

Schlussbericht

zu IGF-Vorhaben Nr. 19371

Thema

Entwicklung einer simulationsgestützten Methodik zur abgesicherten Prognose der Dauer logistischer Referenzprozesse in der Unikat- und Kleinserienfertigung

Berichtszeitraum

01.03.2017-30.11.2018

Forschungsvereinigung

AiF-Forschungsvereinigung

Bundesvereinigung Logistik e.V. - BVL

Forschungseinrichtung(en)

Gemeinsamer Bericht aller beteiligten Forschungsstellen:

1. Universität Kassel
2. Westsächsische Hochschule Zwickau

Kassel, Zwickau, den 11.02.2019

Ort, Datum


Name und Unterschrift aller Projektleiterinnen und Projektleiter der
Forschungseinrichtung(en)

Gefördert durch:

Schlussbericht zum Projekt

SimCast – Simulationsgestützte Prognose der Dauer von Logistikprozessen

Entwicklung einer simulationsgestützten Methodik
zur abgesicherten Prognose der Dauer logistischer Referenzprozesse
in der Unikat- und Kleinserienfertigung

Deike Gliem, Ulrich Jessen, Jana Stolipin, Sigrid Wenzel,
Universität Kassel, Fachgebiet für Produktionsorganisation und Fabrikplanung

Wibke Kusturica, Christoph Laroque,
Westsächsische Hochschule Zwickau, Fachgebiet Wirtschaftsinformatik

Laufzeit: 01.03.2017 - 30.11.2018

U N I K A S S E L
V E R S I T Ä T

 **pfp**
Produktionsorganisation
und Fabrikplanung
Prof. Dr.-Ing. Sigrid Wenzel




Westsächsische Hochschule Zwickau
University of Applied Sciences

Herausgegeben von:

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

Prof. Dr. Christoph Laroque
Fachgebiet Wirtschaftsinformatik
Westfälische Hochschule Zwickau

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, der Wiedergabe auf photomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben – auch bei nur auszugsweiser Verwendung – vorbehalten.

Copyright © Universität Kassel, Fachgebiet Produktionsorganisation und Fabrikplanung;
Westfälische Hochschule Zwickau, Fachgebiet Wirtschaftsinformatik

ISBN 978-3-00-062399-8



Das IGF-Vorhaben 19371 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.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



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 1

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

Tel.: +49 561 / 804 1851

E-Mail: s.wenzel@uni-kassel.de

Projektleiterin

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

Name und Anschrift der Forschungsstelle 2

Westfälische Hochschule Zwickau

Institut für Management und Information
Professur Wirtschaftsinformatik
Dr.-Friedrichs-Ring 2a
D-08056 Zwickau

Leiter der Forschungsstelle 2

Prof. Dr. Christoph Laroque

Tel.: +49 375 / 536 3221

E-Mail: Christoph.Laroque@fh-zwickau.de

Projektleiter

Prof. Dr. Christoph Laroque



Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	V
Abbildungsverzeichnis	VII
Tabellenverzeichnis	IX
Formelverzeichnis	X
Abkürzungsverzeichnis	XI
1 Zusammenfassung	1
2 Einleitung	2
2.1 Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Problemstellung	2
2.2 Forschungsziel und angestrebte Ergebnisse.....	4
2.3 Innovativer Beitrag der angestrebten Forschungsergebnisse.....	6
2.4 Lösungsweg zur Zielerreichung	7
3 Stand der Wissenschaft und Technik	9
3.1 Prognose der Dauer von Prozessen in der Projektplanung	9
3.2 Nutzung von Schätzmethoden zur Ermittlung einer Prozessdauer	10
3.3 Erhebung von Expertenwissen.....	11
3.4 Strukturierung und Nutzung von Expertenwissen	13
3.5 Analyse von Prozessdaten.....	16
3.6 Einsatz der Simulation für die Validierung von Projektplänen.....	18
4 Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse	21
4.1 Beschreibung des Projektablaufs	21
4.2 Beschreibung der Projektergebnisse.....	23
4.2.1 Gesamtkonzept.....	24
4.2.2 Prozessaufnahme durch Experteninterviews	25
4.2.3 Aufbau eines logistischen Referenzmodells	28
4.2.4 Externalisierung von Expertenwissen mittels Delphi-Studie	30
4.2.5 Analyse historischer Daten	34
4.2.6 Best-Practice-Pool von Berechnungsregeln	36
4.2.7 Entwicklung einer Ontologie.....	38
4.2.8 Integration von Simulationsaspekten.....	44
4.2.9 Anforderungsanalyse, funktionales und technisches Lastenheft	47
4.2.10 Implementierung eines Demonstrators.....	49
4.2.11 Anwendung des Demonstrators	55

4.2.12	Vorgehensmodell und Nutzungskonzept.....	58
4.2.13	Evaluation der Methodik.....	62
4.2.14	Dokumentation und Transfer.....	65
4.3	Verwendung der zugewendeten Mittel	66
5	Wissenschaftlich-technischer und wirtschaftlicher Nutzen der Forschungsergebnisse für KMU	67
5.1	Nutzen der Forschungsergebnisse in KMU.....	67
5.2	Beitrag zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit von KMU	68
5.3	Aussagen zur voraussichtlichen industriellen Umsetzung der FuE-Ergebnisse nach Projektende	69
6	Transfermaßnahmen.....	70
6.1	Ergebnistransfer in die Wirtschaft	70
6.1.1	Ergebnistransfer in die Wirtschaft während der Projektlaufzeit.....	70
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
	Literaturverzeichnis	78
	Anhang I – Projektbegleitender Ausschuss	88
	Anhang II – Interviewleitfaden zum Projekt.....	90
	Anhang III – Logistisches Referenzmodell – alle Ebenen	106
	Anhang IV – Logistisches Referenzmodell – Ebene 3.....	107
	Anhang V – Einflussparameter im Ishikawa-Diagramm	113
	Anhang VI – Parameterausprägungen.....	114
	Anhang VII – Bewertungsskala der Kriterien für die Nutzwertanalyse.....	115
	Anhang VIII – Delphi-Studie.....	116
	Anhang VIV – Berechnungsregeln.....	126
	Anhang X – Literaturanalyse	128
	Anhang XI – Anforderungsspezifikationsdokument.....	129
	Anhang XII – Zuordnung von Logistikprozessen in Kategorien und Bereiche... 	130
	Anhang XIII – Anforderungen als User-Stories.....	131
	Anhang XIV – Sequenzdiagramm	133
	Anhang XV – Vorgehensmodell	138
	Anhang XVI – Evaluationsergebnisse	139

