrscheinlichkeit des Wiederauftretens der Erfahrungssituation geht gegen Null. Der Aufwand für die Verwaltung der Erfahrung übersteigt demnach dem geschätzten Nutzen.
- *Potenzialstufe 1 (niedrig)*
Die Erfahrung bestätigt die organisationalen Erwartungen und wurde in ähnlicher Weise bereits in der Vergangenheit gemacht. Bestätigende Erfahrungen führen zu einer Verbesserung der Prozesssicherheit im Unternehmen. Diese Art der Erfahrung kann daher herangezogen werden, um die bestehende Erfahrungsdatenbank zu pflegen. Eine bestätigende Erfahrung kann darüber hinaus dazu führen, dass Erfahrungen, die bisher als Einzelerfahrungen verwaltet wurden, Einfluss auf die Veränderung des Referenzmodells haben.
- *Potenzialstufe 2 (mittel)*
Die Wirkungskraft der Erfahrung auf die Erreichung der Unternehmensziele war mindestens spürbar. Die Wahrscheinlichkeit der Wiederholung ähnlicher Erfahrungssituationen kann jedoch schwer abgeschätzt werden, da die Kausalitätszusammenhänge weitestgehend unbekannt sind. Der Transfer dieser Erfahrung ist somit riskant.
- *Potenzialstufe 3 (hoch)*
Erfahrungen dieser Potenzialstufe wurden als neu und mit mindestens spürbarer Wirkungskraft auf die Zielerreichung bewertet. Weiterhin sind deren Kausalitätsbeziehungen bekannt. Zu entscheiden ist, ob die Erfahrung Auswirkung auf die Inhalte des Referenzmodells hat oder eher dazu geeignet ist, in einem systematischen Management von Einzelfällen aufgenommen zu werden. Diese Entscheidung ist in Abhängigkeit von der Reichweite der Erfahrung und der Wahrscheinlichkeit der Wiederholung zu treffen.

Werden aufgrund der gemachten Erfahrungen die Inhalte des Referenzmodells geändert, so wird die Erfahrung aber nicht selbst gespeichert, sondern nur deren Konsequenz. Die Erfassung des Erfahrungsinhalts kann somit in verschiedener Weise erfolgen:

- *Als Modellbestandteil:* Die verwendete Modellierungsmethode stellt ein eigenes Konzept zur Modellierung von Erfahrungselementen zur Verfügung. Das Problem-Lösungs-Paar wird in dieser Form direkt an das entsprechende Element im Pro-

dukt- bzw. Prozessmodell gebunden. Es dokumentiert Erfahrungen, welche die Organisation bei der Anwendung des Modells gemacht hat und für zukünftige Anwendungen nützlich sein können. Die direkte Annotierung der Erfahrung an die entsprechenden Modellelemente ermöglicht die leichte Identifikation von möglichen Problemsituationen bei der Modellanwendung. Im Folgenden wird sie auch als Kommentierung des Modells bezeichnet.

- *Als Modelländerung:* Erfahrungen können sich aber auch in einer Modelländerung ausdrücken. Werden die Modellaussagen des Produkt- oder Prozessmodells geändert, so stellt diese Änderung meist die Lösung einer zuvor empfundenen Problemsituation dar. Auf diesem Weg wäre jedoch nur die Lösung aber nicht das behobene Problem, also die originäre Erfahrung, dokumentiert. Ein geeignetes Konfigurationsmanagement muss an dieser Stelle die Nachvollziehbarkeit dieser Änderung und insbesondere ihrer Gründe dokumentieren. Dabei kann es sich um ein Annotation handeln, die auf unstrukturierte Dokumente, wie bspw. natürlichsprachige Erfahrungsberichte, verweist, oder es können eigene Teilmodelle erstellt werden, die die Nachvollziehbarkeit der Modellkonstruktion erhöhen sollen (vgl. dazu die Methode Rationale-Ansätze nach Rossi et al. 2004).

