

Methodik für ein simulationsgestütztes logistikintegriertes Projektmanagement im Anlagenbau

A simulation-based approach for logistic-integrated project- management for plant engineering

Sigrid Wenzel, Universität Kassel, Kassel (Germany), s.wenzel@uni-kassel.de

Christoph Laroque, Universität Paderborn, Paderborn (Germany),
christoph.laroque@hni.upb.de

Abstract: Planning and construction of one-of-a-kind products depend always on specific constraints on the customer's site and requirements. Fulfilling contracted due dates and safeguarding the entire process is of highest relevance for the manufacturing companies. However, material flow simulation is mostly not used regularly for the critical assessment of project risks and especially for the relevant logistical processes. This paper describes the first results of a research project aiming at these issues by developing a method for simulation-based project management integrating relevant logistical aspects. After presenting the state-of-the-art in this area, the consortiums requirements are as well presented as a first technical architecture for a decision support toolset. Implemented demonstrations for a simulation-based rating of project plans are discussed and further steps in the research project are pointed out.

1 Motivation und Ausgangslage

Der kundenindividuelle Anlagenbau unterscheidet sich von der stationären Serienfertigung dadurch, dass eine Anlage in der Regel als Unikat in Form einer Baustellenfertigung an verschiedenen Standorten realisiert wird. Die Planung eines derartigen Projektes zur Anlagenrealisierung und -inbetriebnahme ist somit stets in Abhängigkeit von den systemtechnischen und konstruktiven Randbedingungen der Anlage, den lokalen Standortgegebenheiten, den organisatorischen Projektvorgaben (z. B. Bauabschnitte, Produktionsschritte oder Ressourcendisposition) sowie den damit verbundenen logistischen Restriktionen durchzuführen. Die Sicherstellung der zeitlichen Machbarkeit einer Baumaßnahme und die Robustheit der Projektpläne unter Berücksichtigung aller kundenindividuellen Restriktionen auch bei unvermeidbaren Störungen (z. B. aufgrund von fehlendem Material) sind von entscheidender Bedeutung für die Wettbewerbsfähigkeit der an den Baumaßnahmen

beteiligten Unternehmen und ihre Positionierung am Markt. Vor Projektbeginn sowie projektbegleitend muss daher eine Bewertung der Pläne erfolgen, um auf geänderte Randbedingungen in der Produktion oder in Bezug auf das Produkt (die Anlage) reagieren zu können. Zur Festlegung der Projektpläne ist die Einbeziehung der logistischen Prozesse entscheidend, da die Liefertermine meist mit Unsicherheiten versehen sind und z. B. abhängig von den lokalen Gegebenheiten beim Kunden Umsetzungsrisiken bergen können.

Eine umfassende Werkzeugunterstützung findet sich im kundenindividuellen Anlagenbau heute in erster Linie bei der Planung der Anlage selbst. Hier kommen Methoden zur Konstruktion, Simulation, Optimierung und Visualisierung zum Einsatz (zu einem Überblick vgl. beispielsweise Bracht et al. 2011). Die Projektplanung zur Realisierung und Inbetriebnahme einer Anlage wird hingegen oftmals nur mit einfachen Methoden des Projektmanagements (DIN 69901-3 2009) oder der Netzplantechnik (vgl. auch DIN 69900 2009) durchgeführt. Dies ist unzureichend, da diese Werkzeuge die zeitlichen Unsicherheiten der Logistik und des Plans insgesamt nicht abbilden, diesbezüglich kritische Ketten nicht erkennen und die Robustheit von Projektplänen somit nicht bewerten können.

Die im Rahmen dieses Beitrags betrachteten Projekte im Anlagenbau zur Energie-, Kraftwerk- und Umwelttechnik sind neben der Individualität des Produktes insbesondere dadurch gekennzeichnet, dass jedes Einzelprojekt beim Kunden aufgebaut und unter spezifischen logistischen Herausforderungen abgearbeitet werden muss. Darüber hinaus nehmen die Zeiten, die für die Planung, Ausführung und Inbetriebnahme zur Verfügung stehen, stetig ab, damit den Kunden eine schnellere Amortisation der Investitionskosten ermöglicht werden kann. Im Bereich der Konstruktion und Projektdurchführung ist im Anlagenbau genügend Expertise zur Herstellung der Produkte durch die Fachexperten vorhanden. Speziell der Bereich der Planung der Anlagenrealisierung bietet aber noch weiteres Optimierungspotential, um insbesondere auch die logistischen Aspekte zu verbessern. Deren Verkettung und Komplexität führen zu einer erschwerten Planbarkeit des individuellen Projektes beim Kunden. Viele Projektleiter organisieren überdies mehr als ein konkretes Projekt und müssen spezielle Engpassressourcen (z. B. Personal mit einem speziellen Fachwissen) über mehrere Projekte oder in Abstimmung mit ihren Kollegen koordinieren und planen. Hierdurch wird die Komplexität einer Gesamtplanung weiter gesteigert.