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Einordnung nach Kundeneinfluss	3
Abbildung 2-2: Hauptkomponenten der Baustellenlogistik.....	4
Abbildung 2-3: Zusammenspiel der Teilbereiche von SimCast.....	8
Abbildung 4-1: Arbeitsschritte von SimCast im zeitlichen Verlauf.....	21
Abbildung 4-2: Gesamtkonzept im Rahmen des Projektes SimCast	24
Abbildung 4-3: Interviewleitfaden Teil I.....	25
Abbildung 4-4: Interviewleitfaden Teil II.....	26
Abbildung 4-5: Auswertung der Experteninterviews	27
Abbildung 4-6: Auszug aus dem logistischen Referenzmodell	28
Abbildung 4-7: Beispiel einer komplexen Kausalkette	34
Abbildung 4-8: Abweichungen von Soll-Bearbeitungszeiten einzelner Werkstattaufträge	36
Abbildung 4-9: Ontologie-Design Vorgehensmodell	39
Abbildung 4-10: Konzept der Ontologie I.....	40
Abbildung 4-11: Konzept der Ontologie II.....	41
Abbildung 4-12: Konzept der Ontologie III.....	41
Abbildung 4-13: Ontologie – Grundstruktur	42
Abbildung 4-14: Allgemeiner Methodenbaukasten	43
Abbildung 4-15: Triangulare Verteilung der Geschwindigkeiten	45
Abbildung 4-16: Prozess zur Überprüfung der Verfügbarkeit einzelner Arbeitsmittel	45
Abbildung 4-17: Unterprozess zur Ermittlung der Zwischenankunftszeit	45
Abbildung 4-18: Simulationsmodell zur Ermittlung einer Prozessdauer	46
Abbildung 4-19: Systembild Demonstrator	50
Abbildung 4-20: Excel-Listen als Informationsquelle für die Wissensbasis	51
Abbildung 4-21: Pseudocode für die Programmierung des Makros	52
Abbildung 4-22: Ontologie – Grundstruktur	53
Abbildung 4-23: Zugriff auf die Wissensbasis.....	53
Abbildung 4-24: SPARQL-Abfrage I.....	54
Abbildung 4-25: SPARQL-Abfrage II	54



Abbildung 4-26: Anwendung des Demonstrators; links: Ebene 1, rechts Ebene 2.....	55
Abbildung 4-27: Ermittlung einer Prozessdauer auf Basis von Expertenwissen	56
Abbildung 4-28: Ermittlung einer Prozessdauer auf Basis von historischen Daten	57
Abbildung 4-29: Gantt-Diagramm in MS Project.....	58
Abbildung 4-30: Funktionsprinzip zum Vorgehen	58
Abbildung 4-31: Phasen des Vorgehensmodells	59
Abbildung 4-32: Use-Case-Diagramm zur Nutzung der Methodik	61
Abbildung 4-33: Bewertung der Vollständigkeit des Ishikawa-Diagramms.....	63
Abbildung 4-34: Bewertung der Hilfestellung zur Berechnung der Dauer logistischer Prozesse	63

Tabellenverzeichnis

Tabelle 4-1: Übersicht Produktionsvarianten	29
Tabelle 4-2: Auswahl einer Befragungsmethode	32
Tabelle 4-3: Anforderung aus dem Anforderungskatalog	48
Tabelle 4-4: User-Stories aus dem Anforderungskatalog	48
Tabelle 4-5: Gruppierung von Antwortwerten im Rahmen der Evaluation.....	62
Tabelle 6-1: Durchgeführte Transfermaßnahmen.....	70
Tabelle 6-2: Geplante Transfermaßnahmen.....	73

Formelverzeichnis

Formel 4-1: Transportzeit unter Berücksichtigung von Einfluss- und Störgrößen	26
Formel 4-2: Maximale Auslastung eines Arbeitsmittels	37



Abkürzungsverzeichnis

AHM	Arbeits Hilfsmittel
AiF	Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen
AM	Arbeitsmittel
API	Application Programming Interface
AS	Arbeitsschritt
BAM	British Academy of Management
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
BPMN	Business Process Model and Notation
COCOMO	Constructive Cost Model
CRISP-DM	Cross-Industry Standard Process for Data Mining
CSV	Comma-separated values
DB	Datenbank
DES	Discrete Event Simulation
DIN	Deutsches Institut für Normung
DL	Description Logic
EDB	Erfahrungsdatenbank
ERP	Enterprise-Resource-Planning
ESD	Electrostatic Discharge
FuE	Forschung und Entwicklung
GUI	Graphical User Interface
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
IBM	International Business Machines Corporation
ID	Identifikation
IGF	Industrielle Gemeinschaftsforschung
IuK	Information und Kommunikation
ISO	International Organization for Standardization
IT	Informationstechnik

KDD	Knowledge Discovery in Databases
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
LKW	Lastkraftwagen
MS	Microsoft
O	Objekt
ODBC	Open Database Connectivity
OWL	Web Ontology Language
PA	Projektbegleitender Ausschuss
ppf	Produktionsorganisation und Fabrikplanung
PRICE	Programmed Review of Information for Costing and Evaluation
RAMI 4.0	Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0
RDF	Resource Description Framework
RDFS	Resource Description Framework Schema
ROI	Return on Investment
SCOR	Supply-Chain-Operations-Reference-Modell
SIMoFit	Simulation of Outfitting Processes in Shipbuilding and Civil Engineering
SPARQL	SPARQL Protocol and RDF Query Language
SQL	Structured Query Language
STS	Simulation Toolkit Shipbuilding
SUMO	Suggested Upper Merged Ontology
V	Verpackung
V&V	Verifikation und Validierung
WSC	Winter Simulation Conference
XML	Extensible Markup Language
ZKP	Zeit-Kosten-Planung

1 Zusammenfassung

Für den kundenindividuellen Anlagenbau in der Unikat- und Kleinserienfertigung sind die termingerechte Fertigstellung, Lieferung und Inbetriebnahme einer Anlage entscheidende Wettbewerbsfaktoren. Bei der Planung neuer Projekte kann das bisher aus Projekten erworbene Wissen allerdings nicht 1:1 in ein neues Projekt übertragen werden, da die Parameter und die Dauer der Montage- und Logistikprozesse von dem jeweils zu montierenden Bauteil abhängig sind. Aus diesem Grund wird diese Prozessdauer heute nur grob abgeschätzt; aus Sicherheitsgründen werden kostspielige Zeitpuffer für die Logistik eingeplant. Den meisten kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) dieser Branche fehlt es an einer praktikablen Methodik, um exakte Terminplanungen für die jeweiligen Prozesse vorzunehmen und damit eine hohe Planungsgüte zu erreichen. Hier setzt dieses Vorhaben mit Fokus auf die logistischen Prozesse im kundenindividuellen Anlagenbau der Unikat- und Kleinserienfertigung an. Basierend auf historischen Projektdaten und Expertenwissen wird eine Methodik als Prognosebasis bereitgestellt, mit der eine abgesicherte Schätzung der Dauer logistischer Prozesse möglich wird.

Der entwickelte allgemeine Methodenbaukasten basiert auf Logistikreferenzprozessen der Unikat- und Kleinserienfertigung, Einflussparametern, die sich auf die Prozessdauer auswirken, sowie auf quantifizierbaren Wirkzusammenhängen dieser Einflussparameter mit Bezug auf die Prozessdauer. Er stellt zudem mathematische Berechnungsregeln zur Prognose der Prozessdauer zur Verfügung und führt die erarbeiteten Wissensstrukturen in einer Ontologie zusammen. Ein systematisches Vorgehensmodell erlaubt eine unternehmensspezifische Adaption des Methodenbaukastens; das unternehmensspezifisch relevante Regelwerk zur Berechnung der Prozessdauer oder zur Analyse historischer Daten kann als sogenanntes Schätz-Plug-in in ein Projektmanagementwerkzeug eingebunden werden. Die Methodik ist in Form eines Demonstrators in drei Teilen evaluiert worden: (1) Nutzung von Expertenwissen, (2) Analyse von Zusammenhängen aus historischen Daten und (3) Nutzung der Simulation zur Generierung belastbarer Daten. Der dritte Teil ist ergänzt worden, da historische Daten nicht bei allen Projektpartnern zur Verfügung standen.

