

Schlussbericht

zu dem IGF-Vorhaben

simject - Simulationsgestütztes logistikintegriertes

Projektmanagement im Anlagenbau

der Forschungsstelle(n)

Universität Kassel - Institut für Produktionstechnik und Logistik

Fachgebiet Produktionsorganisation und Fabrikplanung

Universität Paderborn - Heinz Nixdorf Institut

Wirtschaftsinformatik, insb. CIM

Das IGF-Vorhaben 17725 N der Forschungsvereinigung Bundesvereinigung Logistik (BVL) wurde über die



im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Kassel / Paderborn, 15.07.2015

Ort, Datum

Sigrid Wenzel / Christoph Laroque

Name und Unterschrift des/der Projektleiter(s)
an der/den Forschungsstelle(n)

Schlussbericht zum Projekt

**simject - Simulationsgestütztes logistikintegriertes
Projektmanagement im Anlagenbau**

Thomas Gutfeld, Ulrich Jessen, Sigrid Wenzel, Universität Kassel,
Fachgebiet für Produktionsorganisation und Fabrikplanung

Akin Akbulut, Christoph Laroque, Jens Weber, Universität Paderborn,
Wirtschaftsinformatik, insb. CIM

Laufzeit: 01.04.2013 – 31.03.2015

**U N I K A S S E L
V E R S I T Ä T**



HEINZ NIXDORF INSTITUT
Universität Paderborn
Wirtschaftsinformatik, insb. CIM
Prof. Dr.-Ing. habil. Wilhelm Dangelmaier

Herausgegeben von:

Univ.-Prof. Dr.- Ing. Sigrid Wenzel
Fachgebiet Produktionsorganisation und Fabrikplanung (pfp)
Universität Kassel

Prof. Dr. Christoph Laroque
Wirtschaftsinformatik, insb. CIM
Universität Paderborn

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, der Wiedergabe auf fotomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben - auch bei nur auszugsweiser Verwendung - vorbehalten.

Copyright © Universität Kassel, Fachgebiet Produktionsorganisation und Fabrikplanung; Universität Paderborn, Wirtschaftsinformatik, insb. CIM

Printed in Germany 2015

ISBN 978-3-00-050113-5



Name und Anschrift der Forschungsstelle 1

Universität Kassel
Institut für Produktionstechnik und Logistik
Fachgebiet Produktionsorganisation und Fabrikplanung
Kurt-Wolters-Straße 3
D-34125 Kassel

Leiterin der Forschungsstelle
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Sigrid Wenzel
Tel.: +49 (0) 561 804 1851
E-Mail: s.wenzel@uni-kassel.de

Projektleiterin
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Sigrid Wenzel

Name und Anschrift der Forschungsstelle 2

Universität Paderborn
Heinz Nixdorf Institut
Wirtschaftsinformatik, insb. CIM
Fürstenallee 11
D-33102 Paderborn

Leiter der Forschungsstelle
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. W. Dangelmaier
Tel.: +49 (0) 5251 60 6484
E-Mail: whd@hni.upb.de

Projektleiter
Prof. Dr. Christoph Laroque

Das IGF-Vorhaben 17725 N der Bundesvereinigung Logistik (BVL) wurde über die Allianz industrieller Forschung (AiF) im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.



Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	3
Tabellenverzeichnis	4
Formelverzeichnis	5
Abkürzungsverzeichnis	6
1 Zusammenfassung	7
2 Einleitung	8
2.1 Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Problemstellung	8
2.2 Forschungsziel und angestrebte Ergebnisse	10
2.3 Innovativer Beitrag der angestrebten Forschungsergebnisse	15
2.4 Lösungsweg zur Zielerreichung	16
3 Stand der Wissenschaft und Technik	18
3.1 Projektmanagement	18
3.2 Projektmanagement im Anlagenbau	21
3.3 Simulation, Optimierung und Visualisierung im Projektmanagement	23
3.3.1 Einsatz der Monte-Carlo-Simulation in der Projektplanung	23
3.3.2 Optimierung in der Projektplanung	24
3.3.3 Simulationsgestützte Optimierung	24
3.3.4 Baufortschrittsvisualisierung	26
3.4 Logistiksimulation im Projektmanagement	28
3.4.1 Entwicklungen im Bauwesen (Hoch- und Tiefbau)	28
3.4.2 Entwicklungen im Schiffbau	29
3.4.3 Simulationsunterstützung für Logistik und Projektmanagement	30
3.5 Geographische Informationssysteme (GIS)	30

4	Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse.....	32
4.1	Beschreibung des Projektablaufs	32
4.2	Beschreibung der Projektergebnisse.....	34
4.2.1	Ist-Aufnahme Prozesse, Aufbau Referenzmodell	34
4.2.2	Anforderungsanalyse, funktionales und technisches Lastenheft	35
4.2.3	Entwurf der Methodik	38
4.2.4	Gesamtarchitektur und Nutzungskonzepte	54
4.2.5	Implementierung eines Demonstrators	56
4.2.6	Evaluation der Methodik.....	64
4.2.7	Dokumentation und Transfer.....	66
4.3	Verwendung der zugewendeten Mittel	67
5	Wissenschaftlich-technischer und wirtschaftlicher Nutzen der Forschungsergebnisse für KMU	68
5.1	Nutzen der Forschungsergebnisse in KMU.....	68
5.2	Beitrag zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit von KMU	69
5.3	Aussagen zur voraussichtlichen industriellen Umsetzung der FuE-Ergebnisse nach Projektende.....	70
6	Transfermaßnahmen	71
6.1	Ergebnistransfer in die Wirtschaft.....	71
6.1.1	Ergebnistransfer in die Wirtschaft während der Projektlaufzeit.....	71
6.1.2	Geplante Transfermaßnahmen nach Ende des Vorhabens	72
6.1.3	Einschätzung zur Realisierbarkeit des Transferkonzeptes	73
6.2	Veröffentlichungen und universitäre Abschlussarbeiten.....	74
7	Fazit und Ausblick.....	77
	Literatur- und Quellenverzeichnis	78
	Anhang I – Projektbegleitender Ausschuss	84
	Anhang II – Interviewleitfäden.....	87
	Anhang III – Anforderungen als User-Stories	99
	Anhang IV – Evaluationsergebnisse.....	104

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Arbeitsschritte von simject im zeitlichen Verlauf	32
Abbildung 2: Prozessreferenzmodell „Fluxkompensator 2.3 – Übersicht Teilaufgaben“ ...	35
Abbildung 3: Auszug aus dem Anforderungskatalog in Form von User-Stories	36
Abbildung 4: Hauptprozesse.....	38
Abbildung 5: Hauptprozess „Deterministische Planerstellung“	39
Abbildung 6: Hauptprozess „Definition von Wahrscheinlichkeiten“	40
Abbildung 7: Hauptprozess „Projektplansimulation und -visualisierung“	41
Abbildung 8: Hauptprozess „Projektplansimulation und -visualisierung“	42
Abbildung 9: Hauptprozess „Ergebnisanalyse“	43
Abbildung 10: Klassendiagramm ProjectPlanInterface.....	44
Abbildung 11: Kreislauf der simulationsgestützten Optimierung.....	47
Abbildung 12: Ablage vergangener Projektpläne und Prozesse in einer Datenbank	48
Abbildung 13: Bildung eines Referenzprozesses in simject	49
Abbildung 14: Teilmodell Projektplan (Basis Excel-basierter Projektplan)	50
Abbildung 15: Teilmodell Logistik mit Detailmodell für Transportprozess.....	51
Abbildung 16: Ablaufprinzip	52
Abbildung 17: Simulationsergebnis Projektgesamtdauer	53
Abbildung 18: Simulationsergebnis Fahrzeugwartezeiten in Stunden.....	53
Abbildung 19: Systemkomponenten und Informationsfluss	54
Abbildung 20: GUI-Plug-in Konzept des Werkzeugs SimAssist (SimPlan AG)	56
Abbildung 21: Importierter Projektplan „Windpark“	57
Abbildung 22: ProjectPlanSimulation am Beispiel „Windpark“	59
Abbildung 23: Algorithmus für Simulationsvorgehen in Pseudocode	60
Abbildung 24: Initiale Ansicht des ProjectPlanOptimizer-Plug-ins	61
Abbildung 25: Ablage eines Projektplans in einer Datenbank	63
Abbildung 26: Bearbeitung eines Referenzprozesses	63
Abbildung 27: Referenzprozessverwaltung	64
Abbildung 28: Beantwortung der Evaluationsfrage 1	65

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Gruppierung von Antwortwerten im Rahmen der Evaluation	65
Tabelle 2: Durchgeführte Transfermaßnahmen	71
Tabelle 3: Geplante Transfermaßnahmen	72

Formelverzeichnis

Formel 1: Bedingung der Fitness-Funktion.....	47
Formel 2: Rückgabewert der Fitnessfunktion	47
Formel 3: Rückgabewert invalider Projektpläne	48

Abkürzungsverzeichnis

2D	zweidimensional
3D	dreidimensional
4D	vierdimensional
5D	fünfdimensional
8D	acht Disziplinen (8D-Report)
AP	Arbeitspaket
ASIM	Arbeitsgemeinschaft Simulation
BIM	Building Information Modeling
BPMN	Business Process Model and Notation
CAD	Computer Aided Design
CSV	Comma-separated Values
ERP	Enterprise Ressource Planning
FuE	Forschung und Entwicklung
GIS	Geografische Informationssysteme
GPL	Gesellschaft Produktion und Logistik
GUI	Graphical User Interface
ID	Identität
IT	Informationstechnik
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
LKW	Lastkraftwagen
MB	Maschinenbau
MC-Simulation	Monte-Carlo-Simulation
MKWI	Multikonferenz Wirtschaftsinformatik
MP	Montageprozess
MS	Microsoft
OWL	Ostwestfalen Lippe
PA	Projektbegleitender Ausschuss
PSP	Project Scheduling Problem
rc-PSP	ressource-constraint Project Scheduling Problem
rc-M-PSP	ressource-constraint Multiple Project Scheduling Problem
rc-M-PSP-tt	ressource-constraint Multiple Project Scheduling Problem with transfer times
SIMoFIT	Simulation of Outfitting in Shipbuilding and Civil Engineering
STS	Simulation Toolkit Shipbuilding
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
WSC	Winter Simulation Conference

1 Zusammenfassung

Der kundenindividuelle Anlagenbau (z. B. im Bereich Energie-, Kraftwerk- und Umwelttechnik) ist durch ein klassisches Projektgeschäft geprägt und erfordert ein individuelles Projektmanagement in Abhängigkeit von dem zu liefernden Produkt und den jeweiligen kunden- und projektindividuellen Rahmenbedingungen. So steht das Projektmanagement hier vor der Herausforderung, dass Anlagen in Form einer Baustellenfertigung als Unikate realisiert werden müssen, wobei die einzelnen Module häufig an unterschiedlichen Standorten gefertigt und dann unter Beachtung systemtechnischer, konstruktiver, lokaler, logistischer, energetischer, wetterbedingter, zeitlicher und finanzieller Randbedingungen beim Kunden montiert werden müssen. Zudem werden Projekterfahrungen selten über Projekte hinaus weitergereicht, d. h. es erfolgt nur bedingt eine Zusammenführung des Erfahrungswissens, das während der Projektrealisierung anwächst.

Zur Risikovermeidung im Projektverlauf und zur Erreichung einer termingerechten Inbetriebnahme sind daher in Erweiterung zu den heutigen Projektmanagementwerkzeugen ergänzende Methoden zur Abschätzung von Projektunsicherheiten und zur Bewertung von Projektplänen, aber auch zur nachhaltige Nutzung von Projektwissen notwendig.

Zur Verbesserung des logistikintegrierten Projektmanagements im kundenindividuellen Anlagenbau wurde daher eine Methodik zur projekt- und produktspezifischen Unterstützung des Projektmanagements entwickelt und anhand eines Demonstrators umgesetzt. Statt den Unsicherheiten im Projektverlauf mit zusätzlichen Pufferzeiten zu begegnen, bewertet jetzt eine mit Optimierungs-, Analyse- und Visualisierungsverfahren kombinierte Ablaufsimulation zufällige Einflüsse in den Plänen. Hierdurch wird eine Verbesserung des Risikomanagements in den Projekten erreicht, indem bestehende Unsicherheiten in den Planungsprozessen simuliert und reduziert werden. Um einen transparenten Projektmanagementprozess zu erhalten und auch Erfahrungswissen aus vorangegangenen Projekten einzubinden, lassen sich Referenzprojektpläne unter Berücksichtigung von Restriktionen nutzen, die durch das zu erstellende Produkt, die zu verwendenden Technologien, die zugrundeliegenden Prozesse oder die notwendigen logistischen Ressourcen bedingt sind.

Die IT-Architektur der Plattform ist werkzeugneutral, so dass das entwickelte Konzept auf Branchen außerhalb des Anlagenbaus übertragbar ist. Dies haben Vertreter verschiedener Industrieunternehmen des Anlagenbaus aus den Bereichen der Umwelt- und Energietechnik, des Schiffbaus, der Automobilindustrie sowie dem OWL Maschinenbau e.V. bestätigt.

Das Ziel des Forschungsvorhabens wurde erreicht.

2 Einleitung

Im Vergleich zur stationären Serienfertigung ist der kundenindividuelle Anlagenbau dadurch gekennzeichnet, dass eine Anlage als Unikat an unterschiedlichen Standorten als Baustellenfertigung zu realisieren ist. Anlagenplanung, -realisierung und -inbetriebnahme sind somit im Sinne einer Baumaßnahme stets in Abhängigkeit von den systemtechnischen und konstruktiven Randbedingungen der Anlage selbst, den lokalen Standortgegebenheiten und den organisatorischen Projektvorgaben wie Bauabschnitte, Produktionsschritte, Produktionsablauf und Ressourcendisposition sowie den damit verbundenen logistischen Restriktionen durchzuführen. Schenk und Schmucker (2012) tragen der Relevanz der logistischen Prozesse bei der Errichtung von Anlagen mit dem Begriff „Ressourceneffiziente Anlage“ Rechnung und bezeichnen eine Anlage erst dann als ressourceneffizient, wenn sie nicht nur mit bester Technologie sowie kostenoptimierten und energieeffizienten Komponenten geplant und unter energie- und ressourcenoptimierten Aspekten betrieben wird, sondern auch ihre Errichtung mit optimierter Logistik erfolgt.

Das Kapitel stellt vor dem Hintergrund der Notwendigkeit der Betrachtung logistischer Abläufe im Anlagenbau zunächst die wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Problemstellung in Bezug auf die Robustheit von Projektplänen dar, erläutert im Anschluss das Forschungsziel und die angestrebten Forschungsergebnisse sowie ihren innovativen Beitrag und geht abschließend auf den Lösungsweg zur Zielerreichung ein.

2.1 Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Problemstellung

Die zeitliche Machbarkeit von Baumaßnahmen und die Robustheit der Projektpläne unter Berücksichtigung aller kundenindividuellen Restriktionen auch bei unvermeidbaren Störungen (z. B. aufgrund von fehlendem Material oder ungünstigen Wetterbedingungen) sicherzustellen, ist von hoher Relevanz für die Wettbewerbsfähigkeit der an den Baumaßnahmen beteiligten Unternehmen und ihre Positionierung am Markt. Ähnlich dem Schiffbau (vgl. Steinhauer und König 2010) muss die Bewertung der Pläne vor Projektbeginn sowie projektbegleitend 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 Liefertermine möglicherweise mit Unsicherheiten versehen sind und z. B. abhängig von den lokalen Gegebenheiten beim Kunden Umsetzungsrisiken bergen. Nach Aussage des im Ziel2-Programms des Landes Nordrhein-Westfalen geförderten Forschungsvorhabens „DIB – Dienstleistungen im Industriellen Bauprozess“ wachsen die Anforderungen an den Bauprozess ständig, so dass der Zeitraum vom Beginn einer Planung bis zur Inbetriebnahme wettbewerbsentscheidend ist und stetig optimiert werden muss (vgl. FIR 2015).

Die Untersuchung und Verbesserung von Bauprozessen werden mit unterschiedlichen inhaltlichen Schwerpunkten in verschiedenen Forschungsvorhaben betrachtet. In dem oben bereits erwähnten Forschungsprojekt (vgl. Grefrath, Frombach und Schmidt-Bleker 2011) versuchen die Projektpartner gemeinsam neue wissensintensive Dienstleistungen für den industriellen Bauprozess zu erarbeiten und den Planungs- und Bauprozess in sei-

ner Gänge neu zu gestalten. Das DFG-Schwerpunktprogramm 1103 erforscht hingegen vernetzt-kooperative Planungsprozesse im konstruktiven Ingenieurbau, um eine effiziente verteilte Ressourcennutzung zu planen, geeignete Kooperationsmodelle für die Fachplanung zu entwickeln und die kooperative Projektbearbeitung zu ermöglichen (vgl. Rüppel 2007). Diese Forschungsarbeiten fokussieren auf eine verteilte Ingenieurplanung im Bauwesen und auf die damit verbundenen vernetzten Kooperationsprozesse. Im Verbundvorhaben Mon²Sea stehen Produktions- und Logistikprozesse bei der industriellen Serienfertigung und der Errichtung von Anlagen, in diesem Fall von Offshore-Windkraftanlagen, im Vordergrund (Mon²Sea 2015). Die Ziele des Vorhabens umfassen eine konzeptionelle Entwicklung einer IT-Forschungsplattform für Materialzulauf und Supply Chain, ein stochastisches Planungsmodell zur wetterabhängigen Errichtungs- und Montageplanung für die Offshore-Montage der Windkraftanlagen und eine Infrastruktur mit innovativer Informations- und Kommunikationstechnologie für Tracking- und Tracing-Strategien sowie angepassten Identifikations- und Lokalisierungsautomatismen. Eine für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) geeignete Methodik zur Planung und Steuerung logistischer Prozesse bei der Realisierung und termingerechten Inbetriebnahme kundenindividueller Anlagen ist allerdings in keinem der Forschungsprojekte vorgesehen.

Eine umfassende Werkzeugunterstützung im Anlagenbau findet sich heute in erster Linie bei der Planung der Anlage selbst. Hier kommen unterschiedliche Konstruktions-, Simulations-, Optimierungs- und Visualisierungsmethoden zum Einsatz (zu einem Überblick vgl. beispielsweise Bracht, Geckler und Wenzel 2011). Die Projektplanung zur Realisierung und Inbetriebnahme einer Anlage wird hingegen oftmals nur mit einfachen Methoden des Projektmanagements (DIN 69901 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 Forschungsvorhabens 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. Die Zusage von Lieferterminen und speziell auch konkreter Termine zur Inbetriebnahme ist essenziell für eine erfolgreiche Akquisition; die tatsächliche Einhaltung der Termine ist entscheidend für die Kundenzufriedenheit und damit für die zukünftigen Geschäfte. Neben der hervorragenden Qualität der Produkte ist dies ein wesentlicher Wettbewerbsfaktor im globalen Markt.

Die Zusage konkreter Liefertermine für einzelne Aufträge unter begrenzten Ressourcen ist als analoge Fragestellung in Anwendungsbereichen der Serienfertigung wie beispielsweise der Automobilindustrie seit langem bekannt. Hier werden die einzelnen Planungsaufgaben mit komplexen Optimierungsmodellen ressourceneffizient gelöst (vgl. z. B. Günther und Tempelmeier 2005). Auch diese optimierten Pläne unterliegen, ähnlich zu den manu-

ell erstellten Projektplänen, Unsicherheiten und müssen regelmäßig aktualisiert und der Realität angepasst werden (Konzept der rollierenden Planung). Alternativ kann bereits im Vorfeld über Methoden der simulationsgestützten Optimierung der resultierende Plan überprüft und seine Robustheit bewertet werden (März et al. 2010, Laroque et al. 2011 oder Fischer et al. 2012). Im Bereich der Konstruktion und Projektdurchführung ist im Anlagenbau genügend Expertise zur Herstellung der Produkte vorhanden. Speziell der Bereich der Planung der Anlagenrealisierung bietet aber noch weiteres Optimierungspotenzial, 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.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die heutigen Voraussetzungen bei KMU vor allem dadurch gekennzeichnet sind, dass Produktdaten, Gantt-Charts und Planungsdaten in Projektplänen zwar vorhanden sind, die Daten und Methoden aber nicht geeignet integriert und Planungsergebnisse nicht hinreichend bewertet werden. Hier fehlt den KMU eine praktikable Methodik, um auf Basis vorhandener Daten Methoden der Ablaufsimulation, Optimierung und Visualisierung in der Projektplanung zu nutzen, um so eine bessere Projektplanungsqualität zu erreichen. Der Forschungsbedarf liegt somit in einer simulationsgestützten Projektplanungsmethodik zur Realisierung und Inbetriebnahme von Anlagen unter Einbeziehung logistischer Prozesse. Vorhandene Projektplanungsmethoden werden dazu mit Simulation, Optimierung und Visualisierung vernetzt, um jederzeit die Anlagenrealisierung abzusichern. Der wissenschaftliche Anspruch liegt in der Integration zeitlicher und räumlicher Gegebenheiten unter Einbeziehung von Logistik, Projektfortschritt und Produktstatus und in der Integration der Methoden mit semi-automatischer Anwendung, zugeschnitten auf KMU im digitalen Anlagenbau.

2.2 Forschungsziel und angestrebte Ergebnisse

Begründet auf den in Abschnitt 2.1 dargelegten Ausführungen ist das primäre Forschungsziel dieses Forschungsvorhabens die Entwicklung einer Methodik zur simulationsgestützten Bewertung und Verbesserung von Projektplänen für die Anlagenrealisierung und -inbetriebnahme unter Einbeziehung logistischer Prozesse im Anlagenbau. Durch diese Methodik sollen Projektplanung, -durchführung und -überwachung für KMU des Anlagenbaus verbessert werden, die als Anlagenhersteller selbst oder Zulieferer eines Anlagenherstellers in komplexe Projekte eingebunden sind. Die Methodik unterstützt damit das Projektmanagement und berücksichtigt neben der eigentlichen Projektplanung sowohl die Unsicherheiten in einzelnen Planungsschritten (beispielweise bedingt durch fehlendes Material, fehlende Ressourcen oder ungeeignete Wetterbedingungen) als auch die logistischen Aspekte (wie Fläche, Ressourcen sowie notwendige Transport-, Lager-, Bereitstellungs- und Umschlagprozesse). Die Methodik soll eine Risikobewertung und Optimierung der Projektpläne, eine Ablaufsimulation der logistischen Prozesse zur Bewer-

tung von Unsicherheiten in der Logistikorganisation sowie eine Visualisierung des Projektfortschrittes über die 3D-Modelle zukünftiger Anlagen leisten. Die Einbindung aktueller Wetterinformationen zur Berücksichtigung wetterspezifischer Restriktionen soll ebenfalls Berücksichtigung finden. Ziele des Forschungsvorhabens sind darüber hinaus die Generalisierung und systematische Ablage von Projektdaten zur Wiederverwendung, so dass bei der Durchführung von konkreten Projekten auf Erfahrungswerte zurückgegriffen werden kann. Hierdurch soll zum einen die Qualität der Simulation selbst, zum anderen aber auch die Prognose und Risikobewertung der einzelnen Projektpläne stetig verbessert werden. Dieser kontinuierliche Verbesserungsprozess ist so zu gestalten, dass der planende Anwender in seinem Planungsprozess bestmöglich unterstützt wird, ohne jedoch zusätzliche Aufgaben für ihn zu generieren. Insbesondere für komplexere Projektpläne ist eine engere Anbindung an die 3D-Visualisierung des zu entstehenden Produktes zu schaffen. Durch die dadurch entstehende Entscheidungsunterstützungsfunktion kann der resultierende Plan besser eingeschätzt und bewertet werden.

Zielstellung der zu entwickelnden Methodik ist es, für KMU im Anlagenbau den Anteil pünktlich und erfolgreich abgeschlossener Projekte mit den eingeplanten Ressourcen kontinuierlich zu erhöhen. Die daraus resultierende sichere Zusage von Terminen zur Inbetriebnahme der Anlagen ist ein entscheidender Wettbewerbsfaktor im globalen Markt. Neben der eigentlichen Qualität des Produktes wird die genaue Planbarkeit der Investitionen und der daraus resultierende Return-on-Investment wesentlicher Teil der Kaufentscheidung für die Kunden der Anlagenbauer. Insbesondere KMU erlaubt dieser Qualitätsanspruch eine weitere Verbesserung ihrer Position im globalen Markt, weil sie mit und dank dieser Methodik glaubhaft darstellen können, dass sie die projektspezifischen logistischen Prozesse nicht nur im Rahmen ihrer Planung berücksichtigen, sondern Projektabläufe und Logistikprozesse planerisch absichern und damit den Gesamterfolg des Projektes weiter fördern.

Insbesondere bei Projekten, in denen eine Vielzahl an Partnern in die Gesamtplanung zu integrieren sind, ergibt sich durch diese Methodik eine verursachergerechte Zuordnung entstehender Projektverzögerungen gegenüber dem ursprünglichen Plan. Je nach Vertragsgestaltung des Gesamtprojektes lässt sich daraus auch eine gerechtere Aufteilung eventuell anfallender Verzugskosten innerhalb des Projektkonsortiums ableiten. Darüber hinaus bietet sich für diejenigen Unternehmen, die als Generalunternehmer eine hohe Anzahl Zulieferer aus unterschiedlichen Bereichen in ihre Projekte integrieren, über den Abgleich der geplanten Aufwände mit den realisierten Aufwendungen aus der Projektüberwachung eine zusätzliche Bewertungsmöglichkeit für ihre Lieferanten hinsichtlich der Liefertermintreue.

Im Einzelnen zielt das Forschungsprojekt auf folgende methodische Ergänzungen zu den heute in der Praxis verwendeten Projektplanungsmethoden ab:

Verbesserung der Planung durch Simulation logistischer Prozesse und Risikobewertung als Entscheidungsunterstützungsfunktionen

Die heute bereits verfügbaren Projektpläne in Form von Flussdiagrammen, Gantt-Charts oder Netzplänen sollen um die Simulation (Monte Carlo Simulation, ereignisdiskrete Simulation) ergänzt werden, um eine Risikobewertung eines individuellen Projektplans zu ermöglichen. Auf Basis der im Projektplan definierten Vorgänger-Nachfolger-Beziehung sowie möglicher Handlungs-/Entscheidungsalternativen sollen dann automatisch ein oder mehrere alternative Projektpläne generiert werden, deren bewertetes Risikoprofil aus der Simulation besser ist als das des ursprünglichen Plans. Hier werden kombinierte Verfahren aus Simulation und Optimierung eingesetzt.

Ein spezieller Schwerpunkt bei der simulationsgestützten Absicherung der Projektpläne ist die Ablaufsimulation der logistischen Prozesse, die für jedes Projekt in Abstimmung mit Logistikpartnern und Zulieferern neu geplant werden müssen und die neben dem Aufbauort der Anlage auch die logistischen Rahmenbedingungen des Umfeldes vor Ort (Flächen, Zufahrtwege) sowie die den Baufortschritt beeinflussende Wetterbedingungen berücksichtigen müssen.

Gerade bei KMU stellen spezialisierte Ressourcen wie Sondermaschinen und Fachpersonal mit Spezialkenntnissen häufig Engpässe im Bereich der eigentlichen Projektdurchführung dar. Die Methodik soll deshalb in der Lage sein, nicht nur einzelne Projektpläne hinsichtlich des Risikos zu bewerten, sondern das Portfolio der Projektplanung eines Unternehmens insgesamt zu verbessern. Die genannten kritischen Ressourcen sollen damit so eingeplant werden, dass neben der Einhaltung der Fertigstellungstermine der Projekte bei den Kunden auch eine möglichst effiziente Nutzung der Ressourcen gewährleistet bleibt. Insbesondere dieser Aspekt erzeugt schon bei wenigen umfangreichen Projekten eine solche Komplexität, dass zur Lösung zwangsläufig auf die kombinierten Verfahren aus Simulation und Optimierung zurückgegriffen werden muss.

Verbesserung der Projektüberwachung und Reaktion auf Planänderungen

Während der Durchführung eines Projektes sollen die Ist-Daten aus dem konkreten Projektablauf zurück in die Projektplanung einfließen, um dort zum einen eine aktualisierte Risikobewertung des Plans zu ermöglichen und zum anderen die Qualität der im Plan hinterlegten Daten und Annahmen kontinuierlich zu verbessern. Diese Funktionalitäten sollen ohne zusätzlichen Aufwand möglich sein, da bereits heute die einzelnen Arbeitszeiten in den Projektphasen zur Abrechnung und Auswertung in den Unternehmen erfasst werden. Aus diesem kontinuierlichen Abgleich des Plans mit den Ist-Daten und der kontinuierlich angestoßenen Risikobewertung kann der Planer dann frühzeitig Abweichungen oder signifikante Verschiebungen im Risikoprofil erkennen, die den Projekterfolg insgesamt gefährden oder potenziell gefährden könnten. Im Falle einer Bewertung mehrerer Projektpläne erfolgt diese Erkenntnis sogar über das einzelne Projekt hinaus.

Die automatische Erzeugung alternativer Projektpläne soll den Planer in der Entwicklung von Handlungsalternativen unterstützen und ihm konkrete Entscheidungshilfen an die Hand geben. Der Rückfluss der Ist-Daten in die Projektplanung hat auch hinsichtlich der erkannten Engpassressourcen im Multi-Projektmanagement Bedeutung, da der Planer nur so feststellen kann, dass der Fertigstellungstermin seines konkreten Projektes zwar nicht gefährdet ist, eine längere Nutzung einer Engpassressource jedoch eine schlechtere Risikobewertung für andere Projekte verursacht. Hier kann dann eine zielgerichtete Abstimmung und weitere Optimierung durch die beteiligten Planer folgen.

Verbesserte Projektüberwachung durch 3D-Baufortschrittsvisualisierung

Ziel ist zusätzlich die datentechnische Verbindung der Projektplanungsdaten mit den Daten aus dem Bereich der Konstruktion des eigentlichen Produktes zur Visualisierung des Baufortschritts in einem 3D-Visualisierungsmodell. Je nach aktuellem Projektplan ergeben sich verschiedene Ausbaustufen der eigentlichen Anlage, die wiederum für die Verbesserung des Plans durch den Anwender zu Rate gezogen werden können. Insbesondere im Bereich der Änderungsplanung nach zeitlichen Verschiebungen auf der Baustelle können somit alternative Ausbauszenarien nicht nur mit ihrem Risikoprofil, sondern auch hinsichtlich ihrer Sinnhaftigkeit durch die Fachexperten bewertet werden. Klassische Handlungsalternativen, wie beispielsweise das sogenannte Frontloading (vgl. u. a. Bracht, Geckler und Wenzel, 2011, S. 53), bei dem einzelne Tätigkeiten in eine früherer Phase vorgezogen werden, können so sehr einfach am Modell der Anlage überprüft werden.

Kontinuierliche Verbesserung der Planungsdatenqualität

Durch die kontinuierliche Anwendung der Methodik über mehrere Planungsprojekte hinweg werden Ist-Daten aus den Planungsprozessen in das Gesamtsystem zurückgeführt. Auf diese Weise erfolgt eine permanente Verbesserung der Datenqualität, da die Fachkenntnisse der Experten in neu zu planenden Projekten durch Erfahrungswerte vergangener Projekte ergänzt werden können. In zukünftigen Planungen können diese Daten also zur Abschätzung von Teilbereichen eines neuen Plans herangezogen werden und somit die Planung realistischer gestalten und weiter verbessern. Die Planung erlaubt dann auch eine realistischere Zeitplanung mit geringeren Varianzen und damit auch eine verbesserte Risikobewertung. Wiederkehrende Teilprozesse sollen als einfache Schablonen wiederverwendet werden können und mit automatisch zu aktualisierenden Daten vorbelegt werden (z. B. Anfahrzeiten von Mitarbeitern und Mitarbeiterinnen auf Basis von Entfernungstabellen). Für spezielle, wiederkehrende Planungsaufgaben ist darüber hinaus eine Annotation einzelner Planungsschritte im Rahmen dieser Schablonen denkbar, in der gesammelte Erfahrungen abgelegt und im Rahmen der neuen Planung berücksichtigt werden können (Prinzip 8D-Report, vgl. Jung, Schweißner und Wappis 2011).

Zielgruppengeeignete Nutzerführung

Ein wichtiges Forschungsziel ist darüber hinaus, dass die Projektpläne in einem möglichst ähnlichen Verfahren wie heute erstellt werden, trotzdem aber qualitativ hochwertige Ana-

lysen ermöglichen. Dieses Spannungsfeld wird über die Konzeption einer geeigneten Bedienoberfläche und Nutzerführung sichergestellt. Sowohl die Beschreibung heutiger Projektplanungsprozesse als auch die Beschreibung zukünftiger Nutzungsprozesse mit der zu entwickelnden Methodik sollen über sogenannte User-Stories erfolgen, die in kurzen Textfragmenten die umzusetzenden Abläufe beschreiben. Diese User-Stories können hervorragend mit den Industrievertretern im Projektbegleitenden Ausschuss (PA) (zu den Firmen vgl. Anhang I – Projektbegleitender Ausschuss) diskutiert und gespiegelt werden, wodurch die Anwendbarkeit der neu zu entwickelnden Prozesse zusätzlich sichergestellt werden kann.

Als Ergebnis des Forschungsvorhabens soll eine die Projektplanung und -durchführung unterstützende simulationsbasierte Methodik für den Anlagenbau vorliegen. Zur Evaluation der zu entwickelnden Methodik wird ein Demonstrator umgesetzt, mit dem die Anwendbarkeit der Methodik anhand ausgewählter Beispiele überprüft wird. Die Methodik soll

- zeitliche und räumliche Gegebenheiten berücksichtigen.
- aktuelle Wetterinformationen einbinden.
- eine semi-automatische Erzeugung, Absicherung und Optimierung von Projektplänen in Abhängigkeit von Anlagenkomponenten, Liefertermin und Lieferort bieten.
- eine Ablaufsimulation logistischer Prozesse zur Bewertung von Unsicherheiten in Projektplänen sowie von alternativen Plänen ermöglichen.
- den Projektfortschritt in den 3D-Modellen der zukünftigen Anlagen visualisieren.
- Projektdaten zum Aufbau eines Projektdatenmanagements fortschreiben.
- ein simulationsgestütztes Multi-Projektmanagement zulassen.

Die Methodik wird als werkzeugneutrale Integration von Logistikprozess- und Projektmanagement mit automatischer Modellgenerierung konzipiert und soll auch eine Anpassung auf die operative Entscheidungsanforderungen der KMU erlauben. Wichtig für die spätere Anwendbarkeit der Methodik in der Zielgruppe KMU ist eine entsprechende Kapselung der Methoden hinter einer einfach zu bedienenden Oberfläche, die den Nutzer bestmöglich in seinem Projektmanagement unterstützt. Für den Anwender sollen somit Projektplanung und -durchführung mit so wenigen Zusatzaufwänden wie möglich erfolgen. Auch deshalb ist die Verwaltung von Ist-Daten aus bereits durchgeführten Projekten (Projekthistorien) im Rahmen des kontinuierlichen Verbesserungsprozesses wichtig. Dabei soll nicht nur eine methodische Unterstützung von Projektretrospektiven zur Generierung von Anfangsdaten erreicht, sondern sukzessive ein Projektwissensmanagement aufgebaut werden.

2.3 Innovativer Beitrag der angestrebten Forschungsergebnisse

Wesentliche Zielsetzung der im Rahmen des Vorhabens zu realisierenden Methodik ist die Erweiterung des bisherigen Projektmanagementmethoden um ergänzende Funktionalitäten zur Risikobewertung, automatisierten Verbesserung der Projektplanung, Logistiksimulation sowie zur Projektfortschrittsvisualisierung als Entscheidungsunterstützung für die beteiligten Planer für das Management von Einzelprojekten sowie für ein Multi-Projektmanagement.

Die Innovation liegt in der praktikablen Vernetzung bestehender Methoden, so dass eine operative Entscheidungsunterstützung für KMU möglich wird und Planungs- und Durchführungsprozesse der Projekte insgesamt qualitativ hochwertiger werden. Damit werden bestehende Planungsrisiken, insbesondere auch auf Basis projektspezifischer logistischer Prozesse sichtbar gemacht. Um eine praktikable Anwendung der Methodik im Bereich der produzierenden Unternehmen zu gewährleisten, soll ebenfalls sichergestellt werden, dass die Projektplanung und -durchführung im Vergleich zu heute nur evolutionär verändert werden. Die Umsetzung eines revolutionären neuen Projektmanagementansatzes ist für die Projektmanager bei KMU weder im Tagesgeschäft kapazitativ umsetzbar, noch hinsichtlich möglicher Aufgabenveränderungen akzeptabel.

Die hier geplante Methodik wird in dieser Form bisher von keinem Projektmanagement- oder Simulationswerkzeug bereitgestellt und auch nicht in den aktuellen Forschungsoperationen umgesetzt. Sie ergänzt allerdings bestehende Entwicklungen und Kooperationen sinnvoll für den Bereich des Anlagenbaus und zugeschnitten auf die Bedarfe von KMU. Durch die angestrebte Werkzeugneutralität der Methodik steigt die Nutzbarkeit der Projektergebnisse um einen beträchtlichen Faktor, da es keine proprietäre Lösung für ein Projektmanagement- oder Simulationswerkzeug geben soll. Die Werkzeugneutralität wird durch generische Schnittstellen zur Interaktion mit den Werkzeugen untereinander ermöglicht. Durch die automatisierte Unterstützung von Modellierung, Simulation und Planbewertung sowie die Wiederverwendung von Projektdaten für nachfolgende Projekte werden die Komplexität des Projektmanagements mit seiner Vielzahl an oftmals unsicheren Einflussfaktoren überschaubar und somit die Projektplanung sicherer und der Arbeitsalltag des Projektmanagers effizienter und effektiver. Aus Sicht der angewandten Forschung ergeben sich aus dem Projekt auch Hinweise dazu, welche der heute in der Planung verwendeten Informationen und Daten für eine simulative Absicherung aufzubereiten sind und wo diese typischerweise in den Unternehmen gewonnen werden können. Darüber hinaus werden wissenschaftliche Erkenntnisse erwartet, in welcher Form geeignete Zielstellungen aus der Projektplanung für die simulationsgestützte Optimierung zu formalisieren sind.

Der Demonstrator kann zum einen die Anwendung der Methodik in einem praktischen Umfeld aufzeigen, zum anderen kann er als konzeptuelle Grundlage zur Entwicklung zukünftiger IT-(Informationstechnik)-Werkzeuge zur simulationsgestützten Projektplanung im Anlagenbau dienen. Im Nachgang zum Forschungsvorhaben kann eine Übertragung der Ergebnisse auch auf andere Branchen erfolgen, deren Produkte und Dienstleistungen

einen ähnlichen Charakter haben und deren Branche ebenfalls durch eine starke KMU-Beteiligung gekennzeichnet ist.

2.4 Lösungsweg zur Zielerreichung

Zur Erreichung der oben genannten Ziele werden auf Basis der branchenspezifischen Anforderungen die methodischen Grundlagen, eine Gesamtarchitektur zur Integration der unterschiedlichen Methoden sowie ein Nutzungskonzept erarbeitet. Wesentliche Aufgaben zur Gestaltung der Methodik sind:

- a) die Konzeption des Informationsmanagements sowie der zugrundeliegenden Informationsmodelle.
- b) die funktionale Adaption der zu verwendenden Methoden des Projektmanagements, der Logistiksimulation, der Optimierung und der Visualisierung des Projektfortschritts.
- c) die Schaffung interoperabler Methoden als Voraussetzung für ihre Integration („Interoperabilität bezeichnet allgemein die Fähigkeit der Zusammenarbeit unterschiedlicher Systeme [...]“ (Bracht, Geckler und Wenzel 2011, S. 172)).
- d) die Formulierung von Anforderungsprofilen und Nutzungsszenarien.

In Bezug auf (a) sind die notwendigen projekt-, prozess-, und produktspezifischen Planungs- und Ressourceninformationen zu klassifizieren und deren Beziehungen in einem abgestimmten Informationsmodell für Projektplanung, Simulation, Optimierung und Visualisierung zu integrieren. Die Informationsbasis umfasst mindestens alle Informationen, die heute im Bereich der Projektplanung berücksichtigt werden, darüber hinaus aber auch Informationen der Logistikplanung, Wetterinformationen, geographische Informationen, ggf. zusätzlich notwendige Informationen zum Aufbau von Simulations- und Optimierungsmodellen zur Absicherung der Planung und deren Risikobewertung sowie zur 3D-Visualisierung des Baufortschritts in Verbindung mit dem Projektplan. Zur Nutzung der einzubindenden Methoden ist ein Informationsmodell zu entwickeln, das die Basis für den Aufbau der eigentlichen Projektplanungsmethodik, für die Erstellung der Datenmodelle und des Datenmanagements sowie für deren beispielhafte Implementierung in Form des geplanten Demonstrators bildet.