In Abhängigkeit der Potenzialstufe, der die gemachte Erfahrung zugeordnet werden kann, ist die Änderung des spezifischen Modells bzw. des Referenzmodells oder die reine Dokumentation der Erfahrung zu empfehlen. Erfahrungen mit geringem Innovationspotenzial (Potenzialstufe 0 bzw. 1) sind vernachlässigbar, da der Erfassungsaufwand den erwarteten Nutzen übersteigt. Lediglich die Dokumentation von Erfahrungen der Potenzialstufe 1, die strittige bzw. unsichere Modellaussagen bestätigen, können als Argumente in der Modellkonstruktion herangezogen werden und somit einen Nutzen für die Organisation stiften. Sie haben jedoch keine Auswirkung auf die Modellaussagen, sondern werden lediglich als „Zusatzinformationen“ an die entsprechenden Modellelemente annotiert.

Erfahrungen der Potenzialstufe 2 sollten aufgrund ihrer unbekanntenen Kausalitätszusammenhänge lediglich an die entsprechenden Modellelemente des Referenzmodells annotiert werden, so dass der Modellnutzer abschätzen kann, mit welcher Wahrscheinlichkeit die Erfahrung Auswirkung auf den vorliegenden Fall hat und ob sie Einfluss auf die Konstruktion des spezifischen Modells haben sollte.

Lediglich Erfahrungen der Potenzialstufe 3, deren Reichweite und Wiederholungswahrscheinlichkeit so hoch ist, dass sie für den gesamten Geltungsbereich des Referenzmodells gültig sind, sollten als Modelländerung in das Referenzmodell eingehen. Darüber hinaus ist zu entscheiden, ob die Erfahrung, die zur Modelländerung führte, als Entwurfsentscheidung an das entsprechende Modellfragment annotiert werden sollte. Dieses Vorgehen würde die Nachvollziehbarkeit der Modellkonstruktion erhöhen und dem Modellnutzer damit die Möglichkeit bieten, die Gültigkeit der Modellaussagen für das vorliegende Modellierungsproblem abzuschätzen zu können.

Da potentiell in allen Prozessschritten Erfahrungen gesammelt werden können, muss eine Erfahrungserfassung in allen bearbeiteten Aufgaben erfolgen. Eine anschließende Bewertung muss entscheiden, welche Auswirkung die Erfahrung auf existierende Artefakte im Unternehmen hat (bspw. das Referenzmodell) und in welcher Weise sie gespeichert wird. Aus diesem Grund wird in den folgenden Abschnitten die Modellierungsaufgabe bei der interaktiven Maschinensimulation näher untersucht, um die Abhängigkeiten der betroffenen Artefakte identifizieren und somit die Anforderung an eine kontinuierliche Referenzmodellverwaltung ableiten zu können.

4.2 Beziehungspfade zwischen Referenzmodell und abgeleiteten Modellen

Die Nutzung eines Referenzmodells bei der Erstellung von Simulationsmodellen zur interaktiven Maschinensimulation ermöglicht die systematische Wiederverwendung von existierenden Modelllösungen. Um die Dienstleistungsqualität zu verbessern und die Wettbewerbsposition des industriellen Dienstleisters zu stärken, indem er kontinuierlich die Erfahrungen in der Maschinensimulation in das Referenzmodell integriert, müssen die Transformationsschritte dokumentiert und nachvollziehbar sein.

Braun (2007) hat drei typische Szenarien identifiziert, die mögliche Beziehungen zwischen Referenzmodell und abgeleiteten Modellen charakterisieren. Diese Szenarien werden in Abb. 3 dargestellt.

Grundsätzlich kann neben dem Referenzmodell zwischen zwei disjunkten Mengen von aufgabenspezifischen Modellen unterschieden werden. Dabei wird zwischen Modellen unterschieden, die unabhängig von dem betrachteten Referenzmodell erstellt wurden, und Modellen, bei deren Erstellung auf das Referenzmodell zurückgegriffen wurde.