Die konzipierte Methodik erlaubt eine umfassende Formalisierung von Expertenwissen und auf dieser Basis eine valide Quantifizierung der Prozessdauer und ist auch auf Unikat- und Kleinserienfertiger außerhalb des Anlagenbaus übertragbar. Diese Prognosen bilden die Grundlage für eine anschließende simulationsgestützte Absicherung des Gesamtprojektplans. Die Vertreter der Industrieunternehmen im projektbegleitenden Ausschuss (PA) bestätigten Nutzen, Praktikabilität und Übertragbarkeit der Methodik.

Das Ziel des Forschungsvorhabens wurde erreicht.



2 Einleitung

Der kundenindividuelle Anlagenbau zeichnet sich durch die Herstellung von Unikaten und Kleinserien nach dem Baustellenprinzip aus. Im Vergleich zur stationären Serienfertigung findet die Baustellenfertigung an individuellen Standorten statt und stellt somit hohe Anforderungen an die Anlagenplanung, -realisierung und -inbetriebnahme, da diese von systemtechnischen und konstruktiven Randbedingungen, lokalen Standortgegebenheiten, den organisatorischen Projektvorgaben, wie z. B. Bauabschnitte, Produktionsschritte oder Ressourcendisposition, sowie den damit verbundenen logistischen Restriktionen abhängen (Wenzel, Laroque 2013).

Die logistischen Abläufe im kundenindividuellen Anlagenbau werden in diesem Kapitel zunächst im Rahmen einer wissenschaftlich-technischen und wirtschaftlichen Problemstellung näher betrachtet. Dem schließt sich eine Erläuterung des Forschungsziels, der angestrebten Forschungsergebnisse und ihrem innovativen Beitrag an. Das Kapitel schließt mit der Beschreibung des Lösungsweges zur Zielerreichung ab.

2.1 Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Problemstellung

Die termingerechte Fertigstellung und Lieferung eines Produktes ist heute ein wichtiger Wettbewerbsfaktor für produzierende Unternehmen. Dies gilt insbesondere für den kundenindividuellen Anlagenbau (Unikat- und Kleinserienfertigung), der in der Regel durch KMU geprägt ist. Zudem wird die im Kontext Industrie 4.0 geforderte Individualisierung von Produkten zu einem wichtigen Wettbewerbsmaßstab (vgl. z. B. Spath et al. 2013). In diesem Zusammenhang bestimmen neben der Ausgestaltung der produktionsnahen Prozesse die zuverlässige Terminierung der Herstellung und damit auch eine valide Planung der logistischen Prozesse den Erfolg eines Projektes. Allerdings sind diese Prozesse in der Regel kundenauftrags- oder bauteilspezifisch und zudem mit Unsicherheiten verbunden, die u. a. durch fehlende Produktionsvoraussetzungen, wie z. B. nicht vorhandenes Material, oder nicht gegebene Bedingungen in der Produktionsumgebung, wie z. B. zu hohe oder zu niedrige Temperatur oder Feuchtigkeit, begründet sein können. In den Unternehmen selbst stehen aufgrund der heute bereits eingesetzten Projektmanagementwerkzeuge historische Projektdaten prinzipiell zur Auswertung zur Verfügung (Burghardt 2002), sodass eine Analyse der gespeicherten Daten aus vergangenen Projekten die Grundlage für die Verbesserung der Planung schaffen könnte. Allerdings ist eine einfache Nutzung historischer Daten für ein neues Projekt in der betrachteten Unikat- und Kleinserienfertigung kundenspezifischer Bauteile nicht möglich, da das Erfahrungswissen aus vergangenen Projekten nicht 1:1 übertragen werden kann. Prozessparameter und insbesondere die Prozessdauer sind von dem jeweils zu betrachtenden Bauteil abhängig. Aus diesem Grund schätzen die Fachexperten heute nur grob die Prozessdauer ab und planen kostspielige Zeitpuffer ein. Zwar

können Wirkzusammenhänge von Unikatbauteilen und deren logistische Prozesse abgebildet werden (vgl. hierzu beispielsweise Heidmann 2015; Voigtmann 2014; Szczesny, König 2015 oder auch Gutfeld et al. 2014 sowie Jessen et al. 2015), es hat sich allerdings gezeigt, dass die hohe Kundenspezifität (siehe Abbildung 2-1) und Komplexität der Anlagen keine einfache Übertragung von Standardisierungen im Produktgeschäft zulassen (Gepp 2014). Während in der Serienfertigung die anfallenden logistischen Prozesse bereits als Bestandteil der Fabrikplanung ausgestaltet und technisch umgesetzt sind, werden diese in der Auftragsfertigung (Unikat- und Kleinserienfertigung) bauteilabhängig bei der konkreten Projektplanung erst nach Auftragserteilung ergänzt.

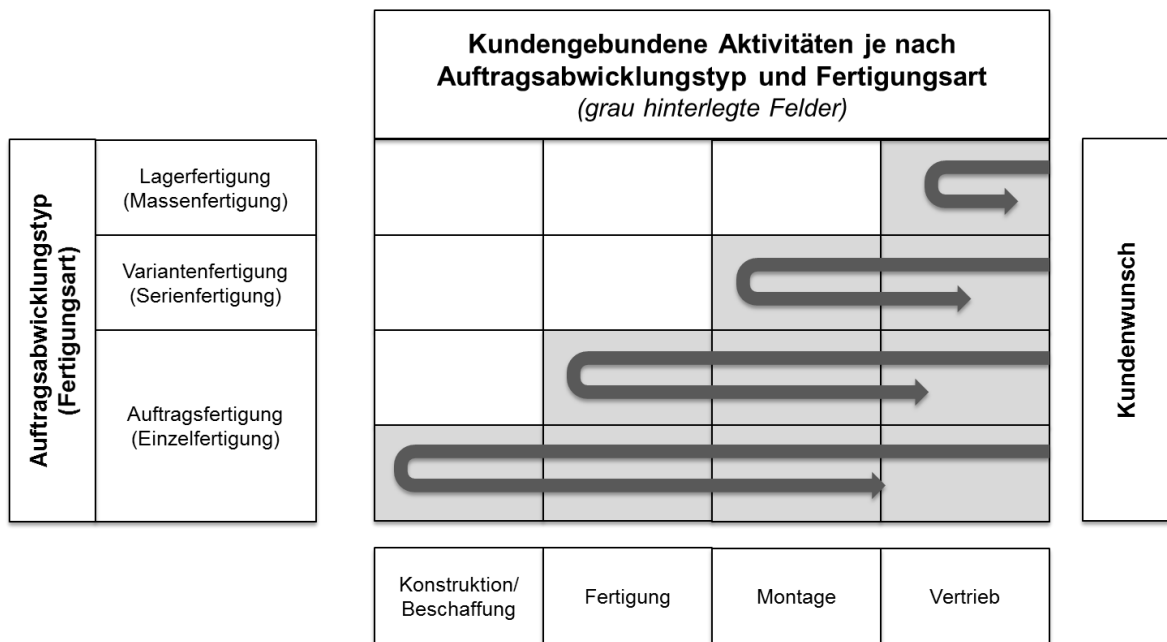


Abbildung 2-1: Einordnung nach Kundeneinfluss (in Anlehnung an Groß 2010, S. 75)

Der Bau einer kundenindividuellen Großanlage erfolgt in der Regel in Form einer Baustellenfertigung; Kleinserien werden in Abhängigkeit des Bauteiltyps auch im Werkstattprinzip gefertigt. Logistische Arbeitsabläufe auf der Baustelle (zu den Aufgaben der Baustellenlogistik vgl. z. B. Schach, Schubert 2009) werden in der Regel nicht direkt vorgegeben und sind anhand der montagebedingten Terminplanung zu entscheiden (zu den Hauptkomponenten der Baustellenlogistik siehe Abbildung 2-2). Hierzu zählen beispielsweise die Planung von Schwerlasttransporten (z. B. Anzahl, Größe oder auch Streckenwahl) auf Basis der spezifizierten Teilmodule großer Anlagen, die Dimensionierung und Zerlegung kleinerer Unikate sowie deren Versand und Transport zum Kunden (z. B. Kapazitätsplanung der Auslieferungstouren). Auch die Bereitstellung innerbetrieblicher bzw. baustellenspezifischer Transportmittel, wie Kräne oder Stapler mit spezieller Ausrüstung, ist individuell zu planen und zu terminieren.