Der vorliegende Beitrag stellt ausgehend von den aktuellen Entwicklungen zum Stand der Forschung in diesem Bereich, aber auch in artverwandten Bereichen des Bauwesens, des Schiffbaus und des Maschinenbaus (vgl. Kap. 2), erste Ergebnisse eines gemeinsamen Forschungsvorhabens der Universitäten Kassel und Paderborn vor, das den oben ausgeführten Defizite des Projektmanagements im Anlagenbau durch eine ergänzende Betrachtung logistischer Prozesse innerhalb des Projektmanagements begegnen will und die Entwicklung einer Methodik für ein simulationsgestütztes logistikintegriertes Projektmanagement im Anlagenbau zum Ziel hat. In Kapitel 3 werden zunächst die im Anlagenbau bestehenden Anforderungen kurz erläutert. Im anschließenden Kapitel 4 wird eine technische Architektur diskutiert und ein erstes prototypisches Lösungskonzept zur Simulation von Projektplänen vorgestellt. Angaben zu weiteren ausstehenden Arbeiten des auf zwei Jahre ausgelegten Forschungsvorhabens runden den Beitrag ab.

2 Einsatz der Simulation in der Projektplanung kundenindividueller Unikate

Die in der Serienfertigung für die Absicherung der Logistik schon seit vielen Jahren im Einsatz befindliche ereignisdiskrete Ablaufsimulation wird bei der Realisierung von kundenindividuellen Einmalprodukten nur vereinzelt eingesetzt, dann jedoch sehr erfolgreich. Interessante Entwicklungen finden sich vor allem im Bauwesen (vgl. Chahrour 2007; Weber 2007; Zülch und Börkircher 2007; Günthner und Kraul 2008; Wimmer et al. 2010; Günthner und Bormann 2011; Kugler 2012; Mefisto 2013) und im Schiffbau (vgl. beispielsweise Steinhauer et al. 2007; Steinhauer 2008 und 2011; Beißert et al. 2010; SimCoMar 2013 oder auch SIMoFit 2013).

Diese Forschungsarbeiten zeigen, dass die Betrachtung logistischer Fragestellungen in Kombination mit der Projektplanung nicht ganz neu ist, jedoch mit Simulationsunterstützung bisher vor allem in den Bereichen Bauwesen (Hoch- und Tiefbau) und Schiffbau erfolgen und sich – mit Ausnahme des Schiffbaus – auf Forschungsvorhaben und Einzelanwendungen beziehen. Im Bereich der operativen Steuerung von komplexen Montagesystemen finden zusätzlich Entwicklungen fokussiert auf die Maschinenbelegungs- und Personaleinsatzplanung statt, beispielsweise auf der Basis von Netzplänen, die um heuristische Verfahren erweitert sind (vgl. z. B. Majohr et al. 2008; Schmidt et al 2009; Völker et al. 2009).

Für die Bauplanung gibt es erste Softwarewerkzeuge, die über eine einfache Projektsimulation und Visualisierung die Planung und Steuerung von Großbaustellen unterstützen, indem sie Ereignisse auf dem Lageplan der Baustelle in ihrer zeitlichen Abfolge sichtbar machen (vgl. Afinion 2013). Hierbei handelt es sich allerdings in erster Linie um eine Verknüpfung von Lage- und Terminplan zur Visualisierung ortsveränderlicher Prozesse entlang der Zeitleiste und nicht um eine Simulation der logistischen Zusammenhänge. Andere Werkzeuge dienen der Weg-Zeit-Planung beispielsweise im Straßen-, Gleis-, Tunnel-, Pipeline- und Wasserbau; sie führen alle Informationen zum Bauablauf in entsprechenden Weg-Zeit-Diagrammen zusammen (vgl. TILOS 2013). Einen allgemeinen prozessorientierten Ansatz verfolgt das Werkzeug OTD-PM (vgl. Fraunhofer 2013); hier sollen die Abbildung und Simulation des Projektablaufs mit seinen Ressourcen einschließlich der logistischen Zulieferprozesse über eine Prozesskettenmodellierung in einem separaten Werkzeug parallel zur Projektplanung möglich sein. Auf Basis des Simulators ProModel wird ebenfalls ein Projektsimulator angeboten, der auf Basis von Projektplänen unterschiedliche Szenarien simulieren und analysieren kann (vgl. ProModel 2013). Im akademischen Bereich finden sich Ansätze der Abbildung von Unsicherheiten mittels der Monte-Carlo-Simulation (vgl. Kwak und Ingall 2007). Das Simulationsprogramm Simultrain® (vgl. SIMULTRAIN 2013) dient zu Schulungszwecken von Führungspersonal. Der Benutzer versetzt sich in die Lage eines Projektleiters und trifft Entscheidungen über Projektstruktur und -ablauf mit Hilfe von Managementwerkzeugen. Der Projektablauf ist dabei fest vorgegeben und wird über dynamische Ereignisse wie beispielsweise Krankmeldungen von Mitarbeitern beeinflusst.