In Szenario I werden ein Referenzmodell aus existierenden Modelllösungen abgeleitet und projektspezifische Lösungen zu Wiederverwendungszwecken aufbereitet. Szenario II stellt dagegen die Ableitung von aufgabenspezifischen Modellen aus dem Referenzmodell dar. Diese beiden Szenarien werden in der herkömmlichen Literatur zur Referenzmodellierung als *Design for Reuse* und *Design with Reuse* bezeichnet (vom Brocke 2007). Bei der aufgabenspezifischen Ableitung der Modelle sollte bspw. auf ähnliche, bereits existierende Modelllösungen zurückgegriffen werden. Dieses Prinzip sollte jedoch auf für spezifische Teilprobleme gelten, die unter Umständen unabhängig von der übergeordneten Simulationsaufgabe sind.

Eine herausfordernde Problemstellung für dieses Szenario ist die Integration der Fachebene und der Simulationsebene. Die Zuordnung von Modellelementen auf Fachebene zu Modellelementen auf Simulationsebene kann nicht auf Sprachebene erfolgen, sondern muss im Modell definiert werden. Es ist zu klären, ob ein eigenes Teilmodell zur Beschreibung der Ebenenbeziehungen sinnvoll einsetzbar ist. Dazu müssten entsprechende Konzepte, wie bspw. geeignete Beziehungstypen,

in die Definition der Modellierungssprache aufgenommen werden. Insbesondere der Aufwand zur Erstellung und Pflege dieser Beziehungsmodelle sollte sorgfältig kalkuliert und bewertet werden. Ein weiterer denkbarer Ansatz wäre die semantische Verlinkung der beiden Modellebenen bspw. mit Hilfe von Modell-Tagging-Verfahren (Fengel et al. 2008) oder semantischen Modellierungstechniken. Soll eine Produktkomponente ausgetauscht werden, so können aufgrund der ebenenübergreifenden Zuordnung der jeweiligen Modellelemente die vom Austausch betroffenen Teilmodelle bzw. Modellelemente identifiziert werden.

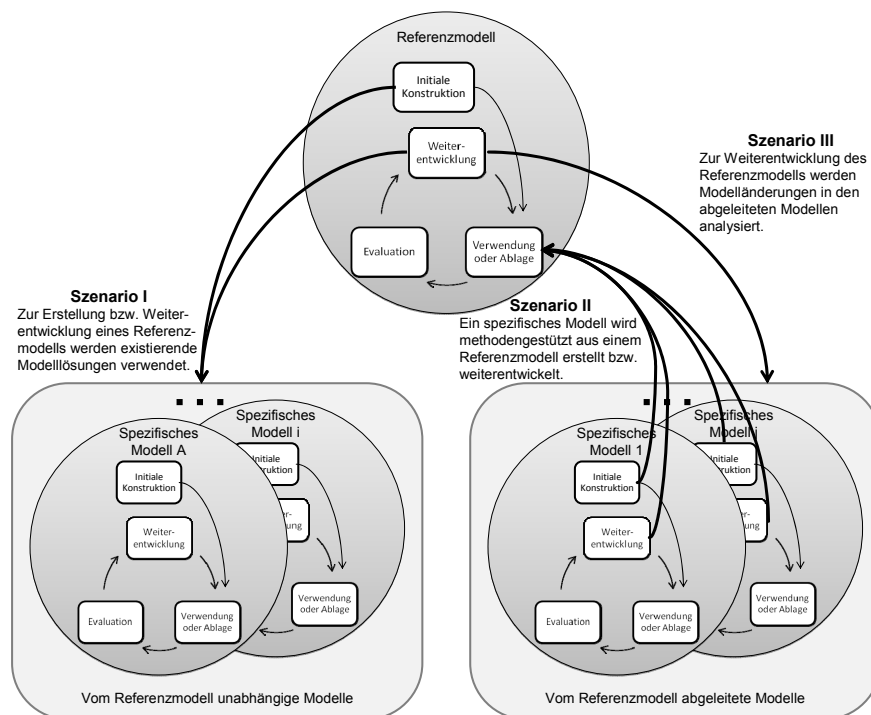


Abb. 3. Beziehungs-Szenarien zwischen Referenzmodell und projektspezifischen Modellen (Braun 2007)

Ein bisher weitgehend unberücksichtigtes Szenario stellt Szenario III dar. Dieses beschreibt die Weiterentwicklung des Referenzmodells, die aufgrund der Modelländerungen in den abgeleiteten Modellen oder durch Analyse von unabhängigen Modellen erfolgt. Unter dem Aspekt der erfahrungsbasierten Evolution des Referenzmodells erhält Szenario III eine besondere Bedeutung für die modellbasierte Maschinensimulation.