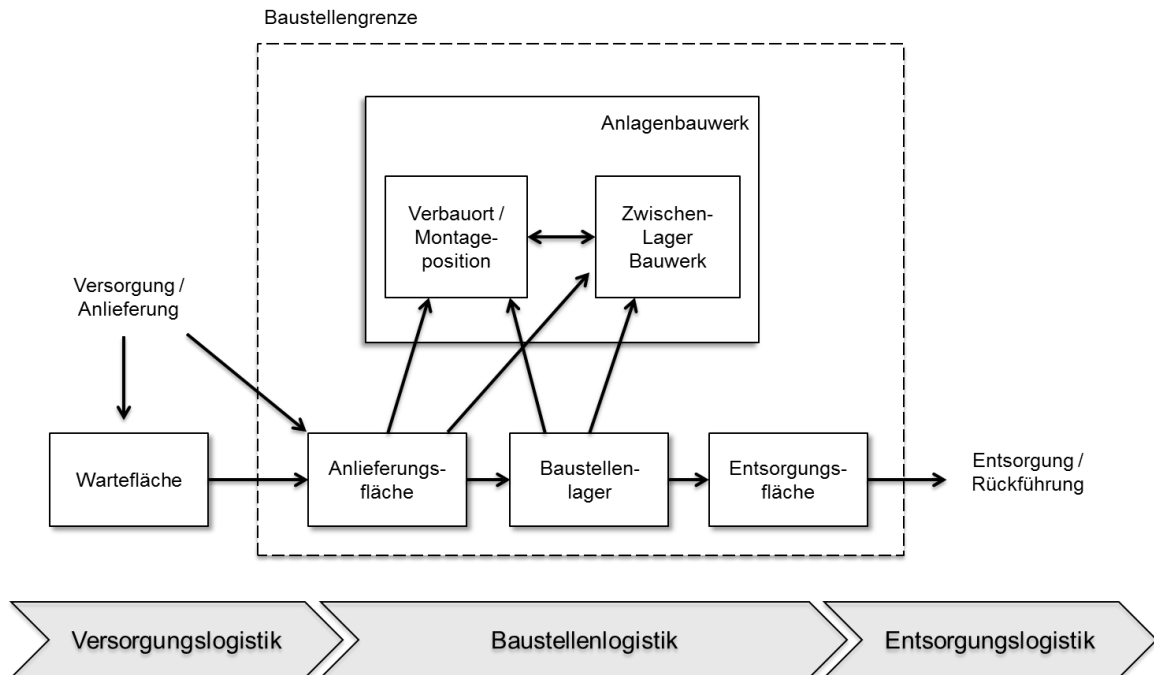


Abbildung 2-2: Hauptkomponenten der Baustellenlogistik (in Anlehnung an Schach, Schubert 2009, S. 60)

Der kundenindividuelle Anlagenbau sichert seine Position am Markt durch eine verlässliche und sichere Projektplanung. Um Liefertermine zu erfüllen, müssen Projektpläne eingehalten werden, die insbesondere die zeitliche Machbarkeit logistischer Prozesse und Kalkulation der zugehörigen Aufwände einschließen. Den produzierenden KMU fehlt es heute jedoch an einer praktikablen Methodik, um für die Auftragsfertigung exakte Terminplanungen zu den logistischen Prozessen vorzunehmen und somit eine hohe Planungsqualität zu erreichen. Erfahrungen aus vergangenen Projekten können aufgrund der Produktindividualität nur indirekt in diese Abschätzungen einfließen.

2.2 Forschungsziel und angestrebte Ergebnisse

Aus der in dem vorangegangenen Abschnitt 2.1 dargelegten Problemstellung ergibt sich als wesentliches Ziel des Forschungsprojektes die Bereitstellung einer Methodik zur Prognose der Prozessdauer als Entscheidungsunterstützung für die beteiligten Planer in Ergänzung zu den bei den KMU im Einsatz befindlichen Projektmanagementwerkzeugen. Bestehende Methoden der Datenanalyse zur Aufdeckung von strukturellen und logischen Abhängigkeiten, Methoden zur Wissensakquisition und -strukturierung zur Schaffung einer Wissensbasis sowie für das Anwendungsgebiet Unikat- und Kleinserienfertigung spezifische Simulationsmodelle zur dynamischen Absicherung einer geschätzten Prozessdauer werden genutzt, sodass eine verbesserte Entscheidungsunterstützung für Unikat- und Kleinserienfertiger möglich ist und der Planungsprozess insgesamt hochwertiger erfolgen kann. Dies ermöglicht den Unikat- und Kleinserienfertigern bei der Planung zukünftiger Projekte

einen Wissensvorsprung gegenüber Wettbewerbern, die diese Entscheidungsunterstützung nicht nutzen, und reduziert deren Abhängigkeit von Planern als Wissensträger.

Im Einzelnen ergeben sich im Rahmen des Forschungsvorhabens folgende Ziele:

➤ *Nachnutzung vorhandenen Projektwissens für nachfolgende Projekte*

Die Wiederverwendung von vorhandenem Projektwissen für nachfolgende Projekte ist eine Herausforderung und bedarf einer methodischen Herangehensweise. Durch den Einsatz der Methodik im Planungsprozess wird vorhandenes Projektwissen nachnutzbar, um Prognosen für die Dauer von logistischen Prozessen in der Unikat- und Kleinserienfertigung vorzunehmen. Das in Unternehmen vorhandene Wissen von beteiligten Experten im Projektplanungsprozess wird mit Hilfe eines geeigneten Vorgehensmodells so formalisiert, dass dieses im Zuge künftiger Projektplanungen für die Prognose der Dauer logistischer Prozesse genutzt werden kann. Somit entsteht eine fundierte Entscheidungsbasis. Der Planungsaufwand, die Planungszeit sowie die Planungskosten reduzieren sich somit aufgrund der effizienteren und schnelleren Planung, da sowohl Projektplanungsergebnisse als auch Expertenwissen aus vorangegangenen Projekten für die neue Projektplanung wiederverwendbar sind.