Obwohl vereinzelt Werkzeuge zur Simulation von Unsicherheiten in der Projektplanung (z. B. Liefertermine) existieren, werden Unsicherheiten heute im Anlagenbau immer noch fast ausschließlich über die manuelle Integration von zusätzlichen Pufferzeiten in die Projektpläne berücksichtigt. Dies liegt darin

begründet, dass es im Bereich der Projektsimulation heute keine Simulationssoftware gibt, die auf die Bedarfe der KMU im Anlagenbau zugeschnitten ist, mehrere Projektplanungsalternativen gegenüberstellt und zudem logistische Prozesse mittels einer Ablaufsimulation integriert.

3 Anforderungen an die Methodik

Die geplante Methodik zur Bewertung und Verbesserung von Projektplänen für die Anlagenrealisierung und -inbetriebnahme muss neben der eigentlichen Projektplanung sowohl die Unsicherheiten in einzelnen Planungsschritten als auch die logistischen Aspekte (Fläche, Ressourcen sowie notwendige Transport-, Lager-, Bereitstellungs- und Umschlagprozesse) berücksichtigen. Im Einzelnen sollen folgende methodische Ergänzungen zu den heute in der Praxis verwendeten Projektplanungsmethoden erreicht werden:

- Erweiterung von Projektplänen in Form von Flussdiagrammen, Gantt-Charts oder Netzplänen um simulationsbasierte Methoden zur Risikobewertung eines individuellen Projektplans.
- Verbesserung der Planung durch Ablaufsimulation logistischer Prozesse und Risikobewertung als Entscheidungsunterstützungsfunktionen.
- Verbesserung des Gesamtportfolios der Projektplanung (Durchführung eines Multi-Projektmanagements).
- Verbesserung der Projektüberwachung und Reaktion auf Planänderungen.
- Automatische Erzeugung alternativer Projektpläne.
- Verbesserte Projektüberwachung durch 3D-Baufortschrittsvisualisierung.
- Systematische Ablage von Projektdaten zur Wiederverwendung und kontinuierliche Verbesserung der Planungsdatenqualität durch Rückführung der Ist-Daten aus den Planungsprozessen und Verwaltung von Erfahrungswerten vergangener Projekte.

Die spezifischen Anforderungen der über einen projektbegleitenden Ausschuss in das Forschungsvorhaben eingebundenen Unternehmen ergänzen die obigen Anforderungen:

- Unterstützung einer disziplinübergreifenden Zusammenarbeit, Schaffung von Transparenz und Verantwortlichkeiten.
- Einbindung von Erfahrungswissen aus vorangegangenen Projekten (aus Projekten lernen).
- Schaffung einer gültigen Datenbasis, automatische Integration der Daten in eine Projektplanungsmethodik und Vernetzung zum Beispiel mit einem unternehmensinternen ERP-System (ERP: Enterprise Resource Planning).
- Optionale Einbindung von GIS- und Wetterdaten in Abhängigkeit von Produkt und Fertigung (GIS: Geographisches Informationssystem).

Kontrovers wird in den Unternehmen allerdings die automatische Generierung von Bauanleitungen als Unterstützung des Montage- und Bauprozesses diskutiert. Diese Anforderung hängt stark von spezifischen Restriktionen ab, beispielsweise der Vergabe des Montage- oder Bauprozesses an Drittfirmen, ggf. sogar im Ausland, mit jeweils neuem Personal pro Projekt.

Eine zwingende Voraussetzung zur Erreichung einer hohen Akzeptanz der zu entwickelnden Methodik ist gemäß den Mitgliedern des projektbegleitenden

Ausschusses, dass die Projektpläne weiterhin mit den heute in den jeweiligen Unternehmen eingesetzten Methoden zu erstellen sind; gleichzeitig sollen die Methoden sinnvoll vernetzt und qualitativ hochwertige Analysen integriert werden. Erste Interviews in den beteiligten Unternehmen des Anlagenbaus zur Energie-, Kraftwerk- und Umwelttechnik zeigen allerdings, dass die verwendeten Projektmanagementpläne und Planungsprozesse stark abhängig sind von der Unternehmensgröße, dem Projektvolumen und dem zu erstellenden Produkt selbst. Die Bandbreite der eingesetzten Methoden reicht von Prozessstrukturplänen, Meilensteinplänen, Netzplänen, Gantt-Charts, Ressourcen-, Kosten- und Risiko-diagrammen, Fertigungsplänen bis hin zu Excel-Listen, wobei einzelne Pläne ggf. gar nicht (regelmäßig) zum Einsatz kommen. Eine ergänzende detaillierte Bestandsaufnahme soll daher in den nächsten Monaten klären, welche Gründe für oder gegen den Einsatz der jeweiligen Methoden sprechen.