Wie bereits erwähnt, können in allen Prozessschritten Erfahrungen gesammelt werden. Abb. 4 charakterisiert sechs Erfahrungssituationen, die bei der Durchführung der vorgestellten Methode zur interaktiven Maschinensimulation bezüglich

der verwendeten Modellartefakte gemacht werden können. Diese Erfahrungen können in Abhängigkeit von deren Potenzialbewertung zur Evolution des Referenzmodells beitragen. Die Versionsbeziehungen im Sinne einer Historie (Vorgänger-Nachfolgebeziehung) sind als Intra-Ebenen-Beziehungen zwischen Modellen gleichen Typs dargestellt. Modellvarianten, im Sinne aus dem Referenzmodell abgeleitete spezifische Modelle (Thomas 2008) werden dagegen auf unterschiedlichen Modellebenen dargestellt. Zusätzlich wurde der Aspekt der Modellierungssprache berücksichtigt und die Besonderheit von Referenzmodellierungskonzepten betont.

Modellversionen (evolutionärer Beziehungspfad)

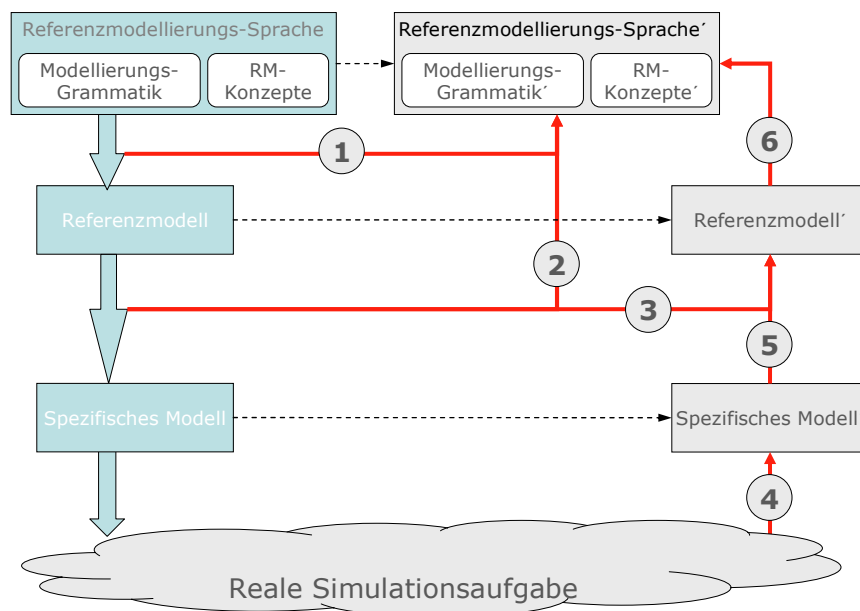


Abb. 4. Erfahrungs-basierte Modellevolution

Die erste Situation kennzeichnet die Konstruktion eines Referenzmodells unter Verwendung einer Modellierungssprache. Zur Erstellung eines Referenzmodells wird dazu auf Modellierungskonstrukte zurückgegriffen, die zur Formulierung der Modellaussagen über den betrachteten Gegenstand notwendig sind. Darüber hinaus sind Konstrukte notwendig, welche die Anwendung des Referenzmodells zur Konstruktionsunterstützung spezifischer Modelle ermöglicht (Braun 2007, S. 74). Während der Konstruktion des Referenzmodells kann es zu Erfahrungen kommen, welche die Änderung oder die Kommentierung der Referenzmodellierungssprache erfordern.