➤ *Kontinuierliche Verbesserung der Planungsdatenqualität*

Durch die Nutzung der Methodik sollen Projekterfahrungen auf Folgeprojekte übertragen werden, sodass eine abgesicherte und qualitativ hochwertige Projektplanung aufgrund steigender Planungsqualität, -genauigkeit und -sicherheit erreicht wird. D. h. durch die Berücksichtigung von Wissen aus vorangegangenen Projekten wird die der Methodik zugrunde liegende Datenbasis kontinuierlich verbessert, indem diese Datenbasis mit neuem Erfahrungswissen aus neuen Projekten angereichert wird. Die Planungsdaten werden mit jeder neuen komplexen Planungsaufgabe sicherer vorhersagbar, da das Projektwissen für den Planungsprozess eines Unikates stetig erweitert wird. Somit minimieren sich letztendlich Risiken bei der Projektdurchführung, da die Planungsdatenqualität kontinuierlich verbessert wird.

➤ *Einbeziehung von Expertenwissen und Vergangenheitsdaten*

Als weitere Zielsetzung wird die Berücksichtigung von Expertenwissen und historischen Daten zum einen für die Entwicklung der Methodik, zum anderen für die unternehmensspezifische Anwendung verfolgt. Dazu ist mit Hilfe wissenschaftlich-empirischer Methoden sowie Methoden der Datenanalyse eine Datenstruktur zu entwickeln, um ein allgemeingültiges Prognosemodell aufzustellen. Durch die Analysen können logistische Prozesse in der Unikat- und Kleinserienfertigung sowie eine allgemeingültige Beschreibung von spezifizierenden Parametern, die eindeutig und quantifizierbar mit der Prozessdauer zusammenhängen, ermittelt werden. Weiterhin sind Expertenwissen und Vergangenheitsdaten aus einem konkreten Unternehmen für die Prognose einer bestimmten logistischen Prozessdauer zu

berücksichtigen. Die Prognose der logistischen Prozessdauer wird über Parameterwerte möglich und verbessert somit die Güte des Gesamtprojektplans. Im Rahmen des Projektes wird erarbeitet, welche der historischen Daten notwendig sind, welche Daten typischerweise bei den betrachteten KMU verfügbar sind und wie Expertenwissen für die Planung aufzubereiten ist, um die vorhandenen Daten und das vorliegende Wissen effizient in neue Projekte zu überführen.

- *Abbildung unternehmensspezifischer Ursache-Wirkungszusammenhänge zwischen Produkt- (Auftrags)- und Prozessanforderungen in Bezug auf die Spezifika des durchführenden Unternehmens*

Unternehmen weisen in Abhängigkeit ihrer Produkte, Auftragsstruktur und Unternehmensprozesse unterschiedliche Anforderungen auf, die in der Methodik zu berücksichtigen sind. Unternehmensspezifische Ursache-Wirkungszusammenhänge sollen als Ziel in das Prognosemodell einfließen. Dies soll ebenfalls unter Einbeziehung von Expertenwissen und historischen Daten aus vergangenen Projekten in unterschiedlichen Unternehmen erfolgen, um eine Allgemeingültigkeit der Zusammenhänge zu schaffen.

Als Ergebnis soll eine Methodik vorliegen, die eine umfassende Formalisierung von Expertenwissen und Analyse von historischen Projektdaten erlaubt und auf dieser Basis eine valide Quantifizierung der Prozessdauer ermöglicht. Sie soll zudem auf Unikat- und Kleinserienfertiger außerhalb des Anlagenbaus übertragbar sein. Die Methodik wird anwenderfreundlich und werkzeugneutral als Add-on zu den heute bei den KMU im Einsatz befindlichen Projektmanagementwerkzeugen konzipiert, um eine hohe Akzeptanz bei den KMU zu erreichen. Dies gewährleistet eine praktische Anwendung der Methodik in produzierenden KMU, die bisher von keinem Projektmanagementwerkzeug bereitgestellt wird. Eine Umsetzung der Methodik als Demonstrator und eine Evaluation des Demonstrators in der praktischen Anwendung kann im weiteren Verlauf zu einer Erweiterung der auf dem Markt vorhandenen Projektmanagementwerkzeuge führen.

2.3 Innovativer Beitrag der angestrebten Forschungsergebnisse

Die Innovation in der Entwicklung der Methodik liegt in der praktikablen Nutzbarmachung bestehender Methoden der Datenanalyse, verknüpft mit externalisiertem Expertenwissen als verfügbarem Projektwissen des Unternehmens. Somit wird eine verbesserte Entscheidungsunterstützung für KMU möglich und der Projektplanungsprozess insgesamt qualitativ hochwertiger.

Der Einsatz der Methodik führt dazu, dass sich die Planungsdatenqualität basierend auf einem Regelwerk kontinuierlich verbessert. In der Methodik wird Expertenwissen in Form einer Ontologie formalisiert, die als Wissens- und Datenstruktur für die Prognose der Dauer logistischer Referenzprozesse dient. Ebenfalls werden verfügbare Unternehmensdaten aus

vorherigen Projekten und Prozessen einbezogen, um auf die Dauer von logistischen Prozessen in Abhängigkeit auf vergleichbare Restriktionen schließen zu können. Diese Abhängigkeiten sind jeweils als Berechnungsregel formalisiert und in einem Regelwerk zusammengefasst. Unternehmensspezifische Ursache-Wirkungszusammenhänge zwischen Produkt- (Auftrags-) und Prozessanforderungen werden ebenfalls in Bezug auf die Spezifika des durchführenden Unternehmens in Berechnungsregeln und dem unternehmensspezifischen Regelwerk abgebildet.

Die Anwendung der Methodik in einem praktischen Umfeld erfolgt durch einen Demonstrator, der als konzeptionelle Grundlage für mögliche IT-Lösungen dient. Eine Übertragung der Methodik auf andere Branchen mit ähnlichem Charakter kann nach Projektabschluss potenziell in Betracht gezogen werden.

2.4 Lösungsweg zur Zielerreichung

Zur Erreichung der in Abschnitt 2.2 aufgeführten Ziele gliedert sich der Lösungsweg in vier Teilbereiche, deren Zusammenspiel in Abbildung 2-3 einzusehen ist.

In Teilbereich (1) werden zunächst logistische Referenzprozesse für die Unikat- und Kleinserienfertigung entwickelt sowie deren Einflussparameter, wie z. B. Länge, Gewicht oder Material des Bauteils oder auch Kapazität der technischen oder personellen Ressourcen, auf die Prozessdauer bestimmt. Mit Hilfe von Expertenwissen sind die Einflussparameter und ihre Interdependenzen einerseits und ihr Bezug zur Prozessdauer andererseits abzuleiten und in einem theoretischen Ursache-Wirkungsmodell zusammenzuführen. Basierend auf den theoretischen Ursache-Wirkungszusammenhängen ist es möglich, unter Einsatz historischer Daten die Dauer eines konkreten logistischen Referenzprozesses zu schätzen. In Teilbereich (2) wird als Basis für den Schätzprozess ein allgemeingültiger Methodenbaukasten entwickelt, der Managementmethoden zur Externalisierung und Systematisierung des Expertenwissens sowie Methoden der (statistischen) Datenanalyse und Datenverarbeitung umfasst. Die Unsicherheit der Schätzung wird statistisch quantifiziert, sodass die Methodik eine bewertbare Abschätzung der ermittelten Dauer eines logistischen Prozesses zur Projektplanung leistet. Analog zu einer entwickelten Methodik aus einem vorangegangenen Forschungsprojekt (Abschlussbericht siehe Gutfeld et al. 2015) erfolgt eine abschließende simulative Absicherung der Projektpläne, die die Validität der ermittelten Prozessdauer sowie die Auswirkungen auf die Gesamtplanung sicherstellen.