In Ergänzung sind unter (b) die zu nutzenden Simulations-, Visualisierungs-, Optimierungs- und Projektmanagementmethoden funktional so zu adaptieren, dass sie in einem Projektmanagement des Anlagenbaus sinnvoll in Kombination eingesetzt und die einzelnen Projektpläne automatisch entsprechend der benannten Ziele bewertet werden können. Für die Anwendung der Simulation ist zum Beispiel zu überprüfen, inwieweit notwendige Restriktionen der Projektplanung im Hinblick auf die Prozesse oder die zu verwendenden Ressourcen in die Modellerstellung einfließen müssen und wie diese als Restriktionen zu formulieren sind. Im Bereich der Optimierung wird zu untersuchen sein, wie die konkreten Planungsziele im Anlagenbau unter Berücksichtigung der realen Restriktionen zu einer gemeinsamen Zielfunktion formalisiert werden können und wie die konkreten Einschränkungen sinnvollerweise zu beschreiben sind.

Zur informationstechnischen Vernetzung der einzelnen Methoden und ihrer Modelle (c) ist der Aufbau interoperabler Modelle eine sinnvolle Lösung, um die verschiedenen Facetten ganzheitlich abzubilden. Entsprechend der Definition nach Bracht, Geckler und Wenzel (2011) ist die Interoperabilität ausgehend von der Semiotik (Lehre von den Zeichen) durch die Umsetzung einer syntaktischen, semantischen und pragmatischen Integrations-ebene zwischen den jeweiligen Systemen und Modellen geprägt. Zur Umsetzung der syntaktischen Interoperabilität sind die technischen Voraussetzungen zur Vernetzung der zu verwendenden Methoden zu gestalten (beispielsweise Austauschformate, Kommunikationsprotokolle, Systemarchitektur). Bezüglich der semantischen Integration ist der Informationsfluss zwischen den Methoden zu definieren. Im Hinblick auf a) lassen sich hierzu entsprechende semantische Bezüge zwischen den Informationen der unterschiedlichen Methoden herstellen. Im Rahmen der pragmatischen Integration ist zu formulieren, wie die zwischen den Methoden ausgetauschte Information in dem jeweils anderen Methodenkontext zu interpretieren ist.

Neben dem spezifischen Methodenwissen müssen auch die Kenntnisse zu Planungs-, Projekt- und Produktspezifika aus dem Anlagenbau in die Methodik einfließen. Auf Basis dieser Kenntnisse werden anhand von Projektplänen, Vorgehensweisen und Vorgaben der industriellen Partner im PA die erforderlichen, zu ergänzenden Funktionalitäten über User-Stories beschrieben und resultierende Funktions- und Informationsbedarfe sowie Anwendungsprofile abgeleitet (d). Über Nutzungsszenarien wird sichergestellt, dass die Methodik auf den KMU-Bedarf zugeschnitten ist.

Bei der Konzeption der Methodik wird berücksichtigt, dass heute bereits gute Methoden zum Projektmanagement, zur Simulation und Optimierung sowie zur Visualisierung vorliegen, deren sinnvolle Integration bereits einen Mehrwert bringen kann. Aus diesem Grund liegt das primäre Ziel in der Integration bestehender Methoden, die für den KMU-Einsatz angepasst werden. Hierbei stellen die heutigen, bei der Zielgruppe KMU im Einsatz befindlichen Projektplanungswerkzeuge die Integrationsbasis dar, um einen möglichst hohen Akzeptanz zu erzielen. Gleichzeitig sollen bereits bewährte Konzepte aus anderen Konsortien des Bauwesens und des Schiffbaus auf Verwendung und Integration geprüft werden. Über die Einbindung der Flensburger Schiffbau-Gesellschaft mbH & Co. KG als Mitglied in den PA besteht die Möglichkeit, auf die bestehenden Entwicklungen des Unternehmens und der Kooperationen zu SIMoFit (SIMoFIT 2015) zurückzugreifen und sie bei der Entwicklung der Methodik zu berücksichtigen. Die Konzeption der Methodik soll über einen werkzeugunabhängigen Integrationsansatz umgesetzt werden. Die Evaluation erfolgt anhand eines Demonstrators.

3 Stand der Wissenschaft und Technik

Basierend auf der in Kapitel 2 dargelegten Problemstellung und Zielsetzung des Forschungsvorhabens gibt das folgende Kapitel eine kurze Zusammenfassung zum Stand der für das Vorhaben relevanten wissenschaftlichen Arbeiten. Der Fokus der Ausführungen liegt auf dem Projektmanagement allgemein sowie im Anlagenbau, den ergänzenden Methoden zur Simulation, Optimierung und Visualisierung, der Rolle der Logistiksimulation sowie ergänzender einzubindender Planungsdaten.

3.1 Projektmanagement

Das Projektmanagement umfasst nach DIN 69901:2009 die „Gesamtheit von Führungsaufgaben, -organisation, -techniken und -mitteln für die Initiierung, Definition, Planung, Steuerung und den Abschluss von Projekten“ (DIN 69901:2009, Teil 5, S. 14). Der Begriff Projekt ist nach oben zitierter DIN-Norm definiert als: „Vorhaben, das im Wesentlichen durch Einmaligkeit der Bedingungen in ihrer Gesamtheit gekennzeichnet ist“ (DIN 69901-5:2009) wie zum Beispiel: „Zielvorgabe, zeitliche, finanzielle, personelle oder andere Begrenzungen, projektspezifische Organisation“ (DIN 69901:2009, Teil 5, S. 11). Häufig wird diese Definition noch erweitert um Komponenten wie „die relative Komplexität und relative Neuartigkeit“ (Möller und Dörrenberg 2003, S. 4), die Änderung des Projektcharakters im zeitlichen Verlauf (vgl. Kuster et al. 2011, S. 4) oder die „Teamarbeit“ und „Interdisziplinarität“ (Zell 2003, S. 57). Abzugrenzen von Prozessen in Unternehmen sind Projekte in erster Linie durch ihre Einmaligkeit mit festem Anfangs- und Endzeitpunkt. Prozesse hingegen können laut Definition beliebig oft und kontinuierlich ablaufen.

Grundsätzlich lässt sich der zeitliche Ablauf eines Projekts in Phasen unterteilen. Nach der DIN 69901 wird zwischen Projektphasen, die individuell nach dem Inhalt des Projektes festgelegt werden müssen, und den universellen Projektmanagementphasen unterschieden. Letztere sind in der Norm benannt als Initialisierung, Definition, Planung, Steuerung und Abschluss. Die Standardisierung von Projektmanagementphasen erscheint sinnvoll, da ein konsequentes, meist sequentielles Abarbeiten bestimmter einheitlicher Schritte für die Projektbeteiligten den aktuellen Stand sichtbar macht, die Übertragung des Erlernten auf zukünftige Projekte erleichtern kann und außerdem die Gesamtziele im Projektverlauf weniger schnell aus dem Fokus geraten lässt.

Obwohl Projekte also per definitionem einmalig sind, lassen sich bei entsprechender Unterteilung doch bereits bekannte und auch wiederholbare Prozessschritte identifizieren, so dass der Grundgedanke der kontinuierlichen Verbesserung von Prozessen auch auf Projekte anwendbar ist.

Seit 1969 Barnes (vgl. Weaver 2007, S. 4) das „Eiserne Dreieck“ des Projektmanagements formulierte, stehen dessen Zieldimensionen Zeit, Kosten und Leistung und deren Wechselwirkungen im Fokus der Erfolgsbetrachtung (vgl. Bea, Scheurer und Hesselmann 2011, S. 9f.). Darüber hinaus sind jedoch weitere Faktoren entscheidend für den Projekterfolg. Letztendlich führen Menschen die Projekte durch; damit ist die Berücksichtigung der Stakeholder (Personen oder Personengruppen, die Einfluss auf bzw. Interesse am

Projekt haben oder von Auswirkungen betroffen sind, vgl. Schelle, Ottmann und Pfeiffer 2005, S. 527) zur zentralen Aufgabe des Projektmanagements geworden.

Ziele der Verbesserung im Projektmanagement liegen immer im Verkürzen der Produktionszeiten von Produkten, im Halten oder Verbessern der Qualität sowie in der Minimierung der Risiken und Kosten. Diese Ziele können durch eine bessere Auslastung von Ressourcen und Terminplanung mit Rücksicht auf die entstehenden Kosten erreicht werden. Bei der Planung von Termin- und Ressourcenplänen wird heutzutage auf einfache Methoden zurückgegriffen. Vorwärts- und Rückwärtsrechnung sind anerkannte Verfahren zur Berechnung des frühesten End- und spätesten Starttermins eines Projektes. Abgeleitet aus den Start- und Endterminen werden Termine für Arbeitspakete festgelegt und Ressourcen zugeordnet. Kommt es zu einer Ressourcenknappheit, wird durch einfache Verlagerung der Termine von Arbeitspaketen innerhalb eines möglichen Zeitpuffers reagiert. Arbeitspakete liegen zeitlich nicht mehr parallel und ihre Ressourcen werden nur noch sequentiell ausgelastet. Liegt diese Terminverschiebung außerhalb der Pufferzeiten, kommt es zu Verspätungen der nachfolgenden Arbeitspakettermine. Der Endtermin des Projektes verschiebt sich in die Zukunft. Für eine vorzeitige Vermeidung solcher Situationen ist es wichtig, Arbeitspakete in eine optimale terminliche Reihenfolge zu legen, um möglichst wenige Terminverspätungen zu erhalten. In vielen Fällen werden Erfahrungswerte, einfache Priorisierung und scharfes Hinsehen als einzige Methoden verwendet, um diese Reihenfolgen zu erstellen.

Erschwert werden die Termin- und Ressourcenplanung, wenn Unternehmen mehrere Projekte in ihrer Organisation führen und oft auch im selben Programm. Die Zusammenstellung des Programms und damit die Art der Abhängigkeit werden im sogenannten Multiprojektmanagement definiert. Obwohl viele Projekte eines Unternehmens mit dem gleichen Ressourcenpool arbeiten und andere Abhängigkeiten zueinander aufweisen, werden sie alleinstehend geplant und durchgeführt. Nur marginal wird auf Abhängigkeiten unter Projekten eingegangen und diese in die Planung einbezogen. Nach Zuluaga u. a. (2007) und Aaker und Tyebjee (1978) existieren zwischen Projekten drei Arten der Abhängigkeit. *Ressourcenabhängigkeiten* führen dazu, dass Projekte nicht parallel ausgeführt werden können, wenn sie auf die gleichen Ressourcen angewiesen sind und diese zu stark auslasten. Finden Projekte an verschiedenen Standorten statt, müssen Ressourcen zwischen diesen transferiert werden, was Zeit und Kosten veranschlagt. Bei jedem Projektwechsel wird auch der Standort gewechselt. Bei *technischen Abhängigkeiten* zwischen Projekten ist es möglich, dass ein Projekt nur dann fortgeführt werden kann, wenn ein anderes zur Ruhe gesetzt wird. Genauso kann ein Projekt davon abhängig sein, dass ein zweites Projekt ausgeführt wird. Diese Abhängigkeit gilt auch bei ressourcenunabhängigen Projekten. *Profitabhängigkeiten* sind Einflüsse, die Projekte nach Abschluss aufeinander haben. Konkurrenzprojekte werden den Profit anderer Projekte beeinflussen und verringern. Komplementäre Projekte haben dagegen keinen Einfluss aufeinander. Obwohl verschiedene Arten der Abhängigkeiten existieren, wird im angewandten Multiprojektmanagement ausschließlich auf Ressourcenabhängigkeiten eingegangen. Profitabhängigkeiten zwischen Produkten sind eine Aufgabe des Businessplans und der Unternehmensleitung.

Technische Abhängigkeiten zwischen Projekten werden nicht berücksichtigt oder im einfachsten Fall durch Vorgänger-, Nachfolgerbeziehungen definiert. Bei der steigenden Menge an Ressourcenabhängigkeiten zwischen Projekten eines Programms können die Erfahrung des Führungspersonals und eine einfache Priorisierung nicht mehr länger als einzige Hilfsmittel bei der Termin- und Ressourcenplanung von Programmen fungieren. Um eine bessere Übersicht und Planung für das Multiprojektmanagement zu gewährleisten, müssen Werkzeuge, Prozesse und Dokumentationen zur Verfügung gestellt werden (vgl. z. B. Fricke und Shenhar 2000). Mit einer simulationsgestützten Optimierung von Termin- und Ressourcenplänen wird dem Multiprojektmanagement eine unterstützende Funktion bei der Planung von Projekten gegeben; Termin-, Ressourcen- und Projektabhängigkeiten werden berücksichtigt und alternative Termin- und Ressourcenlösungen vorgeschlagen.

Innerhalb eines Projektes können wiederverwendbare Ressourcen zwischen Arbeitspaketen ausgetauscht werden, sobald ein Arbeitspaket sie nicht mehr benötigt. Aufgrund dieser Ressourcen ist die Einführung der Problemdimension Ressourcenkapazität notwendig. Ressourcen wie Gabelstapler können nicht in zwei verschiedenen Aufgaben zur gleichen Zeit verwendet werden, wenn in beiden Aufgaben ein Auslastungsgrad von 100% vorliegt. Diese Arbeitspakete müssen zwangsläufig nacheinander ausgeführt werden. Da Unternehmen keineswegs nur ein Projekt zur gleichen Zeit betreiben und es Arbeitspakete gibt, die projektübergreifend auf dieselbe wiederverwendbare Ressource zugreifen, ist auch die Abbildung dieser Probleme notwendig. Mit der Zusammenführung von mehreren Projekten kommen hauptsächlich neue parallel abzuarbeitende Arbeitspakete hinzu, deren Ressourcenverwendung synchronisiert werden muss. Da die Durchführung von Projekten häufig an weit voneinander entfernten Orten erfolgt, ist der Transfer von wiederverwendbaren Ressourcen zu erwarten, die in Arbeitspaketen unterschiedlicher Projekte genutzt werden. Diese Transferzeiten werden zumindest teilweise ebenfalls berücksichtigt und besitzen im Normalfall nur eine Dauer. Es kann vorkommen, dass sich ebenso Arbeitspakete eines Projektes an unterschiedlichen Orten abspielen. Jedoch werden solche Ortsunterschiede in den meisten Fällen als zu geringfügig betrachtet, um einen hohen Einfluss auf die Ablaufplanerstellung zu haben.

Festes Ziel aller Planungen ist die zeiteffiziente Termin- und Ressourcenplanung, wobei die zur Verfügung stehenden Ressourcen eines Ressourcenpools optimal ausgenutzt werden und ihr Auslastungsgrad nie über 100% liegt.

Zur Unterstützung des Projektmanagements wird im industriellen Umfeld sogenannte Projektmanagementsoftware eingesetzt. Unter Projektmanagementsoftware werden im Allgemeinen alle Anwendungen, die zur Unterstützung des Projektmanagementteams eingesetzt werden können, eingeordnet. Im engeren Sinne werden darunter spezielle Tools, die zum Planen, Kontrollieren und Steuern von Projekten, d. h. sowohl im Einzel- als auch im Multiprojektmanagement, verstanden. Dazu gehören vor allem die Zielgrößen Termine und Kosten, aber auch die Verwaltung und Optimierung von Einsatzmitteln und Ressourcen im Enterprise Resource Planning (ERP) (vgl. Motzel 2010, S. 182). Der Einsatz einer Projektmanagementsoftware ersetzt keinesfalls das Wissen über systematisches Pro-

jektmanagement; Software kann immer nur unterstützend wirken. Das Einsparungspotenzial scheint jedoch noch beachtlich zu sein. Ahlborn weist exemplarisch auf Einsparpotenziale von bis zu 75% des Zeitaufwands für einzelne Arbeitspakete hin (vgl. Ahlborn 2003, S. 3).

MS Project ist seit über 30 Jahren als kommerzielle Standardsoftware für die Erstellung von Netz- und Terminplänen, Kosten- und Ressourcenplanung und -überwachung verfügbar. Heute wird MS Project weltweit und in allen Branchen eingesetzt, wobei seine Möglichkeiten meist gar nicht ausgeschöpft werden. Alternativprodukte orientieren sich häufig an dessen Funktionsumfang und bieten Kompatibilität über das gleiche Dateiformat an. Deutlich über den Standardumfang hinausgehende Funktionen stehen Anwendern beispielsweise in Multiprojektmanagementsystemen zur Verfügung, die datenbankorientiert eine unternehmensweite Vernetzung aller Projekte und Ressourcen ermöglichen. Der Einsatz derartiger Lösungen ist bei KMU eher die Ausnahme. Die Vorliebe vieler Unternehmen für Standardsoftware führt aber auch dazu, dass Tabellenkalkulationsprogramme wie MS Excel für Kostenkalkulation und -controlling aufgrund ihrer Flexibilität für Projektmanagementaufgaben bevorzugt werden. Nach Kohnke (2015) wurde in einer Studie von Konradin (2011) ermittelt, dass fast 80 % der deutschen Unternehmen auf Standardsoftware setzen (Kohnke 2015, S. 28). Aufgrund des Verbreitungsgrades der Standardsoftware liegt es nahe, an die gängigen und über kompatible Austauschdateiformate erreichbaren Datenbestände anzuknüpfen. Prinzipiell kann damit auf dem im Unternehmen etablierten Level aufgesetzt werden, so dass mit dem Argument eines nur unwesentlichen Mehraufwandes vor allem eine hohe Akzeptanz bei KMU erreicht werden kann.

3.2 Projektmanagement im Anlagenbau

Da hochwertige kundenindividuelle Anlagen in der Regel Ergebnisse komplexer Projekte sind, gehört die erfolgreiche Abwicklung dieser Projekte ebenfalls zur Kernkompetenz der Anlagenhersteller (vgl. Zachau 1995, S. 162). Der deutsche Anlagenbau ist für technische Spitzenleistungen bekannt (vgl. Schmelcher 2000, S. 527). Deutschen Anlagen unterscheiden sich häufig von den Konkurrenzprodukten durch besonders hohen technischen und wirtschaftlichen Nutzungsgrad innovativer Individuallösungen (vgl. Kemna 1993, S. 125-126). Viele Produkte sind Unikate (vgl. Schmelcher 2000, S. 509).

Trotz hoher Innovationsstufe der Anlagenbauprodukte sind jedoch nur wenige Projekte als reine Innovations- oder Entwicklungsprojekte einzuordnen. Die Vielzahl der Anlagenbauprojekte sind typische Investitionsprojekte, bei denen die Planung und Anpassung bereits vorhandener Anlagenkomponenten sowie in der Realisierungsphase auch die Beschaffung, Fertigung und Montage durchgeführt werden. Insbesondere wenn dabei die Vielzahl der Komponenten nicht vom Anlagenbauer selbst produziert, sondern als Fremtteile beschafft werden, kommen beschaffungstypischen Probleme hinzu (vgl. Burghardt 2002, S. 23-24; Engelmann 2006, S. 43, Voigt 2010, S. V).

Mit der technischen Komplexität der Anlagenbauprodukte steigt regelmäßig auch die Projektabwicklungskomplexität. Viele Projekte, besonders im Großanlagenbau, haben zudem strategische Bedeutung für das Unternehmen. Grund dafür ist zum einen das beachtliche

Auftragsvolumen dieser Projekte (vgl. Zachau 1995, S. 11-13; Voigt 2010, S. V). Neben dem damit einher gehenden wirtschaftlichen Risiko, ergibt sich daraus zum einen die Chance, technologische Stärke und Seriosität zu beweisen und mit jedem erfolgreich abgeschlossenen Referenzprojekt die Basis für zukünftige Akquisitionen zu schaffen (vgl. Schmelcher 2000, S. 518). Zum anderen muss jedoch auch die Vertrauensbasis geschaffen und erhalten werden, unabhängig vom Verkauf technischer Spitzenleistungen (vgl. Kemna 1993, S. 125-133).

Technische und organisatorische Komplexität sowie Schwierigkeiten bei der Koordination von internen und externen Schnittstellen führen zu einer komplexen Risikostruktur, die für das Anlagenbaugeschäft charakteristisch ist und den Projekterfolg jederzeit gefährden kann (vgl. Voigt 2010, S. V; Burghardt 2002, S. 23-24; Jankulik und Piff 2009, S. 77-79; Zachau 1995, S. 13). Allgemein werden die branchenspezifischen Unsicherheiten in sieben Risikoarten (Marktrisiken, rechtlich-politische Risiken, organisatorische Risiken, abwicklungstechnische Risiken, wirtschaftliche Risiken, technologische Risiken und Umwelt Risiken) unterteilt (vgl. Riebeling 2008, S. 97-98; Voigt 2010, S. 36-37; Seeger 1995, S. 185ff.; Schmelcher 2000, S. 508ff.). Unter Marktrisiken fallen alle Unsicherheiten, die von der Wettbewerbssituation abhängig sind, wie das Auftrags- oder Angebotsrisiko (vgl. Voigt 2010, S. 42; Tecklenburg und Huch 2001, S. 305). Zu den rechtlich-politischen Risiken werden Risiken gezählt, die bei der Verletzung politischer oder rechtlicher Interessen der Projektbeteiligten oder Dritter entstehen, wie z. B. Haftungs-, Genehmigungs-, Export- und Lizenzrisiken, aber auch Änderungen der gesetzlichen oder politischen Anforderungen (vgl. Riebeling 2008, S. 97-98; Heinrich 1997, S. 178-179). Organisatorische Unsicherheiten umfassen alle Risiken, die sich auf die Organisationsstruktur zurückführen lassen, sowie Risiken, die sich aus Projektkommunikation oder Personaleinsatz ergeben. Unsicherheiten, die überwiegend in der Ausführungsphase auftreten, werden als abwicklungstechnische Risiken zusammengefasst. Dazu zählen auch Transport- und Funktions- bzw. Leistungsrisiken. Wirtschaftliche Risiken umfassen Kosten-, Erlös-, Zahlungs- sowie Investitions- und Finanzierungsrisiken. Sie sind über die gesamte Projektlaufzeit präsent. Technologische Risiken hängen insbesondere von der Innovationsstufe des Produktes und den Besonderheiten der Umgebung ab, in die die Anlage eingebettet werden muss. Der Standort des Objektes bestimmt unter anderem die Umweltrisiken, die sich aus klimatischen, ökologischen und geologischen Naturphänomenen an der Baustelle ergeben (vgl. Riebeling 2008, S. 97-98). Einige Risiken können mehreren Kategorien zugeordnet werden (vgl. Schmelcher 2000, S. 538; Burghardt 2002, S. 23-24; Seeger 1995, S. 208-211). So kann beispielsweise das Angebotsrisiko als ein Marktrisiko und gleichzeitig als ein abwicklungstechnisches Risiko gesehen werden.

Professionelles Projektmanagement für Anlagenbauprojekte muss sich somit neben den klassischen Aufgabengebieten des Projektmanagements (Zeit, Aufwand, Ergebnis – vgl. Motzel 2010, S. 8) vor allem mit dem Managen der Risiken befassen. Eine moderne Projektmanagement-Softwareplattform muss demzufolge alle Facetten der Projektabwicklung unterstützen und spezialfachliche Informationen ebenso wie ablaufrelevante Informationen, typische technische Zeichnungen neben nutzerspezifischen Visualisierungen, ge-

sammelte Umweltdaten sowie Prognosen über zukünftige Entwicklungsoptionen und darüber hinaus das Erfahrungswissen aus bereits abgeschlossenen Projekten einschließlich altbekannter und neu identifizierter Projektrisiken bereithalten.

3.3 Simulation, Optimierung und Visualisierung im Projektmanagement

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 2015). 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 2015). Einen allgemeinen prozessorientierten Ansatz verfolgt das Werkzeug OTD-PM (vgl. Fraunhofer 2015); 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 2015). Das Simulationsprogramm Simultrain® (vgl. SIMULTRAIN 2015) 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.

3.3.1 Einsatz der Monte-Carlo-Simulation in der Projektplanung

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. Im akademischen Bereich finden sich Ansätze der Abbildung von Unsicherheiten mittels der Monte-Carlo-Simulation (vgl. Kwak und Ingall 2007). Mit der Monte-Carlo-Simulation steht ein leistungsfähiges Instrument zur Verfügung, das für die Abbildung von Unsicherheiten in der Projektplanung prinzipiell sehr gut geeignet ist. Die Monte-Carlo-Simulation, auch MC-Simulation, ist ein Verfahren aus der Stochastik, bei dem eine sehr große Zahl gleichartiger Zufallsexperimente die Basis darstellt. Es wird dabei versucht, mit Hilfe der Wahrscheinlichkeitstheorie analytisch nicht oder nur aufwendig lösbare Probleme numerisch zu lösen. Als Grundlage ist vor allem das Gesetz der großen Zahlen zu sehen. Die Zufallsexperimente können entweder – etwa durch Würfeln – real durchgeführt werden oder in Computerberechnungen über Erzeugung geeigneter Zufallszahlen (Kwak und Ingall 2007).

3.3.2 Optimierung in der Projektplanung

Für die Optimierung von Projektplänen wird in der Forschung die Netzwerkoptimierung (Netzwerkoptimierung ist ein Teilbereich des Operations Research) herangezogen (vgl. Ahuja et al. (1995)). Dabei repräsentiert ein abstraktes Netz ein zu optimierendes, mathematisches Modell. Dieses Modell wird mit Hilfe leistungsstarker Optimierungssoftware optimal gelöst. Sollte eine optimale Lösung nicht gefordert oder aufgrund von einer zu hohen Komplexität nicht berechenbar sein, so wird mithilfe von heuristischen Suchverfahren mit einem vertretbaren Rechenaufwand eine möglichst gute Lösung ermittelt. Anwendungsfelder der Netzwerkoptimierung sind z. B. die Ermittlung von kürzesten Wegen innerhalb von Verkehrsnetzen, der kostenminimale Transport von Gütern zwischen Produzenten und Konsumenten, die schnellstmögliche Belieferung von Kunden oder die Planung eines kostengünstigen Versorgungsnetzwerkes (Suhl und Mellouli 2013). Projektpläne werden als ressourcenbeschränkte Projektplanungsprobleme mit multiplen Ausführungsmodi beschrieben. Die Modellierung und Lösung dieser sogenannten Planungsprobleme machen von denselben Konzepten und Begriffen der ressourcenbeschränkten Projektplanung Gebrauch.

Um das Multiprojektmanagement formal beschreiben zu können, kann beispielsweise das Project Scheduling Problem (PSP) als eine allgemeine formale Beschreibung von Projekten und deren Arbeitspaketen genutzt werden, die mit ihrem Minimum an Zusatzinformationen dazu verwendet werden, Ablaufpläne zu erstellen. Die Problemdimensionen des PSP sind dabei kontinuierlich um Bedürfnisse von Firmen und Forschung erweitert. Grundlegend besteht PSP aus mehreren Arbeitspaketen, zu deren Eigenschaften ihre Dauer sowie Vorgänger- und Nachfolgerbeziehungen zu anderen Arbeitspaketen zählen. Diese Arbeitspakete stehen in einer Menge, die als Projekt bezeichnet wird. Mit den Bedürfnissen der Industrie und der Erkenntnis, dass derartige Problemstellungen nicht genug Tiefe besitzen, um echte Projekte abzubilden, sind Erweiterungen wie das resource-constraint-PSP (rc-PSP), das resource-constraint-Multiple-PSP (rc-M-PSP) oder das resource-constraint-Multiple-PSP with transfer times (rc-M-PSP-tt) eingeführt worden (vgl. z. B. Kolisch 2008).

Die zu lösende Aufgabe in der Optimierung von Projektplänen liegt nun darin, einen Schedule S zu bestimmen, so dass ein gegebenes Zielkriterium $f(S)$ optimiert oder möglichst verbessert wird (im Fall eines heuristischen Suchverfahrens) und eine Menge von Restriktionen erfüllt werden. Eine Einführung in die ressourcenbeschränkte Projektplanung geben Zimmermann, Stark und Rieck (2006); der aktuelle Stand der Forschung wird in Demeulemeester und Herroelen (2002), Neumann, Schwindt und Zimmermann (2003) sowie Jozefowska und Glarz 2006) wiedergegeben.

3.3.3 Simulationsgestützte Optimierung

Die Idee der simulationsgestützten Optimierung (vgl. März et al. 2010) besteht darin, mit Simulationsmodellen eine Optimierungskomponente zu verbinden, die bestimmte Variablen eines Simulationsmodells zur Minimierung oder Maximierung einer Zielfunktion variiert. Die simulationsgestützte Optimierung besteht aus zwei Komponenten. Eine dieser

Komponenten ist ein Simulator, der eine Simulation mit Hilfe von bestimmten Eingabeparametern durchführt und ein Simulationsergebnis ausgibt. Dieser Simulator bildet gegebene oder in Planung stehende Systeme ab und verhält sich dem abgebildeten System entsprechend. Eine weitere Komponente ist ein Optimierer, der heuristisches Wissen über das abgebildete System besitzt. Mit Hilfe dieses Wissens erstellt der Optimierer Simulationsparameter, die ein voraussichtlich gutes Simulationsergebnis liefern. Die Qualität dieses Simulationsergebnisses wird im Optimierer anhand eines vorher definierten Gütekriteriums gemessen. Sind die Ergebnisse der Simulation im Optimierer ausgewertet, werden die Simulationsparameter erneut angepasst, um eine neue Simulation anzustoßen. Dieser Zyklus wird von einem Abbruchkriterium überwacht, das einer endlichen Anzahl an Schleifendurchgängen oder einer festen Regelung entsprechen kann, wie das Einhalten eines Fehlerbands.

Aktuelle Arbeiten beschäftigen sich mit der kombinatorischen Optimierung der Ablaufpläne von ressourcengebundenen Projektplanungsproblemen sowie ressourcengebundenen Mehrprojektplanungsproblemen (vgl. Kolisch 2008). Die Suche nach einem Ablaufplan, der die optimale Anordnung der Arbeitspakete eines Programms in Bezug auf ein vorher definiertes Projektziel besitzt, entspricht der Suche nach einem globalen Optimum unter allen Lösungen. Diese kombinatorische Suche ist NP-äquivalent und stellt somit ein Problem für die Mathematik dar, die keinerlei Methodik bereitstellt, um unabhängig von der Problemgröße ein optimales Ergebnis in Echtzeit oder gar in einer akzeptablen Zeit zu errechnen. Die Mathematik stellt jedoch verschiedene Verfahren zur globalen nichtlinearen Optimierung bereit, die verwendet werden können (vgl. exemplarisch Goncalves 2004). Diese Verfahren können nicht garantieren, die beste Lösung zu generieren. Sie sind jedoch in der Lage, sich der besten Lösung zu nähern. Dabei suchen sie wiederholt nach lokalen Optima, in deren Nähe sich möglicherweise das globale Optimum befindet.

Da die Anordnung von Arbeitspaketen für rc-PSP sowie rc-M-PSP bestimmten natürlichen Gesetzen unterliegt, empfiehlt sich die Verwendung von naturanalogen Optimierungsverfahren. Liu et al. (2009) beschreiben die Verbindung von Partikelschwarmoptimierung und genetischen Algorithmen zur Ablaufplanerstellung bei rc-PSP mit Erfolgswahrscheinlichkeiten. Der beschriebene Algorithmus nähert sich den optimalen Lösungen mit hohen Erfolgswahrscheinlichkeiten in geringer Zeit. Er berücksichtigt jedoch noch keine Projektkosten und -zeiten. Wang et al. (2010), Zhao et al. (2009), Merkle, Middendorf und Schmeck (2002) und Shou (2007) setzen die Ameisenkolonieoptimierung zur Ablaufplanerstellung ein. Dabei verwenden Zhao et al. (2009) die Ameisenkolonieoptimierung zur Erzeugung von Ablaufplänen im ersten Schritt. In einem zweiten Schritt werden diese Ablaufpläne durch eine 2-Opt-Heuristik erneut verändert, was zu einem noch besseren Ergebnis führen kann. Ziel der zweistufigen Ergebniserstellung ist der Versuch, die Ameisenoptimierung davon abzuhalten, zu schnell in ein lokales Optimum zu fallen. Zhao et al. (2009) kommen zu dem Schluss, dass die klassische Ameisenoptimierung ohne erweiternde Schritte zu schnell in ein lokales Optimum fallen kann und weitere Optima übersieht. Merkle, Middendorf und Schmeck (2002) führen ebenfalls Erweiterungen in die Ameisenoptimierung ein. Unter anderem werden das Ignorieren der bisher besten gefun-

denen Lösung, eine Verringerung des Einflussparameters, die Vergrößerung des Parameters zum Ende der Suche und bidirektionales Planen mit zwei Ameisenkolonien verwendet. Ziel ist es, optimale Ergebnisse zu erreichen und der zu schnellen lokalen Optimierung entgegen zu wirken. Besonders das Anpassen von Einflussparametern im Laufe der Suche und das Fallenlassen von bereits bekannten guten Lösungen führen zu weiteren guten Lösungen. Shou (2007) verwendet ebenfalls zwei bidirektional planende Ameisenkolonien. Jede Ameisenkolonie besitzt dabei ihre eigene Pheromonmatrix. Nach einer bestimmten Anzahl an Suchschritten werden die Pheromonmatrizen aneinander angeglichen. Somit wird ein zu schnelles Annähern an ein lokales Optimum vermieden. Die Suche mit bidirektionalen Ameisenkolonien führt unter anderem zum Auffinden von vorher unbekanntem Lösungen. Die Ameisenkolonieoptimierung wird von Shou (2007) und Merkle et al. (2002) bereits erfolgreich verwendet, um rc-PSP zu lösen. Dabei werden gute Ergebnisse bei einer sehr geringen Laufzeit erzielt. Ebenso erfolgreich werden rc-M-PSP von Wang et al. (2010) und Zhao et al. (2009) optimiert. Die Anpassung der Ameisenoptimierung von rc-PSP zu rc-M-PSP ist dabei sehr einfach. Krüger und Scholl (2008) verallgemeinern von rc-PSP zu rc-M-PSP, indem sie Pseudoarbeitspakete als Pseudostart und Pseudoende für ein Multiprojekt anlegen. Zudem werden Vorgänger-, Nachfolgerbeziehungen zwischen den Endpunkten der einzelnen Projekte und dem Endpunkt des Programms festgelegt. Gleiches wird auch für Anfangspunkte durchgeführt. In einer derartigen Struktur können alle Multiprojekte wie einzelne Projekte geplant werden. Alle Optimierungsalgorithmen müssen somit nur geringfügig angepasst werden. In rc-PSP sowie rc-M-PSP wird bisher davon ausgegangen, dass Arbeitspakete und Projekte am gleichen Standort durchgeführt und Ressourcen zwischen ihren Arbeitspaketen ohne Kosten und zeitlichen Aufwand transportiert werden. Krüger und Scholl (2008) führen diese weitere Problem dimension in die ressourcengebundenen Mehrprojektplanungsprobleme mit Transferzeiten ein. Durch die Bereitstellung von Transferzeiten werden die Planungen von Arbeitspaketen genauer und die entstehenden Ablaufpläne mit ihren Deadlines präziser. Somit bieten Transferzeiten die Möglichkeit, den Transfer einer Ressource und ihre Aufstellung zu berücksichtigen. Diese Transfers werden mit zeitlichem sowie monetärem Aufwand versehen.

3.3.4 Baufortschrittsvisualisierung

Der Bau von Gebäuden und großen Anlagen bietet die Freiheit, den Ablauf unter Einhaltung gewisser Restriktionen zu variieren. Diese betreffen u. a. das Bauverfahren, Abhängigkeiten der Bauabschnitte untereinander (z. B. Trocknung von Betonfundament vor weiteren Bauabschnitten), Einhaltung von Terminen und Kosten sowie die Verfügbarkeit von Ressourcen für den Bau. Oftmals reicht hierfür die übliche abstrakte Darstellung des Bauablaufs als Gantt-Diagramm der Planung aus. Zunehmend kommen hierzu aber auch Visualisierungsverfahren zum Einsatz, die die Baustelle und das Gebäude als Bauobjekt in seinen Bauabschnitten realitätsnah darstellen. Weitere Gegenstände der Visualisierung sind u. a. das Bauumfeld mit den Zulieferern und deren Zufahrtsrouten sowie Randbedingungen wie Wetter und Verkehr. 3D zur Darstellung eines ausgewählten Bauzustands

und seine Erweiterung zu 4D unter Einbeziehung der Veränderung des Baus über die Zeit sind heutzutage gängige Verfahren. 5D schließt sogar die Darstellung der aktuellen Kostenentwicklung mit ein.

Grundsätzlich lassen sich bei der Visualisierung des Bauablaufs bzw. des Baufortschritts zwei Verfahren unterscheiden, die Visualisierung auf Basis des Projektplans und aktueller Projektdaten sowie die Visualisierung mittels eines Simulationsmodells.

Das erste Verfahren orientiert sich bei der Visualisierung an dem Projektplan und generiert zu jedem Zustand des Projektablaufs aus den zu diesem Zeitpunkt zur Verfügung stehenden Daten des Bauvorhabens ein aktuelles Bild des Bauobjektes als 3D-Visualisierung. Grundlage hierfür ist die datentechnische Verknüpfung der Projektplanungsdaten mit den Daten aus dem Bereich der Konstruktion des Bauobjektes im Zuge des Building Information Modeling (BIM). BIM beschreibt eine Planungsmethode im Bauwesen, die die Erzeugung und die Verwaltung von digitalen virtuellen Darstellungen der physikalischen und funktionalen Eigenschaften eines Bauwerks beinhaltet (Egger et al. 2013). Die Visualisierung erlaubt, ausgehend vom Projektplan auf der Basis der vorliegenden Konstruktionsdaten eine Darstellung des aktuellen Bauzustandes, auf dessen Basis die am Bau Beteiligten Vorgehens- und Handlungsalternativen diskutieren und bewerten können. Hierzu gehört insbesondere das zeitliche Verlagern von Tätigkeiten einschließlich des Frontloadings (vgl. u. a. Bracht, Geckler und Wenzel 2011, S. 53). Grundsätzlich ist das Ziel ein optimierter Projektablauf durch Transparenz (des aktuellen Zustands des Bauvorhabens) und ständige Anpassung des weiteren Vorgehens ausgehend von der aktuellen Projektsituation. Vertreten wird dieses Verfahren durch Werkzeuge wie z. B. Afinion, das Planung und Steuerung von Großbaustellen unterstützt, indem es Ereignisse auf dem Lageplan der Baustelle in ihrer zeitlichen Abfolge sichtbar macht (vgl. Afinion 2015). Einer der bekanntesten Vertreter ist BIM 360 der Fa. AutoDesk, die den Standardisierungsprozess in der Baubranche auch maßgeblich vorantreibt (BIM360 2015). Auf eine Standardisierung und eine aufgabenadäquate Visualisierung zielt u. a. auch das Forschungsprojekt Mefisto, in dessen Rahmen eine visuelle Modell-, Informations- und Wissensplattform mit dem Ziel, ein partnerschaftliches Management von Bauprojekten zu unterstützen (Mefisto 2015), entwickelt wurde.

Das zweite Verfahren basiert auf einem eigenen Simulationsmodell, das die Prozesse des Bauvorhabens abbildet. Hierzu gehören nicht nur die Schritte des Bauens wie z. B. das Ausheben der Baugrube, das Legen eines Fundaments oder Errichten von Mauern, sondern auch die logistischen Prozesse einschließlich Ver- und Entsorgen der Baustelle mit bzw. von Material sowie der einzelnen Positionen im und am Bau, an denen die konstruktiven Bauprozesse stattfinden. Visualisierungen auf Basis eines Simulationsmodells beschränken sich somit nicht auf die Darstellung des Baufortschritts, sondern zeigen insbesondere ablauftechnische Konflikte wie z. B. Überbedarf an Ressourcen, LKW-Staus oder sogar Krankkollisionen. Viele ereignisdiskrete Simulationswerkzeuge, die ursprünglich vorwiegend für stetig ablaufende Produktionsprozesse entwickelt wurden, bieten die Möglichkeit, auch baustellenspezifische (logistische) Prozesse abzubilden wie z. B. Plant Simulation der Fa. Siemens Tecnomatix oder Enterprise Dynamics der Fa. Incontrol. Beide

bieten darüber hinaus auch die Funktionalität, die simulierten Prozesse mit ihrer Dynamik dreidimensional darzustellen. Besondere Bedeutung kommt hier anwendungsspezifischen Simulationsbibliotheken zu, um den Aufwand für die Modellierung im Rahmen zu halten. Ein Vertreter hierfür ist der STS-Baukasten (STS – Simulation Toolkit Shipbuilding), der eine große Anzahl von wiederverwendbaren und parametrisierbaren Komponenten mit 2D- und 3D-Visualisierung für die Modellierung zur Verfügung stellt. Ursprünglich für den Schiffbau entwickelt, wurde der Einsatzbereich im Rahmen der Kooperation SIMoFIT (Simulation of Outfitting in Shipbuilding and Civil Engineering) auf die Baubranche erweitert (SIMoFit 2015).