Beim regelbasierten Ableiten von spezifischen Modellen aus Referenzmodellen kann die Anforderung nach Änderungen der im Referenzmodell verwendeten Sprachkonzepte auftreten, wenn die verwendeten Konzepte die Ableitung nicht zufrieden stellend unterstützen (Situation 2). Die Erfahrung wird somit bei der Ableitung des spezifischen Modells aus dem verwendeten Referenzmodell gemacht. Diese Erfahrungssituation ist dadurch gekennzeichnet, dass zwischen der Methodenkonstruktion zur Referenzmodellierung und der Anwendung des Referenzmodells eine räumliche und zeitliche Trennung vorliegt. Die Rückmeldung vom Modellanwender zum Methodenkonstrukteur muss daher systematisch unterstützt werden, um eine sinnvolle Evolution des Referenzmodellierungssprache zu ermöglichen.

Weiterhin können beim Ableiten des spezifischen Modells aus dem Referenzmodell vom Fachexperten Unzulänglichkeiten in den Modellaussagen entdeckt werden (Situation 3). Sind diese für den gesamten Aussagenraum des Referenzmodells gültig, können sie eine Änderung des Referenzmodells erfordern.

Die Anwendung des spezifischen Modells zur interaktiven Maschinensimulation stellt dessen Evaluation dar (Situation 4). Werden dabei Unzulänglichkeiten im Modell entdeckt, kann es zu dessen Änderung kommen. Wenn diese Änderung allgemeiner Art ist, also den Adressatenkreis des Referenzmodells betrifft, kann es zu einer Änderung des Referenzmodells führen (Situation 5). Die Integration neuer Modellinhalte in das Referenzmodell kann ihrerseits eine Änderung der Referenzmodellierungssprache bedingen, indem bspw. optionale Varianten deklariert oder neue Ableitungsregeln definiert werden müssen.

Um die Auswirkungen von Änderungen überhaupt bewerten zu können, ist ein geeignetes Konfigurationsmanagement für Referenzmodelle notwendig. Braun (2007) weist in seiner Arbeit darauf hin, dass nur funktionale Beziehungspfade systematisch verwaltet werden können und setzt somit eine strikte Referenzierung für ein automatisiertes Referenzmodellmanagementsystem voraus. Ziel zukünftiger Forschungen ist es jedoch, Technologien zu entwickeln, die auch lose Referenzierungsbeziehungen verwaltbar machen. Darunter werden Modellableitungen verstanden, die auf nicht generierende Konstruktionstechniken zurückzuführen sind.

Das Ziel, die Kundenbindung zu stärken, indem existierende spezifische Maschinenmodelle gepflegt und um neue, relevante Modelllösungen verbessert werden, kann nur mit Unterstützung eines geeigneten Konfigurationsmanagementsystems erreicht werden (Braun et al. 2007). Dieses ist notwendig, um problemspezifisch und gezielt auf alle relevanten Modelle zugreifen zu können. Die erfahrungsbasierten Aktualisierungs- bzw. Verbesserungsaktivitäten werden somit in zwei Richtungen ausgeführt. Neuerungen im spezifischen Modell müssen im Referenzmodell erfasst werden. Neuerungen im Referenzmodell müssen in die abgeleiteten Modelle transportiert werden. Dazu müssen jedoch die Anforderungen der Simulationsaufgabe und die Entwurfsentscheidungen, die zur Modelltransformationen geführt haben, nachvollziehbar dokumentiert werden.

5 Zusammenfassung

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Durchführung von interaktiven Maschinensimulationen ein hohes Potenzial als industrielle Dienstleistung aufweist. Die Methoden der Informationsmodellierung, insbesondere der Referenzmodellierung, können hier als Schlüsseltechnologie fungieren, um eine effiziente und effektive Dienstleistungserbringung zu gewährleisten. Um dieses Ziel zu erreichen, muss jedoch ein initiales Referenzmodell erstellt und geeignete Konstruktionstechniken für die Ableitung der aufgabenspezifischen Modelle entwickelt werden.