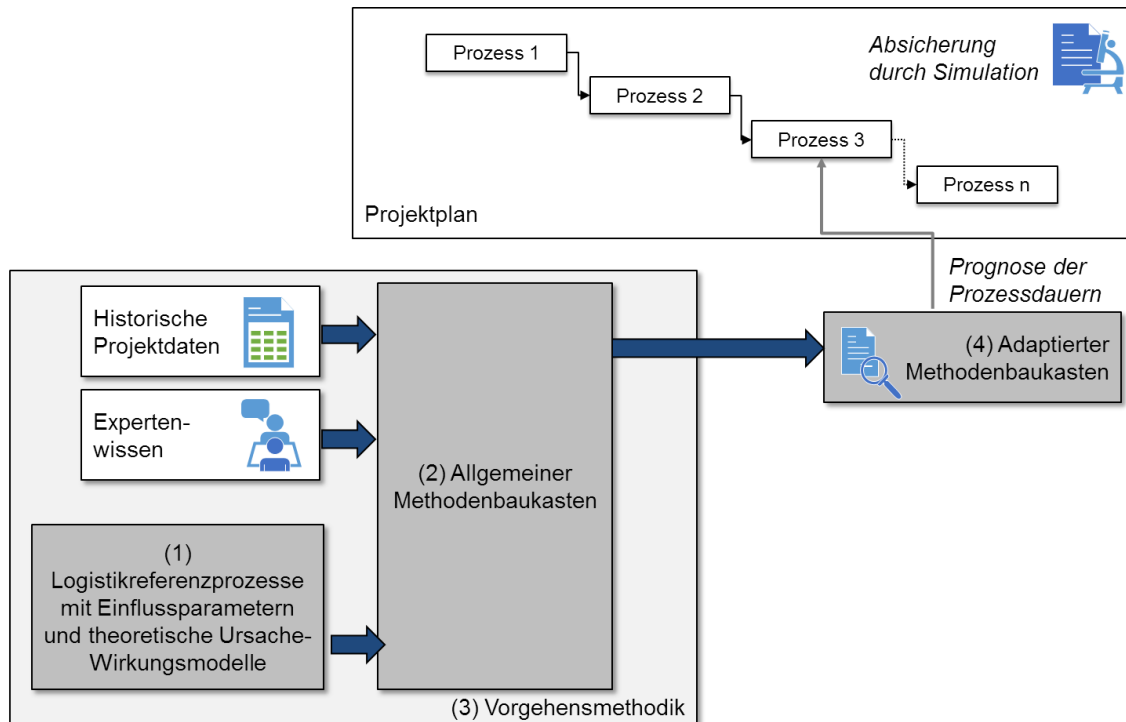


Abbildung 2-3: Zusammenspiel der Teilbereiche von SimCast

Der allgemeingültige Methodenbaukasten wird unternehmensspezifisch für KMU adaptiert, wofür eine Vorgehensmethodik (3) entwickelt wird. Um eine hohe Qualität bei der Prognoseberechnung zu garantieren, sind die Managementmethoden zur Externalisierung und Systematisierung des KMU-spezifischen Expertenwissens und die zur Verfügung stehenden Datenanalysemethoden unterstützend durch das Vorgehensmodell in dem KMU einzusetzen.

Im Zuge der Entwicklung des Demonstrators in Teilbereich (4) werden die Ergebnisse aus Teilbereich (2) und (3) in einen Projektplanungskontext eingebettet. Sie werden somit im operativen Projektmanagementprozess nutzbar gemacht, um die Dauer logistischer Prozesse in neuen Projekten zeitlich abzuschätzen. Die Projektpläne können zusätzlich durch Simulation abgesichert werden. Vorgehensmethodik als auch Methodenbaukasten werden mit Hilfe eines lauffähigen Demonstrators evaluiert, der als Projektergebnis vorliegt. Die Entwicklung des Demonstrators wird in Abschnitt 4.2.10 sowie die Evaluation der Umsetzung des Demonstrators als Teil der Methodik des Gesamtkonzeptes in Abschnitt 4.2.12 detailliert beschrieben.

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 der Prognose bzw. Schätzung der Dauer von Projekten, der Erhebung, Strukturierung und Nutzung von Expertenwissen, Analyse von Prozessdaten sowie dem Einsatz der Simulation zur Validierung von Projektplänen.

3.1 Prognose der Dauer von Prozessen in der Projektplanung

Die rechtzeitige Fertigstellung und Lieferung eines Produktes sowie die im Rahmen der vierten industriellen Revolution erforderliche Individualisierung der Produkte sind heute wichtige Wettbewerbsfaktoren für produzierende Unternehmen. Wie bereits in Gutfeld et al. (2014) und Gutfeld et al. (2015) argumentiert, unterscheidet sich aber die kundenspezifische Konstruktion von Anlagen, Maschinen oder Einzelstücken im Allgemeinen deutlich von der stationären Serienfertigung. Neben technischen und strukturellen Grenzen sind organisatorische Projektspezifikationen (z. B. Produktionsschritte, Bauphasen oder Ressourcendisposition) und logistische Randbedingungen relevante Aspekte. Insbesondere in einer Unikatfertigung lassen sich aufgrund der projektspezifischen Kundenaufträge und Komponenten nur wenige Annahmen ableiten, um Prozesszeiten aus früheren Projekten zu ermitteln und 1:1 auf neue Projekte zu übertragen. Für Kleinserienfertiger gilt das in den meisten Fällen analog, weil die jeweilige Serie zwar aus gleichen Produkten für einen bestimmten Kunden besteht, weitere Kunden jedoch für ihr Unikat bzw. ihre Kleinserie spezifische Anpassungen fordern. Die Auftragsabwicklung ist mit einer hohen Kundenspezifität und Komplexität behaftet, die eine Übertragung der Standardisierung im Produktgeschäft verhindert.

Die Planung und Ausführung dieser Fertigungsaufträge kann als Projektmanagementaufgabe verstanden werden. IT-gestützte Projektmanagementwerkzeuge werden dabei häufig zur Unterstützung der Projektplanung eingesetzt und spielen eine entscheidende Rolle für eine erfolgreiche Projektabwicklung. Pmbok (2013) definiert Projektmanagement als die Anwendung von Wissen, Fähigkeiten, Werkzeugen und Techniken auf Projektaktivitäten zur Erfüllung der Projektanforderungen. Nach DIN 69901:2009 umfasst das Projektmanagement 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). Ziele der Verbesserung im Projektmanagement liegen im Verkürzen der Zeiten für Produktion und Logistik, 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. Nach DIN 69901:2009 ist der Begriff Projekt definiert als „Vorhaben, das im Wesentlichen durch Einmaligkeit der Bedingungen in ihrer Gesamtheit gekennzeichnet ist

[, wie zum] Beispiel Zielvorgabe, zeitliche, finanzielle, personelle oder andere Begrenzungen [...] [und] 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, Dörrenberg 2003, S. 4), die Änderung des Projektcharakters im zeitlichen Verlauf (Kuster et al. 2011, S. 4) oder die „Teamarbeit“ und „Interdisziplinarität“ (Zell 2003, S. 57).