Um dem Wunsch der Unternehmen nach einem transparenten Projektmanagementprozess nachzukommen und auch die Einbindung von Erfahrungswissen aus vorangegangenen Projekten zu ermöglichen, wird zum einen im Sinne eines Workflows ein Vorgehensmodell zur logistikintegrierten Projektplanung definiert, zum anderen werden sogenannte Referenzprojektpläne mit den jeweiligen produkt-, technologie-, prozess- oder auch ressourcenbedingten Restriktionen formuliert. Mit ihnen kann auch die potentiell erreichbare Qualität der Planungsergebnisse bestimmt und die Ermittlung angemessener Detaillierungsgrade der Logistikmodelle festgelegt werden, die für die Planung der logistischen Prozessschritte genutzt werden.

4 Prototypisches Lösungskonzept

Die in dem Projekt erarbeiteten Teilergebnisse werden in eine technische Gesamtkonzeption eingebettet, um die einzelnen Teilergebnisse jeweils konsistent zu halten und im Ergebnis des Forschungsprojektes eine integrierte Lösung zu realisieren. Basis dieser Integrationen ist ein Entwurf zur Gesamtarchitektur, der im folgenden Abschnitt kurz beschrieben wird.

4.1 Architekturentwurf

Die entwickelte Methodik wird als werkzeugneutrale Integration von Logistikprozess- und Projektmanagement mit automatischer Modellgenerierung konzipiert und erlaubt eine Anpassung auf die operativen Entscheidungsanforderungen der KMU. Sie soll im Wesentlichen zeitliche und räumliche Gegebenheiten besser berücksichtigen sowie eine semi-automatische Erzeugung, simulative Absicherung und Optimierung von Projektplänen in Abhängigkeit von Anlagenkomponenten, Liefertermin und Lieferort bieten. Eine Ablaufsimulation logistischer Prozesse zur Bewertung dieser spezifischen Risiken in den Projekten wird integriert; der jeweilige Projektfortschritt wird in 3D-Modellen der zukünftigen Anlagen visualisiert. In einer weiteren Ausbaustufe wird die simulationsgestützte Optimierung mehrerer Projekte ermöglicht.

Abbildung 1 zeigt einen ersten Entwurf der technischen Gesamtarchitektur auf Basis eines in der Applikationsanwendung üblichen 4-Ebenen-Architektur (vgl. z. B. Hess et al. 2006).

Auf der Ebene der Bestandskomponenten finden sich die relevanten Projekt- und Produktdaten, Projekthistorien sowie alle zusätzlichen externen Datenbanken (in Abb. 1 dunkelgrau dargestellt, z. B. Wetterdaten). Die Daten der Bestandsebene werden von einzelnen Funktionskomponenten genutzt, die über die Prozesskomponenten mit den Anwendern (über die Interaktionskomponenten) sowie untereinander kommunizieren. Die anfallende Datenkommunikation ist aus Übersichtlichkeitsgründen nicht dargestellt.

Die Ebene der Funktionskomponenten beziehen sich auf die Bereitstellung von Funktionen zur Projektplanerstellung, -simulation und -optimierung, zur Logistiksimulation, zur 3D-Visualisierung, zur Ableitung von Referenzprojektplänen aus Erkenntnissen von bereits durchgeführten Projekten sowie zur mitführenden und nachgelagerten statistischen Auswertung von Projekt- und Logistikscenarien. Einzelne Funktionskomponenten werden über bereits am Markt zur Verfügung stehende Werkzeuge umgesetzt. Der Schwerpunkt der Umsetzung dieser Ebene liegt somit auf der Integration vorhandener Softwareprodukte.

Auf der Ebene der Prozesskomponenten unterstützt ein Vorgehensmodell zur logistikintegrierten Projektplanung den Aufruf der einzelnen Funktionskomponenten und dient als Verfahrensgrundlage für die Ausführung der jeweiligen Teilaufgaben.

Die Ebene der Interaktionskomponenten stellt über eine Bedienoberfläche dem Anwender die Modellierungs-, Simulations-, Analyse- und Visualisierungsassistenten zur Verfügung.