Beide Verfahren stehen und fallen mit dem Aufwand, der für die Visualisierung anfällt. Somit ist es wichtig, dass die Modellierung auf der Verwendung von standardisierten Komponenten aufsetzt, für die auch eine entsprechende Visualisierung definiert ist. Zudem ist das Vorgehen zur Generierung der Visualisierung eindeutig zu definieren, z. B. mittels einheitlicher Formate und Modellierungskonventionen.

3.4 Logistiksimulation im Projektmanagement

Während für die Absicherung der Logistik in der Serienfertigung schon seit vielen Jahren die ereignisdiskrete Ablaufsimulation im Einsatz ist (vgl. z. B. Bayer, Collisi und Wenzel 2003), wird sie bei der Realisierung von kundenindividuellen Einmalprodukten nur vereinzelt eingesetzt, dann jedoch sehr erfolgreich. Für dieses Vorhaben interessante Entwicklungen finden sich vor allem im Bauwesen und im Schiffbau; einige Forschungen werden im Folgenden detaillierter ausgeführt.

3.4.1 Entwicklungen im Bauwesen (Hoch- und Tiefbau)

Im Rahmen einer Industriekooperation entwickeln Günthner und Kraul (2008) ein Modell zur simulationsgestützten Analyse des Bauablaufs eines U-Bahnhofes unter Verwendung des Simulationsprogramms Plant Simulation (Fa. Siemens). Hierbei betrachten sie baulogistische Prozesse und übertragen die Simulationsergebnisse in einen Projektplan. Die Erkenntnisse aus diesem Projekt werden im Anschluss in einem Vorhaben innerhalb des Bayerischen Forschungsverbundes Virtuelle Baustelle (ForBau) zu einer Bausteinbibliothek für den Tiefbau weiterentwickelt (Wimmer, Horenburg und Günthner 2010). Das Vorhaben beschäftigt sich außerdem mit der Umsetzung eines standardisierbaren Prozessmodells der Baustellenabwicklung, der 3D-Modellierung des Bauwerks, der Baustelle und der Bauprozesse, der Zusammenführung der Daten aus den Bereichen Konstruktion und Planung, Vermessung, Arbeitsvorbereitung, dem Controlling und der Baustelle in einem Produktdatenmanagementsystem sowie der Ablaufsimulation der Bauprozesse zur Validierung der statischen Projektpläne (vgl. auch Günthner und Bormann 2011). Auch Weber (2007) legt in seiner Dissertation den Fokus auf die Modellierung und Simulation von logistischen Prozessen auf Baustellen. Allerdings betrachtet er Hochbaustellen und die dortige Baustellen- und Anlieferungslogistik. Als Simulationswerkzeug kommt Enterprise Dynamics (Fa. INCONTROL GmbH) zum Einsatz. Einen Bezug zwischen dem eigentlichen Bauablauf und der Baulogistik stellt Weber jedoch nicht her. In ihrer Dissertation hat

Chahrour (2007) Erdbauprozesse mit Hilfe von CAD-Modellen und des auf Petri-Netzen basierenden Simulators PACE (Fa. IBE Simulation Engineering GmbH) analysiert und hierbei das Bauprojekt in seiner Gesamtheit mit Bauablauf und Logistik des Erdabtrags betrachtet. Kugler (2012) widmet sich in seiner Dissertation der Bauablaufsimulation im Hochbau. Schwerpunkt seiner Forschungen ist die Überprüfung der Nutzung der Multi-agentensimulation unter Verwendung der im Hochbau üblichen CAD-Modelle. Auch die Projektpartner des im BMBF-Förderprogramm IKT 2020 geförderten Leitprojektes Mefisto (Mefisto 2015) weisen darauf hin, dass aktuelle Projektmanagementsysteme im Bauwesen nur Teilaspekte des Planungs- und Realisierungsprozesses behandeln und unter anderem die Logistiksimulation für den Baubetrieb nicht unterstützen sowie ein erforderliches Risikomanagement meist nicht ermöglichen. Daher widmet sich das Vorhaben der Entwicklung eines Managementführungssystems für die Abwicklung von Bauprojekten.

3.4.2 Entwicklungen im Schiffbau

Die Simulation wird laut Steinhauer (2008) seit Mitte der 1990er Jahre an die Herausforderungen der Unikatproduktion im Schiffbau angepasst und dort zur Unterstützung der Produktionsplanung eingesetzt. Als Lösung steht hier der Simulationsbaustein STS für den Schiffbau zur Verfügung, der auf der bereits erwähnte Simulationssoftware Plant Simulation aufsetzt und wiederverwendbare, parametrierbare Bausteine zur Modellierung von schiffbaulichen Produktionen enthält (vgl. Steinhauer 2008). Auch die Verwendung regionaler Wetterdaten ist in der ereignisdiskreten Simulation maritimer Anwendungen bereits in der Entwicklung (Steinhauer 2011). In einer internationalen Kooperation SimCoMar (Simulation Cooperation in the Maritime Industries), an der Werften, Universitäten und Forschungseinrichtungen beteiligt sind, wird der Werkzeugkasten auf breiter Basis weiterentwickelt (SimCoMar 2015). In der Kooperationsgemeinschaft SIMoFIT (vgl. auch SIMoFit 2015) erfolgt darüber hinaus seit 2006 eine branchenübergreifende Zusammenarbeit zwischen Schiffbau und Bauwesen zur Entwicklung eines constraint-basierten Simulationsansatzes (Steinhauer, König und Bargstädt 2007). Ziel ist die simulationsgestützte Planung von Ausbauprozessen, so dass die Vielzahl unterschiedlicher Projektbeteiligter, Ausführungsvarianten, Reihenfolgeabhängigkeiten und die jeweiligen dynamischen Produktionsumgebungen geeignet Berücksichtigung finden. Der constraint-basierte Ansatz (vgl. beispielsweise König et al. 2007, König und Beißert 2008, Beißert, König und Bargstädt 2010, Beißert 2011) integriert einen sogenannten Constraint-Manager in den STS-Simulationsbaukasten, so dass individuelle und dynamische Bedingungen in Bezug auf Vorgänger-Nachfolger-Beziehungen in Arbeitsschritten, Abhängigkeiten von Zeitpunkten sowie Verfügbarkeiten von Ressourcen (z. B. Personal) und Material abgebildet werden können. Der Ansatz von König und Beißert (2008) wurde von Voigtmann und Bargstädt (2010) um Aspekte der Baulogistik (beispielsweise zur Flächenbelegung, zur Umlagerung von Materialien, zur Einschränkung der Begehrbarkeit von Arbeitsbereichen oder auch zu Entsorgung leerer Transporthilfsmittel) erweitert.

3.4.3 Simulationsunterstützung für Logistik und Projektmanagement

Die aufgeführten Forschungsarbeiten zeigen zum einen, 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. Hofstadler (2007) sieht für die Bauindustrie ein grundlegendes Problem darin, dass in der Arbeitsvorbereitung kaum Zeit besteht, die verschiedenen Bauverfahren zu vergleichen und die verschiedenen Möglichkeiten des Bauablaufs, der Ressourcenverteilung oder auch der Baustelleneinrichtung zu prüfen und zu bewerten. Er fordert Werkzeuge zur schnellen Modellierung und Parametrisierung, die mit bausteinorientierten Lösungen für spezielle Anwendungsbereiche auch angegangen werden (vgl. Steinhauer und König 2010, Mefisto 2015, Wimmer, Horenburg und Günthner 2010). Die dienstleistungsorientierte Nutzung der Methoden wird allerdings aufgrund des mit der Modellierung und Datenbeschaffung verbundenen Aufwandes, der unzureichenden Vernetzung von Projektplanungsprozess, Logistikprozess und Baufortschritt sowie der Diskrepanz der Detaillierungsgrade der einzubeziehenden Daten und Modelle zurzeit noch erheblich erschwert (Kugler 2012).

3.5 Geographische Informationssysteme (GIS)

Ein Potenzial zur Verbesserung der Planungsqualität im Projektmanagement ist die Nutzung von geografischen Informationssystemen (GIS). Dass heute etwa 50% aller Smartphone-Apps auf Geodaten zurückgreifen (Ehlers und Schiewe 2012) zeigt, wie wichtig Geoinformationen und deren Verarbeitung sind. Einen leichten Zugang zu Geoinformationen erhält die Öffentlichkeit seit der Jahrtausendwende mit der Entwicklung von sogenannten Internet-GIS, oder auch Online- bzw. Web-GIS, worunter alle Geoinformationssysteme zu verstehen sind, welche sich Internet-Technologien bedienen (Korduan und Zehner 2008, S. 7). Bill (2010, S. 8) bezeichnet ein Geoinformationssystem als ein "rechnergestütztes System, das aus Hardware, Software und Daten besteht und mit dem sich raumbezogene Problemstellungen in unterschiedlichsten Anwendungsgebieten modellieren und bearbeiten lassen". Aus der Definition wird deutlich, dass GIS sowohl eine Bezeichnung für die Technologie, die Produkte als auch für das Vorhaben zur Bereitstellung und Behandlung von Geoinformationen ist. Im Deutschen hat sich neben dem Begriff Geoinformationssystem auch die Bezeichnung Geographisches Informationssystem fest etabliert. Im Englischen hingegen findet auch die Bezeichnung Spatial Information System (Raumbezogenes Informationssystem) Verwendung (Bill 2010). Gerade aus der englischen Bezeichnung wird eine der wesentlichen Eigenschaften von Geoinformationen deutlich, nämlich deren Raumbezug. Hierbei wird zwischen dem direkten Raumbezug (auch primäre Metrik genannt), also den zwei- oder dreidimensionalen Koordinaten, und dem indirekten Raumbezug (sekundäre Metrik) mit geringerer Genauigkeit und stärkerem Anwendungsbezug, wie beispielsweise Orts- und Straßennamen, Adressen oder Kennziffern für bestimmte Bereiche, unterschieden (Bill 2010). Geoinformationssysteme arbeiten objektbezogen, wobei ein Objekt ein Element (Entität) der realen Welt oder der

Vorstellungswelt beschreibt, welchem neben dem Attribut des Raumbezuges (direkt und/oder indirekt) auch weitere messbare oder benennbare Eigenschaften zugeordnet werden können (Hennermann 2006, S. 37f.). Diese Objekte (Geodaten) können in einem Geoinformationssystem erfasst, revidiert, verwaltet, reorganisiert, analysiert und präsentiert werden. Dabei erlauben verschiedene Sichten sehr vielfältige Anwendungsmöglichkeiten. Die Speicherung von Geodaten kann entweder über Rasterdaten oder über Vektordaten erfolgen. Bei Rasterdaten wird die räumliche Position über ein Zeilen-/Spaltensystem angegeben, zumeist entstehen gleichgroße quadratische Zellen (Pixel), welche die Attributinformationen tragen. In GIS sind dies zumeist Bilddaten mit geographischem Bezug, z. B. Satellitenaufnahmen. Bei Vektordaten hingegen werden Objekte in einem kartesischen Koordinatensystem repräsentiert durch eine Liste geordneter x-/y-Koordinaten, beschrieben und diesen wiederum die Attribute zugeordnet.

Die Einbindung von GIS-Daten in die Simulation bietet gerade in der Logistikplanung verschiedene Vorteile. So können zum einen Routenberechnung automatisiert durchgeführt werden. Speziell im Anlagenbau bietet sich die Möglichkeit, über Höhenprofile oder Daten zu Brückenhöhen bestimmte Strecken auf ihre Eignung für Schwertransporte zu prüfen. Zum anderen besteht die Möglichkeit, verkehrsspezifische Daten wie Baustellen oder typische Stausituationen einfließen zu lassen. Somit kann durch die Integration von GIS in die Projektsimulation deren Güte prinzipiell verbessert werden und somit zu einem besseren Ergebnis beitragen.

lich nur in den Interviews geführt; Erkenntnisse werden in das neutrale Referenzmodell überführt.

Im Arbeitsschritt 2 erfolgt unter Nutzung des erwähnten Interviewleitfadens die Erhebung von technischen, funktionalen und organisatorischen Anforderungen an ein Projektmanagement; die gewählte Vorgehensweise entspricht der des ersten Arbeitsschrittes. Neben den im Fokus des Projektes stehenden Anforderungen werden auch über den inhaltlichen Projektkern hinausgehende Wünsche diskutiert. Zusätzlich wird eine umfassende Analyse bestehender Forschungsarbeiten und wissenschaftlicher Ergebnisse Dritter durchgeführt. In diesem Zusammenhang findet auch ein Gespräch mit der Bauinformatik der Ruhr-Universität Bochum statt, um Ähnlichkeiten mit dem klassischen Hoch- und Tiefbau zu ermitteln. Die abschließende Diskussion der Ergebnisse erfolgt auf der dritten PA- Sitzung im März 2014. Zusätzlich zur Anforderungsabfrage bei den Unternehmen mittels der Interviewtechnik erfolgt die Formulierung von User-Stories zur Abbildung der Werkzeuganforderungen (vgl. Anhang III – Anforderungen als User-Stories).

Basierend auf den Ergebnissen aus Arbeitsschritt 1 und 2 wird in Arbeitsschritt 3, der insgesamt eine Laufzeit von 14 Monaten umfasst, mit der Konzeption einzelner Lösungsansätze für Logistiksimulation, Projektplanerstellung, -simulation und -optimierung sowie 3D-Visualisierung des Projektfortschritts begonnen. Hierbei werden zunächst die einzelnen Fragestellungen zur durchgängigen Nutzung einer Plattform aus den PA-Sitzungen aufgegriffen, um anhand des Standardreferenzszenarios Ansätze zu deren Lösung zu entwickeln. Das Hauptaugenmerk liegt auf einer schnellen Entwicklung von Teillösungsansätzen, anhand derer die detaillierteren Lösungsansätze, deren mögliche Integration in eine Gesamtumgebung sowie daraus abgeleitet die Formulierung von Schnittstellen fundiert, diskutiert werden. Diese Lösungsansätze dienen als Kommunikationsbasis gegenüber den PA-Mitgliedern, um deren Anregungen in die eigentlichen Lösungsansätze zeitnah aufnehmen zu können.

Bei der Bearbeitung des Arbeitsschrittes 3 zeigt sich aufgrund des gewählten agilen Entwicklungsprozesses in enger Zusammenarbeit auch mit dem PA, dass die Einbindung der Lösungsansätze für die Teilaufgaben in einer Gesamtarchitektur auch durch die Gesamtarchitektur mitbestimmt wird. Aus diesem Grund wird der Arbeitsschritt 4 bereits im Oktober 2013 begonnen. Die in 2013 konzipierte grobe Gesamtarchitektur wird in 2014 weiter detailliert und in Bezug auf die seitens der Firma SimPlan AG zur Verfügung gestellte Entwicklungsplattform SimAssist zu einem abgestimmten Gesamtkonzept erweitert, so dass projektspezifische Plug-ins sukzessive eingebunden werden können.

Unter Verwendung der Ergebnisse aus den Arbeitsschritten 3 und 4 werden Teile der Methodik in Form eines ablauffähigen Demonstrators implementiert. Hierzu zählen Plug-ins zum Importieren vorhandener Projektpläne aus der Standardsoftware MS Projekt, zur Simulation von Projektplänen, zur heuristischen Optimierung von Projektplänen sowie zur Kopplung verschiedener Simulationsmodelle innerhalb eines Planungsprojektes. Parallel zur Realisierung einzelner Plug-ins wird ein abgestimmtes Daten- und Informationsmodell durch das Konsortium entwickelt, so dass die in den verschiedenen Teilsystemen benötigten Daten möglichst gut auf einer gemeinsamen Begriffsontologie aufbauen und relevante

Planungsinformationen an genau einer Stelle im integrierten Datenmodell verwendet werden.

Abschließend werden einzelne, konkrete Planungsmodelle für Windkraftanlagen sowie Windkraftanlagenparks umgesetzt und validiert, um zum einen den Demonstrator zu testen, zum anderen die Durchgängigkeit der Entwicklung an einem praxisnahen Beispiel aus dem Anlagenbau aufzuzeigen. Mit den Beispielen können einzelne Bauprojekte aber auch Multiprojektpläne bewertet werden. Für die Kopplung verschiedenartiger Simulationsmodelle innerhalb einer Anlagenplanung ist besonders die Frage interessant, inwieweit die Simulation eines Logistikszenarios die Generierung einer Plansimulation unterstützen kann. Hierzu wird für die Montage einer Windenergieanlage ein Simulationsmodell erstellt, das ausgehend von einem deterministischen Plan als Eingabedatei alle logistikrelevanten Prozesse bis hin zu Transport und Montage der Bauteile simuliert. Die hierbei durch Wechselwirkungen zwischen den Logistikprozessen entstehenden Abweichungen von der Planvorgabe werden in den Plan als Verteilungsfunktionen zurückgespielt, so dass Daten für eine Plansimulation gemäß der Monte-Carlo-Methode zur Verfügung standen.

Die Evaluation der Projektergebnisse wird als zweistufiger Prozess umgesetzt. Auf der 5. PA-Sitzung am 05.11.2014 erfolgt zunächst die Evaluation des Nutzungsprozesses der Methodik. Dieser wird gemeinsam von den beiden Forschungsstellen in einer ausführlichen Präsentation vorgestellt und diskutiert; Anmerkungen seitens der PA-Mitglieder fließen direkt in die Überarbeitung ein. In einem zweiten Schritt wird die Methodik auf Basis des Demonstrators evaluiert. Hierzu wird in 2015 ein Evaluationsleitfaden entwickelt, der als Basis für die durchzuführende Evaluation im Rahmen des 6. PA-Meetings sowie individueller Evaluationsgespräche dient. Der Leitfaden fokussiert insbesondere die Überprüfung der Einsetzbarkeit für KMU in Bezug auf Plausibilität, grundsätzliche Anwendbarkeit und Relevanz der Plug-ins.

Alle Ergebnisse der abgeschlossenen Arbeitsschritte sind entsprechend dokumentiert. Des Weiteren werden die erreichten Ergebnisse im Rahmen von einschlägigen wissenschaftlichen und industrienahen Veranstaltungen diskutiert und präsentiert (vgl. auch Kapitel 6).

4.2 Beschreibung der Projektergebnisse

Dieser Abschnitt beschreibt die wesentlichen Ergebnisse des hier dokumentierten Forschungsprojektes. Aufgrund der besseren Lesbarkeit sind Teile der Ergebnisse in detaillierter Form in den Anhängen zu finden. Die grundsätzliche Gliederung orientiert sich dabei an den realisierten Arbeitsschritten des Projektes (vgl. Abschnitt 4.1).

4.2.1 Ist-Aufnahme Prozesse, Aufbau Referenzmodell

Zu Projektbeginn wird zunächst der aktuelle Stand zum Projektmanagement bei den beteiligten Partnern im PA ermittelt. Hierzu wird ein Interview-Leitfaden entwickelt (vgl. Anhang II – Interviewleitfäden), der als Basis für die mit den Industrievertretern durchzuführenden Interviews dient. Die aus den Interviews zusammengeführten Ergebnisse werden

den Mitgliedern des PA vorgestellt und erneut abgestimmt. Auf Basis der Ergebnisse und der in den Interviews erstellten Projektplanungsprozesse bei den beteiligten Partnern wird im Nachgang ein Projektreferenzmodell erstellt, das alle wesentlichen Arbeitsschritte der unternehmensindividuellen Vorgehensweisen in einem neutralen Prozessmodell vereint. Als Beispielprodukt wird ein fiktiver Fluxkompensator verwendet, um die Produktneutralität im Konsortium sicherzustellen (Übersicht siehe Abbildung 2).

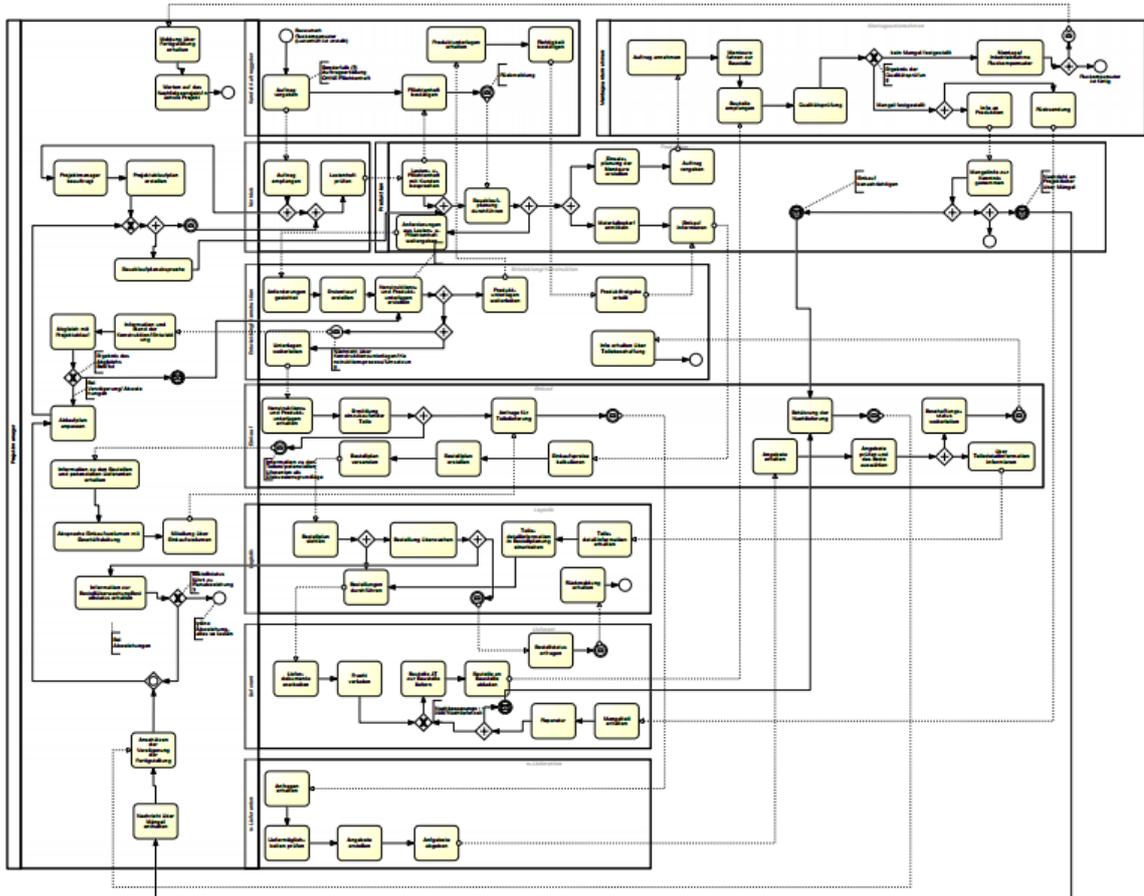


Abbildung 2: Prozessreferenzmodell „Fluxkompensator 2.3 – Übersicht Teilaufgaben“

Das Prozessreferenzmodell umfasst insbesondere auch die logistikrelevanten Prozesse sowie ein Evaluationsszenario, das die unterschiedlichen Facetten der relevanten Unternehmen enthält. In einer ergänzenden Masterarbeit (vgl. Abschnitt 6.2) wird zudem ein Referenzprozess mit Hilfe von BPMN 2.0 (Business Process Model and Notation) modelliert, um aus einer Identifikation und Analyse von für ein Planungsprojekt im Anlagenbau charakteristischer Risiken Erkenntnisse zu gewinnen, die in der Praxis eine störungsfreie Durchführung eines Entwicklungsprojektes ermöglichen.

4.2.2 Anforderungsanalyse, funktionales und technisches Lastenheft

Parallel zur Aufnahme der IST-Prozesse bei den Unternehmen erfolgt der Aufbau eines Anforderungskatalogs. Die Anforderungen sind dabei zunächst in thematische Bereiche kategorisiert (z. B. Simulation, Datenbank, Visualisierung) und werden dann in Abstimmung mit dem PA gewichtet in MUSS, SOLL und KANN-Funktionalitäten. Die

Priorisierung erfolgt dabei sowohl nach dem Mehrwert innerhalb des Gesamtkonzeptes als auch nach der Fokussierung des Forschungsprojektes selbst. Diese abgestimmten Ergebnisse bilden die Basis für die weiteren Arbeiten und die Evaluation der Forschungsergebnisse.

Die erzielten Ergebnisse umfassen sowohl technische als auch funktionale und organisatorische Anforderungen. Hierzu zählen auch Anforderungen an das Wechselspiel zwischen den einzelnen Komponenten wie Logistiksimulations- und Projektmanagementmodell oder Projektmanagementmodell und 3D-Visualisierung. Neben der eigentlichen Auflistung werden alle Anforderungen als User-Stories beschrieben (vgl. Abbildung 3, detailliertere Liste siehe Anhang III - Anforderungen als User Stories).

simject-User Stories		Version 1.0 Stand: 26.08.2014	
lfd. Nr.	Name der "Story"	User Story	zu LH-Nr.
1	Projektverwaltung	Als Anwender möchte ich unbedingt eine zentrale Projektverwaltung, die Projektname, Properties, Verweise auf zugehörige Dateien enthält, um effektives Arbeiten zu ermöglichen.	ABE001
2	Suche nach Projekten	Als Anwender will ich eine einfache Suche nach Worten wie Name, Ersteller, Keywords nutzen, um effektives Arbeiten zu ermöglichen.	ABE002
3	Andere MS-Produkte nutzen	Als Anwender will ich den Datenimport aus anderen MS-Produkten nutzen, um flexibel zu bleiben.	ABE003
4	Projektpläne editieren	Als Anwender will ich die Korrektur von Start-/Endzeitpunkt, Nachführen gem. FSP, SEP usw. durchführen, um flexibel zu bleiben.	ABE004
5	Ist-Dateneingabe	Als Anwender will ich die Eingabe der Ist-Dauer durchführen, um Medienbrüche zu vermeiden.	ABE005
6	Projektberichte anlegen	Als Anwender möchte ich Fenster mit Text-Templates für Projektberichte, Aufgabenverteilung zu Plänen (Kommentare) haben, um Medienbrüche zu vermeiden.	ABE006
7	Kommentare anlegen	Als Anwender möchte ich Fenster mit Text-Templates für Kommunikationsprotokolle zu Plänen (Kommentare) haben, um Medienbrüche zu vermeiden.	ABE007
8	Einsatzpläne einsehen	Als Anwender möchte ich Einsicht von Einsatzplänen von	

Abbildung 3: Auszug aus dem Anforderungskatalog in Form von User-Stories

In der geplanten Methodik sind neben den Aufgaben zur Projektplanung auch die Unsicherheiten in Planungsschritten sowie die logistischen Restriktionen als Anforderungen einzubeziehen. Im Einzelnen sollen folgende methodische Ergänzungen zu den heute in der Praxis verwendeten Projektplanungsmethoden erreicht werden (vgl. auch Abschnitt 2.2):

- Erweiterung von Projektplänen in Form von Flussdiagrammen, Gantt-Charts oder Netzplänen um simulationsgestützte 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 den PA beteiligten Unternehmen ergänzen die obigen Anforderungen:

- Unterstützung einer disziplinübergreifenden Zusammenarbeit, Schaffung von Transparenz und Verantwortlichkeiten.
- Einbindung von Erfahrungswissen aus vorangegangenen Projekten.
- Schaffung einer validen Datenbasis, automatische Integration der Daten in eine Projektplanungsmethodik und Vernetzung z. B. mit einem ERP-System.
- Optionale Einbindung von GIS- und Wetterdaten.

Kontrovers wird 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, 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. Die 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 Risikodiagrammen, Fertigungsplänen bis hin zu Excel-Listen, wobei einzelne Pläne ggf. gar nicht (regelmäßig) zum Einsatz kommen.

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 potenziell erreichbare Qualität der Planungsergebnisse bestimmt und die Ermittlung angemessener Detaillierungsgrade der Logistikmodelle festgelegt werden, die für die Planung der logistischen Prozessschritte genutzt werden.

4.2.3 Entwurf der Methodik

Grundanliegen der hier entwickelten Methodik ist es, die im Planungsprozess enthaltenen Risiken besser zu berücksichtigen. Hierzu wird das klassische Vorgehen der Planung um Teilschritte ergänzt, die einzelnen Risikoparametern in Planung und Steuerung eines Projektes möglichst adäquate, stochastische Wahrscheinlichkeitsverteilungen zuordnen. Datenquellen dieser Wahrscheinlichkeitsverteilungen können sowohl historische Projektdaten, Einschätzungen des Planers als auch Ergebnisse aus detaillierteren Planungsmodellen sein, beispielsweise einer Logistiksimulation. Die heute deterministische Planung wird dann durch verschiedene Simulations-, Optimierungs- und Visualisierungsmethoden angereichert, die diese stochastischen Einflüsse berücksichtigen und das jeweilige Planungsergebnis um die zusätzlich gewonnenen Informationen ergänzen. Im Ergebnis erhält der Planer somit eine realistischere Einschätzung der in seiner Planung enthaltenen Projektrisiken und deren Auswirkungen auf die Gesamtplanung.

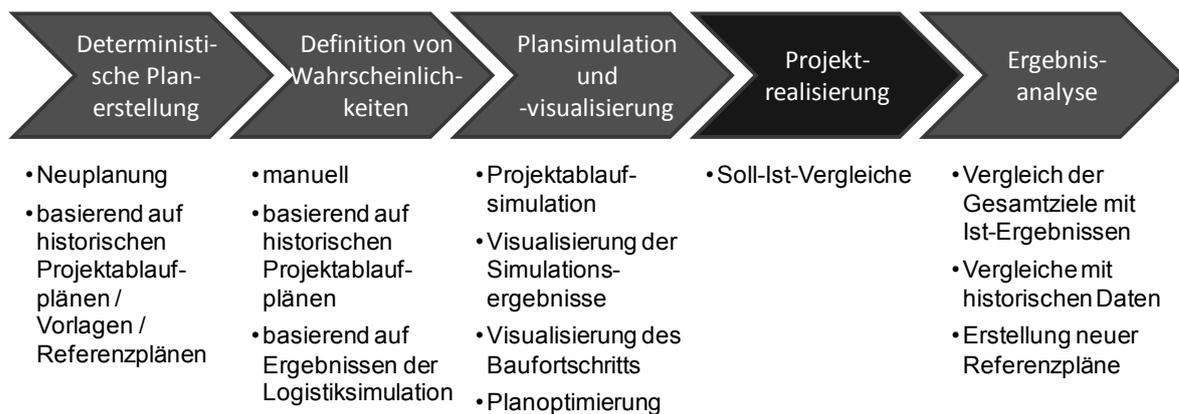


Abbildung 4: Hauptprozesse

Ein simulationsgestütztes Projektmanagement mit integrierter Betrachtung der Logistik muss den erweiterten Planungsprozess als Ganzes unterstützen können. Hierzu werden zu Beginn des Projektes in dem Vorhaben zugrunde gelegten erweiterten Planungsprozess fünf Hauptprozesse identifiziert und über ihre elementaren Funktionen beschrieben (siehe Abbildung 4).

Basierend auf dieser Prozessstruktur wird jeder Hauptprozess mittels der Prozessbeschreibungssprache BPMN beschrieben. Hierdurch werden die einzelnen Funktionen zu einem logischen Ablauf gebracht und die jeweilige Unterstützung des Prozesses mittels der zu entwickelnden Methodik beschrieben. Auf Basis der abgeleiteten Arbeitsprozesse können konkrete Architekturentwürfe entwickelt werden, die im weiteren Verlauf eine technische Unterstützung der einzelnen Arbeitsprozesse in Form von einzelnen Funktionsmodulen erlauben. Nachfolgend werden die Hauptprozesse im Detail erläutert.

Deterministische Planerstellung: Die Erstellung deterministischer Projektpläne kann von Grund auf neu erfolgen oder auf bestehende Pläne zurückgreifen. Diese Pläne sind in erster Linie Ergebnis einer ausführlichen Analyse abgeschlossener Projekte. So kann die Analyse unter anderem Vorgaben für einen prinzipiellen Projektablauf als Template und erste Zeitvorgaben für spezifische Arbeitspakete liefern (vgl. Abbildung 5).

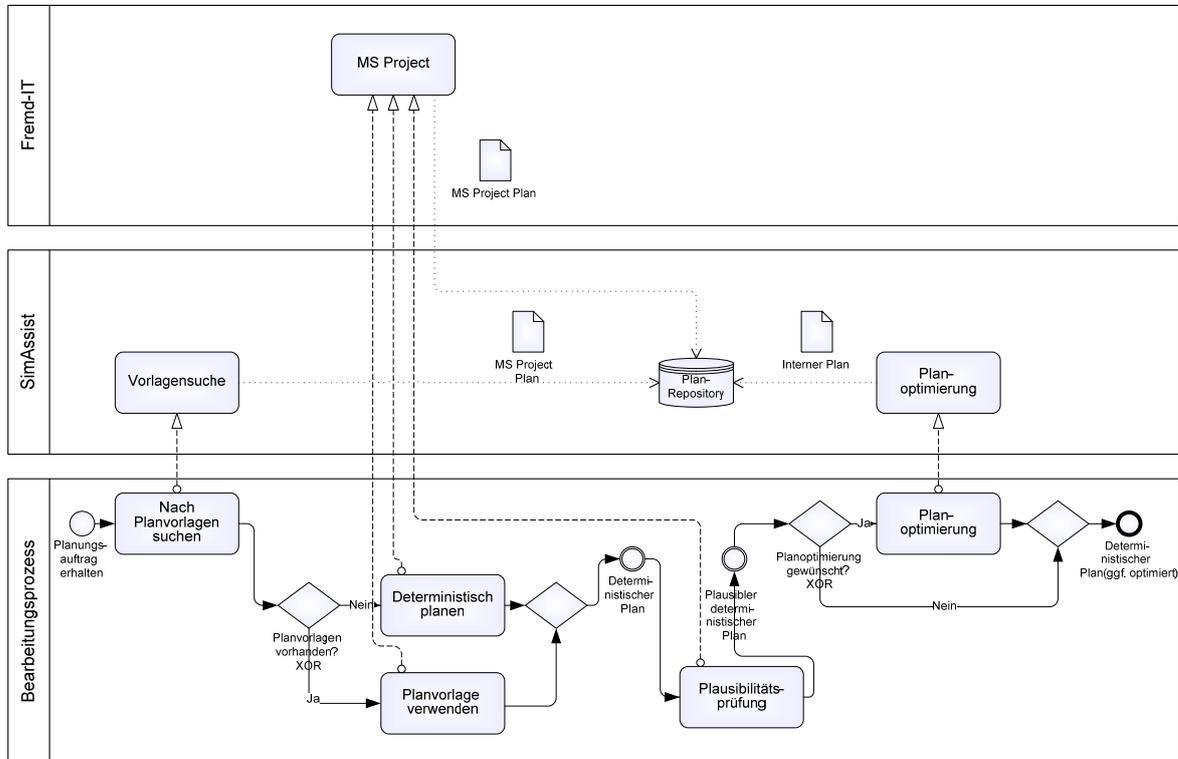


Abbildung 5: Hauptprozess „Deterministische Planerstellung“

Der Prozess berücksichtigt die Suche von Planvorlagen als *Vorlagensuche*, die auf ein entsprechendes Planrepository zurückgreift. Die Planung von Grund auf nutzt existierende Werkzeuge wie MS Project, deren Ergebnisse für die Weiterverarbeitung exportiert werden. Plausibilitätsprüfung und Planoptimierung runden diesen Hauptprozess ab.

Definition von Wahrscheinlichkeiten (Abbildung 6): Zur Vorbereitung der Projektplansimulation sind die unterschiedlichsten Unwägbarkeiten und Unsicherheiten im Rahmen eines Projektes mit entsprechenden Wahrscheinlichkeiten einzuschätzen (ggf. über eine entsprechende Wahrscheinlichkeitsfunktion), die unter anderem die Variation der Dauer oder Verzögerungen von Start- und Endzeitpunkten einzelner Arbeitspakete betreffen können.

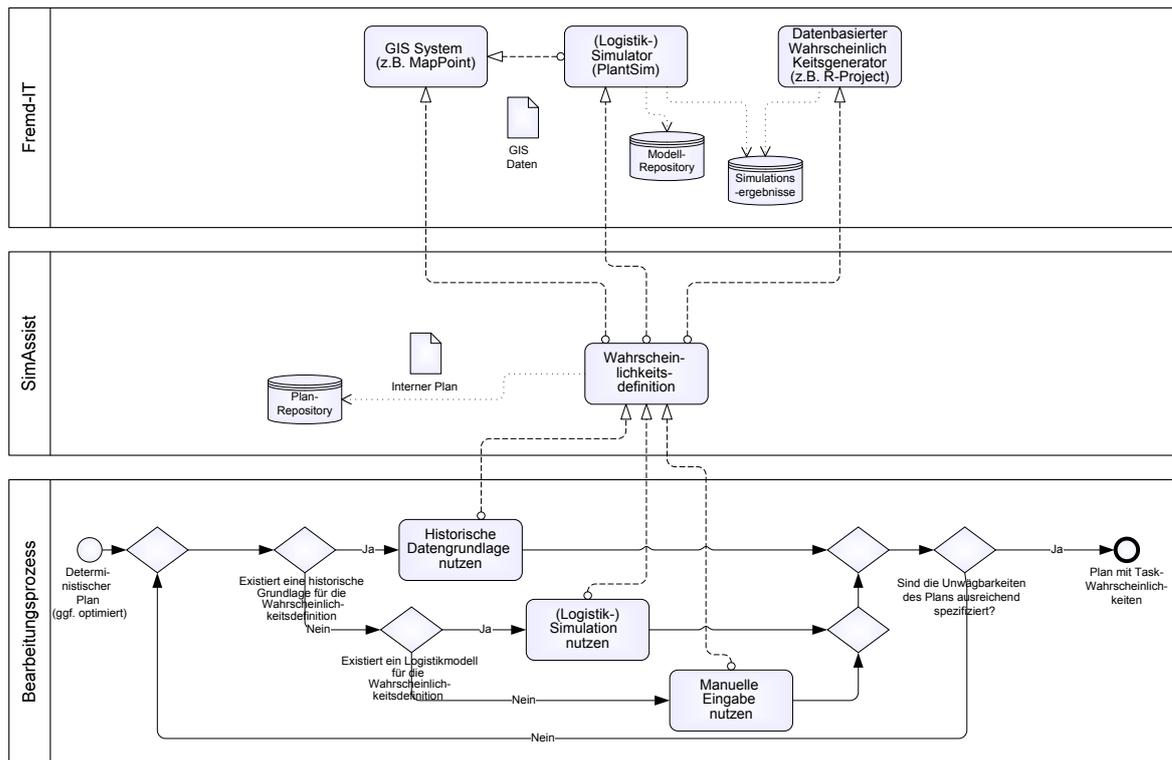


Abbildung 6: Hauptprozess „Definition von Wahrscheinlichkeiten“

Dies kann auf manuellem Wege geschehen, es kann aber auch über die Analyse spezifischer Arbeitspakete erfolgen. Liegen für Arbeitspakete Erfahrungswerte aus der Vergangenheit vor, liegt es nahe, die Wahrscheinlichkeiten über die Analyse historischer Daten zu ermitteln. Für die Abbildung logistischer Prozesse im Rahmen von Arbeitspaketen bietet sich die ereignisdiskrete (Logistik-)Simulation an. In ihr können im Detail einzelne Einflussfaktoren, von der Auswahl der Transportrouten zu einer Baustelle bis hin zur Einlastung von Fahraufträgen und resultierender Ressourcennutzung, berücksichtigt werden. Die in ihr ermittelten Abweichungen in den Logistikprozessen können als Wahrscheinlichkeiten in den Projektgesamtplan zurückgespielt und berücksichtigt werden.

Projektplansimulation und -visualisierung (Abbildung 7): Die Simulation der Projektpläne nach dem Monte-Carlo-Prinzip erlaubt es, die Wahrscheinlichkeiten der einzelnen Arbeitspakete in der Gesamtplanung zu berücksichtigen, um letztendlich bewertbare Aussagen über Termine und Dauer treffen zu können. Ergebnisse sind nicht deterministisch geplante Termine, sondern eine Bandbreite, die mit einer entsprechenden Wahrscheinlichkeitsfunktion beschrieben wird, z. B. frühester und spätester Endzeitpunkt sowie die Wahrscheinlichkeiten einzelner Termine innerhalb dieses Intervalls. Hierzu ist der Projektplan anzupassen und mit den entsprechenden Informationen zu versehen. Gegebenenfalls lässt sich bereit vor der Simulation eine Optimierung der Arbeitsschritte durchführen (siehe hierzu auch Abschnitt 4.2.3.4).