Die Wirtschaftsinformatik bietet dazu ein umfassendes Methodenwissen im Bereich der Informationsmodellierung und im Besonderen der Referenzmodellierung. Der Schwerpunkt dieser Forschungen liegt jedoch auf der Ableitung spezifischer Modelle aus bestehenden Referenzmodellen (Fettke und Loos 2004). Die Untersuchung von Modellbeziehungen während des gesamten Lebenszyklus der Modelle und deren gegenseitige Beeinflussung in der Evolution, wird dagegen nur unzureichend betrachtet. So wird zwar die Bedeutung der Dokumentation und Verwaltung der semantischen Beziehungen zwischen den Modellen für die Analyse von Abhängigkeiten und die Weiterentwicklung der Modelle erkannt (Thomas 2008; Fellmann und Thomas 2009), jedoch werden die Rückkopplungsbeziehungen zwischen Modellen aufgrund von Erfahrungen bei der Modellanwendung nur unzureichend in den bisher definierten Modellbeziehungen berücksichtigt. Braun (2007) definiert zwar die möglichen Beziehungen zwischen Referenzmodell und spezifischen Modellen, charakterisiert sie aber nicht näher, so dass kaum Anforderungen an eine systematische Evolution und deren Werkzeugunterstützung abgeleitet werden können.

Der vorliegende Beitrag hat erste Anforderungen an die Referenzmodellierung und ein adäquates Referenzmodellmanagementsystem definiert. Die in Kapitel 3 beschriebene Methode muss demzufolge um die Pflege und Weiterentwicklung der Referenzmodell-Basis erweitert werden. Entsprechend der gemachten Erfahrungen und ihrer Bewertung müssen Modellanpassungen oder Anmerkungen zu Teilmodellen vorgenommen werden. Erfahrungen, die zur Änderungen des Referenzmodells bzw. der abgeleiteten Modelle führen, können in jedem Prozessschritt bei der Durchführung der Dienstleistung gemacht werden. Die methodische Weiterentwicklung der Modelle unterstützt eine kontinuierliche Verbesserung der Dienstleistungsqualität, indem es systematisch Projekterfahrungen in das Referenzmodell integriert. Darüber hinaus wird durch die konsequente Anwendung der Methode systematisch Fachkompetenz in der Simulation von Maschinen aufgebaut und gepflegt. Diese Kernkompetenz ermöglicht eine effiziente Erbringung der Dienstleistung und sichert damit die Wettbewerbssituation auf den neuen, sich aber schnell entwickelnden Markt.

Die Analyse der verschiedenen Erfahrungssituationen in Kapitel 4 ermöglicht die Identifizierung der verschiedenartigen Modellbeziehungen, die in einem Referenzmodell-Konfigurationsmanagementsystem verwaltet werden müssen. In nach-

folgenden Forschungen können bspw. die Integrationsarchetypen nach Winter et al. (2009) herangezogen werden, um notwendige Modelloperationen zu definieren, die jeweils von einem Modellverwaltungssystem unterstützt werden müssen. Es werden somit zukünftig verstärkt Forschungen hinsichtlich der Entwicklung und Evaluation von Methodenfragmenten zur Referenzmodellierung angestrebt, die auch späte Phasen des Lebenszyklus der betroffenen Modelle, wie bspw. deren Evolution, abdecken. Insbesondere die prototypische Implementierung der Methoden in eine geeignete Werkzeugumgebung stellt eine Herausforderung dar. Weiterhin kann die vorliegende Fallstudie aufgrund ihrer Komplexität und Kompliziertheit einen wichtigen Beitrag zur externen Validität der bisher vorwiegend theoretisch diskutierten Ansätze zur Referenzmodellierung leisten.

6 Danksagung

Das Forschungs- und Entwicklungsprojekt „Integrative Produktentwicklung mit virtuellen Prototypen (INPROVY)“ wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) innerhalb des Rahmenkonzepts „Forschung für die Produktion von morgen“ gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut. Weitere Informationen unter www.inprovdy.de.