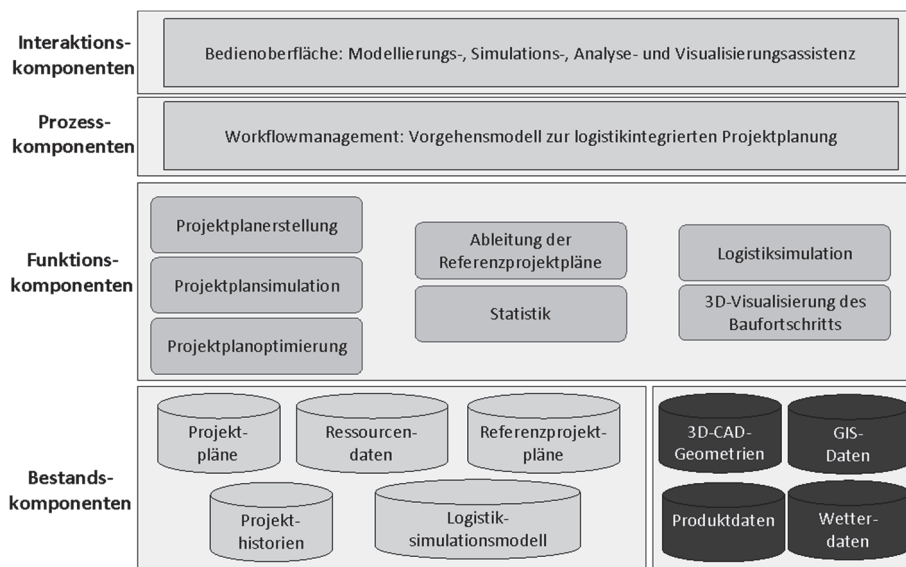


Abbildung 1: Entwurf einer integrierten Gesamtarchitektur

Der im Rahmen des Forschungsvorhabens geplante Demonstrator unterliegt der in Abbildung 1 dargestellten Gesamtarchitektur. Die Bestandskomponenten sowie die Werkzeuge auf der Ebene der Funktionskomponenten orientieren sich an den Bedarfen der beteiligten Unternehmen und den dort existierenden Werkzeugen. Das

Vorgehensmodell zur logistikintegrierten Projektplanung überführt die typischen Projektmanagementvorgehensweisen bei den beteiligten Unternehmen zu einem gemeinsamen Vorgehensmodell. Ziel ist eine unternehmensspezifische Adaption in den einzelnen Schritten des Vorgehensmodells.

4.2 Zusammenspiel von Projekt- und Logistiksimulation

Wie bereits in Kapitel 2 dargestellt liegt der Unterschied des hier vorgestellten Ansatzes zu den heute existierenden Werkzeugen der Projektplanung in der exakteren Planung von Unsicherheiten. Die heutige manuelle Planung von Pufferzeiten in den Projektplänen führt zu hohem Pufferzeitbestand, dessen Reduktion bei der Projektabwicklung zu keinerlei positiven Effekten bei Nichtausnutzung dieser Pufferzeit führt. Mittels des integrativen Ansatzes sollen die notwendigen Pufferzeiten für logistische Aufgaben konkretisiert werden. Hierzu werden diese zunächst auf Basis von Logistiksimulationen ermittelt und dann als Vorgaben in den Projektplan zurückgeführt. Im Anschluss kann der Projektplan einer Simulation unterzogen und entsprechend verbessert werden. Bei Veränderung des Projektplans können diese erneut an die Logistiksimulation weitergeleitet werden. Grundlage der Logistiksimulationen sind die für die KMU des Anlagenbaus ermittelten Logistikprozesse, die genutzt werden, um die jeweiligen Logistikmodelle in einem konkreten Projekt zu generieren.