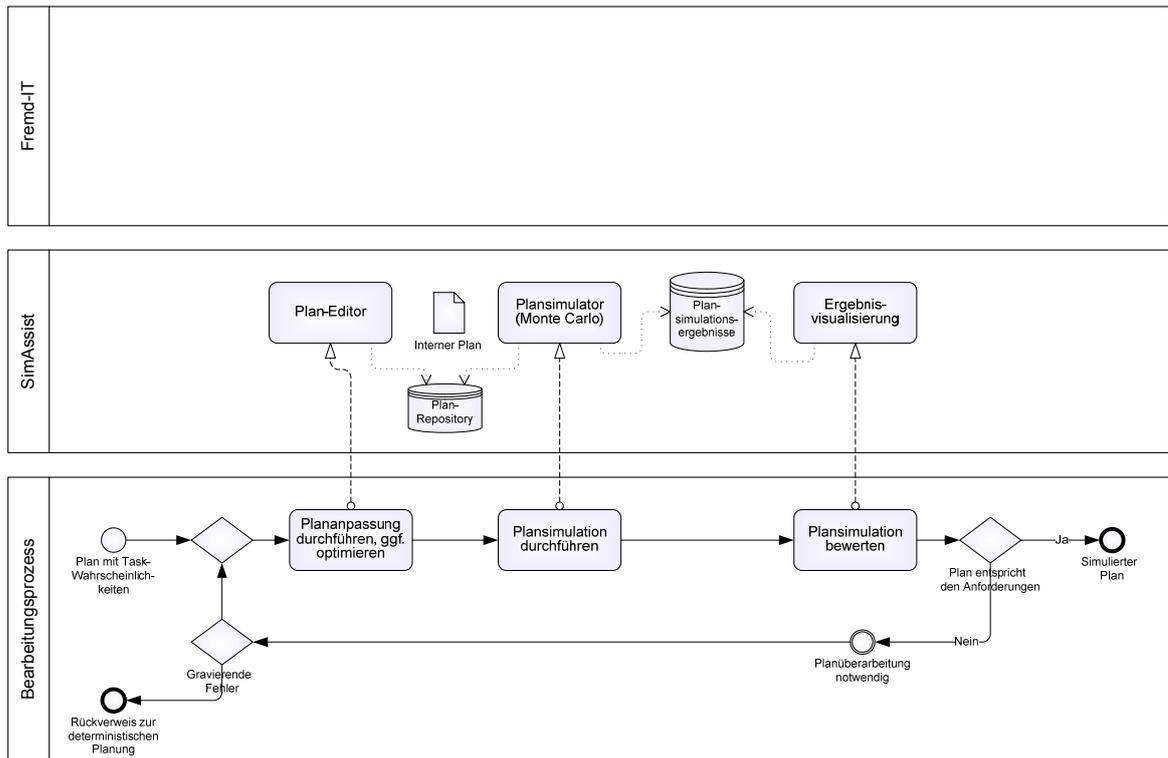


Abbildung 7: Hauptprozess „Projektplansimulation und -visualisierung“

Die Ergebnisse der Simulation werden als erweiterter Projektplan, einem Gantt-Chart, in dem die Abweichungen angezeigt werden, visualisiert. Ein anschließender Optimierungsprozess erlaubt es, ausgehend von den Ergebnissen der Simulation, am Plan Korrekturen vorzunehmen und deren Auswirkungen in einem weiteren Simulationslauf zu verfolgen. Somit wird der Plan hier in einem iterativen Prozess verbessert. Zusätzlich bietet sich hier zur Einbeziehung weiterer Zielgruppen durch eine realitätsnahe Darstellung neben der abstrakten Visualisierung in einem Gantt-Chart auch die 3D-Visualisierung an, mit deren Hilfe sich einzelne Stufen des Baufortschritts, basierend auf dem Realisierungsgrad der einzelnen Arbeitspakete, darstellen lassen.

Projektrealisierung (Abbildung 8): Während der Projektrealisierung wird der mit Hilfe der Simulation optimierte Soll-Plan mit den aktuellen Ist-Daten ständig abgeglichen. So werden unter anderem Verzögerungen beim Start von Arbeitspaketen sowie deren Dauer dokumentiert und mit der in der Simulation ermittelten Bandbreite der Ergebnisse abgeglichen. Hierzu wird der optimierte und simulierte Soll-Plan wieder als ein für gängige Planungswerkzeuge wie MS Projekt lesbarer deterministischer Soll-Plan exportiert. Dabei fließen die Planabweichungen mit ihrer Bandbreite in die Erstellung dieser Pläne z. B. als Mittelwert ein. Damit liegen nach der Realisierung eines Projektes der ursprüngliche deterministische Plan, der optimierte und simulierte Soll-Plan, ein für die Projektrealisierung wieder auf eine deterministische Form zurückgeführter Soll-Plan sowie die in ihm dokumentierten Abweichungen als Ist-Daten für die abschließende Ergebnisanalyse vor.

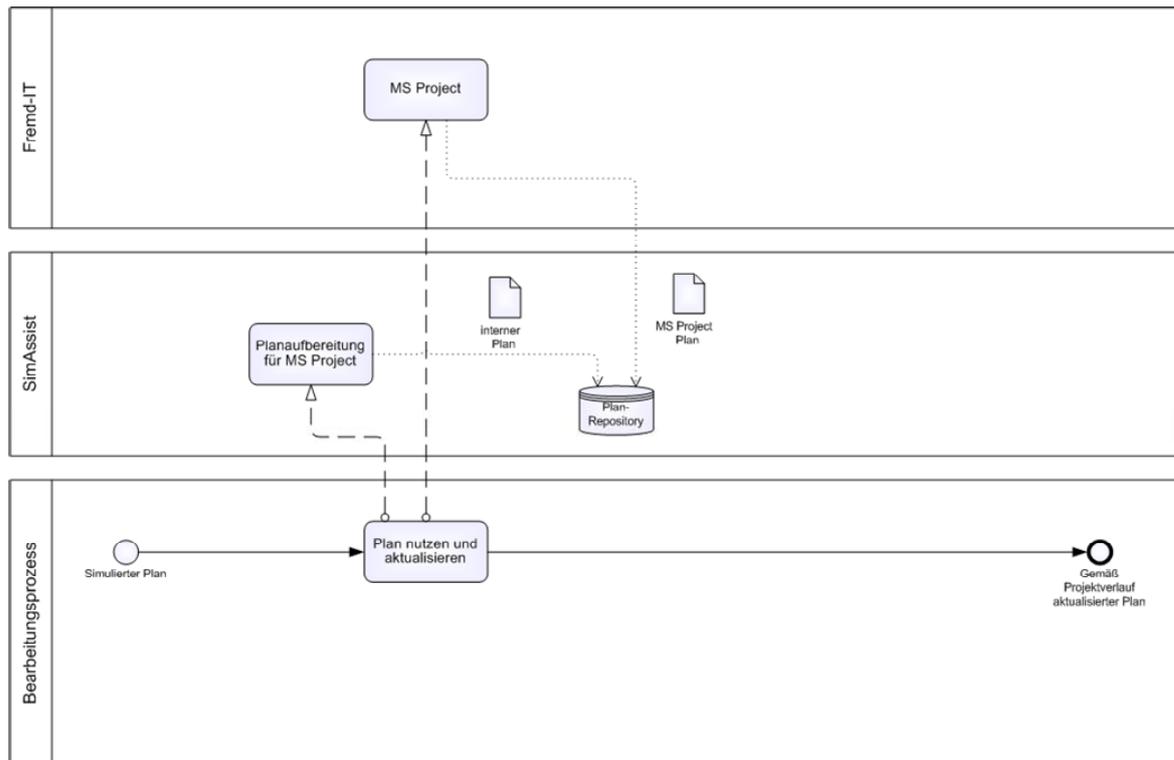


Abbildung 8: Hauptprozess „Projektplansimulation und -visualisierung“

Ergebnisanalyse (Abbildung 9): Nach Projektende erfolgt eine eingehende Analyse der Soll-Pläne (simuliert und vereinfacht deterministisch) anhand der während der Projektrealisierung protokollierten Projektverläufe. Hierzu werden Soll-Daten mit den Ist-Daten, wie z. B. Abweichungen zwischen Soll- und Ist-Startzeitpunkte oder geplanter und tatsächlicher Dauer von Arbeitspaketen, miteinander abgeglichen. Zusätzlich können, wenn sie bereits vorliegen, historische Gesamt-Soll- und -Ist-Daten vergleichbarer Projekte in die Analyse mit einbezogen werden. Ziel dieses Prozesses ist neben der eigentlichen Steuerung des Projektes der sukzessive Aufbau einer Wissensbasis, bestehend aus analysierten und dokumentierten Projektplänen, die es erlaubt, ggf. für bestimmte Projekte geeignete Referenzpläne oder Plan-Templates zu generieren, die wiederum im Hauptprozess "Deterministische Planung" zur Verbesserung der Neuplanung herangezogen werden können.

Mit der abschließenden Analyse der Ergebnisse und der anschließenden Nutzung der gewonnenen Erkenntnisse bei der Planung neuer Projekte schließt sich ein Iterationszyklus, der eine ständige Verbesserung der Planungsqualität erwarten lässt. Zusätzlich sind Abgleiche zwischen den Hauptprozessen nicht ausgeschlossen, so dass z. B. auch bereits während des Nutzungsprozesses Verbesserungen durch Rückspielen von Erkenntnissen des aktuell realisierten Projektes in die Plansimulation und anschließender Anpassung des Soll-Planes möglich sind. Zudem müssen auch nicht alle der hier aufgeführten Aufgaben in einem Hauptprozess ausgeführt werden. Hieraus ergibt sich die Forderung nach einer möglichst flexiblen Unterstützung des Nutzungsprozesses durch ein geeignetes IT-Werkzeug.

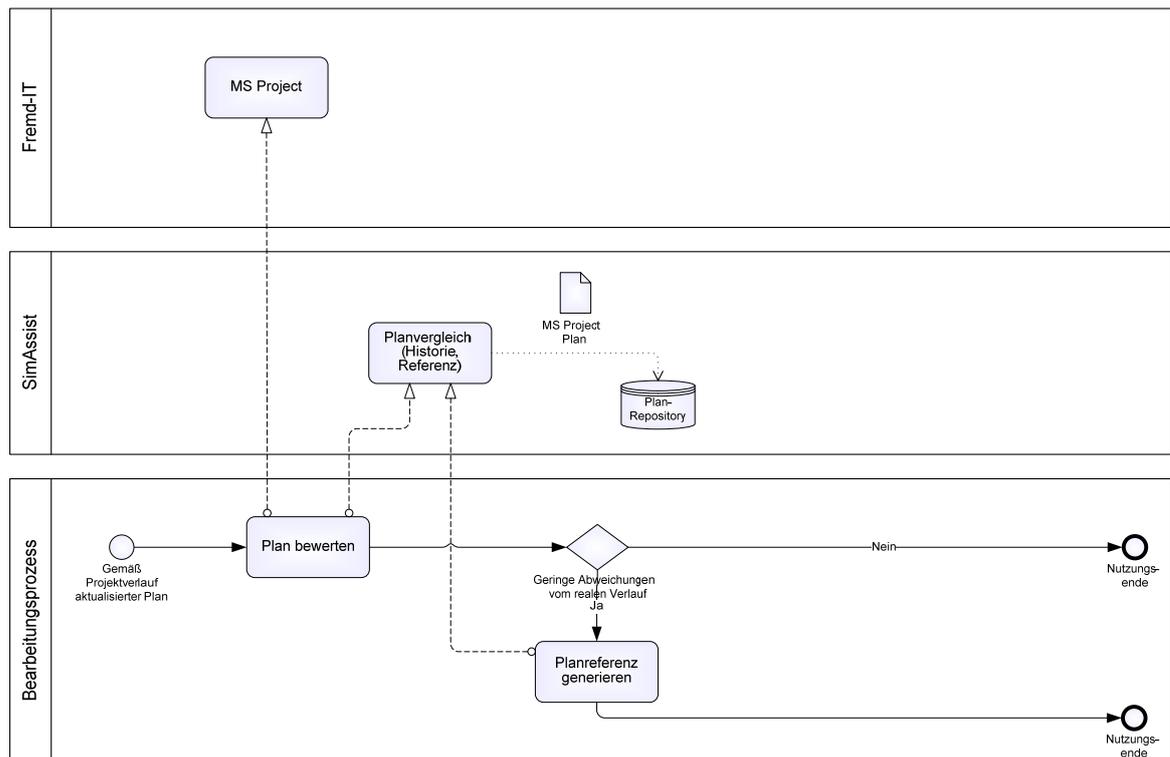


Abbildung 9: Hauptprozess „Ergebnisanalyse“

4.2.3.1 Schnittstelle zu MS Project 2013

Aufgrund der im Arbeitsschritt 2 ermittelten und aufgestellten Anforderungen wird eine Schnittstelle zwischen der Entwicklungsplattform SimAssist und der Standardlösung MS Project 2013 konzipiert. Die Schnittstelle besteht aus zwei Komponenten: Ein Modul ProjectPlanReader bietet eine Methode, um einen deterministischen Projektplan in die Entwicklungsumgebung SimAssist einzulesen. Ein weiteres Modul ProjectPlanInterface beinhaltet ein Schema für die Aufbewahrung des eingelesenen deterministischen Projektplans und Methoden, um einen deterministischen Projektplan in einen stochastischen Projektplan zu erweitern. Alle in diesem Rahmen konzipierten Komponenten besitzen Methoden, um eine problemlose Kommunikation untereinander zu gewährleisten.

4.2.3.2 Das ProjectPlanInterface – Neutrales Datenformat

Für die Konzeption des ProjectPlanInterfaces werden zur Wahrung der Konsistenz und zur Ermöglichung eines einfacheren Datenaustausches Interfaces verwendet. Eine Alternative hierzu wäre die Erstellung einer kleinen Klassenbibliothek gewesen. Jedoch stellen die einzelnen Komponenten unterschiedliche Anforderungen an die Methodik der einzelnen Klassen, welches durch das Konzept der Interfaces besser abgedeckt ist.

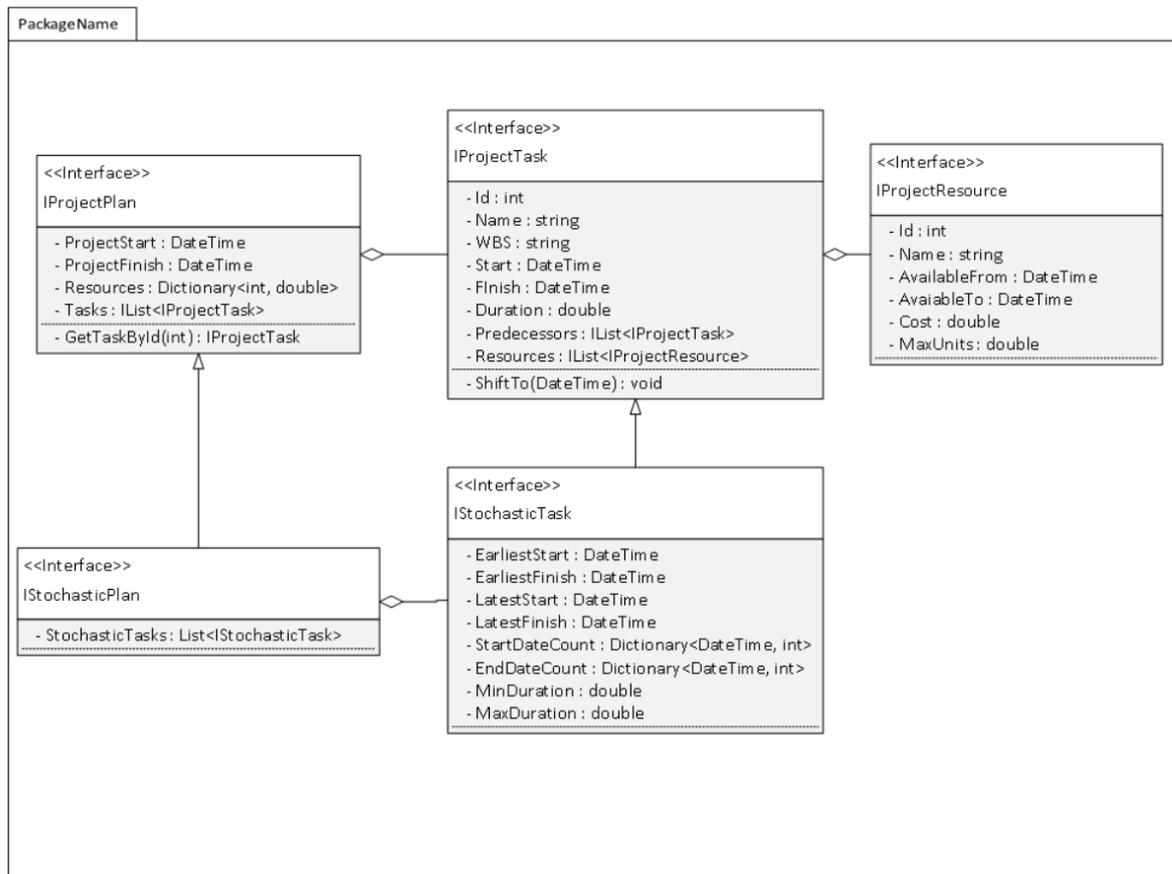


Abbildung 10: Klassendiagramm ProjectPlanInterface

Die benötigten Interfaces IProjectPlan, IProjectTask und IProjectResource sind in Abbildung 10 dargestellt. Zusätzlich werden für spezielle stochastische Projektpläne die Interfaces IStochasticPlan und IStochasticTask benötigt. Die Schnittstellen werden im Folgenden kurz erläutert:

Das Interface IProjectPlan wird zur Spezifizierung des Projektplans genutzt. Zu diesem Zweck sind in dem Interface exemplarisch wichtige Eigenschaften und Attribute enthalten, welche für die Erstellung eines Demonstrators notwendig sind. Das Interface verfügt über ein Feld für den Projektstart und für das Projektende. Diese werden dynamisch gesetzt, um zu gewährleisten, dass die Daten der aktuellen Prozesse verwendet werden. Des Weiteren werden die mit dem Projektplan verbundenen Prozesse beziehungsweise IProjectTasks in einer Liste gespeichert, auf welche über einen Getter des Interfaces IProjectPlan zugegriffen werden kann. Das Dictionary Resources beinhaltet die Identitäten (IDs) aller mit dem Projekt assoziierten Ressourcen und verknüpft diese mit der Anzahl an vorhandenen Ressourcen dieses Typs. GetTaskById ist die einzige Methode, die in dem Projektplan-Interface benötigt wird. Mithilfe der Methode werden sämtliche mit dem Projektplan verknüpften Prozesse nach einer gegebenen Identität (ID) durchsucht und zurückgegeben.

Das Interface IProjectplan berücksichtigt keine Unsicherheiten und besitzt aus diesem Grund ausschließlichen IProjectTasks, die wiederum über keine stochastischen Mittel verfügen. Um Unsicherheiten hinzufügen zu können, besitzt der IStochasticPlan zusätz-

lich zu den Methoden und Attributen des IProjectplan, von welchem er erbt, eine Liste von IStochasticTasks, die Attribute zur Auswertung von Unsicherheiten besitzen.

Für die Repräsentation der Aufgaben eines Projektplans wird das Interface IProjectTask genutzt. Dieses besitzt neben der ID und dem Namen ein Feld für den PSP-Code, welcher für die Darstellung in einem Projektstrukturplan benötigt wird. Zusätzlich können mithilfe des Interfaces Start- und Enddaten sowie die Dauer der jeweiligen Aufgaben gespeichert werden. Bei den verschiedenen Implementierungen des Interfaces wird darauf geachtet, dass die Daten konsistent zur Dauer sind, damit es beispielsweise nicht möglich ist, dass die Dauer auf drei Tage gesetzt wird, aber die Differenz zwischen Start und Ende nur zwei Tage beträgt. In der Liste Predecessors werden die Vorgänger des betrachteten IProjectTasks gespeichert. Diese werden benötigt, um den frühesten Start des Tasks zu ermitteln, da dieser nicht vor dem spätesten Ende aller seiner Vorgänger erfolgen darf. Die mit der Aufgabe assoziierten Ressourcen werden in der Liste Resources gesichert, um direkt über den Task auf die entsprechenden Ressourcen zugreifen zu können. Des Weiteren besitzt das Interface eine Methode ShiftTo die eine Verschiebung des Tasks zu einem bestimmten Startdatum ermöglicht. In den jeweiligen Implementierungen wird darauf geachtet, dass eine Verschiebung des Starttermins, bei gleich bleibender Prozessdauer, eine Anpassung des Enddatums zur Folge hat.

Ähnlich wie das Interface IStochasticPlan werden die IStochasticTasks für die Repräsentation von Unsicherheiten genutzt. Zu diesem Zweck besitzen sie neben den Eigenschaften, die sie von den IProjectTasks erben, Attribute, die für die Auswertung der Unsicherheiten benötigt werden. Es werden vier zusätzliche Datenfelder angelegt, die den frühesten und spätesten Start sowie das früheste und späteste Enddatum der Aufgabe definieren. Die Attribute heißen EarliestStart, EarliestFinish, LatestStart und LatestFinish. Zusätzlich zu diesen Datenfeldern werden die Dictionaries StartDateCount und EndDateCount zur Verfügung gestellt, mit deren Hilfe die während der Simulation auftretenden Start- und Enddaten für die betrachtete Aufgabe und ihre Häufigkeit gespeichert werden können. Zusätzlich ist die Dauer der IStochasticTasks nicht zwangsläufig fix. Zu diesem Zweck können die MinDuration sowie die MaxDuration gesetzt werden, die die minimale beziehungsweise maximale Dauer der Aufgabe symbolisieren.

Die für das Projekt benötigten Ressourcen werden mittels des Interfaces IProjectResource dargestellt, wobei für jeden Ressourcentyp eine eigene Instanz erzeugt werden muss. Es werden Datenfelder für die ID und den Namen der Ressource bereitgestellt, mithilfe welcher die Ressourcen eindeutig identifiziert werden können. Zusätzlich muss für die Ressourcen ein Zeitraum angegeben werden, in welchem diese verfügbar sind. Dieses geschieht über die Attribute AvailableFrom und AvailableTo. In der Regel ist die Nutzung von Ressourcen mit Kosten verbunden, weshalb das Interface über das Attribut Cost verfügt. Zusätzlich kann eine Ressource aus mehreren Einheiten bestehen. Beispielsweise können mehrere Hilfskräne vorhanden sein, die jedoch als eine Ressource mit mehreren Einheiten aufgefasst werden. Dieses geschieht mithilfe des Attributs MaxUnits.

4.2.3.3 *Simulation eines Projektplans*

Als weitere Komponente wird eine MC-Simulation (vgl. Abschnitt 3.3.1) konzipiert. Insbesondere Mittel- bzw. Erwartungswerte können mit der MC-Simulation sehr gut approximiert werden. Die Durchführung einer solchen Simulation setzt sich aus dem Ausführen möglichst vieler unabhängiger Simulationsdurchläufe zusammen. Jeder Durchlauf wird dabei durch Zufallsgrößen beeinflusst. Auf Grundlage des Gesetzes der großen Zahlen können nun aus den gesammelten Ergebnissen Näherungen für zum Beispiel Mittelwerte bestimmt werden (vgl. Abschnitt 3.3.1). Die Ausführungsdauer pro Durchlauf wird mit einer ereignisbasierten Simulation durchgeführt. Dabei wird das Betrachten eines neuen Prozesses als neues Ereignis gesehen. Bei jeder Betrachtung eines neuen Prozesses wird dieser dem Modell hinzugefügt, dabei müssen sowohl die Ressourcenbegrenzung als auch die Abhängigkeit zu anderen Prozesse beachtet werden. Hierbei entspricht die Reihenfolge der Prozesse innerhalb des Projektplanes der Priorität. Ein Prozess, der zu einem früheren Zeitpunkt gewählt wird, kann früher Ressourcen allokalieren und wird so mit höherer Wahrscheinlichkeit frühzeitig abgearbeitet als ein später betrachteter Prozess. An dieser Stelle ist es entscheidend für die Korrektheit der Simulation, dass die Prozesse entsprechend ihrer Abhängigkeiten topologisch geordnet sind. Würde ein Prozess vor seinem Vorgänger abgearbeitet und somit auch sehr wahrscheinlich vor diesem eingeplant werden; so könnte dies als Ergebnis einen nicht validen Projektplan produzieren. Sind alle Prozesse integriert, kann die Durchführungszeit des Projektplans gespeichert und der nächste Durchlauf der MC-Simulation gestartet werden. Als Ergebnis liefert die Simulation den simulierten Projektplan, die Anzahl der Durchläufe, die mittlere Projektdauer sowie die konkreten Ergebnisse aller Durchläufe. Diese Resultate können anschließend für die Visualisierung oder auch für die Optimierung genutzt werden.

Das Konzept beinhaltet eine graphische Oberfläche, die dem Benutzer verschiedene Möglichkeiten bietet, die Simulation zu beeinflussen. Dazu zählt zum Beispiel die Auswahl der Verteilungsfunktion, nach der die Prozessdauer randomisiert werden soll. Außerdem muss es möglich sein für die gewählte Funktion die Parameter zu setzen. Dies meint bei einer Gleichverteilung als betrachtete Funktion die jeweiligen Ober- und Untergrenze der Abweichung, beziehungsweise bei der Normalverteilung den Erwartungswert und die Standardabweichung der individuellen Abweichung eines jeden Prozesses. Darüber hinaus steht eine als Balkendiagramm visualisierte Präsentation der Ergebnisse zur Verfügung, nachdem die Simulation abgeschlossen ist. Aus dieser ist ersichtlich, wie oft der aktuelle Projektplan, an welchem Tag, unter Einbeziehung der gewählten Unsicherheiten den Projektabschluss erreicht.

4.2.3.4 *Optimierung eines Projektplans*

Ergänzend zu der genannten Simulation von Projektplänen wird im Rahmen des Vorhabens ein Verfahren zur simulationsgestützten Optimierung eingesetzt. Dabei wird nach jeder Optimierung die Simulation als Hilfsmittel benutzt, um die Optimierungsergebnisse auf ihre Qualität zu prüfen. Der Kreislauf der simulationsgestützten Optimierung ist exemplarisch in Abbildung 11 dargestellt. Dabei werden durch die Optimierungskompo-

nente die Stellgrößen iterativ verändert und mithilfe der Simulation die Ergebnisgrößen berechnet, bis ein zuvor definiertes Abbruchkriterium diesen Kreislauf unterbricht.

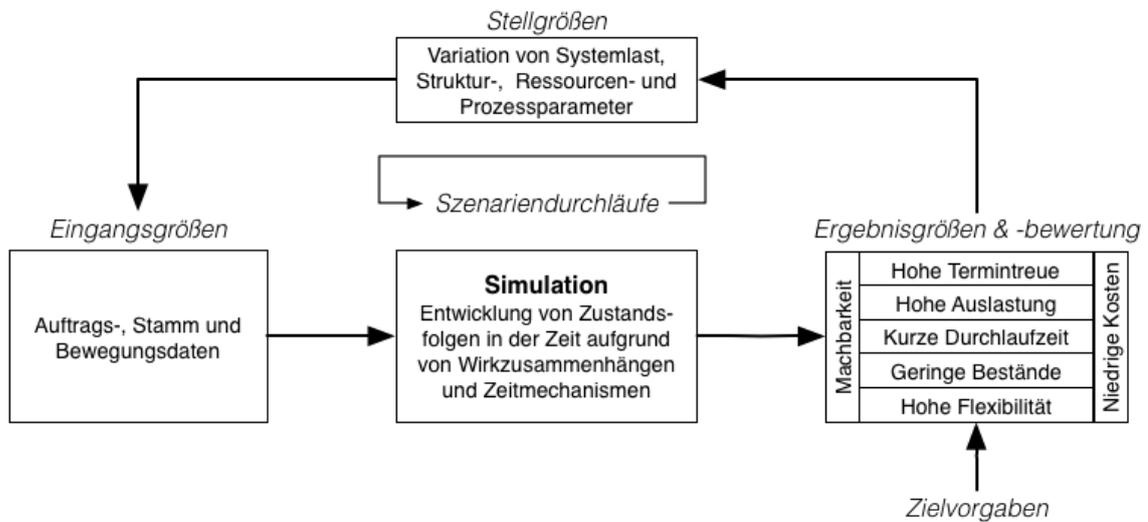


Abbildung 11: Kreislauf der simulationsgestützten Optimierung

Die Variation der Stellgrößen wird durch einen evolutionären Algorithmus erreicht. So werden die Stellgrößen gewählt, durch die Simulation evaluiert und anschließend neu gewählt.

Fitnessfunktion

Sind die Simulation und die Optimierung wie beschrieben umgesetzt, folgt der Schritt der simulationsgestützten Optimierung. Dafür muss das Konzept der Optimierung mit dem der Simulation kombiniert werden. Dies geschieht über die in der Optimierung dynamisch gehaltene Fitnessfunktion.

Sei im Folgenden $T = (t_1, \dots, t_n)$ eine geordnete Menge von n Prozessen, welche genau einem Projektplan entspricht, und T_i die i -te der $n!$ Permutationen der Menge T . Die Fitnessfunktion muss nun die folgende Bedingung erfüllen.

$$\forall i, j \in [0, n!]: f(T_i) > f(T_j)$$

Formel 1: Bedingung der Fitness-Funktion

d.h. die Prozessanordnung T_i führt im Mittel zu einer kürzeren Projektlaufzeit als die von T_j . Dies wird umgesetzt, indem die in der Simulation errechnete Projektlaufzeit invertiert wird. Der Rückgabewert sieht in diesem Fall wie folgt aus.

$$\frac{1}{\text{Ermittelte mittlere Projektlaufzeit}}$$

Formel 2: Rückgabewert der Fitnessfunktion

Das Resultat ist ein Wert zwischen 0 und 1, welcher bei größer werdender Projektlaufzeit gegen 0 konvergiert. Zusätzlich ist es wichtig, dass auch invalide Projektpläne in der Fitnessfunktion berücksichtigt werden, da es Permutationen T_i geben kann, welche evaluiert werden müssen, jedoch nicht an den Simulator gegeben werden dürfen, da dieser davon ausgeht, dass die gegebene Menge T einen validen Projektplan repräsentiert. Eine Mög-

lichkeit ist, T auf Validität zu prüfen und gegebenenfalls -1 zurückzugeben. Dies würde sicherstellen, dass jeder valide Projektplan einen besseren Fitnesswert erhält, als jeder invalide. Dies führt allerdings auch dazu, dass jeder invalide Projektplan den gleichen Fitnesswert erhält und in der Optimierung somit nicht zwischen sehr schlechten und fast korrekten Plänen unterschieden werden kann. Daher wird die Anzahl der verletzten Abhängigkeiten ermittelt und in die Ausgabe einbezogen werden. So wird ein Projektplan mit einer Abhängigkeitsverletzung einen besseren Fitnesswert erhalten, als einer mit zwanzig Verletzungen. Erreicht wird dies, indem im Falle der Invalidität

$$-1 + \frac{1}{\text{Anzahl der Verletzungen}}$$

Formel 3: Rückgabewert invalider Projektpläne

zurückgegeben wird. Auf diese Weise ist sichergestellt, dass ein valider Projektplan einen besseren Fitnesswert erhält als ein invalider. Außerdem verbessert sich der Fitnesswert invalider Projektpläne mit Reduzierung der Abhängigkeitsverletzungen.

4.2.3.5 Eine Referenz-Datenbank zur Ablage von Unternehmenswissen

Um ein verbessertes logistikintegriertes Projektmanagement im Anlagenbau zu erreichen, und zuvor gemachte Projekterfahrungen neu geplanten Projekten zur Verfügung zu stellen, wurde die Möglichkeit zur Bildung von Referenzprozessen geschaffen.

Angelehnt ist der Begriff Referenzprozess an dem Referenzmodell, welches in der Simulation in Produktion und Logistik Verwendung findet (Wenzel 2000). Ein Referenzprozess wird eingesetzt, um die Umsetzung von Erfahrungswissen zu ermöglichen. In Schneider (1997) ist ein Referenzmodell die Dokumentation des gewonnen Wissens als Grundlage weiterer Modellierungsaktivitäten, um durch den Einsatz verallgemeinerter Modelle sowohl die Effizienz als auch die Qualität bei der Modellerstellung zu steigern. Diese Eigenschaft wird im Rahmen dieser Forschungsarbeit auf die zu modellierenden Prozesse übertragen. Somit besteht ein Referenzprozess aus vielen vergangenen Prozessen (Erfahrungswerte), die einem definierten Referenzprozess zugeordnet werden, siehe Abbildung 12.

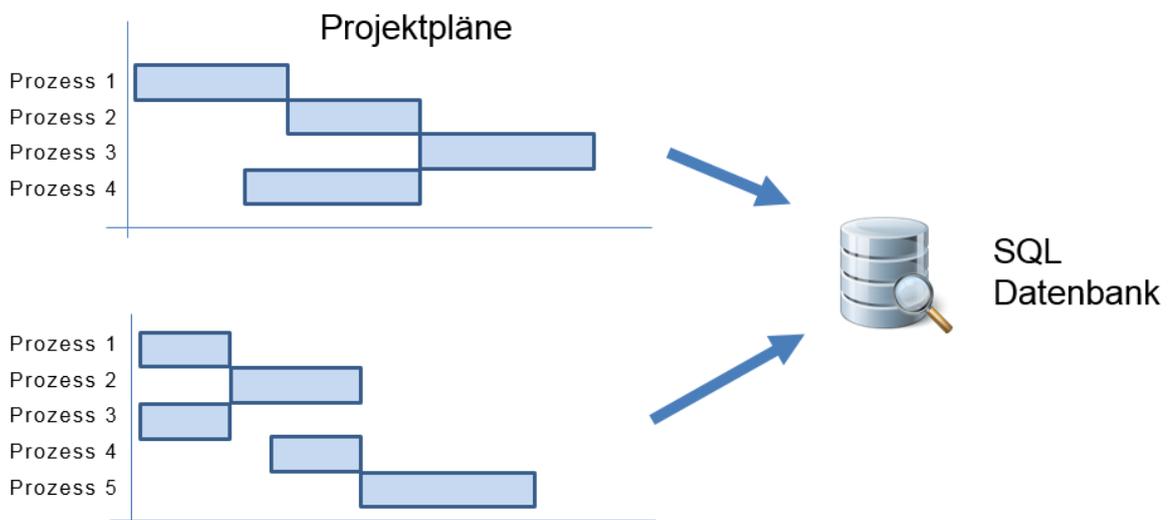


Abbildung 12: Ablage vergangener Projektpläne und Prozesse in einer Datenbank

Der so gebildete Referenzprozess bildet seine Attribute (z. B. die Prozessdauer) aus den Daten der hinterlegten und zugeordneten Prozesse, siehe Abbildung 13. Die Qualität der Referenzprozesse wird mit dieser Methode kontinuierlich verbessert, da weitere Erfahrungswerte immer auch in die Attribute der Referenzprozesse einfließen.

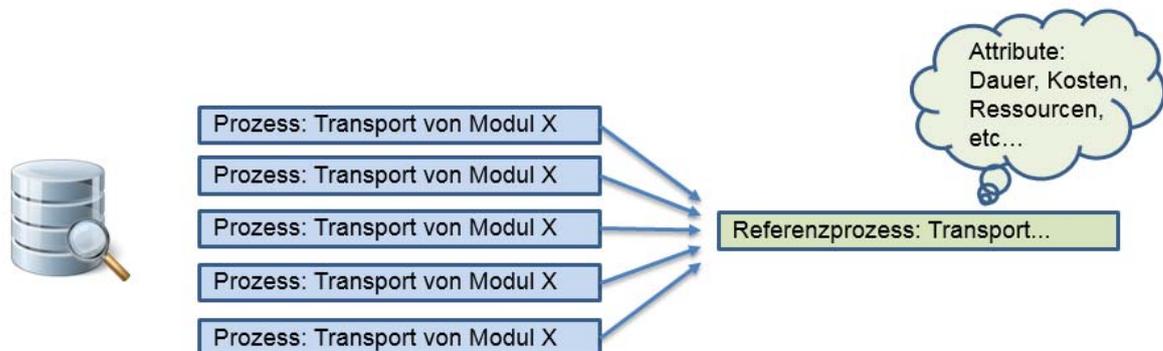


Abbildung 13: Bildung eines Referenzprozesses in simject

Mit den in der Datenbank abgelegten und neu gebildeten Referenzprozessen wird die Erstellung von neuen Projektplänen unterstützt. Somit dienen Referenzprozesse als Vorlage oder eine Empfehlung zur Planung von neuen Vorgängen. Ein Referenzprozess stellt für die Entwicklung unternehmensspezifischer Projektpläne einen Bezugspunkt dar. Sie verweisen auf Anwendungsfälle aus der Vergangenheit und definieren ihren empirischen Gegenstand selbst.

4.2.3.6 Logistiksintegrationsintegration

Als eine weitere Möglichkeit zur Verbesserung der Projektpläne wird eine Einbindung eines Logistiksmodells in Plant Simulation von Siemens Tecnomatix vorgenommen. Das Modell bildet den Aufbau einer Windkraftanlage, vom Transport der Bauteile zur Baustelle bis zum Aufbau der Anlage, ab. Grundlegend lassen sich beim Aufbau des Modells zwei Hauptelemente unterscheiden. Zum einen enthält das Modell den Projektplan und zum anderen das eigentliche logistische Modell. Beide Teile sind in separaten sogenannten Netzwerken abgebildet, die über eine Methode miteinander verknüpft sind.

Der Projektplan besteht aus Pufferbausteinen, die jeweils ein eigenes Arbeitspaket darstellen (siehe Abbildung 14). Diese Bausteine sind auf verschiedenen Ebenen angeordnet und können dadurch den hierarchischen Aufbau eines Projektplans widerspiegeln. Mit Hilfe einer Methode ist es möglich, einen Excel-basierten Projektplan mit einem Klick in das Modell zu importieren. Um die Steuerung des Projektplans durch die Prozesse im Logistikmodell zu ermöglichen, wird von einer direkten Verknüpfung der Pufferbausteine über Kanten abgesehen. Dadurch ist der Projektplan ohne die Kopplung zum logistischen Modell nicht lauffähig.