7 Literaturverzeichnis

- Becker J, Delfmann P, Knackstedt R (2004) Adaption fachkonzeptueller Referenzprozessmodelle. *Industrie Management* 20(1):19–22
- Beverungen D, Kaiser U, Knackstedt R, Krings R, Stein A (2008) Konfigurative Prozessmodellierung der hybriden Leistungserstellung in Unternehmensnetzwerken des Maschinen- und Anlagenbaus. In *Multikonferenz Wirtschaftsinformatik (MKWI) 2008 München*. GITO-Verlag, München, 735–747
- Blinn N, Nüttgens M, Schlicker M, Thomas O, Walter P (2008) Lebenszyklusmodelle hybrider Wertschöpfung: Modellimplikationen und Fallstudie an einem Beispiel des Maschinen- und Anlagenbaus. In *Multikonferenz Wirtschaftsinformatik (MKWI) 2008 München*. GITO-Verlag, München, 711–722
- Braun R (2007) Referenzmodellierung: Grundlegung und Evaluation der Technik des Modell-Konfigurationsmanagements. Technische Universität Dresden, Dissertation
- Braun R, Esswein W, Gehlert A, Weller J (2007) Configuration Management for Reference Models. In Fettke P, Loos P (Hrsg) *Reference Modeling For Business Systems Analysis*. Idea Group, 310–336
- Busse D (2005) *Innovationsmanagement industrieller Dienstleistungen: Theoretische Grundlagen und praktische Gestaltungsmöglichkeiten*. Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden
- Esswein W, Greiffenberg S, Lehrmann S (2009) *Framework zur modellgestützten Simulation*. baumaschine.de, Ausgabe 2/2009
- Esswein W, Lehrmann S, Stark J (2009) The Potential of Reference Modeling for Simulating Mobile Construction Machinery. In *Proceedings of the 12th International Workshop on Reference Modeling*, Ulm

- Esswein W, Lehrmann S (2009) Erfahrungsbasierte Prozessverbesserung. *ERP Management* 5(2):44 – 46
- Fellmann M, Thomas O (2009) Management von Modellbeziehungen mit semantischen WIKIS. In Hansen R, Karagiannis D, Fill H-G (Hrsg) *Business Services: Konzepte, Technologien, Anwendungen*, 9. Internationale Tagung Wirtschaftsinformatik 25.–27. Februar 2009, Band 1. Österreichische Computer Gesellschaft, Wien, 673–682
- Fengel J, Rebstock M, Nüttgens M (2008) Modell-Tagging zur semantischen Verlinkung heterogener Modelle. In Gadatsch A, Vossen G (Hrsg) *EMISA 2008: Auswirkungen des Web 2.0 auf Dienste und Prozesse*, Sankt-Augustin, 53–64
- Fettke P, Loos P (2004) Referenzmodellierung – Langfassung eines Aufsatzes. 16. Working Paper of the Research Group Information Systems & Management. Johannes Gutenberg-Universität Mainz
- Hammel W (1997) *Was ist Erfahrung?* Verlag Dr. Kovac, Hamburg
- Hering E, Modler K-H (Hrsg) *Grundwissen des Ingenieurs*. 14. Aufl, Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag, Leipzig
- Hevner AR, March ST, Park J, Ram S (2004) Design Science in Information Systems Research. *MIS Quarterly* 28(1):75–105
- March ST, Smith GF (1995) Design und Natural Science Research on Information Technology. *Decision Support Systems*, 15(4):251–266
- Peffers K, Tuunanen T, Rothenberger M A, Chatterjee S (2008) A Design Science Research Methodology for Information Systems Research. *Journal of Management Information Systems*, 24(3):45–77
- Rossi M, Ramesh B, Lyytinen K, Tolvanen J-P (2004) Managing Evolutionary Method Engineering by Method Rationale. *Journal of the Association for Information Systems*, 5(9):356–391
- Schreyögg G (2008) *Organisation: Grundlagen moderner Organisationsgestaltung*. Gabler
- Seegy U (2009) *Dienstleistungskompetenz im Maschinen- und Anlagenbau: Eine Untersuchung wesentlicher Handlungspotenziale und ihrer Auswirkungen*. Gabler, Wiesbaden
- Thomas O (2008) Design und Implementation of a Version Management System for Reference Modeling. *Journal of Software*, 3(1):49–62
- vom Brocke J (2007) Design Principles for Reference Modeling: Reusing Information Models by Means of Aggregation, Specialisation, Instantiation, und Analogy. In Fettke P, Loos P (Hrsg) *Reference Modeling For Business Systems Analysis*, Idea Group, 47–75
- Winter R, Aier S, Gleichauf B (2009) Metamodellbasierte Beschreibung von Integrations-typen. *WISU – Das Wirtschaftsstudium* 38(5):705–710