Auffällig in der Projektdefinition ist die Hervorhebung der Neuartigkeit und Einzigartigkeit des zu planenden Vorhabens. So steht dies zunächst einmal im Widerspruch zur Kalkulation der Dauer einzelner Prozesse, die eine Wiederholbarkeit voraussetzt. Die Dauer eines Prozesses bezeichnet den Zeitraum zwischen Anfangs- und Endtermin. Dabei setzt die spezifische Ermittlung der Dauer für alle prozessinhärenten Vorgänge eine exakte Beschreibung der jeweiligen Arbeitsumfänge und der zu erledigenden vorgesehenen Hilfsmittel voraus (Gessler 2012). Im Gegensatz zur Serienproduktion können aber die Erfahrungswerte aus vergangenen Projekten aufgrund der kundenspezifischen Komponenten nicht direkt auf ein neues Projekt übertragen werden. Die historischen Daten erfolgreicher Projektpläne sind daher nur bedingt nutzbar. Experten schätzen in der Praxis die Prozesszeiten daher grob manuell und addieren insbesondere die logistischen Prozesszeiten zur Gesamtprojektzeit. Obwohl Wechselwirkungen zwischen einzigartigen Produkten und ihren logistischen Prozessen abgebildet werden können (siehe z. B. Heidmann 2015; Voigtmann 2014; Szczesny, König 2015), sind diese Prozesse mit starken Unsicherheiten aufgrund von Kundenauftrags- oder Komponentenspezifität sowie aufgrund von Störfaktoren verbunden. Da ein sicheres Zeitmanagement im globalen Wettbewerb wichtig ist, fügt der Projektplaner zusätzliche Zeitpuffer hinzu. Insbesondere muss die Planung eines bestimmten Zeitraums für jeden (Teil-)Prozess eines Projektes geschätzt werden. Akhavian und Behzadan (2013) sowie Xie et al. (2011) schlagen verschiedene Ansätze zur Verbesserung der Schätzung von Projektlaufzeiten durch Wissensextraktion oder die Erhebung von Echtzeitdaten für konkrete Einzelfälle vor, beziehen sich aber nicht auf logistische Prozesszeiten in der Einzel- oder Kleinserienfertigung.

3.2 Nutzung von Schätzmethode zur Ermittlung einer Prozessdauer

Einfache Instrumente zur Schätzung der Dauer von spezifischen Prozessen im Rahmen eines Projektes, die im Rahmen dieses Vorhabens von Interesse sind, umfassen die Klasse der Vergleichsmethoden (Burghardt 2002), da sie einen Bezug zwischen vergangenen Entwicklungen und der geplanten Entwicklung herstellen und sich der Erfahrungsdaten abgeschlossener Entwicklungsobjekte bedienen. Hierzu zählt u. a. die Analogiemethode, die mittels der Funktionswertmethode oder der EDB-Methode (Erfahrungsdatenbank-Methode) und der Relationsmethode ermittelt wird (Burghardt 2002). Die Kennzahlenmethode wird in der Literatur als weitere Methodik bzw. als Instrument zur Aufwandsschätzung genannt.

Hier werden wie bei der Vergleichsmethode projekt- und produktspezifische Messdaten abgeschlossener Entwicklungsvorhaben systematisch gesammelt.

Die stetige Weiterentwicklung und Verfeinerung der Schätzmethode führen zu algorithmischen Methoden der Aufwandsschätzung durch die Anwendung von Formeln, die durch empirische und mathematische Methoden bestimmt werden. Zu diesen Methoden zählen unter anderem auch die parametrischen Schätzmethode sowie die Faktoren- bzw. Gewichtungsmethode. Die parametrischen Schätzmethode stellen einen formelmäßigen Zusammenhang zwischen einer messbaren Produktgröße und dem dafür erforderlichen Aufwand an Personal und Zeit her, die über entsprechende Heuristiken kalibriert werden. Für diese Aufwandsschätzung werden das Constructive Cost Model (COCOMO) und das Programmed Review of Information for Costing and Evaluation (PRICE) als klassische Aufwandsschätzmethode genannt (Jenny 2001; Bundschuh, Fabry 2004). Die Faktoren- bzw. Gewichtungsmethode nutzen ein Wertesystem von Faktoren und Gewichtungszahlen, die quantitativ den Einfluss bestimmter Kriterien auf den Aufwand bzw. die Kosten einer Entwicklungsaufgabe ausdrücken. Hierzu werden das IBM-Faktorenmodell (International Business Machines Corporation Faktorenmodell) oder auch die Surböck- und die ZKP-Methode (Zeit-Kosten-Planung-Methode) herangezogen (Noth, Kretzschmar 1984).

Die oben aufgeführten Methoden sind allgemeine Methoden, die vorzugsweise in der Softwareentwicklung entstanden sind und dort auch ihre Anwendung finden; ein anwendungsspezifischer Bezug zu den Aufgaben der Logistikplanung im Bereich der Unikat- und Kleinserienfertigung oder auf die spezifischen Bedarfe der dortigen KMU zugeschnittenen Methodennutzungsmodelle sind nicht zu finden.

3.3 Erhebung von Expertenwissen

Eine Herausforderung komplexer Planungsaufgaben liegt darin, vorhandenes Expertenwissen, d. h. Erfahrungen der Experten bezüglich Methoden, Modellen, Planungsergebnissen oder auch Vorgehensweisen wiederverwendbar zu machen (vgl. in diesem Zusammenhang beispielsweise Laakmann 2005; Tiedemann 2005; Kessler et al. 2009; Willmann, Wenzel 2009; Willmann 2011). Wissen basiert auf Zeichen, Daten und Informationen; es entsteht in einem „Anreicherungsprozess“ (Probst et al. 2012), der nach North (2011) als eine "Wissenstreppe" dargestellt wird. Das Wissen kann mit Hilfe dazugehöriger Informationen beschrieben und dokumentiert werden. Beim Nutzen der Informationen wird das Wissen reproduziert bzw. wiedergegeben und neues Wissen kann dabei entstehen.

Das implizierte Erfahrungswissen (vgl. dazu in Polany 1985; Nonaka, Takeuchi 2012) bezieht sich insbesondere auf Wirkzusammenhänge und hat einen persönlichen Charakter; es gehört in erster Linie den Individuen einer Organisation. Das Erfahrungswissen ist schwer zu dokumentieren und zu vermitteln. Das Wissen ist mit den individuellen Tätigkeiten, Verpflichtungen und Kenntnissen sowie persönlichen Lebenserfahrungen verbunden. Mit Hilfe wissenschaftlich-empirischer Methoden, wie beispielsweise Befragungen, kann

das Erfahrungswissen der Experten erfragt und gesammelt werden. Bei einer Befragung wird eine erfahrungsbezogene Fragestellung systematisch aufbereitet und den Experten mit Hilfe von relevanten Informationen beschrieben (Möhring, Schlütz 2003). Zu den drei Grundmethoden der Informationserhebung gehören in der empirischen Sozialforschung die Methoden Befragung, Beobachtung und Inhaltsanalyse (dazu in Häder 2015; Bortz, Döhring 2006). Wenn das benötigte Wissen zur Problemstellung noch nicht in der geeigneten Form vorliegt, wird häufig als empirische Forschungsmethode die Befragung zur Generierung von notwendigen Informationen eingesetzt, um anschließend aus den gewonnenen Informationen das benötigte Wissen zu erarbeiten (Häder 2015). Die richtige Wahl einer für die Fragestellungen geeigneten Befragungsmethode (z. B. Experteninterview, Expertenbefragung, Gruppendiskussion oder Delphi-Befragung) ist bedeutend für die Qualität der mit ihr gewonnenen Informationen. Die Methoden der Befragung unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Standardisierung sowie hinsichtlich ihrer Kommunikations- (schriftlich oder mündlich) und Durchführungsform (Raithel 2008) und können sowohl direkt als auch indirekt sein (Naderer 2007; Kaya 2009). Bei den direkten Befragungsmethoden werden die Fragestellungen direkt und „ohne Umschweife“ den Befragten vorgestellt (Naderer 2007, S. 347). Die Befragungsperson kennt das Ziel und den Sachverhalt und gibt darüber im Rahmen der Befragung Auskunft. Dagegen nutzen die indirekten Befragungstechniken verdeckte Formulierungen bei den Fragen, um auf dem indirekten Wege eine Auskunft zum Befragungsziel zu erhalten. Mit den indirekten Befragungen werden Sachverhalte, wie Tabuthemen oder intrinsische Motivationen der Experten, untersucht. Aus den Antworten der Befragungspersonen werden dann die notwendigen Erkenntnisse abgeleitet (Naderer 2007, S. 347 f.). Nachfolgend werden zwei ausgewählte Befragungsmethoden vorgestellt, die im Rahmen des Projektes Anwendung finden.