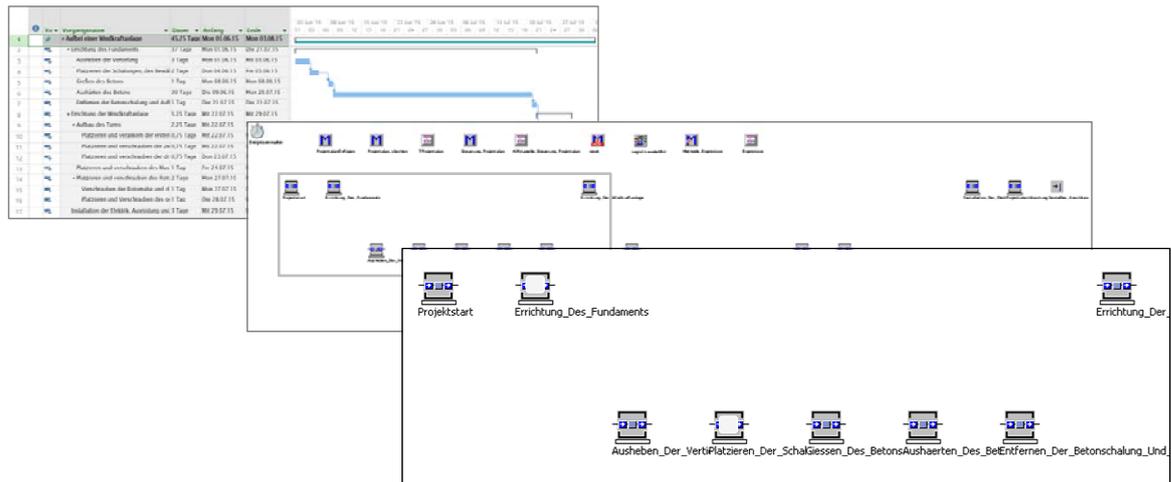


Abbildung 14: Teilmodell Projektplan (Basis Excel-basierter Projektplan)

Das logistische Modell bildet die eigentlichen logistischen Prozesse und den Aufbau der Anlage ab, die mit dem Projekt verbunden sind (siehe Abbildung 15). Dies beginnt mit der Erzeugung von Bauteilen und Arbeitsmitteln bei den Lieferanten. Die Vorgänge beim Lieferanten an sich werden allerdings nicht dargestellt; stattdessen handelt es sich bei den Lieferanten um die Quellen des Modells. Dort werden Bauteile und Arbeitsmittel in Abhängigkeit von Trigger-Bausteinen erzeugt und anschließend über verschiedene Routen zur Baustelle transportiert, wo sie abgeladen und zur fertigen Windkraftanlage zusammengesetzt werden. Während dieses Prozesses können Störungen an den Bausteinen genutzt werden, um dadurch Unterbrechungen oder Verspätungen der Vorgänge darzustellen. Zum Beispiel können die Transportprozesse durch Probleme mit dem Fahrzeug oder Verkehrsbehinderungen wie Staus oder stockender Verkehr beeinträchtigt werden, während schlechtes Wetter, Probleme mit den Arbeitsmitteln und ähnliches zu Verzögerungen beim Aufbau der Anlage führen können. Solche und ähnliche Probleme lassen sich mit Hilfe von Störungen abbilden. Um dabei auch den Einfluss des Zufalls zu berücksichtigen, erfolgt die Modellierung mit Hilfe von statistischen Verteilungen. Statistische Verteilungen werden aber auch an den Triggern der Quellen genutzt, um dadurch Lieferverzögerungen darzustellen, oder bei den Bearbeitungszeiten an den Montagestationen, um abzubilden, dass diese Zeiten ebenfalls nicht immer konstant sind. Einer der wichtigsten Faktoren für die Güte des Modells sind dabei die Daten, die als Input für die statistischen Verteilungsfunktionen verwendet werden. Nur adäquate Verteilungsfunktionen sind in der Lage, das reale System richtig abzubilden. Ungenaue Verteilungsfunktionen können dagegen zu falschen Schlussfolgerungen führen. Deshalb ist es wichtig, den Verteilungen bei der Modellierung eines derartigen Projektes möglichst viele historische Daten zugrunde zu legen, um so deren Qualität zu erhöhen. Für die Modellierung der Transporte und die Bestimmung entsprechender Verteilungen für die Abbildung von Verkehrsbehinderungen können z. B. historische Verkehrsinformationen über die betrachteten Routen aus einer Staudatenbank herangezogen werden. Für die Darstellung von Wettereinflüssen beim Aufbau der Anlage eignen sich z. B. historische Wetterverläufe am Aufbauort. Und Bearbeitungszeiten für die Montageschritte lassen sich z. B. auf Basis von Erfahrungen aus früheren Projekten bestimmen.

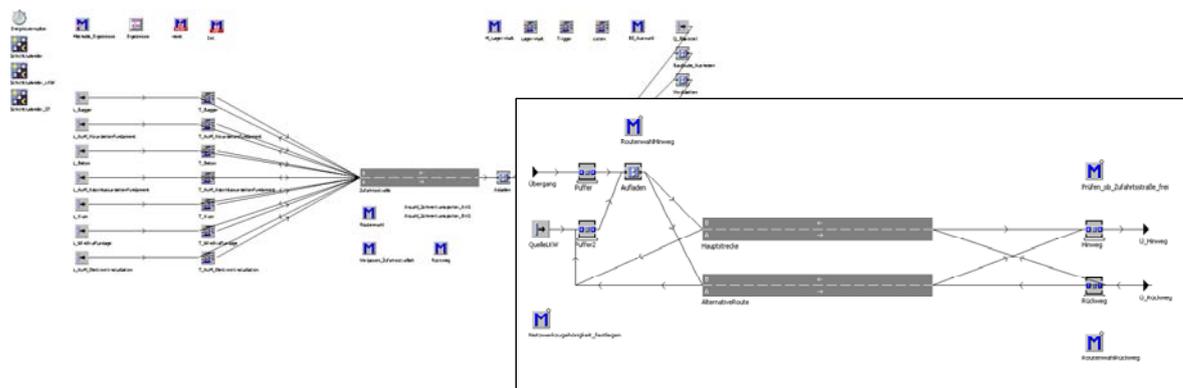


Abbildung 15: Teilmodell Logistik mit Detailmodell für Transportprozess

Im Gegensatz zum Projektplan ist das logistische Modell allein lauffähig und könnte somit zur Analyse des Systems „Aufbau einer Windkraftanlage“ herangezogen werden. Ziel ist allerdings kein einzelnes logistisches Modell sondern die Integration von Projektplänen in die Logistiksimulation. Deshalb wird mit Hilfe einer Methode eine Verbindung zwischen Logistikmodell und Projektplan entwickelt, so dass die logistischen Prozesse einen direkten Einfluss auf die Arbeitspakete im Projektplan haben. Voraussetzung dafür ist eine entsprechende Tabelle, die Informationen darüber enthält, welche Vorgänge im Logistikmodell, welchem Arbeitspaket zuzuordnen sind, d. h. welche Ereignisse Beginn und Ende eines Arbeitspaketes definieren. Zum Beispiel kann der Start eines bestimmten Montageschrittes an der Baustelle gleichbedeutend sein mit dem Beginn eines bestimmten Arbeitspaketes und das Ende desselben Montageschritts gleichzeitig auch das Ende des entsprechenden Arbeitspaketes markieren. Darüber hinaus enthält die Tabelle Informationen über den Aufbau des Projektplans, d. h. Informationen über Vorgänger- und Nachfolgerprozesse sind ebenso vorhanden wie eine Einordnung der Arbeitspakete in die Hierarchie des Projektplans. Dadurch kann letztlich eine Methode genutzt werden, die die Vorgänge im Projektplan auf Basis der Ereignisse im Logistikmodell steuert. Ausgelöst wird diese Methode jeweils durch den Ein- oder Ausgang eines beweglichen Objektes an einer der Stationen im logistischen Modell. Abbildung 16 stellt diesen Zusammenhang vereinfacht dar.

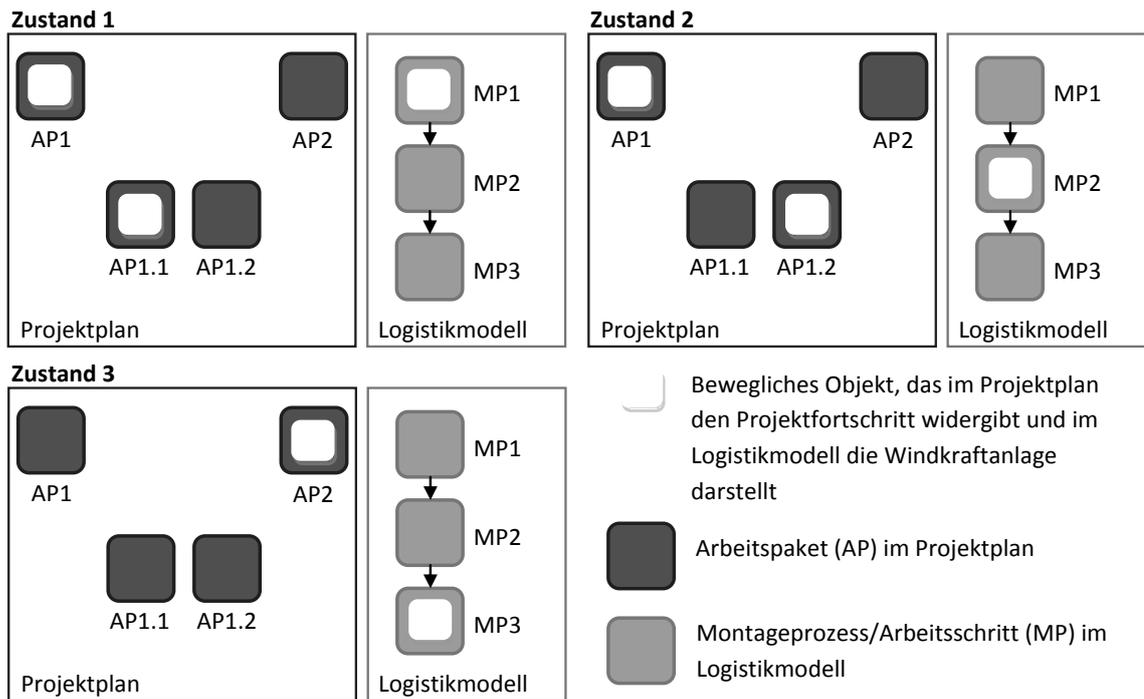


Abbildung 16: Ablaufprinzip

Im Zustand 1 in Abbildung 16 wird im logistischen Modell ein erster Montageprozess durchgeführt. Das dazugehörige Arbeitspaket AP1.1 im Projektplan ist deshalb mit einem beweglichen Objekt markiert. Zudem ist auch das übergeordnete Arbeitspaket AP1 mit einem beweglichen Objekt gekennzeichnet, da AP1.1 ein Teil dieses Arbeitspaketes ist. Wird nun im Logistikmodell der Arbeitsschritt MP1 beendet und der nächste Arbeitsschritt MP2 begonnen, löst der Übergang des beweglichen Objekts von MP1 zu MP2 die Verknüpfungsmethode zwischen Logistikmodell und Projektplan aus, die dann dazu führt, dass im Projektplan ein bewegliches Objekt von AP1.1 auf das nachfolgende AP1.2 umgelagert wird. Beim Beenden des nachfolgenden Montageprozesses wird sowohl das AP1.2, als auch das übergeordnete AP1 beendet und beide beweglichen Objekte zu einem zusammengefasst und auf das nachfolgende Arbeitspaket AP2 umgelagert.

Zusätzlich zur Erstellung des Modells werden Experimente mit dem Modell durchgeführt. Dazu werden während der Simulation Informationen wie z. B. die Dauer der Arbeitspakete im Projektplan, Transportzeiten, Wartezeiten auf fehlende Bauteile an der Baustelle, Montagedauern und Informationen über den Lagerinhalt erfasst. Dadurch können umfassende Datenmengen z. B. über die Dauer der Arbeitspakete gewonnen werden, die mit Hilfe statistischer Analysen ausgewertet werden, um Aussagen über die Projektdauer zu ermöglichen. Abbildung 17 stellt die im Rahmen eines Experimentes gemessene gesamte Projektabwicklungsdauer dar. Variiert werden lediglich die Startwerte der Zufallszahlen, um so die Auswirkung der zufälligen Prozesse auf das Modell zu untersuchen. In der Grafik sind die Ergebnisse von 500 Beobachtungen mit jeweils 10 Jahren Laufzeit dargestellt. Jeder Punkt gibt dabei die Projektabwicklungsdauer einer errichteten Windkraftanlage wieder. Im Mittel wird eine Projektabwicklungsdauer von 56,35 Tagen gemessen.

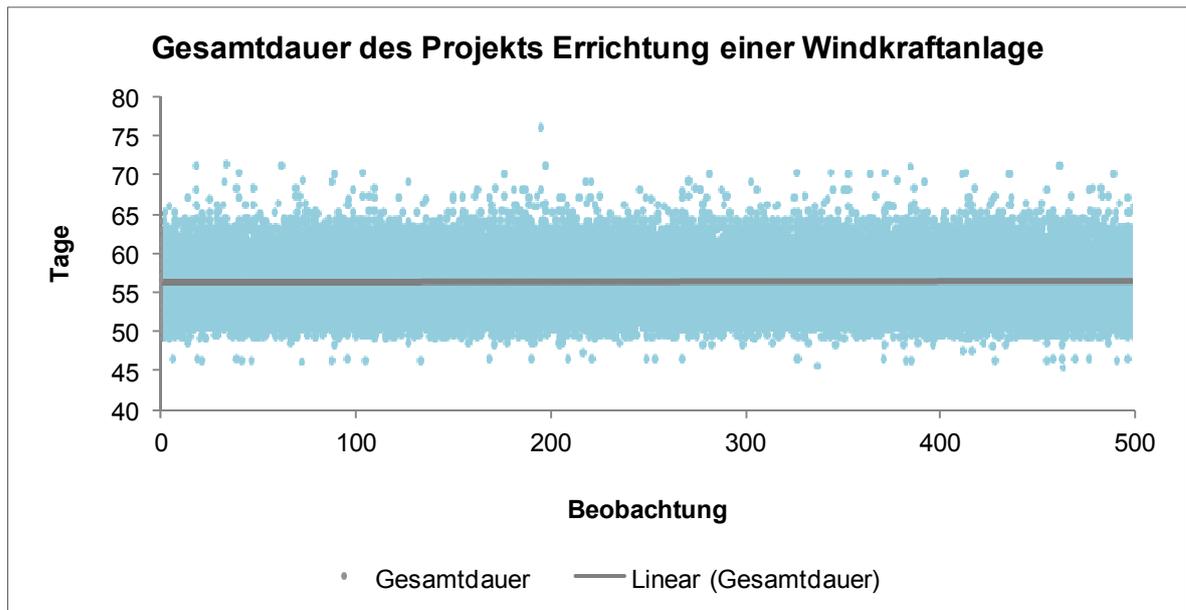


Abbildung 17: Simulationsergebnis Projektgesamtdauer

Wie bereits erwähnt, werden während der Simulation auch Daten über verschiedene logistische Prozesse erfasst. Somit kann nicht nur der Einfluss zufälliger Prozesse auf die Projektabwicklungsdauer analysiert werden. Es besteht auch die Möglichkeit, Veränderungen am Modell vorzunehmen und zu analysieren, wie sich dies einerseits auf das logistische Modell auswirkt und andererseits auf die Dauer der Arbeitspakete. Unter anderem wird ein Experiment durchgeführt in dem die Anzahl der verfügbaren Transportfahrzeuge in einem Transportnetzwerk verändert wird. Mit Hilfe der erfassten Daten kann dann z. B. ermittelt werden, wie sich diese Veränderungen auf die Wartezeit auf fehlende Bauteile vor der betroffenen Montagestation auswirkt (vgl. Abbildung 18)

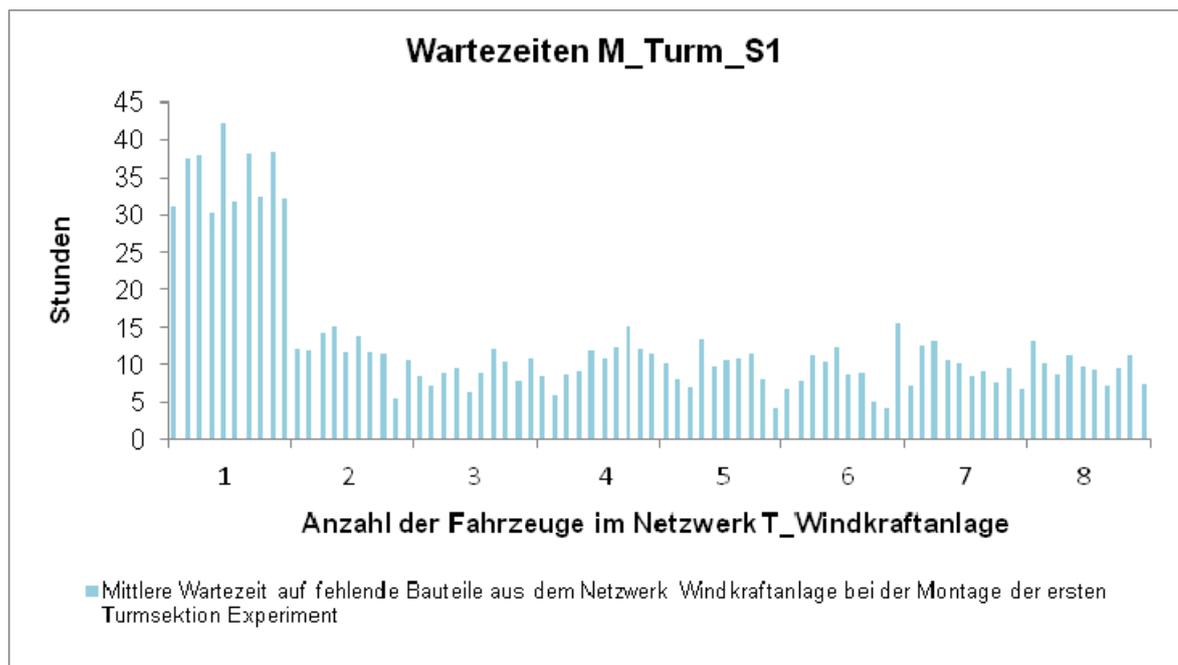


Abbildung 18: Simulationsergebnis Fahrzeugwartezeiten in Stunden

Es ist erkennbar, dass auch in diesem Zusammenhang die Simulation hilft, verschiedene Untersuchungen an einem Modell durchzuführen und logistische Aspekte bei der Projektplanung einzubeziehen.

Bezüglich der Integration in die Gesamtplattform stellen Excel-Tabellen eine Verbindung zwischen dem Modell und der IT Plattform her, um Daten für die Simulation zu einzulesen bzw. die gewonnenen Daten für die weitere Nutzung zur Verfügung zu stellen.

4.2.4 Gesamtarchitektur und Nutzungskonzepte

Zur informationstechnischen Unterstützung des zuvor definierten Nutzungsprozesses sind unterschiedliche Werkzeuge notwendig, um die einzelnen Teilaufgaben bewältigen zu können. Diese umfassen im Wesentlichen folgende Funktionen:

- Schnittstellen zu externen Datenquellen (Zeitpläne, Daten aus PDM- und ERP-Systemen, GIS und Wetterdaten)
- Projektbearbeitung (Editor zum Verwalten und Ändern von Projektplänen)
- Logistiksimulation (ereignisdiskreter Simulator für Logistikmodelle)
- Projektsimulation (Simulator für Projektpläne)
- Projektoptimierung (Optimierungshilfen für Projektpläne)
- Visualisierung (Planvisualisierung, 2D-/3D-Baufortschrittsvisualisierung)

Die genutzten Funktionen variieren dabei in Abhängigkeit von der gestellten Planungsaufgabe. So kann nicht von einem fest vorgegeben Planungsablauf im Detail ausgegangen werden. Somit sind die Funktionen und die hierzu zu nutzenden Werkzeuge für die jeweilige Planungsaufgabe geeignet zu orchestrieren. Abbildung 19 zeigt einen beispielhaften Nutzungsablauf.

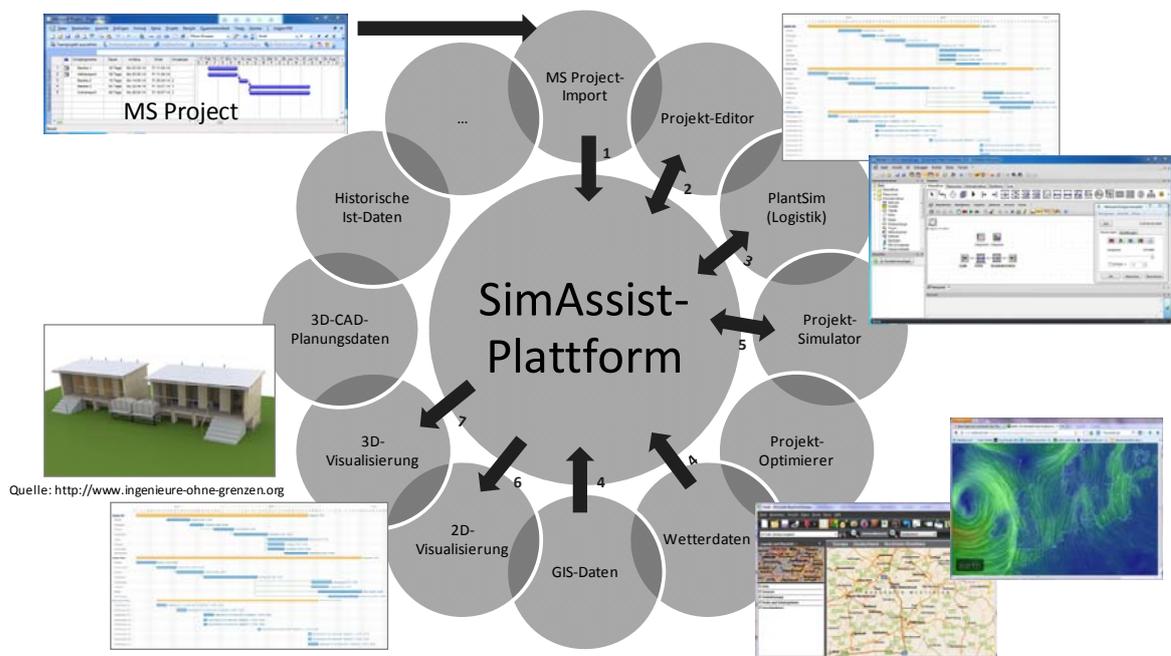


Abbildung 19: Systemkomponenten und Informationsfluss

In dem gezeigten Beispiel wird der Ausgangsplan zunächst über eine Schnittstelle von dem Werkzeug MS Project übernommen (1) und in eine werkzeuginterne Datenbank eingepflegt. Damit steht er zur Bearbeitung im Projekteditor zur Verfügung (2). Hier können projektspezifische Anpassungen vorgenommen werden, u. a. die Definition von Unsicherheiten über Wahrscheinlichkeitsfunktionen. Da das angenommene Projekt einen hohen Logistikanteil hat, wird für einzelne Arbeitspakete ein Logistikmodell aufgebaut, dessen Simulation wiederum Ergebnisse für die weitere Anpassung des Projektplans produziert (3). In der Logistiksimulation können weitere Informationen zu aktuellem Wetter oder verfügbarem Straßennetz in Form entsprechender Daten berücksichtigt werden (4). Alle bisher ermittelten Informationen nehmen Eingang in die Simulation und Optimierung des Projektplans (5). Letztendlich sind die Ergebnisse zu visualisieren. Hierbei reicht die Bandbreite von der reinen Planvisualisierung als Gantt-Chart (6) bis hin zur aufwendigen dreidimensionalen Visualisierung des Baufortschritts anhand der Planvorgabe (7). Alle Werkzeuge und Schnittstellen tauschen dabei ihre Information untereinander über eine gemeinsame Plattform aus, in der auch der aktuelle Zustand des Planungsprojektes in einer Datenbank gespeichert wird.

Um diesen Ablauf zu realisieren, wird eine Software-Entwicklungsplattform benötigt, die es erlaubt, Werkzeuge neu zu entwickeln und an die Plattform anzubinden, bestehende Werkzeuge über neu zu entwickelnde Schnittstellen anzubinden, sowie Projektdaten zu verwalten und externe Datenquellen über entsprechende Schnittstellen zu nutzen. Werkzeuge und Schnittstellen müssen sich je nach projektspezifischem Bedarf an die Plattform anbinden lassen. Zudem muss die Plattform offen und erweiterbar für weitere Werkzeuge und Schnittstellen konzipiert sein. Mit SimAssist der SimPlan AG (vgl. SimAssist 2015) liegt eine Software-Entwicklungsplattform vor, die die formulierten Anforderungen bezüglich Offenheit und Erweiterbarkeit der Software als auch bezüglich der Flexibilität der Nutzung erfüllt und eine Lösung für die grundlegenden technischen Fragestellungen zur technischen Implementierung und Integration einzelner Module darstellt. SimAssist bildet die Basis, über die Systemkomponenten gesteuert und Daten zwischen ihnen ausgetauscht werden. Die Plattform ist als offene Lösung konzipiert, die jederzeit die An- bzw. Einbindung weiterer Softwarekomponenten erlaubt. Wesentlichen Anteil an der Entscheidung für SimAssist hat sein modulares Konzept, das es erlaubt, Funktionalitäten als abgeschlossene Plug-ins zu entwickeln, die über standardisierte Schnittstellen zu einer gemeinsamen Plattform miteinander kommunizieren. Grundsätzlich besteht SimAssist aus der Plattform, in der diverse Funktionen zur Datenverwaltung als auch die Kommunikation zwischen den angebotenen Plug-ins realisiert sind. Hinzu kommt eine Bibliothek für standardisierte Plug-ins, deren Anzahl beliebig variiert werden kann. Da die Plug-ins erst während der Laufzeit dynamisch mit der Plattform verlinkt werden, können leicht neue Plug-ins gemäß einer standardisierten Vorgabe entwickelt und eingebunden, bestehende ausgetauscht oder gelöscht werden. Das Graphical User Interface (GUI) zeigt die modulare Struktur eines mit SimAssist erstellten Werkzeugs auch dem Bediener (Abbildung 20).

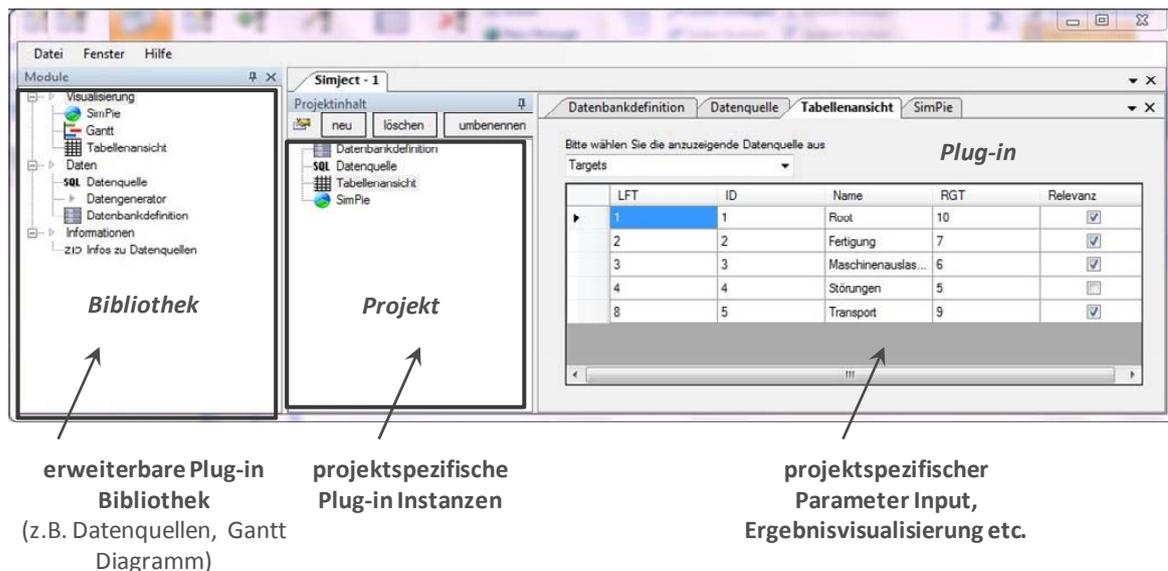


Abbildung 20: GUI-Plug-in Konzept des Werkzeugs SimAssist (SimPlan AG)

Das GUI zeigt dem Nutzer drei Fenster: das Fenster Bibliothek, das Fenster Projekt sowie das Plug-in-Fenster. Das Fenster Bibliothek zeigt alle Plug-ins, die in der Bibliothek enthalten und an die Plattform angebunden sind und damit grundsätzlich zur Nutzung bereitstehen. Das Fenster Projekt zeigt die Projektstruktur mit den Plug-ins, die einem konkreten Projekt als Instanz zugeordnet wurden. Das Plug-in Window zeigt schließlich jeweils das Front-end des Plug-ins, das in dem Fenster Projekt ausgewählt ist.

SimAssist sieht für die Bedienung folgenden Ablauf vor: Der Nutzer stellt sich aus der Auswahl aller Plug-ins für sein Projekt seine spezifischen Plug-ins zusammen. Hierzu wählt er nach dem Anlegen oder Öffnen eines Projektes die benötigten Plug-ins im Fenster Bibliothek aus und fügt diese mit Drag&Drop in seine Projektstruktur ein. Durch Auswahl der einzelnen Plug-ins im Fenster Projekt erscheinen deren Front-ends als Karteikarten im Plug-in Fenster, über die der Nutzer das Verhalten der Plug-ins parametrisieren oder deren Inhalte visualisieren lassen kann. Die gesamte Projektkonfiguration wird in der SimAssist Datenbank verwaltet. Das GUI-Beispiel zeigt im Plug-in Fenster eine Tabellenansicht als Front-end eines entsprechenden Plug-ins. Dieses Plug-in bezieht seine Daten aus dem Plug-in Datenquelle, in dem ein spezifischer Datenbankzugriff formuliert ist, der wiederum das Plug-in Datenbankdefinition nutzt, das eine spezifische Datenbank im Projekt repräsentiert. Alle Plug-ins werden aus der Plug-in-Bibliothek entnommen, in der die Plug-ins nach den Themen Daten, Information und Visualisierung strukturiert abgelegt worden sind.

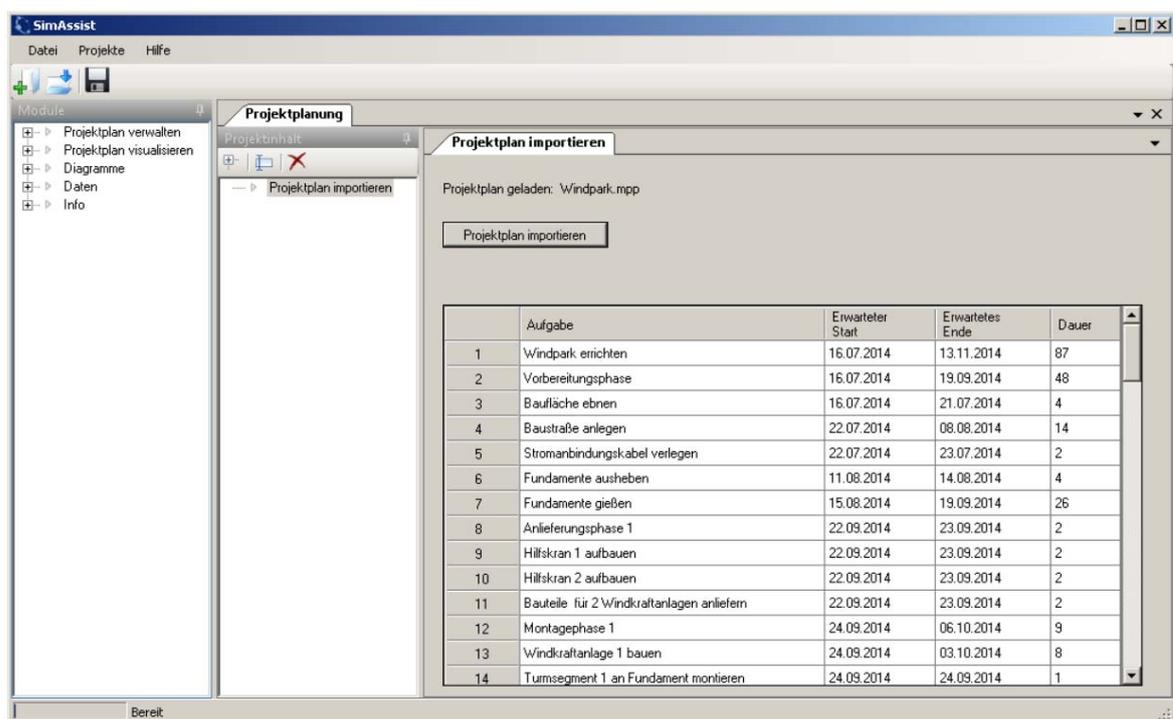
4.2.5 Implementierung eines Demonstrators

Auf Basis der entwickelten Referenzarchitektur existieren heute einzelne Plug-ins, die Teile der Funktionalitäten aus dem Anforderungskatalog prototypisch realisieren. Sie nutzen die in Abschnitt 4.2.4 vorgestellte Gesamtarchitektur und sollen nachfolgend in ihrer wesentlichen Funktionsweise kurz beschrieben werden.

4.2.5.1 Das Plug-in ProjectPlanReader – Die Schnittstelle zu MS Project

Die grafische Oberfläche des Plug-ins zum Einlesen von vorhandenen Projektplänen aus der Standardsoftware MS Project, der so genannte ProjectPlanReader, ist minimalistisch aufgebaut und enthält lediglich einen Button „Projektplan importieren“, einen Button „Projektplan exportieren“ und ein Label, welches Informationen bezüglich des aktuell eingelesenen Projektplans darstellt. Durch Benutzung des Buttons öffnet sich ein Dialogfenster, in welchem der Anwender zur gewünschten Datei in MS Project navigieren kann. Daraufhin wird der Projektplan in Tabellenform angezeigt, wie in Abbildung 21 exemplarisch am Beispiel-Projektplan „Windpark“ dargestellt ist. Der Importvorgang kann beliebig oft wiederholt werden, so dass in den verschiedenen Plug-ins unterschiedliche Projektpläne zur gleichen Zeit geladen sein können. Jedoch wird im ProjectPlanReader nur der jeweils aktuell geladene Plan angezeigt.

Nach einem erfolgreichen Importvorgang wird der Projektplan im Plug-in Fenster in tabellarischer Form angezeigt, wobei die Zeilen die einzelnen Aufgaben und die Spalten die Attribute dieser Vorgänge beinhalten. Zusätzlich besteht die Möglichkeit den Projektplan anzupassen, indem Eigenschaften einzelner Vorgänge bearbeitet werden. Über die Export-Funktion wird der geladene Projektplan in eine CSV-Datei mit dem Format „Projekt ID; Projekt Name; Projekt Dauer“ exportiert.



	Aufgabe	Erwarteter Start	Erwartetes Ende	Dauer
1	Windpark errichten	16.07.2014	13.11.2014	87
2	Vorbereitungsphase	16.07.2014	19.09.2014	48
3	Baufläche ebnen	16.07.2014	21.07.2014	4
4	Baustraße anlegen	22.07.2014	08.08.2014	14
5	Stromanbindungskabel verlegen	22.07.2014	23.07.2014	2
6	Fundamente ausheben	11.08.2014	14.08.2014	4
7	Fundamente gießen	15.08.2014	19.09.2014	26
8	Anlieferungsphase 1	22.09.2014	23.09.2014	2
9	Hilfskran 1 aufbauen	22.09.2014	23.09.2014	2
10	Hilfskran 2 aufbauen	22.09.2014	23.09.2014	2
11	Bauteile für 2 Windkraftanlagen anliefern	22.09.2014	23.09.2014	2
12	Montagephase 1	24.09.2014	06.10.2014	9
13	Windkraftanlage 1 bauen	24.09.2014	03.10.2014	8
14	Turnsegment 1 an Fundament montieren	24.09.2014	24.09.2014	1

Abbildung 21: Importierter Projektplan „Windpark“

Die konkrete Implementierung des *ProjectPlanReaders* benutzt die von Microsoft zur Verfügung gestellte *Assembly Microsoft.Office.Interop.MSProject*¹, um eine Projektplan-Datei einzulesen. Jedoch arbeitet die Bibliothek direkt auf der Datei in MS Project, was zur Folge hat, dass Änderungen direkt in die Datei geschrieben werden. Dieses Verhalten wider-

¹ [http://msdn.microsoft.com/en-us/library/office/ff870696\(v=office.14\).aspx](http://msdn.microsoft.com/en-us/library/office/ff870696(v=office.14).aspx)
(Stand: 13.10.2014)

spricht den Erwartungen an einen Importer, da die Datei ausschließlich eingelesen und nicht verändert werden soll. Zusätzlich könnten hierdurch Konflikte entstehen, falls mehrere Prozesse auf dieselbe Datei zugreifen. Ein weiterer Nachteil liegt in der Vielzahl an Datenfeldern, die durch die Bibliothek von MS Project zur Verfügung gestellt und im Rahmen dieses Projektes nicht genutzt werden, somit also zu der Speicherung unnötiger Daten führen.

Zusätzlich ist durch die Implementierung dieser Interfaces eine Loslösung von der eigentlichen MS Project Datei möglich, indem die Datei zwar mithilfe der MS Project Assembly eingelesen wird, jedoch in eine Instanz der Interfaces überführt wird. Die konkreten Instanzierungen besitzen zusätzlich Copy-Konstruktoren um eine Tiefenkopie der Daten zu erstellen, die über das Nachrichtensystem von SimAssist an andere Plug-ins verschickt werden kann, ohne dass diese Plug-ins das Projektplan-Objekt des ProjectPlanReaders ändern können.

Für die Visualisierung des ProjectPlanReaders wird eine DataGridView verwendet, die mit dem Projektplan beziehungsweise den Aufgaben des Projektplans gefüllt wird. Werden vom Anwender Veränderungen an den Werten innerhalb der Zellen der Tabelle vorgenommen, wird ein entsprechendes DataGridViewCellEventArgs² Event ausgelöst. Innerhalb dieses werden die Eingaben des Benutzers auf Richtigkeit geprüft und bei Gültigkeit in den Projektplan übernommen. Um die Kommunikation mit anderen Plug-ins zu ermöglichen, wird im ProjectPlanReader die Methode ReceiveMessage verwendet. Diese besagt, dass auf Anfrage anderer Plug-ins eine Antwort mit einer Tiefenkopie des aktuell eingelesenen IProjectPlan als Parameter an den Absender übermittelt wird.

4.2.5.2 Das Plug-in ProjektPlanSimulation – Monte-Carlo Simulation von Projektplänen

Die grafische Oberfläche des Plug-ins ProjectPlanSimulation beinhaltet, wie in Abbildung 22 dargestellt, im oberen Teil einen Einstellungsbereich sowie einen Darstellungsbereich im unteren Fensterteil.

Der Einstellungsbereich der GUI verfügt über einen *Drag&Drop*-Bereich, in den Projektpläne gezogen werden können, sowie einen Button zum Starten der Projektplan-Simulation. Zusätzlich existieren drei Textfelder, die dem Benutzer Einstellungsmöglichkeiten bezüglich der Simulationen ermöglichen. Unter anderem kann die Anzahl an Iterationen der Monte-Carlo-Simulation bestimmt werden, d. h. wie viele Projektpläne erstellt werden.

² [http://msdn.microsoft.com/de-de/library/system.windows.forms.datagridviewcelleventargs\(v=vs.110\).aspx](http://msdn.microsoft.com/de-de/library/system.windows.forms.datagridviewcelleventargs(v=vs.110).aspx) (Stand: 13.10.2014)

Anzahl Iterationen:

Abweichung nach unten:

Abweichung nach oben:

Projektplan simulieren

Projektplan geladen

	Aufgabe	Minimale Dauer	Erwartete Dauer	Maximale Dauer	Wahrscheinlichster Start	Wahrscheinlichstes Ende
▶ 2	Bauflaeche_ebnen	2,85	3	3,6	29.06.2015	01.07.2015
3	Baustrasse_anlegen	5,7	6	7,2	02.07.2015	09.07.2015
4	Leitungskabelverlegung	0,95	1	1,2	10.07.2015	10.07.2015
5	Fundamente_ausheben	2,85	3	3,6	10.07.2015	14.07.2015
6	Fundamente_giessen	2,85	3	3,6	15.07.2015	17.07.2015
7	Netzeinspeisungspunktanschluss	0,95	1	1,2	13.07.2015	13.07.2015
9	Fundamente_ausheben	1,9	2	2,4	20.07.2015	21.07.2015
10	Fundamente_errichten	2,85	3	3,6	22.07.2015	24.07.2015
11	Fundamente_giessen	2,85	3	3,6	27.07.2015	29.07.2015
12	Kranbewegungsflaechen_einrichten	1,9	2	2,4	20.07.2015	21.07.2015
13	Raupenkran_aufbauen	0,95	1	1,2	22.07.2015	22.07.2015
14	Hilfskran_aufbauen	0,95	1	1,2	22.07.2015	22.07.2015
17	BG1Seg1_an_Grundplatte_montieren	0,95	1	1,2	30.07.2015	30.07.2015
18	BG1Seg2_an_BG1Seg1_montieren	0,95	1	1,2	31.07.2015	31.07.2015
19	BG1Seg3_an_BG1Seg2_montieren	1,9	2	2,4	03.08.2015	05.08.2015

Abbildung 22: ProjectPlanSimulation am Beispiel „Windpark“

Nach Durchführung des Simulationsexperiments wird die Projektplantabelle um die Ergebnisse der Simulation ergänzt. Dies beinhaltet die frühesten und spätesten Start- und Endtermine der Prozesse. Für die Durchführung der Simulation ist es notwendig, einen IProjectPlan an das Plug-in zu übermitteln. Aus diesem Grund wird innerhalb der ProjectPlanSimulation ein stochastischer Projektplan, IStochasticPlan erzeugt, falls es sich bei dem bisher übermittelten Plan um einen ausschließlich deterministischen Projektplan handelt. Nach dem Laden werden, kann der Anwender die minimale und maximale Dauer für die einzelnen Prozesse festlegen. Auf Grundlage der Häufigkeit der Start- und Enddaten in den Simulationsiterationen werden die Erwartungswerte und die entsprechenden frühesten bzw. spätesten Start- und Endtermine ermittelt. Da die Größe der Projektpläne und die Anzahl an Iterationen unbeschränkt sind, kann die Durchführung der Simulation einige Zeit in Anspruch nehmen. Um den Anwender eine gleichzeitige Weiterarbeit, beispielsweise innerhalb eines anderen Plug-Ins, zu ermöglichen, wird die Simulation durch einen BackgroundWorker³ in einem separaten Thread durchgeführt. Hierdurch wird die Simulation von der grafischen Oberfläche und anderen Prozessen losgelöst, so dass die Software während der Simulation weiter genutzt werden kann. Natürlich können die Ergebnisse der Simulation nicht vor Simulationsende ausgewertet werden, weshalb mit der Durchführung weiterer Arbeitsschritten, die auf diesen Ergebnissen basieren, gewartet werden muss. Die Resultate werden nach Durchlauf zum einen dem Anwender angezeigt und zum anderen in einem IStochasticPlan gespeichert, der wiederum von anderen Plug-Ins angefordert werden kann. Beispielsweise kann dieser Plan in einem Gantt-Chart grafisch aufbereitet werden.