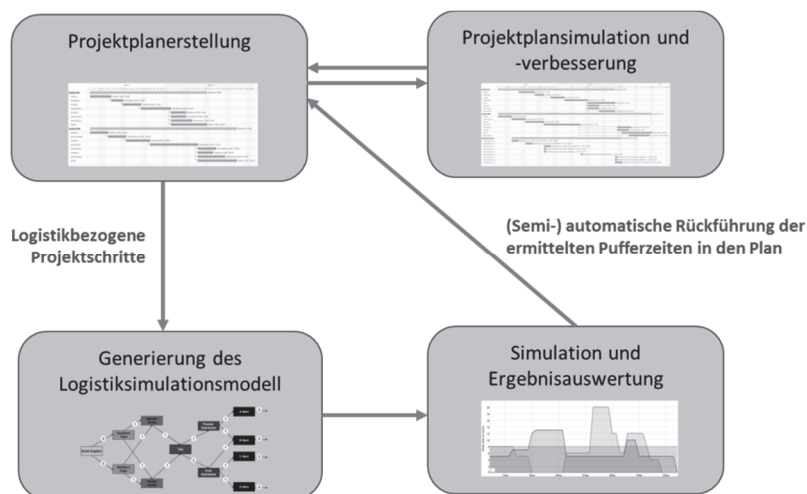


Abbildung 2: Projekt- und Logistiksimulation

4.3 Prototypische Projektsimulation

Zu Demonstrationszwecken wurde bereits in einem ersten Schritt die simulative Absicherung von Projektplänen realisiert. Einzelne Projektschritte werden auf Basis unterschiedlicher Aufgabentypen zu komplexen Projekten mit internen Abhängigkeiten modelliert und mittels der Monte-Carlo-Simulation hinsichtlich der Robustheit des Gesamtplans überprüft. Projekte sind in der dafür erstellten Datenstruktur die zu simulierenden Instanzen. Sie werden mindestens aus einem Anfangsdatum, einem geplanten Enddatum und einem verantwortlichen Projektleiter

beschrieben. Weiterhin bestehen Projekte aus einer beliebigen Anzahl von beteiligten Vorgängen. Jeder Vorgang wird neben Standardattributen wie *ID* (Bezeichnung) und Querverknüpfungen wie bspw. *P_ID* (Projektbezug) auch über die verwendeten Ressourcen beschrieben, um später Kapazitäten zu berücksichtigen und Auslastungen zu ermitteln. Um Unsicherheiten in der Schätzung zu quantifizieren, wird für jeden Vorgang eine minimale und maximale Laufzeit als Parameter eingeführt. Beispielsweise wäre ein Projektleiter bei einer Eingabe von 5 bis 10 Tagen mit seiner Schätzung unsicherer als bei einer Eingabe von 5 bis 6 Tagen. Eine weitere Parameterkombination ist das Start- bzw. Enddatum eines Vorgangs. Durch diese können im Projektplan feste Termine, Meilensteine oder Deadlines verankert werden. Weiterhin kann jedem Vorgang ein logischer Vorgänger zugeordnet werden, um Abhängigkeiten zwischen einzelnen Vorgängen zu modellieren. Das gesamte Projekt kann in einem Gantt-Diagramm dargestellt werden.

Die Projekte können mittels einer einfachen webbasierten Bedienoberfläche modelliert und beschrieben werden. Klassische Visualisierungen wie ein Gantt-Diagramm zeigen die erstellten Projektpläne an, wobei hierfür jeweils die Mittelwerte der Länge der Projektvorgänge verwendet werden. Zunächst wahlweise unter Verwendung von Normal- oder Gleichverteilung werden die einzelnen Projektvorgänge mittels Zufallsexperimenten simuliert und zu stochastischen Projektplänen zusammengesetzt. Die Reihenfolge der einzelnen Vorgänge bleibt hier bisher unverändert. Über alle Experimente hinweg bietet die Bedienoberfläche Datenanalysemöglichkeiten und Visualisierungsdiagramme, um die Robustheit der jeweiligen Projektpläne beurteilen zu können.

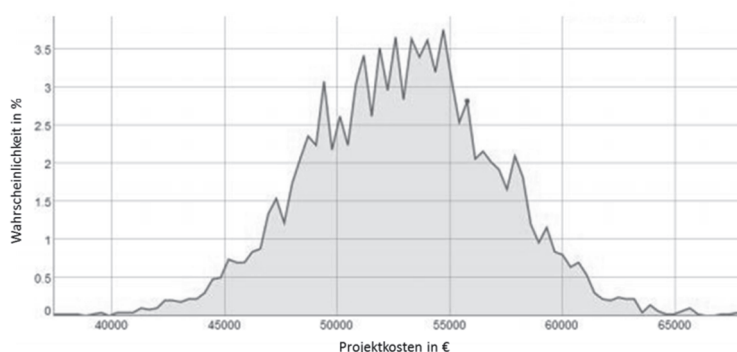


Abbildung 2: Kostenverteilung eines Projektplans nach der Simulation

Abbildung 3 zeigt exemplarisch eine der verfügbaren Visualisierungen, aus der die Projektleitung erkennen kann, wie sich die einzeln modellierten Unsicherheiten in den Vorgängen auf den Projektplan insgesamt (hier konkret auf die realisierten Projektkosten) auswirken. Optional kann das ursprünglich geplante Projektbudget mit als Linie in das Diagramm integriert werden und ermöglicht somit eine schnelle Einschätzung des in dem Projektplan enthaltenen finanziellen Risikos.

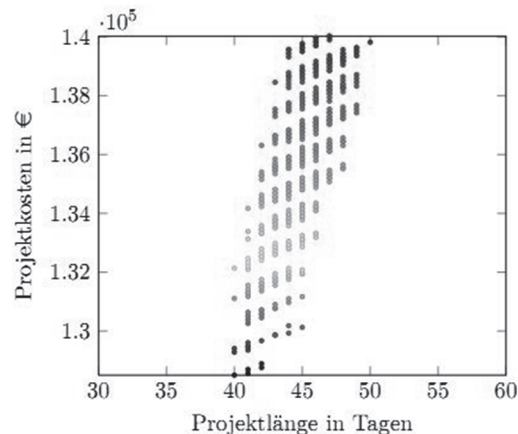


Abbildung 3: Darstellung der Abhängigkeit von Projektlänge und Projektkosten

Um zu erkennen, welche Kosten sich aus einer Verlängerung des Projektes ergeben, ist ein Streudiagramm in die Auswertung der Projektsimulation implementiert worden (vgl. Abb. 4). Hier wird für jedes Simulationsergebnis die Länge des Projektes sowie die damit verbundenen Kosten gegenübergestellt und in das Diagramm eingetragen. Durch die dabei entstehende Punktwolke können die monetären Auswirkungen einer Projektverlängerung abgeschätzt werden. Auch hier kann optional der ursprünglich eingeplante Punkt aus Projektkosten und -länge eingezeichnet werden. Weiterhin gibt das Diagramm Aufschluss über die Intensität der Abhängigkeiten (Steigung der Punktwolke) und erlaubt das schnelle Erkennen von Ausreißern oder Sprungkanten innerhalb des Ergebnisraums.

5 Fazit und Ausblick

Der vorgestellte Beitrag erläutert die Ziele, Anforderungen und ersten Ergebnisse des Forschungsvorhabens zur Entwicklung einer Methodik für ein simulationsgestütztes logistikintegriertes Projektmanagement im Anlagenbau. Das Vorhaben wird von Unternehmen des Anlagenbaus zur Energie-, Kraftwerk- und Umwelttechnik unterstützt, die sich nicht nur hinsichtlich ihrer Unternehmensgröße, sondern bedingt durch ihre Produkte (von Windkraftanlage über Biogasanlage bis zum Kraftwerk) auch hinsichtlich ihrer Projektstrukturen stark unterscheiden. Diese Vielfalt erfordert einen sehr breiten Ansatz bei der Anforderungsanalyse und Konzepterstellung, schafft aber über eine adaptierbare Lösung die Möglichkeit, methodenadditiv zu agieren. Die nächsten Schritte im Rahmen des bis 2015 laufenden Forschungsvorhabens sind die Formulierung von Nutzungsszenarien auf Basis des Vorgehensmodells zur logistikintegrierten Projektplanung, die Detailkonzeption der Methodik mit Adaption und Integration der bestehenden Methoden zum Projektmanagement, zur Logistiksimulation, zur Optimierung und zur 3D-Visualisierung des Baufortschritts, die technische Umsetzung der Architektur als Demonstrator sowie die Evaluation in den begleitenden Unternehmen.

Danksagung

Die in diesem Beitrag dargestellten Ergebnisse entstanden im Rahmen eines gemeinsamen Forschungsvorhabens der Universitäten Kassel und Paderborn. Das IGF-Vorhaben (17725 N) der Forschungsvereinigung BVL wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Literatur