³ [http://msdn.microsoft.com/de-de/library/system.componentmodel.backgroundworker\(v=vs.110\).aspx](http://msdn.microsoft.com/de-de/library/system.componentmodel.backgroundworker(v=vs.110).aspx) (Stand: 13.10.2014)

Simulationsvorgehen in Pseudocode

```

1:  $\forall t \in T$  : Erstelle Dictionary  $\langle \text{Date}, \text{int} \rangle$  für Startdaten  $A_t$ 
2:  $\forall t \in T$  : Erstelle Dictionary  $\langle \text{Date}, \text{int} \rangle$   $B_t$  für Enddaten
3: Bereinige Elternknoten
4: for  $i \rightarrow \# \text{Iterationen}$  do
5:    $\forall t \in T$  : Wähle Wert für Zufallsvariable Dauer  $d_t$ 
6:   Erstelle validen Projektplan unter Berücksichtigung der Dauern und
   Vorgängerbeziehungen
7:   for each  $t \in T$  do
8:     if Starttermin  $s_t \in A_t$  then
9:        $A_t(s_t) + 1$ 
10:    else
11:      Eintrag  $\langle s_t, 1 \rangle$  in  $A_t$  erstellen
12:    end if
13:    if Endtermin  $f_t \in B_t$  then
14:       $B_t(f_t) + 1$ 
15:    else
16:      Eintrag  $\langle f_t, 1 \rangle$  in  $B_t$  erstellen
17:    end if
18:  end for
19: end for
20: for each  $t \in T$  do
21:  Frühester Start  $s_t^\alpha := \min_{d \in \text{Key}(A_t)} d$ 
22:  Frühestes Ende  $f_t^\alpha := \min_{d \in \text{Key}(B_t)} d$ 
23:  Spätester Start  $s_t^\beta := \max_{d \in \text{Key}(A_t)} d$ 
24:  Spätestes Ende  $f_t^\beta := \max_{d \in \text{Key}(B_t)} d$ 
25:  Wahrscheinlichster Start  $s_t^m := \arg \max_{d \in \text{Key}(A_t)} A_t(d)$ 
26:  Wahrscheinlichstes Ende  $f_t^m := \arg \max_{d \in \text{Key}(B_t)} B_t(d)$ 
27: end for
28: Frühester Abschluss des Projekts  $T_{min} := \max_{t \in T} f_t^\alpha$ 
29: Spätester Abschluss des Projekts  $T_{max} := \min_{t \in T} f_t^\beta$ 
30: Wiederherstellen der Elternknoten

```

Abbildung 23: Algorithmus für Simulationsvorgehen in Pseudocode

Der Algorithmus in Abbildung 23 zeigt das Vorgehen, das zur Simulation und Auswertung des Plans unter Berücksichtigung von Unsicherheiten verwendet wird, in Pseudocode. Zunächst werden die Verzeichnisse, in denen Start- und Enddaten gespeichert werden, angelegt. Außerdem werden Sammelvorgänge beziehungsweise Elternknoten aus dem Projektplan entfernt. Die Dauer dieser Elternknoten soll nicht simuliert werden, da sich ihre Durchlaufzeit aus der Dauer ihrer Kinder zusammensetzt. Bei der Bereinigung des Projektplans von den Elternknoten muss beachtet werden, dass diese potenziellen Abhängigkeiten enthalten können. Ist dies der Fall, werden die Abhängigkeiten auf ihre Kinder übertragen, damit die daraus resultierenden Restriktionen im weiteren Verlauf der Simulation beachtet werden. Daraufhin werden in den Zeilen 4 bis 20 i Iterationen der

Simulation durchgeführt, in welcher jeweils die Dauer für alle Prozesse zufällig gewählt und aus diesen ein valider Projektplan erstellt wird. Gespeichert werden von diesen Projektplänen ausschließlich die entsprechenden Start- und Enddaten. Nach Abschluss der Simulationsdurchläufe werden die charakteristischen Termine für die einzelnen Prozesse auf Basis der gespeicherten Daten ermittelt, sowie der früheste und der späteste mögliche Projektabschluss bestimmt. Abschließend müssen die zuvor entfernten Elternknoten wieder in den Projektplan eingefügt werden und ihre Dauer entsprechend der Länge ihrer Kinder angepasst werden.

4.2.5.3 Das Plug-in ProjektplanOptimierung – Heuristische Planverbesserung

Die Funktionen in diesem Plug-in umfassen das Anfragen, Simulieren und Optimieren von Projektplänen. Außerdem werden die Ergebnisse sowohl deterministisch als auch stochastisch für den Benutzer visualisiert.

Startet der Benutzer das Plug-in, erscheint zunächst die grafische Oberfläche wie in Abbildung 24 dargestellt. Über den Button Projektplan importieren steht nun die Funktion zur Verfügung, einen Projektplan vom ProjectPlanReader anzufragen. Ist dies erfolgreich, wird dieser anschließend tabellarisch angezeigt. Außerdem wird direkt unter der tabellarischen Ansicht angezeigt, ob der geladene Projektplan Abhängigkeiten eines Prozesses oder Ressourcenbegrenzungen verletzt.

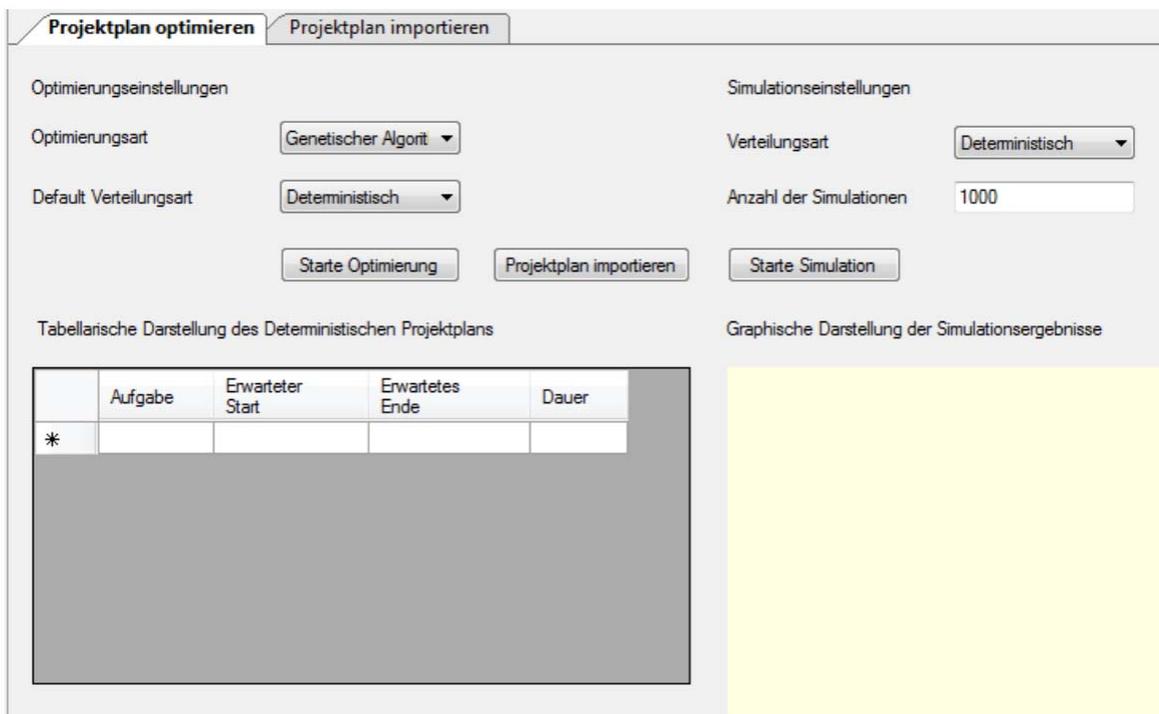


Abbildung 24: Initiale Ansicht des ProjectPlanOptimizer-Plug-ins

Möchte der Nutzer nun für den gegebenen Projektplan eine Optimierung ausführen, gibt es die Möglichkeit, eine Standard-Verteilung über die Auswahlfelder zu spezifizieren. Diese wird im Verlauf der Optimierung auf alle Prozesse prozentual mit den gleichen Parametern angewendet. Als Optimierungsart steht im Demonstrator zunächst nur der evolutionäre Algorithmus zur Verfügung. Um die Erweiterbarkeit zu gewährleisten, ist es sinnvoll,

diese ComboBox auf der grafischen Oberfläche anzubieten. Dadurch ist es später leichter, neue Metriken für weitere Evaluationen hinzuzufügen. Sind sowohl die gewählte Verteilung als auch Optimierungsart ausgewählt und der Plan importiert, kann die Optimierung über den Button *Starte Optimierung* gestartet werden. Ist diese abgeschlossen, wird der errechnete Plan, in deterministischer Form, in der Tabelle dargestellt. Außerdem wird unter der Tabelle angezeigt, ob der Plan valide ist oder nicht. Ein invalider Plan kann in diesem Fall auftreten, wenn der geladene Plan bereits invalide ist und kein valider gefunden werden kann.

Der evolutionäre Ansatz orientiert sich stark an der biologischen Evolution. Es werden Populationen von Individuen erzeugt, weiterentwickelt und ersetzt. Als Individuum wird konkret ein Projektplan betrachtet. Das Augenmerk liegt dabei zunächst nur auf der Reihenfolge der Prozesse. Die konkreten Start- und Endzeitpunkte der einzelnen Prozesse werden später im Verlauf der Simulation hinzugefügt. Dieses Vorgehen wird gewählt, da eine Optimierung der Reihenfolge sehr viel natürlicher in das Prinzip der evolutionären Optimierung integriert werden kann, als das konkrete Anordnen vieler Prozesse auf einem beliebig langen Zeitstrahl.

Aufgaben sind das Erstellen einer beliebigen Startpopulation, die Selektion der Eltern, die Rekombination zum Erhalten der möglichen Tochter-Individuen, das Mutieren der Tochter-Individuen und das Auswählen der Tochtergeneration. Außerdem muss die Fitness eines jeden Individuums bestimmt werden können, was später in dem Simulationsteil näher erläutert wird. Für die Optimierung ist in diesem Kontext von Bedeutung, dass von einer vorhandenen Fitnessfunktion ausgegangen werden kann, da diese vom Hauptprogramm übergeben wird. Ein größerer Fitnesswert steht dabei immer für ein besseres Individuum und somit im Kontext des gegebenen Problems für einen den Simulationsergebnissen zufolge, besseren Projektplan. Die Zielgröße der Optimierung ist somit allgemein die Maximierung des Fitnesswertes.

4.2.5.4 Das Plug-in Referenz-Datenbank – Ablage von Unternehmenswissen

Die Implementierung der Referenz-Datenbank erfolgt direkt in MS Project 2013. Der Benutzer hat die Möglichkeit, seinen Projektplan direkt aus der Anwendung in die Datenbank abzulegen (vgl. Abbildung 25). Der Projektplan wird über einen Namen, eine Versionsnummer und eine Beschreibung des Projektes charakterisiert und referenziert.



Abbildung 25: Ablage eines Projektplans in einer Datenbank

Ist ein Projektplan in der Datenbank gespeichert, werden alle Prozesse aus dem Projektplan losgelöst und in einer allgemeinen Sicht dem Benutzer zur Verfügung gestellt, damit in einem nächsten Schritt der Benutzer alle in der Datenbank abgelegten Prozesse betrachten und einzelne Prozesse einem neu gebildeten Referenzprozess zuordnen kann (vgl. Abbildung 26).

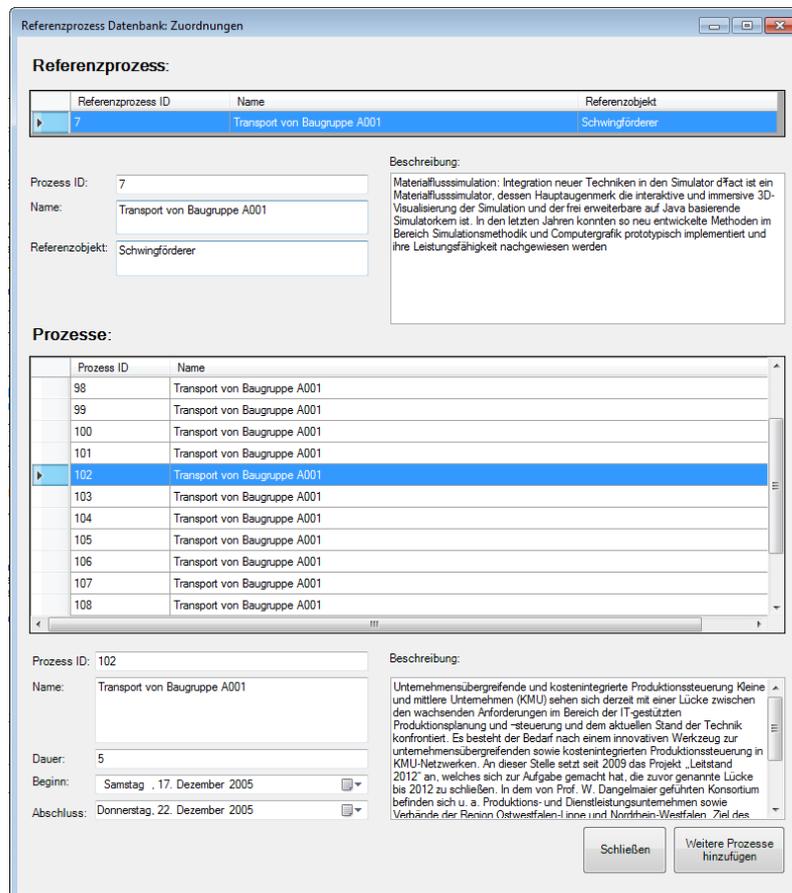


Abbildung 26: Bearbeitung eines Referenzprozesses

Dieser neu erstellte Referenzprozess kann bei der Erstellung eines neuen Projektplans verwendet werden. Abbildung 27 zeigt die Bedienoberfläche der Referenzprozessverwaltung, die u.a. die Möglichkeit bietet, über den Namen in der Referenzdatenbank nach Referenzprozessen zu suchen, sich eine Beschreibung des aktuellen Referenzprozesses anzeigen zu lassen und einen bestehenden Referenzprozess zu bearbeiten, d. h. einem Referenzprozess weitere Prozesse aus der Datenbank zuzuordnen oder einzelne Prozesse zu löschen. Ist ein geeigneter Referenzprozess in der Datenbank gefunden, kann dieser in den aktiven Projektplan übernommen werden.

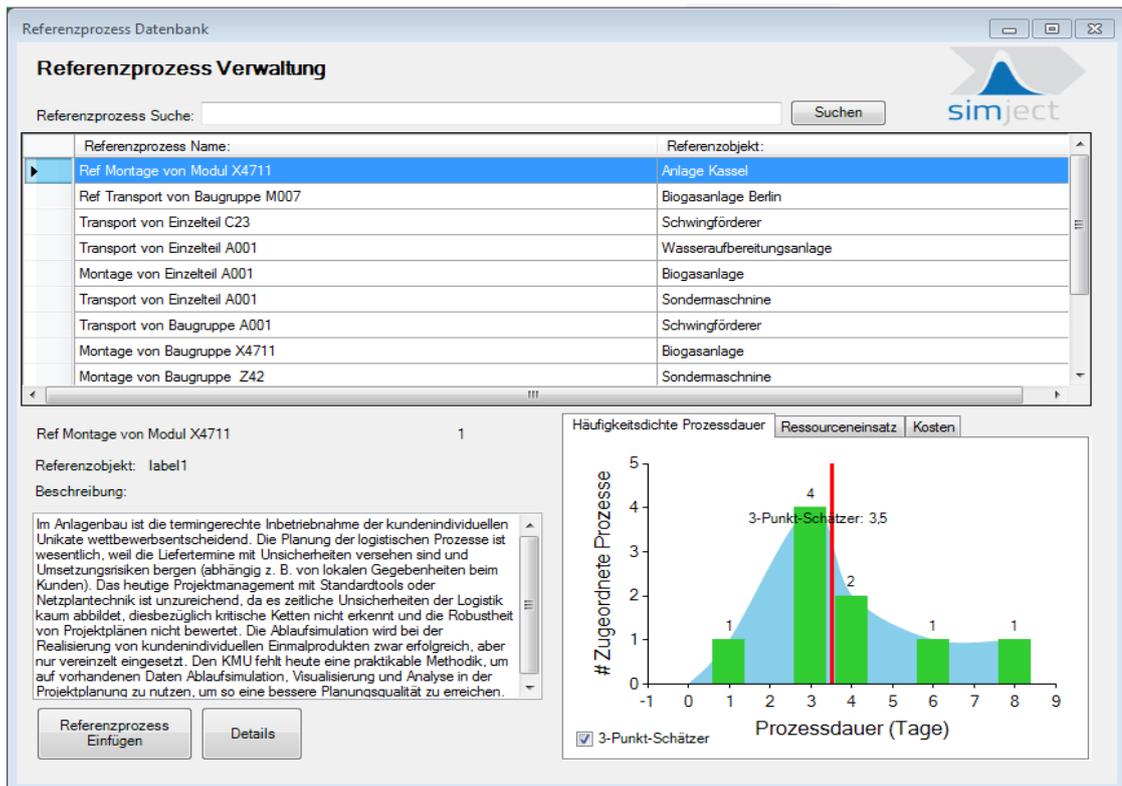


Abbildung 27: Referenzprozessverwaltung

4.2.6 Evaluation der Methodik

Zur Evaluation der Methodik wird für die Mitglieder im PA ein Fragebogen entwickelt, vorgestellt und diskutiert und anschließend den beteiligten Firmen zur Beantwortung übergeben. Die Befragten sind in leitenden Positionen in den beteiligten KMU tätig, mit dem Projektverlauf und den -ergebnissen vertraut und beantworten die Fragen aus ihrer praxisbezogenen Sichtweise.

Die Fragen 1-10 können auf einer kontinuierlichen Skala von 0 bis 10 beantwortet werden und bieten zusätzlich die Möglichkeit für eine kurze Begründung der Entscheidung. In den Fragen 3-7 wird zusätzlich die Unterscheidung in a) sinnvoll und b) praktikabel vorgenommen. Die Fragen 11 und 12 werden ausschließlich als offene Fragen gestellt und zielen auf Projektverlauf und weitere Hinweise für die Forschung ab.

Folgende Fragen werden im Rahmen der Evaluation gestellt:

1. Für wie sinnvoll halten Sie es, wenn die Projektplanung über eine Simulation von Störungen abgesichert wird?

2. Für wie sinnvoll halten Sie den vorgestellten „Simject-Workflow“?
3. Wie sinnvoll/praktikabel schätzen Sie Projektsimulation und Visualisierung der Ergebnisse ein?
4. Wie sinnvoll/praktikabel schätzen Sie die Integration der Logistik ein?
5. Wie sinnvoll/praktikabel schätzen Sie Nutzung historischer Projektdaten ein?
6. Wie sinnvoll/praktikabel schätzen Sie die Einbeziehung von Wetterdaten ein?
7. Wie sinnvoll/praktikabel schätzen Sie die Einbeziehung von Verkehrsdaten ein?
8. Wie wahrscheinlich ist, dass Sie diese Vorgehensweise anwenden, wenn Ihnen eine entsprechende Anwendungssoftware zur Verfügung steht?
9. Wie hoch schätzen Sie den erwarteten Mehrwert für Ihr Unternehmen ein, wenn Sie Projekte mit zusätzlicher Projektplansimulation planen würden?
10. Wie gut war nach Ihrer Einschätzung der Projektverlauf insgesamt?
11. Was hat Ihnen am Projektverlauf besonders gut gefallen?
12. Welche Hinweise haben Sie aus Sicht eines PA-Mitglieds für zukünftige Forschungsprojekte?

Insgesamt können sechs, teilweise jedoch unvollständig ausgefüllte Fragebögen ausgewertet werden. Zur besseren Übersicht werden die quantitativen Ergebnisse aus der stetigen Erfassungsskala in vier gleichgroßen Gruppen zusammengefasst, die aufgrund der Fragestellung gemäß Tabelle 1 interpretiert werden können.

Tabelle 1: Gruppierung von Antwortwerten im Rahmen der Evaluation

Erfasste Werte	Interpretation
10,0 bis >7,5	sehr positiv
7,5 bis > 5,0	positiv
5,0 bis > 2,5	negativ
2,5 bis 0	sehr negativ

Die Fragen und eine grafische Darstellung der quantitativen Antworten werden in Anhang IV – Evaluationsergebnisse im Einzelnen aufgeführt. Abbildung 28 zeigt exemplarisch die Auswertung zu Frage 1 (Für wie sinnvoll halten Sie es, wenn die Projektplanung über eine Simulation von Störungen abgesichert wird?).

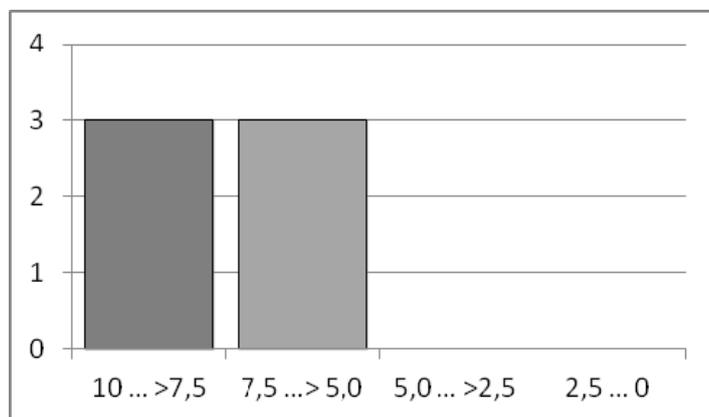


Abbildung 28: Beantwortung der Evaluationsfrage 1

Ergänzende qualitative Feedbacks werden zu den Fragen ebenfalls abgefragt. Auch hier folgt nachfolgend ein Beispiel für obengenannte Frage 1. Eine Übersicht über die weiteren Antworten findet sich in Anhang IV – Evaluationsergebnisse.

Frage 1

Für wie sinnvoll halten Sie es, wenn die Projektplanung über eine Simulation von Störungen abgesichert wird?

Allumfassende Störungseinflüsse werden nicht abgebildet.

ABER: Aufwand muss verhältnismäßig sein, daher mutmaßlich nur Teilaspekte / kritische Aspekte simulieren...

Die Evaluation ergibt, dass eine Unterstützung der Projektplanung mittels Simulation durch die Befragten sehr begrüßt und der vorgestellte Workflow als zielführend eingeschätzt wird. Befürchtungen bestehen vor allem hinsichtlich des erwarteten Aufwandes und der Allgemeingültigkeit und damit Übertragbarkeit auf andere Einzelprozesse. Die Visualisierung der Ergebnisse wird als sehr hilfreich eingeschätzt, deren Umsetzbarkeit unter aktuellen Randbedingungen jedoch noch als schwierig angesehen. Hinsichtlich der Integration der Logistik ergibt sich bei den Befragten ein gemischtes Bild, dass eine detailliertere Überprüfung der Aussage nötig erscheinen lässt. Historische Projektdaten werden in den Unternehmen projektindividuell bereits genutzt, als offene Fragestellung bleibt allerdings, wie die Pflege des Datenbestandes mit vertretbarem Aufwand verbessert werden kann. Zudem ist unklar, welche Erkenntnisse aus vergangenen Projekten in welchem Umfang tatsächlich übernommen werden können. Das Wetter kann den Projektablauf stark beeinflussen, die Einbeziehung von Wetterdaten erfolgt bereits in einem nach Meinung der Befragten ausreichendem Maße. Die zusätzliche Einbeziehung von detaillierten Verkehrsdaten wird überwiegend als nicht notwendig oder nicht relevant für die Projektplanung eingeschätzt, wenn die Logistikdienstleistung in zufriedenstellender Qualität eingekauft werden kann. Durch die Anwendung der vorgeschlagenen Vorgehensweise erwarten die befragten PA-Mitglieder einen Mehrwert für ihr Unternehmen, sofern der Aufwand vertretbar bleibt. Die Frage nach der wahrscheinlichen Anwendung wird deshalb auch positiv beantwortet.

Aus Sicht der Industriepartner im PA wird auch der Projektverlauf als sehr gut eingeschätzt. Die Industriepartner sehen zum Beispiel eine hohe Wertschätzung durch die Einbeziehung ihres Unternehmens und loben den hohen Nutzen aus den ausführlichen Informationen und Diskussionen bei relativ geringem Aufwand. Darüber hinaus wird empfohlen, das Thema durch weitere Veröffentlichungen allgemein noch bekannter zu machen.

Insgesamt verdeutlichen die Ergebnisse der Evaluation das Erreichen der Projektziele und das erfolgreiche Umsetzen des Forschungsvorhabens.

4.2.7 Dokumentation und Transfer

Neben einer umfassenden Dokumentation der in den Arbeitsschritten erzielten Ergebnissen werden die erreichten Ergebnisse im Rahmen von einschlägigen nationalen und in-

ternationalen wissenschaftlichen Konferenzen sowie auf industrienahen Veranstaltungen der Maschinenbau-Solutions-OWL, Bielefeld, diskutiert und präsentiert. Darüber hinaus werden Projektkurzbeschreibungen in verschiedenen Jahresberichten platziert. Aller Publikationen und Vorträge sind in Abschnitt 6.2 aufgelistet. Nach Projektende werden zudem ein Beitrag in der Zeitschrift Projektmanagement aktuell (2015) und ein Beitrag auf der WSC 2015 erfolgen. Des Weiteren ist ein gemeinsamer Beitrag für die Multikonferenz Wirtschaftsinformatik (MKWI) 2016 geplant. Die Einbeziehung des wissenschaftlichen Nachwuchses in die Forschungsarbeiten erfolgte über einschlägige Abschlussarbeiten an den beteiligten Universitäten. Frau Möller hat sich neben ihrer Masterarbeit zusätzlich an dem wissenschaftlichen Beitrag auf der WSC 2015 beteiligt; ihre Masterarbeit ist für den BVL Thesis Award nominiert.

Über die Universität Kassel ist die Projektwebseite www.simject.de auch nach Projektende abrufbar, um eine nachhaltige Nutzung sicherzustellen. Darüber hinaus wird dieser Abschlussbericht entsprechend im Internet publiziert.

Eine Auflistung aller durchgeführten Transfermaßnahmen sowie der nach Projektabschluss geplanten Maßnahmen sind in Kapitel 6 dargestellt.

4.3 Verwendung der zugewendeten Mittel

Zur Durchführung der Arbeiten hat Forschungsstelle 1 über die Projektlaufzeit insgesamt 23 Personenmonate wissenschaftlich-technisches Personal sowie eine studentische Hilfskraft anteilig in den einzelnen Arbeitsschritten eingesetzt. Geräte und Leistungen Dritter wurden weder beantragt noch eingesetzt. Forschungsstelle 2 hat zur Durchführung der Arbeiten über die Projektlaufzeit insgesamt ~ 18 Personenmonate wissenschaftlich-technisches Personal sowie eine studentische Hilfskraft anteilig in den einzelnen Arbeitsschritten eingesetzt. Geräte und Leistungen Dritter wurden weder beantragt noch eingesetzt.

5 Wissenschaftlich-technischer und wirtschaftlicher Nutzen der Forschungsergebnisse für KMU

Die Nutzung der Forschungsergebnisse wird hauptsächlich dem Wirtschaftszweig Maschinenbau zugeordnet. Eine Übertragung der Forschungsergebnisse auf andere Wirtschaftszweige erscheint prinzipiell möglich, ist jedoch im Einzelfall hinsichtlich der spezifischen Restriktionen zu prüfen. Eine Nebennutzung ergibt sich durch die mögliche Kommerzialisierung der entwickelten Plug-ins im Bereich der Informationstechnologie.

5.1 Nutzen der Forschungsergebnisse in KMU

Der unmittelbare Nutzen der entwickelten Methodik wird nachfolgend zunächst an zwei Beispielen von Unternehmen aus dem PA exemplarisch beschrieben. Beide Unternehmen waren intensiv in die Entwicklung der Methodik eingebunden und planen konkrete Maßnahmen, um das Management ihrer Kundenprojekte zukünftig unter Anwendung der Ideen von simject zu verbessern.

Die Firma Remmert ist Experte für Lager- und Logistikprozesse rund um Langgut und Blech. Gemeinsam mit ihren Kunden entwickeln die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter genau die produktionslogistische Lösung, die das Kundenunternehmen in seinen Märkten erfolgreich macht. Die heutige Planung der Anlagenprojekte erfolgt über ein Projektssystem, das sich an Verfahren des Lean Managements anlehnt. Die konkrete Planung erfolgt zumeist auf Basis von dynamischen Excel-Dateien, die aber verschiedene Planungsrestriktionen innerhalb des Projektes und den Einsatz verschiedener Experten über mehrere Projekte hinweg nicht technisch unterstützt. Auf Basis der Ergebnisse aus dem hier dokumentierten Projekt sind aktuell konkrete Maßnahmen in die Wege geleitet worden, um in einem ersten Schritt die verfügbaren Projektmanagementvorlagen von MS Excel nach MS Project zu übertragen. In einem zweiten Schritt sollen die Simulations- und Optimierungsmethoden sowie insbesondere auch die Ablage von Referenzdaten zu einzelnen Prozessfolgen über Remmert-spezifische Plug-ins realisiert werden. Die Ideen dieser Plug-ins basieren auf den in diesem Projekt erstellten Konzepten.

Die Firma KET Kirpal Energietechnik GmbH Anlagenbau & Co. KG ist Anlagenlieferant von Energie-Systemen in verschiedenen Branchen. Die Unterstützung der kundenindividuellen Planung beginnt für die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter von KET bereits mit einer kundenspezifischen Beratung und der Umsetzung effizienter Lösungen, welche sich fortsetzen lassen in einer detaillierten objektbezogenen 3D-CAD-Planung, einer wirtschaftlichen Vorfertigung von Anlagensystemen, Rohrkomponenten und komplexen Versorgungsmodulen. Auf Basis der Konzepte und Ideen von simject werden bei KET aktuell erste Maßnahmen realisiert, die eine noch bessere Koordination von 3D-CAD-Daten mit der eigentlichen Projektplanung erreichen sollen (Baufortschrittsvisualisierung). Insbesondere für die Integration der in Modulbauweise gefertigten Systeme an der Baustelle beim Kunden erhofft sich die Geschäftsführung von KET dadurch eine weitere Kundenorientierung und Abstimmung mit den anderen Gewerken.

Diese beiden Beispiele können exemplarisch für die möglichen Einsatzgebiete der im Rahmen des Forschungsvorhabens entwickelten Ideen und Konzepte gesehen werden. Insbesondere die prototypische Implementierung innerhalb des Projektes hilft in der Kommunikation mit den KMU, die Ideen zu konkretisieren und konkrete KMU-relevante Wettbewerbsvorteile im Bereich des Projektmanagements zu diskutieren und entsprechende Maßnahmen innerhalb des Unternehmens einzuleiten. Eine verallgemeinerte Ableitung möglicher Wettbewerbsvorteile durch die Ergebnisse aus simject wird im folgenden Abschnitt beschrieben.

5.2 Beitrag zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit von KMU

Mit dem Einsatz der in simject entwickelten Methodik werden eine abgesicherte Planung der logistischen Prozesse sowie eine stabilere Projektplanung gewährleistet. Durch die Verbesserung der konkreten Planungsleistung über eine genauere Abschätzung werden Projektdauer und –kosten durch das KMU besser abgeschätzt; und es erfolgt schon in der Angebotsphase eine verbesserte Planung. Durch die Reduzierung der einzuplanenden Puffer, die heute noch aus der Unsicherheit der Planung entstehen, kann das Angebot zu realistischen Kalkulationspreisen angeboten werden und eröffnet den KMU daher eine gute Ausgangsposition im Bieterwettbewerb im Rahmen der Ausschreibungen von Investitionsprojekten.

Ein wesentlicher Vorteil kommt aber nach der Auftragserteilung durch den Kunden beim KMU zu tragen. Die Verwendung der Methodik unterstützt eine robuste Steuerung des Projektes; projekthäufige Risiken können durch den verantwortlichen Projektmanager besser quantifiziert und qualifiziert werden. Hierdurch ist die punktgenaue Steuerung auf den mit dem Kunden vereinbarten Auslieferungstermin bzw. Inbetriebnahmetermin gewährleistet (Liefertermintreue), was im Anlagenbau gerade auch im Vergleich zu preisgünstigeren Anbietern aus Asien ein entscheidender Wettbewerbsvorteil des deutschen Maschinen- und Anlagenbaus ist.

Der konkrete Mehrwert bei Anwendung der Methodik lässt sich nur für einen konkreten Anwendungsfall bzw. ein konkretes KMU quantifizieren. Die Experten der Forschungsstellen schätzen, dass bis zu 30% der eingeplanten Projektlaufzeit, 15% der Änderungskosten und 10% der Investitionskosten reduziert werden können.

Zudem lassen sich über die Kenntnis der projekthäufigen Risiken und deren Auswirkungen im Eintrittsfall (ermittelbar über den Einsatz der Simulation) potenzielle Steuerungsfehler des Projektmanagers im Krisenmanagement in signifikanter Weise reduzieren. Über die Verwendung von historischen Referenzprozessen bzw. kompletten Referenzprojektplänen wird erwartet, dass mit der entwickelten Methodik die Aufwände für das Erstellen und Neuerstellen von Plänen und für nicht-wertschöpfende Arbeiten auf der Baustelle deutlich gesenkt werden.

Diese Nutzenpotenziale entstehen für die KMU im Wesentlichen durch die Tatsache, dass durch Vernetzung von Projektmanagement, simulationsgestützter Planbewertung und -optimierung sowie Visualisierung in einer praktikablen Methodik eine umfassende Entscheidungsunterstützung und damit eine permanente Entscheidungssicherheit gegeben wird.

Des Weiteren lässt die Methodik auch eine Multi-Projektplanung unter Berücksichtigung von logistischen Restriktionen zu; eine Planungsqualität, die heute von keinem der befragten KMU in zufriedenstellender Weise risikoarm gelöst wird.

Abgesehen von der Tatsache, dass ein verlässlicher Projektplan Sicherheit für die eigene Planung aber auch die der zuliefernden Prozesse bietet, stellt die termingerechte Aufnahme des Anlagenbetriebs den entscheidenden Wettbewerbsvorteil für den Anlagenbetreiber dar. Daher sind Termineinhaltung und abgesicherte Pläne Voraussetzung für die am Anlagenbauprozess beteiligten KMU sowie die mittelständischen Anlagenbauer; kürzere und abgesicherte Projektlaufzeiten sichern Marktfähigkeit und Arbeitsplätze.

5.3 Aussagen zur voraussichtlichen industriellen Umsetzung der FuE-Ergebnisse nach Projektende

Zum Abschluss dieses Projektes liegt mit der Methodik ein leistungsfähiger Ansatz zur Planung und Steuerung logistischer Prozesse für die Realisierung und termingerechte Inbetriebnahme kundenindividueller Anlagen vor. Gesamtarchitektur und Nutzungskonzept sind in allgemeiner Form beschrieben und veröffentlicht und ermöglichen die individuelle Bewertung hinsichtlich einer Anwendung für interessierte KMU. Beide Forschungsstellen haben hohes Interesse, die in dem Projekt gewonnenen Erkenntnisse auch in nachfolgenden Transferprojekten zu konkreten Lösungen für einzelne Unternehmen zu entwickeln. Der implementierte Demonstrator bildet hierzu eine gute Diskussionsbasis. Wie in Abschnitt 5.1 schon beschrieben, gibt es hier aus dem Kreis der Unternehmen des PA bereits erste Interessenten.

Als Werkzeuge für konkrete unternehmensindividuelle Lösungen bieten sich die verwendeten Standardwerkzeuge an, die zum Teil auch innerhalb des Projektes Anwendung gefunden haben. So kann zum Beispiel für das Projektmanagement die Software MS Project und für die Logistiksimulation Plant Simulation der Firma Siemens Tecnomatix eingesetzt werden. Die als Demonstrator in der IT-Plattform SimAssist entwickelten Plug-ins lassen sich, wenn auch mit einem erheblichen Mehraufwand, zu kommerziellen Bausteinen der Plattform weiterentwickeln. Erste Gespräche zu einer möglichen Entwicklungs- und Vermarktungspartnerschaft zwischen den Forschungsstellen und der SimPlan AG haben direkt nach Projektabschluss begonnen. Der Zeitrahmen für die konkrete Umsetzung der Konzepte in vermarktungsfähigen Plug-ins hängt von den Ressourcen der Forschungsstellen und der Entwicklungspartner ab; erfahrungsgemäß sind hier aber mindestens zwei Jahre einzuplanen.

Aufgrund des heterogenen Aufbaus des PA lassen sich die wirtschaftlichen und technischen Erfolgsaussichten nach Projektende für die unterschiedlichen beteiligten Branchen als positiv bewerten. Heute finden sich in diesem Themengebiet am Markt keine derartig qualifizierten Leistungsangebote für Projektdurchführungen im Anlagenbau, die auch die dynamischen Veränderungen im Projektmanagement, in der Logistik und im Baufortschritt einbeziehen.

6 Transfermaßnahmen

6.1 Ergebnistransfer in die Wirtschaft

6.1.1 Ergebnistransfer in die Wirtschaft während der Projektlaufzeit

In der nachfolgenden Aufstellung sind die Transfermaßnahmen aufgeführt, die im Verlauf des Projektes durchgeführt wurden.

Tabelle 2: Durchgeführte Transfermaßnahmen

Durchgeführte Maßnahme	Ziele	Rahmen	Datum / Zeitraum
Maßnahme A: Information an den PA	Regelmäßige Diskussion der Ergebnisse	1. PA-Meeting 2. PA-Meeting 3. PA-Meeting 4. PA-Meeting 5. PA-Meeting 6. PA-Meeting	05.06.2013 27.11.2013 13.03.2014 Ausfall; ersetzt durch individuelle Telefongespräche 05.11.2014 25.02.2015
Maßnahme B: Gezielte Ansprache potenziell interessierter Unternehmen auch außerhalb des PA	Erweitertes Feedback zu den Ergebnissen sowie industrielle Anwendung	B1a: Vortragsblock während der Tagung der Maschinenbau-Solutions OWL, Bielefeld (16.10.2013) B1b: Beteiligung am „2. Forum Produktion im Maschinenbau“ (17.06.2014)	nach Veranstaltungsplan
Maßnahme C: Projekt-Homepage	Übergreifende Bekanntmachung des Projektes und seiner Ergebnisse	C1a: Aufsetzen einer Homepage C1b: Umstellung des Servers C2: Regelmäßige Aktualisierung	Im 1. Projektquartal durchgeführt 2014 fortlaufend
Maßnahme E: Transfer der Ergebnisse in Industrie durch den Verband	Ergebnistransfer in die Wirtschaft	E1: Zusammenfassende Darstellung im Forschungsreport und Verbreitung durch den Verband in die Industrie	BVL-Newsletter, November 2013
Maßnahme F: Gremienarbeit; Einbeziehung von Multiplikatoren	Bekanntmachung des Vorhabens und seiner Ergebnisse in Gremien, Arbeitskreisen, Fachverbänden und in Netzwerken: Die Mitarbeiter beider Forschungsstellen sind aktive Mitglieder in zahlreichen Gremien und Netzwerken.	F3: MoWiN.net e.V. F4: ASIM-Fachgruppensitzungen F5: IHK OWL- Kreis der Produktions- und Entwicklungsleiter F6: OWL MB F7: SIMoFit e.V. F8: Zukunftsallianz Maschinenbau	Jahresbericht 2014 Beteiligung durch Beitrag auf Tagung 2013 Beteiligung durch B1a und B1b Beteiligung durch B1a und B1b Implizite Zusammenarbeit durch die Teilnahme von Herrn Steinhauer im PA Vortrag auf dem 5. PA-Meeting durch Herrn Pörschmann
Maßnahme G: Nutzung von Multiplikatoren der Hochschulen	Bekanntmachung des Vorhabens im wirtschaftlichen und wissenschaftlichen Umfeld;	G1a: Pressemitteilungen der Universitäten Kassel und Paderborn	Veröffentlichung des Projektstarts und Aufruf an interessierte Unternehmen Maga-

	Erhöhung des Bekanntheitsgrades sowie industrielle Anwendung	G1b: Transfermagazin der Uni Kassel G3: HNI-Jahresbericht 2014 G4: HNI-Nachrichten	zin wurde eingestellt 15.01.2015 Veröffentlichung Januar 2014 des Projektstarts und Aufruf an Interessierte Unternehmen
Maßnahme H: Veröffentlichungen	Ergebnistransfer in Wirtschaft und Wissenschaft	H1: Initiierung von Abschlussarbeiten und Dissertationen H2: Beiträge in Fachzeitschriften (z. B. Industrie Management, ZWF)	Diverse Bachelor-/Masterarbeiten, Belegarbeiten und Studentenprojekte Beitrag in der Zeitschrift „Industrie Management“
Maßnahme I: Publikation auf wissenschaftlichen Tagungen	Bekanntmachung im wissenschaftlichen Umfeld	I1: ASIM 2013 I2: Tagung der HAB e.V. I3: Winter Simulation Conference (WSC)	Oktober 2013 November 2013 Dezember 2014

6.1.2 Geplante Transfermaßnahmen nach Ende des Vorhabens

Die nachfolgende Übersicht benennt bereits konkret geplante Maßnahmen zum Ergebnistransfer nach Projektende.