- Afinion: Homepage zum Afinion Project-Simulator: <http://www.afinion.ch/afinion-de/Software/Project-Simulator>; zuletzt zugegriffen am 16.02.2013.
- Beißert, U.; König, M.; Bargstädt, H.-J.: Soft Constraint-based simulation of execution strategies in building engineering. In: *Journal of Simulation (JOS)* 4 (2010), S. 222-231 (doi:10.1057/jos.2010.8).
- Bracht, U.; Geckler, D.; Wenzel, S.: *Digitale Fabrik – Methoden und Praxisbeispiele*. Berlin: Springer, 2011.
- Chahrour, R.: *Integration von CAD und Simulation auf Basis von Produktmodellen im Erdbau*. Dissertation, Bauingenieurwesen, Universität Kassel, 2007.
- DIN 69900: *Projektmanagement – Netzplantechnik; Beschreibungen und Begriffe*. Berlin: Beuth.
- DIN 69901-3 (2009): *Projektmanagement – Projektmanagementsysteme – Teil 3: Methoden*. Berlin, Beuth, 2009.
- Fraunhofer: *Produkte des Fraunhofer-Institutes für Materialfluss und Logistik*. http://www.iml.fraunhofer.de/de/themengebiete/supply_chain_engineering/produkte/; zuletzt zugegriffen am 16.02.2013.
- Günthner, W. A.; Kraul, R.: Ablaufsimulation zur Planung von Bauprojekten am Beispiel eines U-Bahnhofs. In: Bargstädt, H.-J. (Hrsg.): *Tag des Baubetriebs 2008, Schriften der Professur Baubetrieb und Bauverfahren, Nr. 17 (2008)*, Bauhaus-Universität Weimar, S. 5-9.
- Günthner, W. A.; Bormann, A. (Hrsg.): *Digitale Baustelle – innovativer Planen, effizienter Ausführen: Werkzeuge und Methoden für das Bauen im 21. Jahrhundert*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2011.
- Hess, A.; Humm, B.; Voß, M.: Regeln für serviceorientierte Architekturen hoher Qualität. In: *Informatik Spektrum*, Band 29, Heft 6, Dezember 2006, S. 395-411.
- Kugler, M.: *CAD-integrierte Modellierung von agentenbasierten Simulationsmodellen für die Bauablaufsimulation im Hochbau*. Dissertation Bauingenieurwesen, Universität Kassel, 2012.
- Kwak, Y.H.; Ingall, L.: *Exploring Monte Carlo Simulation Applications for Project Management*. Risk Management. doi:10.1057/palgrave.rm.8250017, 2007.
- Majohr, M.; Rose, O.; Völker, M.: Simulationsbasierte Heuristik zur personalorientierten Steuerung komplexer Montagelinien. In: Rabe, M. (Hrsg.): *Advances in Simulation for Production and Logistics Applications*. Stuttgart, Fraunhofer IRB Verlag, 2008, S. 387-396.
- Mefisto: Homepage des im Rahmen des BMBF-Förderprogramms IKT 2020 geförderten Leitprojektes Mefisto. <http://www.mefisto-bau.de>; zuletzt zugegriffen am 16.02.2013.

- ProModel: Homepage zum Projektsimulator auf Basis von ProModel: <http://www.promodel.com/products/projectsimulator/management.asp>; zuletzt zugegriffen am 28.07.2013.
- Schmidt, T.; Rose, O.; Völker, M.; Carl, S.: Optimierte Planung und Steuerung komplexer Montageprozesse. In: *wt Werkstattstechnik online* 99 (2009) 4, S. 232-238.
- SimCoMar: Homepage der internationalen Kooperationsgemeinschaft SimCoMar. <http://www.simcomar.com/>; zuletzt zugegriffen am 16.02.2013.
- SIMoFit: Homepage zur Kooperationsvorhaben SIMoFit. <http://www.simofit.com>; zuletzt zugegriffen am 16.02.2013.
- SIMULTRAIN: Homepage des Produktes: <http://www.simultrain.com>; zuletzt zugegriffen am 02.07.2013
- Steinhauer, D.: Planung komplexer Montageabläufe mit Hilfe der constraintbasierten Simulation. In Rabe, M. (Hrsg.): *Advances in Simulation for Production and Logistics Applications*. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2008, S. 81-89.
- Steinhauer, D.: The Simulation Toolkit Shipbuilding (STS) – 10 Years of Cooperative Development and Interbranch Applications. In: *Proceedings of the 10th Euro-Conference on Computer and IT Applications in the Maritime Industries (COMPIT)*, Berlin, 2011, S. 453-465.
- Steinhauer, D.; König, M.; Bargstädt, H.-J.: Branchenübergreifende Kooperation zur Simulation von Montageabläufen beim Innenausbau von Schiffen. *Hansa International Maritime Journal* 9 (2007), S. 40-42.
- TILOS: Homepage zu TILOS. www.tilos.org; zuletzt zugegriffen am 16.02.2013.
- Völker, M.; Carl, S.; Rose, O.: Simulationsbasierte Personaleinsatzplanung für komplexe Montagesysteme. In: *Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Universität Dresden* 58 (2009), Nr. 1-2, S. 39-44.
- Weber, J.: *Simulation von Logistikprozessen auf Baustellen auf Basis von 3D-CAD-Daten*. Dissertation, Maschinenbau, Universität Dortmund. 2007.
- Wimmer, J.; Horenburg, T.; Günthner, W. A.: Erstellung einer Simulationsbibliothek für den Tiefbau. In: Bargstädt, H.-J. (Hrsg.): *Tag des Baubetriebs 2010*, Schriften der Professur Baubetrieb und Bauverfahren, Nr. 19 (2010), Bauhaus-Universität Weimar, S. 91-102.
- Zülch, G.; Börkircher, M. Simulationsbasierte Analyse von Störungen im Baubetrieb. In Franz, V. (Hrsg.) *1. IBW-Workshop Simulation in der Bauwirtschaft*. Schriftenreihe Bauwirtschaft III/4. kassel university press GmbH, Kassel, 2007, S. 51.-68.