Tabelle 3: Geplante Transfermaßnahmen

Geplante Maßnahme	Ziele	Rahmen	Datum / Zeitraum
Maßnahme F: Gremienarbeit, Einbeziehung von Multiplikatoren	Bekanntmachung des Vorhabens in Gremien, Arbeitskreisen, Fachverbänden und in Netzwerken	F1: Fachausschuss FA 204 „Modellierung und Simulation“ in der VDI-GPL F2: Fachausschuss FA 205 „Digitale Fabrik“ in der VDI-GPL F3: MoWiN.net e.V. F4: ASIM F5: IHK OWL- Kreis der Produktions- und Entwicklungsleiter F6: OWL MB F7: SIMoFit e.V. F8: Zukunftsallianz Maschinenbau	Frühjahrs- oder Herbstsitzung Frühjahrs- oder Herbstsitzung Fortführung Fortführung Fortführung Fortführung Fortführung Fortführung
Maßnahme H: Veröffentlichungen	Ergebnistransfer in Wirtschaft und Wissenschaft	H2: Beiträge in Fachzeitschriften	Projektmanagement aktuell 2015; Zusage zur Beitragsannahme liegt vor.
Maßnahme I: Publikation auf wissenschaftlichen Tagungen	Bekanntmachung im wissenschaftlichen Umfeld	I1: Winter Simulation Conference (WSC) I2: MKWI Multi-Konferenz Wirtschaftsinformatik 2016	Dezember 2015; Beitrag ist angenommen und überarbeitet. März 2016
Maßnahme K: Akademische Lehre und berufliche Weiterbildung	Vermittlung der Ergebnisse an die Studierenden	K1: konsekutiver Studiengang, Paderborn K2: konsekutiver Studiengang, Kassel K3: Weiterbildungsmaster IPM, Kassel K4: Master-Studiengang Management, Hochschule Zwickau	fortlaufend fortlaufend fortlaufend fortlaufend

Maßnahme L: Weiterbildung/Transfer in die Industrie (über regionale IHK)	Weiterbildung von Mitarbeitern aus KMU ohne eigene Forschungskapazität	L2: VWA Kassel, Instrumente und Systeme des Projektmanagements L3: Hessische BA, Instrumente und Systeme des Projektmanagements	fortlaufend fortlaufend
Maßnahme M: Veröffentlichungen nach Projektende	Ergebnistransfer in Wirtschaft und Wissenschaft	M2: Bericht auf der Website der BVL M3: Bericht im Online-Forschungsportal der Universitäten Kassel M5: Veröffentlichung des Abschlussberichtes M6: Veröffentlichung von (Teil-) Ergebnissen der Projektarbeit auf der Simject-WebSite	drittes Quartal 2015 drittes Quartal 2015 drittes Quartal 2015 über die Website der BVL fortlaufend
Maßnahme N: Transfer in die Industrie durch Verband nach Projektende	Ergebnistransfer in Wirtschaft und Wissenschaft	N1: Darstellung im Forschungsreport und Verbreitung durch die BVL in Industrie	Drittes Quartal 2015
Maßnahme O: FV-News (elektronischer Newsletter) nach Projektende	Ergebnistransfer in Wirtschaft und Wissenschaft	O1: Ausgewählte Ergebnisse in den FV-News	November 2015
Maßnahme Q: Initiierung einer Entwicklungspartnerschaft nach Projektende	Prüfung der langfristigen Zusammenarbeit mit Kooperationsverbänden und einzelnen KMU	Q1: Unternehmensindividuelle Nutzungskonzepte Q1: Kooperationsverbund SIMoFIT e.V. Q2: Vorstellung der Methodik bei Softwareanbietern Q3: Zusammenarbeit mit der Bauinformatik, Ruhr-Universität Bochum	Gespräche mit den Firmen Remmert und KET Gespräch geplant mit der SimPlan AG am 13. Juli 2015 Start ab 2015: Vortrag auf dem 6. PA-Meeting bereits erfolgt

6.1.3 Einschätzung zur Realisierbarkeit des Transferkonzeptes

Die geplanten Transfermaßnahmen sind nach jetziger Einschätzung umfassend realisierbar. Die Bekanntmachung der Arbeiten in Fachverbänden und in Netzwerken (vgl. Maßnahme F3-F8) ist erfolgt und wird auch nach Projektende fortgeführt; die Forschungsstellen sind inzwischen aktive Mitglieder im OWL MB und in der Zukunftsallianz Maschinenbau. Die Kommunikation der Ergebnisse in die Fachausschüsse im VDI steht noch aus. Hierfür stehen die im Jahr stattfindenden Frühjahrs- und Herbstsitzungen grundsätzlich offen (Maßnahme F). Die geplante und bestätigte Publikation (Maßnahme H) zur Darstellung der Ergebnisse im Bereich Projektmanagement eröffnet ein über die bisherigen Publikationen und Vorträge hinausgehende Leserschaft. Die Veröffentlichung auf der WSC 2015 (Maßnahme I1) ist ebenfalls bestätigt; der geplante Beitrag auf der MKWI 2016 ist in Vorbereitung.

Der Transfer in die universitäre Lehre (Maßnahme K) ist mit Abschluss des Projektes vorbereitet und wird entsprechend dem Lehrveranstaltungsplan umgesetzt. Die Maßnahmen zum Transfer der Ergebnisse auf den Forschungsportalen der Universitäten, über die Fördervereinigung sowie über die eigene Homepage sind nach Vorlage dieses Schlussberichtes gegeben.

Die Kooperation mit potenziellen Entwicklungspartnern sowie universitären Partnern zur weiterführenden Forschung sind eingeleitet. Aus der Zusammenarbeit mit den Vertretern im PA haben sich individuelle Ergebnistransfermaßnahmen ergeben, um einzelne Methoden auch nach Projektende der individuellen industriellen Nutzung zuzuführen. Hierzu sind bzw. werden u. a. Ergebnisse mit den Firmen Remmert und KET geführt. Aufgrund erzielter Projekterkenntnisse bezüglich fehlender Erfahrungswerte zur Ermittlung von Prozessdauern ist in diesem Zusammenhang ebenfalls ein nachfolgender AiF-Antrag eingereicht worden.

Des Weiteren haben erste Gespräche mit der Bauinformatik an der Ruhr-Universität Bochum gezeigt, dass umfangreicher Forschungsbedarf in Bezug auf eine automatische Generierung von Bauanleitungen besteht; hierzu ist bereits ein weiterer AiF-Antrag gestellt worden. Ergänzend ist die Zusammenarbeit mit möglichen Entwicklungspartnern vorbereitet; erste Gespräche sind geführt bzw. werden in Kürze stattfinden.

6.2 Veröffentlichungen und universitäre Abschlussarbeiten

Untenstehend sind die Arbeiten, die im Zusammenhang mit dem Vorhaben veröffentlicht wurden oder in Kürze veröffentlicht werden, aufgeführt.

Vorträge

Jessen, U.: A technical concept for plant engineering by simulation-based and logistic-integrated project management. Winter Simulation Conference 2014, Savannah, December 7-10, 2014.

Jessen, U.; Steinhauer, D.: Mit Sicherheit günstiger planen – Simulationsgestütztes Projektmanagement im Anlagenbau. Zweigeteilter Vortragsblock während der Tagung der Maschinenbau-Solutions OWL, Bielefeld, 16.10.2013.

Laroque, C.: Potentialfelder im Projektmanagement und in der Produktionslogistik. 2. Forum Produktion im Maschinenbau: Produktionsprozess im Wandel – Neue Chancen durch Industrie 4.0. Gütersloh, 17.06.2014.

Steinhauer, D.: Hocheffizienter Prototypen- und Anlagenbau (Praxisbericht eines Unternehmens). 2. Forum Produktion im Maschinenbau: Produktionsprozess im Wandel – Neue Chancen durch Industrie 4.0. Gütersloh, 17.06.2014.

Wenzel, S.: Methodik für ein simulationsgestütztes logistikintegriertes Projektmanagement im Anlagenbau. Vortrag während der ASIM-Fachtagung „Simulation in Produktion und Logistik“. Paderborn, 9.-11.10.2013.

Wenzel, S.: Ansätze zur methodischen Unterstützung kollektiver Intelligenz bei der Abwicklung von Planungsprojekten in Produktion und Logistik. Vortrag während der Tagung der Hochschulgruppe für Arbeits- und Betriebsorganisation e.V. (HAB). Leoben, Österreich, 29.-30.11.2013.

Publikationen

Akbulut, A.; Jessen, U.; Laroque, C.; Möller, L.; Wenzel, S.: A Comparison of the Usage of Different Approaches for the Management of Plant Engineering Projects. Appears in: Proceedings of the 2015 Winter Simulation Conference, Omnipress Savannah, 2015.

- Akbulut, A.: Projektmanagement verbessern - simject – Simulationsgestütztes logistikintegriertes Projektmanagement im Anlagenbau. In: HNI-Jahresbericht 2014.
- Gutfeld, T.; Jessen, U.; Wenzel, S.; Laroque, C. & Weber, J.: A Technical Concept for Plant Engineering by Simulation-Based and Logistics-Integrated Project Management. In: Tolk, Diallo et al. (eds.): Proceedings of the 2014 Winter Simulation Conference, Omnipress Savannah, 2014, S. 3423–3434.
- Gutfeld, T.; Laroque, C.; Wenzel, S.: simject – ein Ansatz für simulationsgestütztes logistikintegriertes Projektmanagement im Anlagenbau, Geplant in: PM Aktuell.
- Weber, J.: Neues Verbundprojekt für ein besseres Projektmanagement im Anlagenbau gestartet. In: HNI Nachrichten 1/2014, S. 13.
- Wenzel, S.: Simulationsgestütztes logistikintegriertes Projektmanagement im Anlagenbau. In: Regionalmanagement Nordhessen GmbH (Hrsg.): MoWiN.net - Jahresrückblick 2014, S. 32.
- Wenzel, S.; Abel, D.; Gutfeld, T.; Schmitz, M.: Ansätze zur methodischen Unterstützung kollektiver Intelligenz bei der Abwicklung von Planungsprojekten in Produktion und Logistik. In: Biedermann, Hubert (Hrsg.): Corporate Capability Management – Wie wird kollektive Intelligenz im Unternehmen genutzt? Schriftenreihe der Hochschulgruppe für Arbeits- und Betriebsorganisation e.V. (HAB), Berlin: GITO mbH Verlag, 2013, S. 407-430.
- Wenzel, S.; Gutfeld, T.; Abel, D.; Dölle, M.: Corporate Capability Management für den Mittelstand? - Potentiale und Herausforderungen von CCM (nicht nur) für den Mittelstand. In: Industrie Management 3/2014, S. 7-10.
- Wenzel, S.; Laroque, C.: Methodik für ein simulationsgestütztes logistikintegriertes Projektmanagement im Anlagenbau. In: Dangelmaier, W.; Laroque, C.; Klaas, A. (Hrsg.): Simulation in Produktion und Logistik 2013, Paderborn: W.V. Westfalia Druck GmbH, 2013, S. 537-547.

Bachelor-/Masterarbeiten / Belegarbeiten und Studienprojekte

- Hein, Christian: Geographische Informationssysteme in der Projektsimulation: Evaluation von Einsatzmöglichkeiten. Studiengang Wirtschaftsingenieurwesen an der TU Dresden, Belegarbeit am Lehrstuhl für Betriebswirtschaftslehre, insb. Industrielles Management, 08/2014.
- Kem, Natalia: Analyse von Unsicherheiten in Projekten des Anlagenbaus - von der Anlagenplanung bis zur Inbetriebnahme. Studiengang Wirtschaftsingenieurwesen/Maschinenbau an der Universität Kassel, Masterarbeit am Fachgebiet Produktionsorganisation und Fabrikplanung, 02/2014.
- Martin, Benjamin: Konzeption und Entwicklung von Plug-ins für die Visualisierung unscharfer Prozesse zur Projektsimulation und Optimierung. Studiengang Wirtschaftsinformatik an der Universität Paderborn, Masterarbeit am Heinz Nixdorf Institut, Wirtschaftsinformatik, insb. CIM, 10/2014.
- Möller, Lisa: Nutzung der Logistiksimulation zur Aktualisierung von Projektplänen im Rahmen des Anlagenbaus. Studiengang Wirtschaftsingenieurwesen/Maschinenbau an

der Universität Kassel, Masterarbeit am Fachgebiet Produktionsorganisation und Fabrikplanung, 03/2015.

Mueß, André: Konzeption und Entwicklung von Plug-ins für eine Plattform zur Projektsimulation und Optimierung. Studiengang Informatik an der Universität Paderborn, Bachelorarbeit am Heinz Nixdorf Institut, Wirtschaftsinformatik, insb. CIM, 01/2015.

Sahrhage, Philipp: Untersuchung der Wechselwirkungen zwischen Projektplänen und Logistiksimulation anhand einfacher Anwendungsbeispiele des Anlagenbaus. Studiengang Wirtschaftsinformatik an der Universität Paderborn, Bachelorarbeit am Heinz Nixdorf Institut, Wirtschaftsinformatik, insb. CIM, 11/2014.

Schmiede, Marcus: Token basierte Integration von Projekt- & Logistiksimulation in einem DES-System, Studiengang Wirtschaftsingenieurwesen an der TU Dresden, Belegarbeit am Lehrstuhl für Betriebswirtschaftslehre, insb. Industrielles Management, 09/2014.

Schülke, Pia: Optimierung der Planung und Steuerung logistischer Prozesse mit Hilfe eines Multiprojektplans im Forschungsprojekt Simject. Studiengang Wirtschaftsingenieurwesen an der Universität Paderborn, Projektarbeit am Heinz Nixdorf Institut, Wirtschaftsinformatik, insb. CIM, 04/2015.

Die Masterarbeit von Frau Lisa Möller ist zudem für den BVL Thesis Award 2015 nominiert.

7 Fazit und Ausblick

Die durchgängige IT-Unterstützung des Projektmanagements und die Erweiterung der heutigen Projektmanagementmethoden für KMU im Anlagenbau sind unverzichtbar für eine effiziente Projektabwicklung und eine wettbewerbsorientierte Positionierung der Unternehmen am Markt. Forschungen und Entwicklungen im Bauwesen und Schiffbau bieten umfassende Anregungen zur Umsetzung, lassen sich aufgrund der Individualität der Projekte allerdings nicht direkt übertragen. Vor allem die KMU im Anlagenbau benötigen spezifische IT-Werkzeuge und Vorgehensmodelle mit einfachen Lösungsoptionen bei gleichzeitig fundiertem Methodeneinsatz.

Mit dem vorliegenden Forschungsvorhaben ist es erstmals gelungen, Methoden der Optimierung, Simulation und Visualisierung KMU-konform zu verknüpfen und am Beispiel der logistischen Prozesse aufzuzeigen, dass eine Risikobewertung der Projektabläufe durch Absicherung der Prozessdauern mittels Simulation und Optimierung möglich wird und hierdurch ein Mehrwert für die Projektplanung entsteht. Auch die Nutzung von Wissen aus vorangegangenen Projekten in Form von Referenzprojektplänen und -prozessen schafft eine effizientere Projektplanung. Die im PA beteiligten Unternehmen bestätigen die Zweckmäßigkeit der Vorgehensweisen, die Notwendigkeit der Methoden und die grundsätzliche Einsetzbarkeit der Lösungen, die anhand eines Demonstrators unter Nutzung der IT-Plattform SimAssist umgesetzt sind.

Nach Projektende wird basierend auf den Ergebnissen eine Kooperation mit potenziellen Entwicklungspartnern diskutiert; zudem werden methodische Ergebnisse für eine individuelle industrielle Nutzung bei KMU im PA adaptiert. Die enge Kooperation mit Vertretern aus den Branchen Schiffbau und Bauwesen erlaubt einen wechselseitigen Wissenstransfer über ergänzende Forschungsvorhaben, die im Anschluss eingeleitet werden sollen. Wichtige offene Forschungsfragen beziehen sich z. B. auf die Nutzung kollektiver Intelligenz im Multi-Projektmanagement und daraus resultierend auf die Absicherung von Erfahrungswerten als Basis für eine Ermittlung valider Prozessdauern für Referenzprozesse aus abgeschlossenen Projekten, um diese in den jeweils nachfolgenden Projekten wiederzuverwenden. Umfangreicher Forschungsbedarf besteht ebenfalls in einer stärker automatisierten Unterstützung der Bauabwicklung vor Ort, beispielsweise durch eine automatische Generierung von Bauanleitungen.

Literatur- und Quellenverzeichnis

- Aaker, D. A.; Tyebjee, T. T. (1978): A Model for the Selection of Interdependent R&D Projects. In: IEEE TRANSACTIONS ON ENGINEERING MANAGEMENT, VOL. EM-25, NO.2 (1978) 05.
- Afinion (2015): Afinion Project-Simulator: <http://www.afinion.ch/afinion-de/Software/Project-Simulator>; zuletzt zugegriffen am 13.07.2015.
- Ahlborn, J. (2003): Wann lohnt sich der Einsatz von Projektmanagement-Software? In Projekt Magazin 03 (2003).
- Ahuja, R.K.; Magnanti, T.L.; Orlin, J.B.; Reddy, M.R. (1995): Applications of Network Optimization. In: Ball, M.O. et al. (eds.): Network Models. Handbooks in Operations Research and Management Science. Volume 7. Elsevier (1995).
- Bayer, J.; Collisi, T.; Wenzel, S. (Hrsg.) (2003): Simulation in der Automobilproduktion. VDI Springer: Berlin, Heidelberg.
- Bea, F. X.; Scheurer, S.; Hesselmann, S. (2011): Projektmanagement. 2. Auflage. Konstanz: UVK.
- Beißert, U. (2011): Constraint-basierte Simulation zur Terminplanung von Ausführungsprozessen - Repräsentation baubetrieblichen Wissens mittels Soft Constraints. Dissertation, Bauingenieurswesen, Bauhaus-Universität Weimar.
- Beißert, U.; König, M.; Bargstädt, H.-J. (2010): Soft Constraint-based simulation of execution strategies in building engineering. In: Journal of Simulation 4 (2010), S. 222-231 (doi:10.1057/jos.2010.8).
- Bill, R. (2010). Grundlagen der Geo-Informationssysteme. 5. Auflage. Berlin: Wichmann.
- BIM360 (2015): BIM 360 - Collaborative construction management software: <http://www.autodesk.com/products/bim-360/overview>: zuletzt zugegriffen am 13.07.2015.
- Bracht, U.; Geckler, D.; Wenzel, S. (2011): Digitale Fabrik – Methoden und Praxisbeispiele. Springer: Berlin.
- Burghardt, M. (2002): Projektmanagement: Leitfaden für die Planung, Überwachung und Steuerung von Entwicklungsprojekten. 6. Auflage. PCB: Erlangen.
- Chahrour, R. (2007): Integration von CAD und Simulation auf Basis von Produktmodellen im Erdbau. Dissertation, Bauingenieurswesen, Universität Kassel.
- Demeulemeester, E.L.; Herroelen, W. S. (2002): Project Scheduling – A Research Handbook. Kluwer: Boston.
- DIN 69900 (2009): Projektmanagement – Netzplantechnik; Beschreibungen und Begriffe. Beuth: Berlin.
- DIN 69901 (2009): Projektmanagement – Projektmanagementsysteme (Teil 1-5). Beuth: Berlin.
- Egger, M.; Hausknecht, K.; Liebich, T.; Przybylo, J. (2013): BIM-Leitfaden für Deutschland, Endbericht ZukunftBAU. Forschungsprogramm des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), AZ 10.08.17.7–12.08: <http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/FP/ZB/Auftragsforschung/3Rahmenbedingungen>

- /2013/BIMLeitfaden/01_start.html?nn=436654¬First=true&docId=702606,, zuletzt zugegriffen am 13.07.2015.
- Ehlers, M.; Schiewe, J. (2012). Geoinformatik. WBG: Darmstadt.
- Engelmann, J. (2006): Wettbewerbsvorteile im Anlagenbau der Zukunft: Chemieanlagenbau Chemnitz GmbH. In: Fraunhofer (Hrsg.): Tagung Anlagenbau der Zukunft, S. 41-44
- FIR (2015): <http://www.fir.rwth-aachen.de/forschung/forschungsprojekte/dib-290074102>, zuletzt zugegriffen am 09.07.2015.
- Fischer, J.-H.; Delius, R.; Horstkemper, D.; Laroque, C. (2012): Comparing a hybrid simulation & optimization approach with a purely stochastic optimization to increase the robustness of production plans. In: APMOD 2012, International Conference on Applied Mathematical Optimization and Modelling.
- Fraunhofer (2015): Produkte des Fraunhofer-Institutes für Materialfluss und Logistik. http://www.iml.fraunhofer.de/de/themengebiete/supply_chain_engineering/produkte/. zuletzt zugegriffen am 11.07.2015.
- Fricke, S.E.; Shenhar, A.J. (2000): Managing Multiple Engineering Projects in a Manufacturing Support Environment. In: IEEE TRANSACTIONS ON ENGINEERING MANAGEMENT, VOL. 47, NO.2 (2000), 05.
- Goncalves, J.F., Mendes, J.J.M., Resende, M.G.C. (2004). A genetic algorithm for the resource constrained multi-project scheduling problem. AT&T Labs Technical Report TD-668LM4, Portugal.
- Grefrath, U.; Frombach, R.; Schmidt-Bleker, H. (2011): DIB – Dienstleistungen im industriellen Bauprozess. Mit „Augmented Reality“ in die Zukunft. In: UDZ – Unternehmen der Zukunft. FIR – Zeitschrift für Betriebsorganisation und Unternehmensentwicklung. 12 (2011) 3, S. 33-35.
- Günther, H.-O.; Tempelmeier, H. (2005): Produktion und Logistik. Springer: Berlin, Heidelberg; 6. verb. Auflage.
- Günthner, W. A.; Bormann, A. (Hrsg.) (2011): Digitale Baustelle – innovativer Planen, effizienter Ausführen: Werkzeuge und Methoden für das Bauen im 21. Jahrhundert, Springer: Berlin, Heidelberg.
- Günthner, W. A.; Kraul, R. (2008): 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.
- Heinrich, F. (1997): Vertragsmanagement in Stadtwerken. In: VDI-Gesellschaft Energietechnik (Hrsg.): Vertragsmanagement für energietechnische Anlagen: Planung bis Betrieb. VDI Verlag: Düsseldorf.
- Hennermann, K. (2006). Kartographie und GIS: Eine Einführung. Darmstadt: WBG.
- Hofstadler, C. (2007): Bauablaufplanung und Logistik im Baubetrieb. Springer: Berlin, Heidelberg.
- Jankulik, E.; Piff, R. (2009): Praxisbuch Prozessoptimierung. Publicis: Erlangen.

- Jozefowska, J.; Weglarz, J. (2006): Perspectives in Modern Project Scheduling. Kluwer: Boston.
- Jung, B.; Schweißer, S.; Wappis, J. (2011): 8D und 7STEP – Systematisch Probleme lösen. Carl Hanser: München.
- Kemna, A. (1993): Marktorientierte Unternehmensführung im Maschinen- und Anlagenbau - Marketing ist mehr als geschicktes Verkaufen. In: Droege, W.; Backhaus, K.; Weiber, R. (Hrsg.): Strategien für Investitionsgütermärkte. Moderne Industrie: Landsberg.
- Kohnke, O. (2015): Anwenderakzeptanz unternehmensweiter Standardsoftware – Theorie, Einflussfaktoren und Handlungsempfehlungen, Springer, Wiesbaden.
- Kolisch, R. (2008) Library for project scheduling problems. <http://129.187.106.231/psplib/> accessed January 15, 2008.
- König, M.; Beißert, U. (2008): Constraint-basierte Simulation von Bauprozessen. In: Bargstädt, H.-J. (Hrsg.): Tag des Baubetriebs 2008, Schriften der Professur Baubetrieb und Bauverfahren, Nr. 17 (2008), Bauhaus-Universität Weimar, S. 17-36.
- König, M.; Beißert, U.; Steinhauer, D.; Bargstädt, H.-J. (2007): Constraint-based simulation of outfitting processes in shipbuilding and civil engineering. In: Proceedings of 6th EUROSIM Congress on Modelling and Simulation, Ljubljana, Slovenia, CD-ROM Veröffentlichung.
- Konradin ERP-Studie (2011): Einsatz von ERP-Lösungen in der Industrie. März 2011.
- Korduan, P.; Zehner, M. L. (2008): Geoinformationen im Internet: Technologien zur Nutzung raumbezogener Informationen im WWW. Wichmann, Heidelberg.
- Krüger, D.; Scholl, A. (2008): A heuristic solution framework for the resource constrained (multi-)project scheduling problem with sequence-dependent transfer times. In: European Journal of Operational Research 197 (2008).
- Kugler, M. (2012): CAD-integrierte Modellierung von agentenbasierten Simulationsmodellen für die Bauablaufsimulation im Hochbau. Dissertation, Bauingenieurswesen, Universität Kassel.
- Kuster, J.; Huber, E.; Lippmann, R.; Schmid, A.; Schneider, E.; Witschi, U.; Wüst, R. (2008): Handbuch Projektmanagement. 2. Auflage. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- Kwak, Y. H.; Ingall, L. (2007): Exploring Monte Carlo Simulation Applications for Project Management. In: Risk Management 9 (2007); S. 44–57.
- Laroque, C.; Delius, R.; Fischer, J.-H.; Horstkemper, D. (2011): Increase of Robustness on Pre-optimized Production Plans Through Simulation-based Analysis and Evaluation. In: Proceedings of The Third International Conference on Advances in System Simulation, 23.-29.10.2011 IARIA, Xpert Publishing Services, S. 13-20.
- Liu, X.; Jiang, W.; Xie, J. (2009): A New Resource Constrained Project Scheduling Problem / Department of Computer Science of Zhuhai College Jinan University.
- März, L.; Krug, W.; Rose, O.; Weigert, G. (2010): Simulation und Optimierung in Produktion und Logistik: Praxisorientierter Leitfaden mit Fallbeispielen. Springer: Berlin.

- Mefisto (2015): Mefisto - Management - Führung - Information - Simulation im Bauwesen: <http://www.mefisto-bau.de>: zuletzt zugegriffen am 13.07.2015.
- Merkle, D.; Middendorf, M.; Schmeck, H. (2002): Ant Colony Optimization for Resource-Constrained Project Scheduling. In: IEEE Transactions on Evolutionary Computation, VOL. 6, NO.4 (2002) 08.
- Möller, T.; Dörrenberg, F. (2003): Projektmanagement. Oldenbourg: München..
- Mon2Sea (2015): Bremer Institut für Produktion und Logistik GmbH: Homepage zur Forschungsvorhaben Mon2Sea. <http://www.mon2sea.de>; zuletzt zugegriffen am 09.07.2015.
- Motzel, E. (2010): Projekt-Management Lexikon. 2., aktual. Auflage. WILEY-VCH: Weinheim.
- Neumann, K.; Schwindt, C.; Zimmermann, J. (2003): Project Scheduling with Time, Windows and Scarce Resources. Springer: Berlin.
- ProModel (2015): Homepage zu ProModel. <https://www.promodel.com/>; zuletzt zugegriffen am 11.07.2015
- Riebeling, K.-H. (2008): Eigenkapitalbeteiligten an projektfinanzierten PPP-Projekten im deutschen Hochbau. Gabler: Wiesbaden.
- Rüppel, U. (Hrsg.) (2007): Vernetzt-kooperative Planungsprozesse im Konstruktiven Ingenieurbau: Grundlagen, Methoden, Anwendungen und Perspektiven zur vernetzten Ingenieurkooperation. Springer: Berlin, Heidelberg.
- Schelle, H.; Ottmann, R.; Pfeiffer, A. (2005): Projektmanager. 2. Auflage. GPM Deutsche Gesellschaft für Projektmanagement. Nürnberg.
- Schenk, M.; Schmucker, U. (2012): Impulsvortrag: Der Weg zur ressourceneffizienten Anlage. In: Schenk, M. (Hrsg.): Tagungsband zur 7. Tagung Anlagenbau der Zukunft – Der Weg zur ressourceneffizienten Anlage. 01.-02.03.2012. Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF, Magdeburg.
- Schmelcher, W. (2000): Anlagenbau. In: Dörner, D.; Horvath, P.; Kagermann, H. (Hrsg.): Praxis des Risikomanagements. Schäffer-Poeschel: Stuttgart.
- Schneider, H.J. (Hrsg.) (1997): Lexikon der Informatik und Datenverarbeitung. 4. Auflage, R. Oldenbourg: München, Wien, S. 714.
- Seeger, F. (1995): Die Abwicklung verfahrenstechnischer Anlagenbauprojekte - Eine arbeits- und risikosoziologische Studie. Dissertation an der Universität (GH) Kassel
- Shou, Y. (2007): A Bi-directional Ant Colony Algorithm for Resource Constrained Project Scheduling / School of Management, Zhejiang University.
- SimAssist (2015): SimAssist - Der Assistent für professionelle Simulationsanwender. <http://www.simassist.de/>; zuletzt zugegriffen am 13.07.2015.
- SimCoMar (2015): Homepage der internationalen Kooperationsgemeinschaft SimCoMar. <http://www.simcomar.com/>; zuletzt zugegriffen am 13.07.2015.
- SIMoFit (2015): Homepage zur Kooperationsvorhaben SIMoFIT - Simulation of Outfitting Processes in Shipbuilding and Civil Engineering: <http://www.simofit.com>; zuletzt zugegriffen am 09.07.2015.

- Simultrain (2015): Homepage zu Simultrain. <http://www.simultrain.com>; zuletzt zugegriffen am 11.07.2015.
- Steinhauer, D. (2008): Planung komplexer Montageabläufe mit Hilfe der constraintbasierten Simulation. In Rabe, M. (Hrsg.): *Advances in Simulation for Production and Logistics Applications*. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, S. 81-89.
- Steinhauer, D. (2011): 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, S. 453-465.
- Steinhauer, D.; König, M. (2010): Konzepte zum effektiven Aufbau von Simulationsmodellen für die Unikatproduktion. In: Zülch, G.; Stock, P. (Hrsg.): *Integrationsaspekte der Simulation: Technik, Organisation und Personal*. KIT Scientific Publishing: Karlsruhe, S. 157-164.
- Steinhauer, D.; König, M.; Bargstädt, H.-J. (2007): Branchenübergreifende Kooperation zur Simulation von Montageabläufen beim Innenausbau von Schiffen, *Hansa International Maritime Journal* 9 (2007), S. 40-42.
- Suhl, L.; Mellouli, T. (2013): *Optimierungssysteme, Modelle, Verfahren, Software, Anwendungen*. Springer: Berlin, Heidelberg.
- Tecklenburg, T.; Huch, B. (2001): Risikomanagement in der Bauwirtschaft. In: Götze, U.; Henselmann, K.; Mikus, B (Hrsg.): *Risikomanagement*. Physica-Verlag: Heidelberg, S. 299-325.
- TILOS (2015): Homepage zu TILOS. www.tilos.org; zuletzt zugegriffen am 11.07.2015.
- Voigt, K.-I. (2010): *Risikomanagement im Anlagenbau*. Neuburg: Danuvia.
- Voigtmann, J.; Bargstädt, H.-J. (2010): Simulation von Logistikstrategien im Bauwesen. In: Zülch, G.; Stock, P. (Hrsg.): *Integrationsaspekte der Simulation: Technik, Organisation und Personal*. KIT Scientific Publishing, Karlsruhe, S. 109-116.
- Wang, J.Q.; Zhang, S. F.; Chen, J.; Yang, J. B.; Sun, S.D. (2010): *Resource-constrained Multi-Project Scheduling Based on Ant Colony Optimization Algorithm / Key Laboratory of Contemporary Design and Integrated Manufacturing Technology (Northwestern Poly technical University)*.
- Weaver, P. (2007): *The Origins of Modern Project Management*. http://www.mosaicprojects.com.au/PDF_Papers/P050_Origins_of_Modern_PM.pdf, zuletzt zugegriffen am 12.07.2015,
- Weber, J. (2007): *Simulation von Logistikprozessen auf Baustellen auf Basis von 3D-CAD-Daten*. Dissertation, Maschinenbau, Universität Dortmund.
- Wenzel, S. (Hrsg.) (2000): *Referenzmodelle für die Simulation in Produktion und Logistik*, SCS: Erlangen, S. 23.
- Wimmer, J.; Horenburg, T.; Günthner, W. A. (2010): 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.

- Zachau, T. (1995): Prozessgestaltung im industriellen Anlagengeschäft. Gabler: Wiesbaden.
- Zell, H. (2003): Grundbegriffe und Grundstrukturen von Projekten. In: Bernecker, M.; Eckrich, K. (Hrsg.): Handbuch Projektmanagement. Oldenbourg: München, S. 53-60.
- Zhao, J.; Zhang, Y.; Qu, H.; Qi, H. (2009): Ant colony optimization for Resource-Constrained Multi-Project Scheduling / Naval University of Engineering and Huazhong University of Science and Technology, China.
- Zimmermann, J.; Stark, C.; Rieck, J, (2006): Projektplanung – Modelle, Methoden, Management. Springer: Berlin.
- Zuluaga, A.; Sefair, J.A.; Medaglia, A.L. (2007): Model for the Selection and Scheduling of Interdependent Projects / Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de los Andes (Bogotá D.C., Colombia).

Anhang I – Projektbegleitender Ausschuss

<p>BISON.tec. GmbH Montageautomation</p> <p>Potsdamer Straße 14 33719 Bielefeld</p> <p>Dr. Helmut Jansen in de Wal Telefon 0521 93418-26 Telefax 0521 93418-30 helmut.jansen@bisontec.de www.bisontec.de</p>	
<p>bue Anlagentechnik GmbH NL Berlin</p> <p>Freiheit 12 a/b 12555 Berlin</p> <p>Andreas Sieber Telefon 030 54431136 Telefax 030 54431252 a.sieber@bue-anlagentechnik.de www.bue-anlagentechnik.de</p>	
<p>Doosan Lentjes GmbH</p> <p>Daniel-Goldbach-Str. 19 40880 Ratingen</p> <p>Stefan Klare Telefon 02102 166 1486 Telefax 02102 166 2486 stefan.klare@doosan.com http://www.doosanlentjes.com</p>	
<p>Flensburger Schiffbau-Gesellschaft mbH & Co. KG</p> <p>Batteriestraße 52 24939 Flensburg</p> <p>Dirk Steinhauer Telefon 0461 4940 526 steinhauer@fsg-ship.de www.fsg-ship.de</p>	

<p>Friedrich Remmert GmbH</p> <p>Brunnenstraße 113 D-32584 Löhne</p> <p>Daniela Lohmeier Telefon: 05732 896-200 dlo@remmert.de www.remmert.de</p>	
<p>Hubert Niewels GmbH</p> <p>Neuhäuser Weg 3a 33175 Bad Lippspringe</p> <p>Alexander Niewels Telefon: 0 52 52 106 – 1 info@niewels.de www.niewels.de</p>	
<p>Ingenieurbüro J. Döhler (Erben)</p> <p>Ferdinand-Rhode-Straße 20 04107 Leipzig</p> <p>Jürgen Döhler Telefon: 0341 140 60 50 Telefax: 0341 9 80 97 11 info@ibdoehler.de www.ibdoehler.de</p>	
<p>KET Kirpal Energietechnik GmbH</p> <p>Bischofsweg 2 04779 Wermisdorf</p> <p>Kurt Kirpal Telefon: 034364 802 – 0 Telefax: 034364 802 – 26 info@ket.de www.ket.de</p>	
<p>OWL Maschinenbau e.V.</p> <p>Ritterstraße 19 33602 Bielefeld</p> <p>Holger U. Nord Telefon: 0521 988 775 - 0 Telefax: 0521 988 775 -10 nord@owl-maschinenbau.de www.owl-maschinenbau.de</p>	

<p>Volkswagen AG Wolfsburg</p> <p>Brieffach 1493 38436 Wolfsburg</p> <p>www.volkswagenag.com</p>	
<p>Wildeis-Bauplanung</p> <p>Fuchshainer Straße 8 04463 Großpösna</p> <p>Mathias Wildeis Telefon: 034297 12 180 Telefax: 034297 12 181 info@ib-wildeis.de www.ib-wildeis.com</p>	
<p>Wind an der Steinburg GmbH & Co. KG</p> <p>Tiebenseer Straße 10 25792 Neuenkirchen-Tiebensee</p> <p>Peter Kielholz Telefon: 0481 212 08 32 Peterkielholz@web.de</p>	

Anhang II – Interviewleitfäden

Interviewprotokoll zur Ist-Aufnahme relevanter Projektmanagementprozesse



Interviewdatum	
Zeit:	
Ort:	
Teilnehmer:	

Interviewprotokoll zum Projekt:

simject -

Simulationsgestütztes logistikintegriertes Projektmanagement im Anlagenbau

Entwicklung einer Methodik zur Planung und Steuerung logistischer Prozesse bei der Realisierung und termingerechten Inbetriebnahme kundenindividueller Anlagen

Projektziele

Methodik zur Absicherung von Projektplänen, abhängig von Anlagenkomponenten, Liefertermin und Lieferort

- Verbesserung der Planung durch Simulation logistischer Prozesse und Risikobewertung als Entscheidungsunterstützungsfunktion
- Verbesserung der Projektüberwachung und Reaktion auf Planänderungen
- Verbesserte Projektüberwachung durch 3D-Baufortschrittsvisualisierung
- Kontinuierliche Verbesserung der Planungsdatenqualität
- Zielgruppeneignete Nutzerführung

Zu integrierende Teilaufgaben aus heutiger Sicht:

- Werkzeugneutrale Integration von Logistikprozess- und Projektmanagement mit automatischer Modellgenerierung
- Ablaufsimulation der logistischen Prozesse zur Bewertung von Unsicherheiten in Projektplänen sowie von alternativen Plänen
- Ausbau eines simulationsgestützten Multi-Projektmanagements
- Teilautomatisierter Aufbau von Alternativplänen
- Anpassung auf operative Entscheidungsanforderungen der KMU
- Visualisierung des Projektfortschritts in den 3D-Modellen der zukünftigen Anlagen

Zusammenfassung der Interviewfragen:

1. Beschreiben Sie Ihre (typischen) Projekte.....	3
2. Welche Projektmanagementpläne werden in Ihren Projekten erstellt und wie sinnvoll ist ihr Einsatz aus Ihrer Sicht?	4
3. Welche der erstellten Pläne werden während und nach der Projektlaufzeit aktualisiert?	5
4. Wie hoch schätzen Sie den Aufwand, der für mehrfache nachträgliche Anpassung der Projektmanagementplanung entsteht?	5
5. Können Sie den mittleren Aufwand, der für mehrfache nachträgliche Anpassung der Projektmanagementplanung entsteht, in Relation zur Projektsomme abschätzen?	5
6. Sind diese Aufwände / Kosten Ihrer Meinung nach vermeidbar?	6
7. Wie hoch ist der Anteil regelmäßig wiederkehrender Ursachen für diese Aufwände?	6
8. Welche Hilfsmittel eignen sich aus Ihrer Sicht zur Verbesserung des Projektablaufs?	7
9. Welche Planungsbereiche haben Sie zu berücksichtigen?	7
10. Berücksichtigen Sie bei Ihrer Planung Unsicherheiten?	8
11. Nutzen Sie Simulationsverfahren? Wenn ja, wofür?	9
12. Nutzen Sie Visualisierungsverfahren? Wenn ja, wofür?	9
13. Beschreiben Sie einen oder mehrere typische Prozesse Ihres Projektmanagements !	9
14. Beschreiben Sie einen oder mehrere typische Logistikprozesse zur Erstellung Ihres Produktes !	10
15. Welche Bedingungen (constraints) sehen Sie?	10
16. Wie wichtig sind für Sie die folgenden Anforderungen an das Projekt?	11
17. Haben Sie weitere Anforderungen an das Projekt?	12
18. Haben Sie weitere Fragen, Wünsche, Anregungen?	12

1. Beschreiben Sie Ihre (typischen) Projekte.

Hinweis: Falls bei Ihnen mehrere Projekte „typisch“ sind, bitte pro Typ einen Fragebogen nutzen.

a) Ordnen Sie Ihre Projekte folgenden Grundtypen zu:

Beratungsprojekt	<input type="checkbox"/>	Organisationsprojekt	<input type="checkbox"/>
Planungsprojekt	<input type="checkbox"/>	IT-Projekt	<input type="checkbox"/>
Investitionsprojekt	<input type="checkbox"/>	Forschungsprojekt	<input type="checkbox"/>

b) Welche Rolle(n) nehmen Sie in Ihren Projekten ein?

Berater	<input type="checkbox"/>	Projektauftraggeber	<input type="checkbox"/>
Planer	<input type="checkbox"/>	Projektleiter	<input type="checkbox"/>
Investor	<input type="checkbox"/>	Projektteammitglied	<input type="checkbox"/>
Generalunternehmer	<input type="checkbox"/>		
Lieferant	<input type="checkbox"/>		

c) Welche typische Projektlaufzeit(en) haben Ihre Projekte?

>

d) In welcher Spanne liegt typischerweise das Gesamtprojektbudget?

>

e) Wie groß ist üblicherweise die Anzahl der beteiligten Unternehmen?

>

f) Wie groß ist die Anzahl der Mitarbeiter in ihrem typischen Projekt?

>



2. Welche Projektmanagementpläne werden in Ihren Projekten erstellt und wie sinnvoll ist ihr Einsatz aus Ihrer Sicht?

	immer	häufig	selten	nie	unbekannt	wäre/ist sinnvoll	wäre/ist nicht sinnvoll	weiß nicht
Projektstrukturpläne								
Meilensteinpläne								
Netzpläne								
Gantt-Charts								
Ressourcendiagramme								
Kostendiagramme								
Risikodiagramme								



3. Welche der erstellten Pläne werden während und nach der Projektlaufzeit aktualisiert?

(Stichworte: Projektcontrolling, Projektauswertung)

Erstellter Plan	wird nicht aktualisiert	wird sporadisch aktualisiert	wird bei ... aktualisiert <konkreten Bedarf ergänzen>	wird in regelmäßigen Zeitabständen aktualisiert	wird mit Projektabschluss aktualisiert

4. Wie hoch schätzen Sie den Aufwand, der für mehrfache nachträgliche Anpassung der Projektmanagementplanung entsteht?

unbedeutend	eher gering	eher hoch	viel zu hoch	keine Angabe

5. Können Sie den mittleren Aufwand, der für mehrfache nachträgliche Anpassung der Projektmanagementplanung entsteht, in Relation zur Projektsumme abschätzen?

keine Angabe	nein	ja,	prozentual: ca.	%
Ergänzung/Bemerkung:				



6. Sind diese Aufwände / Kosten Ihrer Meinung nach vermeidbar?

Ergänzung: z.B. durch andere/ bessere Werkzeuge, Methoden, Tools, etc.
Legen Sie anschließend bitte eine Priorisierung Ihrer genannten Punkte fest.

keine Angabe	nein	ja, zu ca.	% der Projektsumme
Wenn ja, durch welche?			Priorität

7. Wie hoch ist der Anteil regelmäßig wiederkehrender Ursachen für diese Aufwände?

keine Angabe		ca.	% der Gesamtaufwände
Ursachen:			Geschätzter Anteil



8. Welche Hilfsmittel eignen sich aus Ihrer Sicht zur Verbesserung des Projektablaufs?

Bitte priorisieren Sie anschließend die von Ihnen genannten Punkte.

Hilfsmittel zur Verbesserung des Projektablaufs	Priorität

9. Welche Planungsbereiche haben Sie zu berücksichtigen?

Bitte beschreiben Sie kurz die Bereiche und den jeweiligen Umfang!

Planungsbereiche	Beschreibung
Finanzplanung	
Produktion	
Logistik	
Einkauf	





10. Berücksichtigen Sie bei Ihrer Planung Unsicherheiten?

Unsicherheiten bei:	Weiß nicht	Nicht relevant	nein	ja	Wenn ja, welche und wie
Vorgangsdauern					
Termine					
Kostenentwicklung					
Logistische Rahmenbedingungen					
Sonstige Verfügbarkeiten					
Abhängigkeiten vom Wetter					
Abhängigkeiten vom Verkehr					
Abhängigkeiten von Standortgegebenheiten					
Abhängigkeiten von gesetzlichen Rahmenbedingungen					



11. Nutzen Sie Simulationsverfahren? Wenn ja, wofür?

keine Angabe	nein	ja, ...
Anwendung		Verfahren / Tool:

12. Nutzen Sie Visualisierungsverfahren? Wenn ja, wofür?

keine Angabe	nein	ja, für:
Anwendung		Verfahren / Tool:

13. Beschreiben Sie einen oder mehrere typische Prozesse Ihres Projektmanagements !

--



14. Beschreiben Sie einen oder mehrere typische Logistikprozesse zur Erstellung Ihres Produktes !

15. Welche Bedingungen (constraints) sehen Sie?

Was bzw. welcher Prozessschritt wird durch welche Bedingung / constraint beeinflusst?

Bedingung / constraint	beeinflusst

16. Wie wichtig sind für Sie die folgenden Anforderungen an das Projekt?

Die folgenden Erwartungen an das Projekt wurden (u.a. in der 1. Sitzung des Projektbegleitenden Ausschusses) erfasst. Bitte entscheiden Sie, wie wichtig diese Anforderungen für Ihren Anwendungsfall sind!

Erwartungen / Anforderungen	unbedeutend	eher unwichtig	eher wichtig	äußerst wichtig	keine Angabe
Anwendung eines strukturierten Projektmanagements in der Planungsphase					
Anwendung eines strukturierten Projektmanagements in der Ausführungsphase					
Systematische Projektauswertung					
Persönlichkeit des Projektleiters					
Simulation des Projektablaufs vor der Projektdurchführung					
Simulation des Projektablaufs während der Projektdurchführung (z.B. bei Störungen)					
Unterschiedliche Detaillierungsgrade in der Simulation (grob – Gesamtablauf / fein – Detail(module))					
Visualisierung möglicher Projektabläufe					
Berücksichtigung KMU-spezifischer finanzieller Faktoren					
Modulvorfertigung bereits in Planungsphasen berücksichtigen (TGA, Architekt)					
Verknüpfung Projektplanung mit ERP-Systemen					
Berücksichtigung der Genehmigungsverfahren					
Definition der Datengrundlage (Datenbeschaffung, Datenstruktur, Schnittstellendefinition)					
Entwicklung transparenter Referenzprozesse					
Automatische Erstellung von Bauanleitungen / Montageanweisungen					
Berücksichtigung der vorherrschenden Softwarelandschaft im Unternehmen					



17. Haben Sie weitere Anforderungen an das Projekt?

Erwartungen / Anforderungen	unbedeutend	eher unwichtig	eher wichtig	äußerst wichtig	keine Angabe

18. Haben Sie weitere Fragen, Wünsche, Anregungen?

Vielen Dank für Ihre Mitarbeit im Projekt „simject“.

Ihr simject-Team

Anhang III – Anforderungen als User-Stories

lfd. Nr.	Name der "Story"	User Story	zu LH-Nr.
1	Projektverwaltung	Als Anwender möchte ich unbedingt eine zentrale Projektverwaltung, die Projektname, Properties, Verweise auf zugehörige Dateien enthält, um effektives Arbeiten zu ermöglichen.	ABE001
2	Suche nach Projekten	Als Anwender will ich eine einfache Suche nach Worten wie Name, Ersteller, Keywords nutzen, um effektives Arbeiten zu ermöglichen.	ABE002
3	Andere MS-Produkte nutzen	Als Anwender will ich den Datenimport aus anderen MS-Produkten nutzen, um flexibel zu bleiben.	ABE003
4	Projektpläne editieren	Als Anwender will ich die Korrektur von Start-/Endzeitpunkt, Nachführen gem. FSP, SEP usw. durchführen, um flexibel zu bleiben.	ABE004
5	Ist-Dateneingabe	Als Anwender will ich die Eingabe der Ist-Dauer durchführen, um Medienbrüche zu vermeiden.	ABE005
6	Projektberichte anlegen	Als Anwender möchte ich Fenster mit Text-Templates für Projektberichte, Aufgabenverteilung zu Plänen (Kommentare) haben, um Medienbrüche zu vermeiden.	ABE006
7	Kommentare anlegen	Als Anwender möchte ich Fenster mit Text-Templates für Kommunikationsprotokolle zu Plänen (Kommentare) haben, um Medienbrüche zu vermeiden.	ABE007
8	Einsatzpläne einsehen	Als Anwender möchte ich Einsicht von Einsatzplänen von Mitarbeiter mit Zeitangaben und Aufgabenbereich haben, um Medienbrüche zu vermeiden.	ABE008
9	Projektverwaltung	Als Anwender möchte ich unbedingt die Projekteigenschaften, Daten, Verweise auf Dateien (z.B. Simulationsmodelle) verwalten können, um effektives Arbeiten zu ermöglichen.	DBS001
10	MS-Excel/-Project Datenaustausch	Als Anwender will ich eine Import-/Exportfunktion über CSV haben, um flexibel zu bleiben.	DBS002
11	MS-Office Export	Als Anwender möchte ich eine Anbindung an die MS-Office-Komponente Visio, Word-, Powerpoint haben, um flexibel zu bleiben.	DBS003
12	SQL-Anbindung	Als Anwender will ich eine ODBC-Schnittstelle, u.a. für Access-Anbindung haben, um flexibel zu bleiben.	DBS004

		ben.	
13	Fertigstellungsgrad eingeben	Als Anwender will ich den Fertigstellungsgrad diskret eingeben können - Zustände: "Erledigt", "In Bearbeitung", "Freigegeben", "Warten auf jemanden anderes", um das Projektcontrolling zu unterstützen.	DBS005
14	Verwaltung von CAD-Dateien	Als Anwender will ich das DXF-Format nutzen können, um Medienbrüche zu vermeiden.	DBS006
15	Verwaltung historischer Projektpläne	Als Anwender möchte ich unbedingt historische Projektdateien, die in einer DB verwaltet werden, verfügbar haben, um auf Lessons learned zurückgreifen zu können.	DBS007
16	Ressourcenverwaltung durchführen	Als Anwender möchte ich unbedingt Soll- und Ist-Daten der eingesetzten Ressourcen verwalten können, um Medienbrüche zu vermeiden.	DBS008
17	Wettermodell verwalten	Als Anwender will ich Faktoren, die das Wetter beeinflussen können in Modellen verwalten, um darauf reagieren zu können.	DBS009
18	Arbeitspakete verwalten	Als Anwender will ich eine Arbeitspaketverwaltung (Inhalt + Ressourcen) haben, um Medienbrüche zu vermeiden.	DBS010
19	Online-Dokumentation	Als Anwender will ich jederzeit auf eine Online-Hilfdatei über "?" auf Demonstrator-Niveau zugreifen können, um ohne Schulungsaufwand mit der Software arbeiten zu können.	DOK001
20	Handbuch / Manual	Als Anwender möchte ich eine schriftliche Dokumentation haben, um alle Funktionen kennenlernen zu können.	DOK002
21	Aktuelle Wetterdaten einlesen	Als Anwender will ich aktuelle Wetterdaten als Faktor (manuell) einlesen können, um Auswirkungen zu sehen.	EXT001
22	Aktuelle Verkehrsdaten einlesen	Als Anwender will ich aktuelle Verkehrsdaten einlesen können, um Auswirkungen zu sehen.	EXT002
23	Aktuelle GPS-Daten erfassen	Als Anwender will ich den aktuellen Standort einschließlich Kartenmaterial verfügbar haben, um Medienbrüche zu vermeiden.	EXT003
24	Projektplanverwaltung	Als Anwender will ich CSV-Daten und XML-Daten einlesen können, um Medienbrüche zu vermeiden.	EXT004
25	ERP-Schnittstelle	Als Anwender möchte ich eine definierte Schnittstelle zu Excel haben, um flexibel zu bleiben.	EXT005

26	VRML-Schnittstelle	Als Anwender will ich VRML nutzen, um Auswirkungen zu sehen.	EXT006
27	Logistik-Simulationsschnittstelle	Als Anwender will ich einen Datenaustausch zwischen Plan- und Logistiksimulation ermöglichen, um optimieren zu können.	LOG001
28	Transportrestriktionen I	Als Anwender möchte ich unbedingt Zeiten, Entfernungen, Geschwindigkeiten, Kapazitäten (Ladung) berücksichtigen, um optimieren zu können.	LOG002
29	Gefahrgüterberücksichtigung	Als Anwender möchte ich Gefahrgüter und schwere Güter berücksichtigen, um optimieren zu können.	LOG003
30	Transportrestriktionen II	Als Anwender möchte ich den Einfluss von Transportrestriktionen auf die Zeit darstellen, um optimieren zu können.	LOG004
31	Wetterdaten-Plan	Als Anwender will ich den Einfluss des Wetters im geplanten Zeitraum über den Zeitfaktor darstellen, um Auswirkungen zu sehen.	LOG005
32	Infrastrukturverhältnisse	Als Anwender will ich Infrastrukturverhältnisse der anzufahrenden Baustelle (Straßenverläufe, Flüsse, Luftraum, Schienenverkehr) in der Logistiksimulation berücksichtigen, um optimieren zu können.	LOG006
33	Infrastrukturänderungen	Als Anwender will ich sich ändernde Infrastruktur durch externe Wetter- u. Natureinflüsse in der Logistiksimulation berücksichtigen, um optimieren zu können.	LOG007
34	Alternative Routen	Als Anwender will ich alternative Verkehrswege (mittels Routenplaner) berücksichtigen, in dem diese Veränderungen in den Projektplänen (Zeitplanung) berücksichtigt werden, um optimieren zu können.	LOG008
35	Gefahrgüterberücksichtigung	Als Anwender will ich Veränderungen der Logistik durch Gefahrstoffe und schwere Güter - ggf. anderen Verkehrswegen berücksichtigen, um Termintreue zu gewährleisten.	LOG009
36	Daten des Bestimmungsortes	Als Anwender möchte ich unbedingt den Standort des Bestimmungsortes einfließen lassen, um Entfernungen, Geschwindigkeiten, Zeiten darzustellen.	LOG010
37	Prozessreihenfolgeoptimierung	Als Anwender möchte ich unbedingt eine optimierende Reihenfolgeplanung der Prozesse durchführen, um Verbesserung zu erreichen.	PPO001

38	Ressourcenoptimierung	Als Anwender möchte ich unbedingt Mitarbeiterkapazitäten bei der Optimierung berücksichtigen, um Kapazitätsbeschränkungen (Abgleich mit Einsatzplanung und Urlaubszeiten) einzuhalten.	PPO002
39	Optimierungsverfahren	Als Anwender möchte ich unbedingt die Implementierung verschiedener Optimierungsverfahren über eine einheitliche Schnittstelle ermöglichen, um flexibel zu bleiben.	PPO003
40	Optimierung für Wetter	Als Anwender will ich Wetterdaten als Optimierungskriterium heranziehen, um Auswirkungen zu sehen.	PPO004
41	Simulation für Wetter	Als Anwender will ich die Berücksichtigung von Wetterdaten für eine vordefinierte Periode in der Simulation - Termintreue, um die Darstellung und Auswirkungen auf Projektplan durch Wind und Regen sowie Schneefall zu ermöglichen.	PSI001
42	Simulation für Infrastruktur	Als Anwender will ich Infrastrukturverhältnisse der anzufahrenden Baustelle berücksichtigen (Straßenverläufe, Flüsse, Luftraum, Schienenverkehr), um Termintreue zu gewährleisten.	PSI002
43	Infrastrukturänderungen	Als Anwender will ich sich durch externe Wetter- u. Natureinflüsse ändernde Infrastruktur berücksichtigen, um Auswirkung durch Regen, Schnee, Wind auf Straße hinsichtlich der Termintreue zu untersuchen.	PSI003
44	Risiko: Behörden	Als Anwender möchte ich Einflüsse durch Behörden (Gutachten- und Prozessverfahren) auf die Termintreue/Projekttermine darstellen, um Konsequenzen aufzuzeigen, wenn dieses Risiko eintritt.	PSI004
45	Risiko: Zoll	Als Anwender möchte ich Auflagen und Einflüsse auf Projektpläne durch Zollein- und Ausfuhrregeln darstellen, um Materiallieferung als Risiko einkalkulieren zu können.	PSI005
46	Stochastik für Projektvorgänge	Als Anwender möchte ich unbedingt Stochastische Verteilungen für einzelne Projektschritte manuell integrieren, um optimieren zu können.	PSI006
47	Verteilungsfunktion aus historischen Daten	Als Anwender möchte ich unbedingt historische Daten als Verteilungen für Projektschritte einbinden, um optimieren zu können.	PSI007

48	Logistik-Simulationsschnittstelle	Als Anwender möchte ich unbedingt Projektschritte als Logistiksimulation abbilden, ansteuern und Ergebnisse integrieren, um optimieren zu können.	PSI008
49	Baufortschrittsvisualisierung	Als Anwender will ich Baufortschrittvisualisierung angelehnt an CAD/Bauraumanzeige darstellen können, um die Ergebnisse sichtbar zu machen.	VIS001
50	Lagepläne einbinden	Als Anwender will ich Lagepläne des Anlagenprojekts als Hintergrundgraphik einbinden können, um Verbesserung zu erreichen.	VIS002
51	Gantt-Charts	Als Anwender will ich Gantt-Charts der (simulierten) Projektpläne erzeugen und überblenden, um die Ergebnisse sichtbar zu machen.	VIS003
52	Netzpläne	Als Anwender will ich Einzelcharts von Projektplänen einblenden, um die Ergebnisse sichtbar zu machen.	VIS004
53	Ressourcendiagramme	Als Anwender will ich Ressourcendiagramme in den Projektplan einblenden, um automatische Anpassung auf Planänderungen darzustellen.	VIS005
54	Ergebnisvisualisierung	Als Anwender möchte ich Ergebnisvisualisierung auch für einzelne Abteilungen/Betriebsbereiche anzeigen lassen, um separate Diagramme für Abteilungen/Betriebsbereiche darstellen zu können.	VIS006
55	Projektstrukturpläne	Als Anwender möchte ich Projektstrukturpläne als Grafik einbinden, um Medienbrüche zu vermeiden.	VIS007
56	Visualisierung stochastischer Projektpläne	Als Anwender möchte ich unbedingt Gantt mit "unscharfen Enden" darstellen, um Visualisierung stochastischer Projektpläne zu ermöglichen.	VIS008
57	Vergleich zweiter Projektplansimulationen	Als Anwender will ich den Vergleich mit einer zweiten Projektplansimulation als Darstellung in zwei Fenstern erlauben, um Medienbrüche zu vermeiden.	VIS009
58	Mitlaufende Kalkulation	Als Anwender will ich eine mitlaufende Kalkulation über Einzelcharts darstellen, um das Projektcontrolling zu unterstützen.	VIS010

Anhang IV – Evaluationsergebnisse

Die Fragen 1-10 konnten auf einer kontinuierlichen Skala von 0 bis 10 beantwortet werden und boten zusätzlich die Möglichkeit für eine kurze Begründung der Entscheidung. In den Fragen 3-7 wurde zusätzlich die Unterscheidung in a) sinnvoll und b) praktikabel vorgenommen. Die Fragen 11 und 12 wurden ausschließlich als offene Fragen gestellt und zielten auf Projektverlauf und weitere Hinweise für die Forschung ab.

Folgende Fragen waren im Rahmen der Evaluation zu beantworten:

1. Für wie sinnvoll halten Sie es, wenn die Projektplanung über eine Simulation von Störungen abgesichert wird?
2. Für wie sinnvoll halten Sie den vorgestellten „Simject-Workflow“?
3. Wie sinnvoll/praktikabel schätzen Sie Projektsimulation und Visualisierung der Ergebnisse ein?
4. Wie sinnvoll/praktikabel schätzen Sie die Integration der Logistik ein?
5. Wie sinnvoll/praktikabel schätzen Sie Nutzung historischer Projektdaten ein?
6. Wie sinnvoll/praktikabel schätzen Sie die Einbeziehung von Wetterdaten ein?
7. Wie sinnvoll/praktikabel schätzen Sie die Einbeziehung von Verkehrsdaten ein?
8. Wie wahrscheinlich ist, dass Sie diese Vorgehensweise anwenden, wenn Ihnen eine entsprechende Anwendungssoftware zur Verfügung steht?
9. Wie hoch schätzen Sie den erwarteten Mehrwert für ihr Unternehmen ein, wenn Sie Projekte mit zusätzlicher Projektplansimulation planen würden?
10. Wie gut war nach Ihrer Einschätzung der Projektverlauf insgesamt?
11. Was hat Ihnen am Projektverlauf besonders gut gefallen?
12. Welche Hinweise haben Sie aus Sicht eines PA-Mitglieds für zukünftige Forschungsprojekte?

Insgesamt konnten sechs, teilweise jedoch unvollständig ausgefüllte, Fragebögen ausgewertet werden.

Zur besseren Übersicht wurden die quantitativen Ergebnisse aus der stetigen Erfassungsskala in vier gleichgroßen Gruppen zusammengefasst, die auf Grund der Fragestellung wie folgt interpretiert werden können:

Erfasste Werte	Interpretation
10,0 bis >7,5	sehr positiv
7,5 bis > 5,0	positiv
5,0 bis > 2,5	negativ
2,5 bis 0	sehr negativ

Die Fragen und eine grafische Darstellung der quantitativen Antworten werden nachfolgend im Einzelnen aufgeführt:

Frage 1

Für wie sinnvoll halten Sie es, wenn die Projektplanung über eine Simulation von Störungen abgesichert wird?

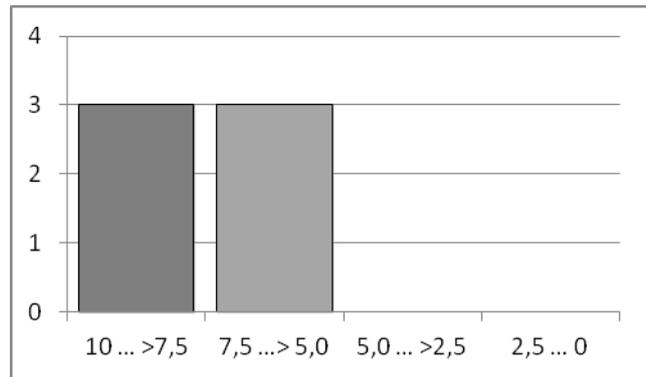


Abbildung 1 – Beantwortung der Evaluationsfrage 1

Frage 2

Für wie sinnvoll halten Sie den vorgestellten „Simject-Workflow“?

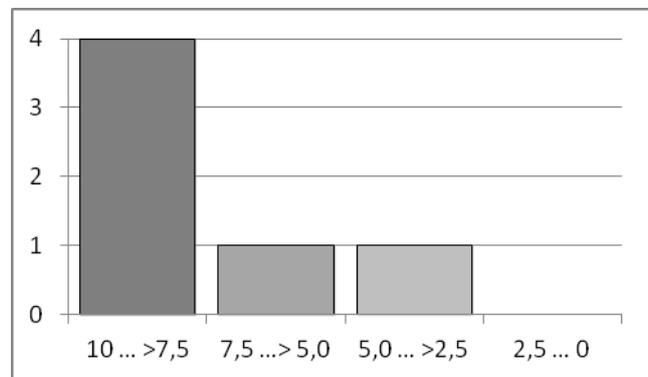


Abbildung 2 – Beantwortung der Evaluationsfrage 2

Frage 3a

Wie sinnvoll schätzen Sie Projektsimulation und Visualisierung der Ergebnisse ein?

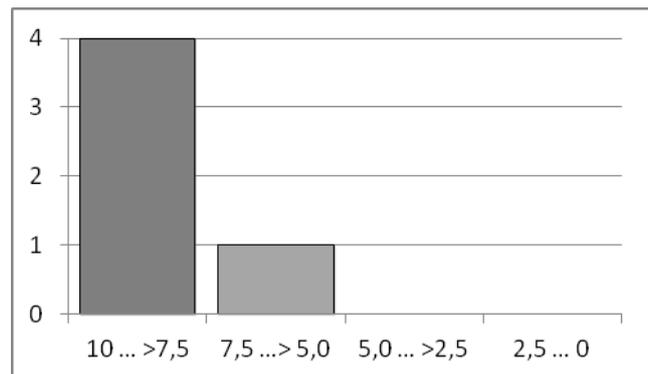


Abbildung 3a – Beantwortung der Evaluationsfrage 3a

Frage 3b
Wie praktikabel schätzen Sie
Projektsimulation und Visuali-
sierung der Ergebnisse ein?

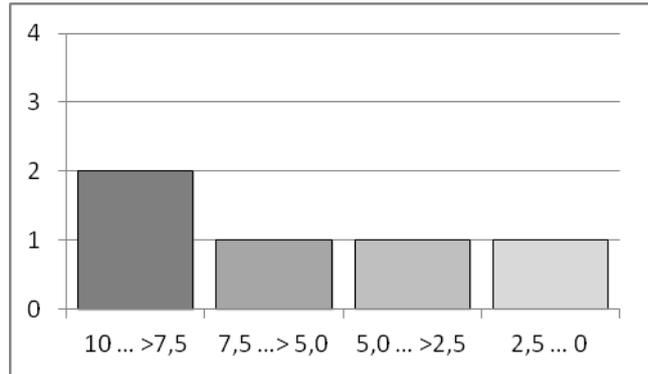


Abbildung 3b – Beantwortung der Evaluations-
frage 3b

Frage 4a
Wie sinnvoll schätzen Sie die
Integration der Logistik ein?

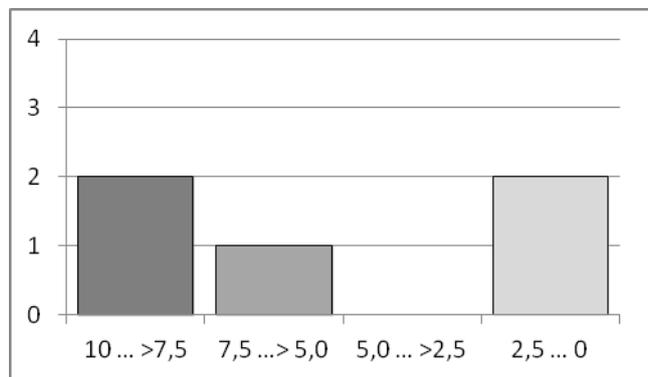


Abbildung 4a – Beantwortung der Evaluations-
frage 4a

Frage 4b
Wie praktikabel schätzen Sie
die Integration der Logistik ein?

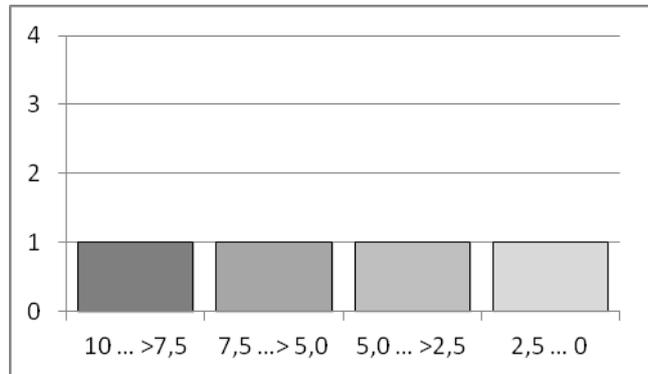


Abbildung 4b – Beantwortung der Evaluations-
frage 4b

Frage 5a
Wie sinnvoll schätzen Sie Nutzung historischer Projektdaten ein?

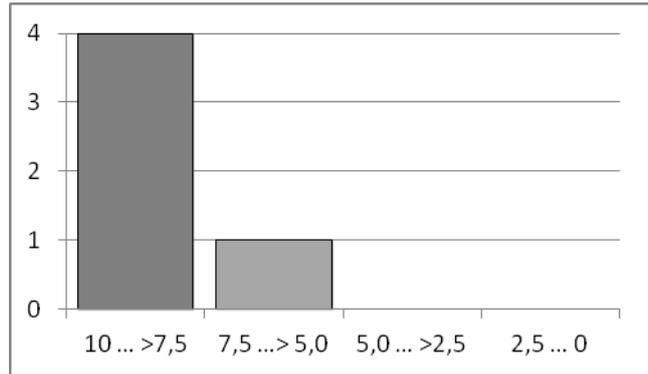


Abbildung 5a – Beantwortung der Evaluationsfrage 5a

Frage 5b
Wie praktikabel schätzen Sie Nutzung historischer Projektdaten ein?

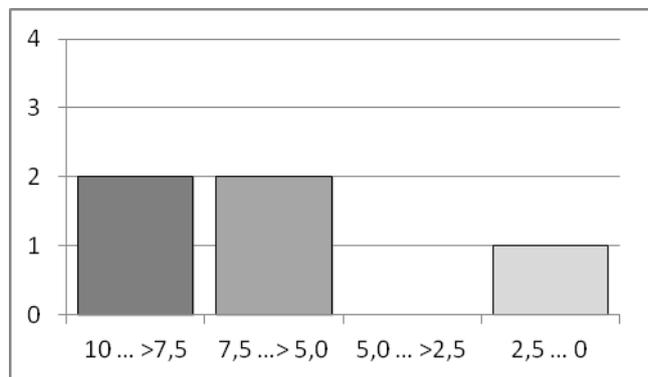


Abbildung 5b – Beantwortung der Evaluationsfrage 5b

Frage 6a
Wie sinnvoll schätzen Sie die Einbeziehung von Wetterdaten ein?

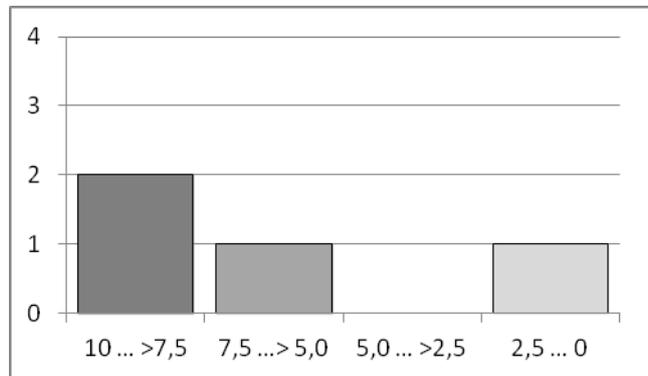


Abbildung 6a – Beantwortung der Evaluationsfrage 6a

Frage 6b
Wie praktikabel schätzen Sie die Einbeziehung von Wetterdaten ein?

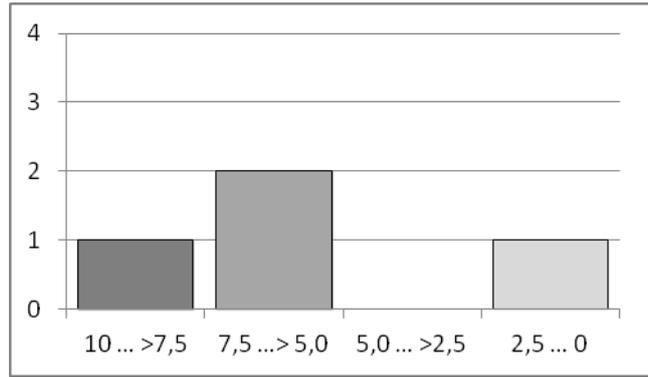


Abbildung 6b – Beantwortung der Evaluationsfrage 6b

Frage 7a
Wie sinnvoll schätzen Sie die Einbeziehung von Verkehrsdaten ein?

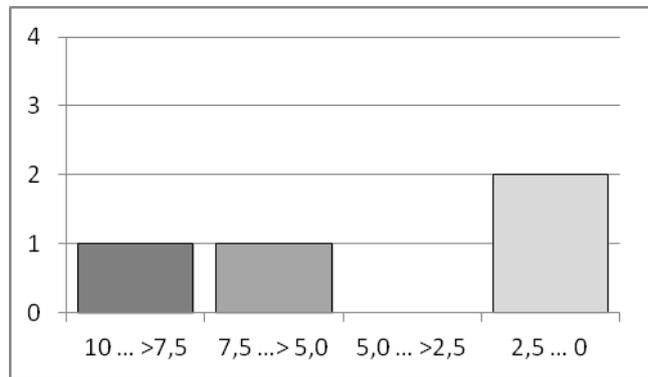


Abbildung 7a – Beantwortung der Evaluationsfrage 7a

Frage 7b
Wie praktikabel schätzen Sie die Einbeziehung von Verkehrsdaten ein?

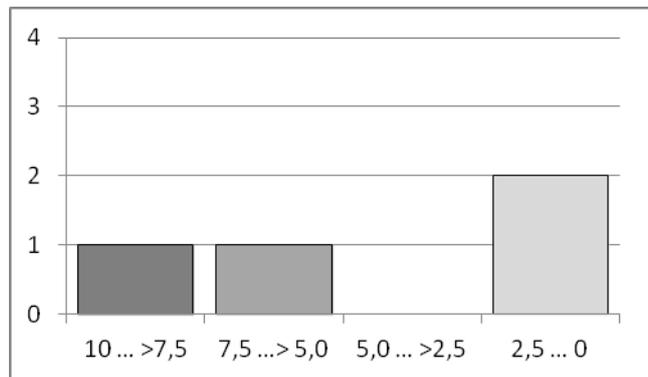


Abbildung 7b – Beantwortung der Evaluationsfrage 7b

Frage 8

Wie wahrscheinlich ist, dass Sie diese Vorgehensweise anwenden, wenn Ihnen eine entsprechende Anwendungssoftware zur Verfügung steht?

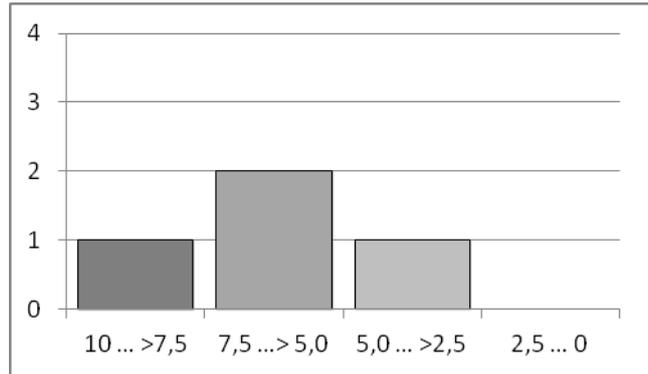


Abbildung 8 – Beantwortung der Evaluationsfrage 8

Frage 9

Wie hoch schätzen Sie den erwarteten Mehrwert für ihr Unternehmen ein, wenn Sie Projekte mit zusätzlicher Projektplansimulation planen würden?

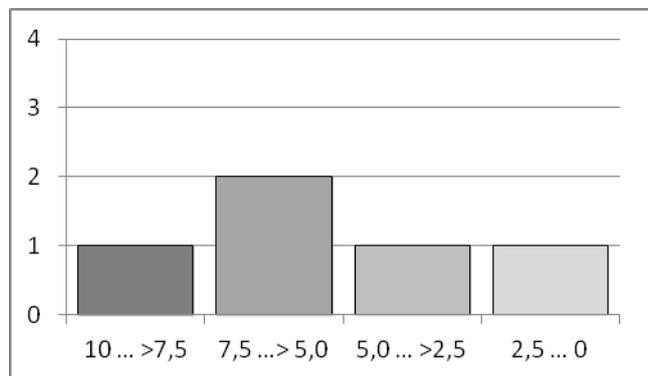


Abbildung 9 – Beantwortung der Evaluationsfrage 9

Frage 10

Wie gut war nach Ihrer Einschätzung der Projektverlauf insgesamt?

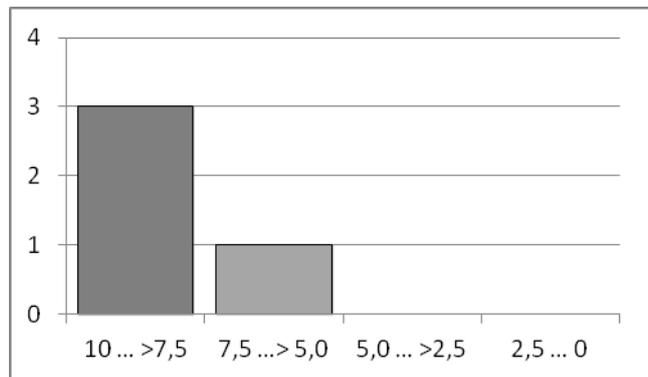


Abbildung 10 – Beantwortung der Evaluationsfrage 10

Ergänzende qualitative Feedbacks wurden zu diesen Fragen wie folgt gegeben:

Frage 1

Für wie sinnvoll halten Sie es, wenn die Projektplanung über eine Simulation von Störungen abgesichert wird?

Allumfassende Störungseinflüsse werden nicht abgebildet.

ABER: Aufwand muss verhältnismäßig sein, daher mutmaßlich nur Teilaspekte / kritische Aspekte simulieren...

Frage 2

Für wie sinnvoll halten Sie den vorgestellten „Simject-Workflow“?

Positiv, allerdings wird Detaillierungsgrad nicht erschöpfend dargestellt.

"Füttern" der Datenbank erscheint aufwändig, pauschale "Unschärfe" (Normalverteilungsansatz dürfte den unterschiedlichen Einzelprozessen im Allgemeinen nicht gerecht werden.

Frage 3

Wie sinnvoll / praktikabel schätzen Sie Projektsimulation und Visualisierung der Ergebnisse ein?

Die zugrundeliegenden Variablen sollten transparenter dargestellt werden.

Zusammenhänge werden plastisch und wahrnehmbar, allerdings aktuell nicht umsetzbar.

Frage 4

Wie sinnvoll / praktikabel schätzen Sie die Integration der Logistik ein?

Ist nicht relevant.

Frage 5

Wie sinnvoll / praktikabel schätzen Sie Nutzung historischer Projektdaten ein?

Hohe Priorisierung als "virtueller Erfahrungswert".

Wie kann Pflege des tatsächlichen Ablaufs (automatisiert) mit vertretbarem Aufwand geleistet werden?

Frage 6

Wie sinnvoll / praktikabel schätzen Sie die Einbeziehung von Wetterdaten ein?

Sommer-/Winterbaustelle entscheidend für Bauablauf, Umsetzung ist nicht kompliziert.

Frage 7

Wie sinnvoll / praktikabel schätzen Sie die Einbeziehung von Verkehrsdaten ein?

Ist nicht relevant.

Frage 8

Wie wahrscheinlich ist, dass Sie diese Vorgehensweise anwenden, wenn Ihnen eine entsprechende Anwendungssoftware zur Verfügung steht?

k.A.

Frage 9

Wie hoch schätzen Sie den erwarteten Mehrwert für ihr Unternehmen ein, wenn Sie Projekte mit zusätzlicher Projektplansimulation planen würden?

Verhältnis: Aufwand zu Nutzen <<< 1

Frage 10

Wie gut war nach Ihrer Einschätzung der Projektverlauf insgesamt?

k.A.

Frage 11

Was hat Ihnen am Projektverlauf besonders gut gefallen?

Die zeitnahe und ausführliche Zustellung von Informationen.

Die Einbeziehung unseres Unternehmens.

Geringer Aufwand, hoher Input [für PA-Mitglied].

Frage 12

Welche Hinweise haben Sie aus Sicht eines PA-Mitglieds für zukünftige Forschungsprojekte?

Volatilität von Bestellzeiten und Projektvorlaufzeiten.

Einbindung von 3D-PDF-Dateien.

Weitere Fachvorträge und Publikationen erstellen.