Das Experteninterview als qualitative Forschungsmethode wird eingesetzt, um das Expertenwissen zu extrahieren, das sich insbesondere auf die praktischen Erfahrungen der interviewten Experten in technischen Bereichen bezieht (Helfferich 2014). Das Experteninterview hat dadurch meist einen subjektiven Charakter (Helfferich 2014). Um eine Vergleichbarkeit zwischen den Ergebnissen der Interviews herzustellen, wird ein Leitfaden für die Interviewdurchführung genutzt, dadurch wird das Interview auch thematisch strukturiert. Helfferich (2014), Meuser und Nagel (2013) sowie Meuser und Nagel (2009, S. 54) empfehlen beim Erstellen des Leitfadens, dass sich die formulierten Fragen nur auf persönliche Erfahrungen der Experten und nicht auf die institutionsbezogenen Aspekte beziehen. Für die Auswertung der Ergebnisse wird mit Einwilligung des Experten eine Tonaufzeichnung des Interviews erstellt und mit den handschriftlichen Notizen des Interviewers (z. B. Protokollen) verglichen (Borchardt, Göthlich 2009, S. 40). Dabei erfolgt die Auswertung eines Experteninterviews anhand der thematischen Zusammenhänge und nicht nach dem tatsächlichen Interviewverlauf (Meuser, Nagel 2009, S. 56). Meuser und Nagel (2009) schlagen für die Auswertung der Interviews ein systematisches Vorgehen in sechs Schritten vor (siehe dazu Meuser, Nagel 2009, S. 54 f.).

Die Delphi-Methode ist eine besondere Form einer Befragung und gilt als eine etablierte Methode mit der Grundidee, einen festgelegten Expertenkreis mehrstufig und strukturiert zu einem Sachverhalt (Forschungsfrage) zu befragen und dann die gewonnenen Informationen problemspezifisch zu analysieren. Das Ziel dieser Befragung ist, das Erfahrungswissen der Experten zu sammeln, um mit einer komplexen Problemstellung (z. B. Herleitung von Prognosen) umzugehen (Linstone, Turoff 1975). In der Fachliteratur existieren mehrere Definitionen für eine Delphi-Methode und mehrere Varianten zu ihrer Durchführung. Häder (2015) beschreibt die Delphi-Methode als einen strukturierten und standardisierten „Gruppenkommunikationsprozess, bei dem Sachverhalte, über die naturgemäß unsicheres und unvollständiges Wissen existiert, von Experten beurteilt werden“ (Häder 2015, S. 361). Häder (2014) unterscheidet zwischen vier Delphi-Befragungstypen mit unterschiedlichen Zielen (Ideenaggregation, Bestimmung eines Sachverhaltes, Ermittlung von Expertenmeinungen, Konsensfindung). Bei einer Delphi-Studie werden die Expertenmeinungen zur Lösung einer Problemstellung anonym und in mehreren Befragungsrunden erfragt; somit werden subjektive Faktoren und gegenseitige Beeinflussung der Experten eliminiert. Hierzu werden zunächst die Problemstellung mittels eines Fragebogens operationalisiert und die Bewertungskriterien messbar gemacht (Häder 2015). Der Fragebogen bildet dann das grundlegende Kommunikationsmedium zwischen den Teilnehmern der Befragung und den Moderatoren des Gruppenprozesses.

Die Anwendungsgebiete von Delphi-Studien sind weitreichend, sie können zu Prognosen von zukünftigen Entwicklungen auf unterschiedlichen Gebieten von Wissenschaft und Technologie, aber auch zur Erforschung von verschiedenen Fragestellungen eingesetzt werden. Die klassische Delphi-Studie wird nach Häder (2014) durch mehrere Merkmale charakterisiert, wie das Verwenden eines formalisierten Fragebogens, die Befragung von Experten, die Anonymität der Einzelantworten, die Ermittlung einer statistischen Gruppenantwort, ein Feedback der Teilnehmer sowie eine oder mehrfache Wiederholung der Befragung. Diese klassische Vorgehensweise beinhaltet in der Regel vier Schritte: 1. Entwicklung eines standardisierten Fragebogens; 2. Wahl der Expertengruppe und anonymer Versand des Fragebogens; 3. Analyse der Expertenantworten; 4. Feedback an die Experten und Wiederholung der Umfrage bis zum vorher definierten Abbruchkriterium. Die Wiederholung der Umfrage führt zur Komprimierung der einzelnen Meinungen in der Expertengruppe, da die Spannweite zwischen Expertenmeinungen minimiert wird und sich somit die Inhalte verdichten. Es wird auf diesem Wege ein eindeutigeres und objektiveres Ergebnis erzielt.

3.4 Strukturierung und Nutzung von Expertenwissen

Eine wesentliche Voraussetzung für die Nutzung von Expertenwissen ist deren Strukturierung und Bereitstellung, um einen schnellen Zugriff für Nutzer zu gewährleisten. Aus Sicht der Informationswirtschaft besteht die Aufgabe darin, ein Gleichgewicht zwischen Informationsangebot und Informationsnachfrage herzustellen, im vorliegenden Kontext also das

Expertenwissen einer definierten Zielgruppe zur Verfügung zu stellen (Krcmar 2015, S. 113). Der Lebenszyklus des Informationsmanagements sieht hierfür neben dem Management der Informationsverwendung und der Informations- und Kommunikationsinfrastruktur als übergeordnete Aufgaben den Zyklus, bestehend aus Management des Informationsbedarfs, der Informationsquellen, Informationsressourcen und letztlich des Informationsangebotes vor (Krcmar 2015, S. 119). Besondere Bedeutung kommt hierbei dem Management der Informationsressourcen zu, indem durch Informationsmodellierung, d. h. durch Strukturierung, Repräsentation, Speicherung, Verifikation und durch Herstellung eines physischen und intellektuellen Zugangs zur Information, aus einer Informationsquelle, z. B. Maschinendaten, Berichten, Handaufzeichnungen, Interviewergebnissen, eine ständig gepflegte und mehrfach verwendbare Informationsressource wird, aus deren Inhalten sich letztendlich nutzergerechte Informationsangebote generieren lassen.

Im Rahmen der Informationsmodellierung kommt der Strukturierung und Repräsentation von Information und Wissen eine zentrale Bedeutung zu, um einen effizienten Umgang mit Information zu ermöglichen. Hierbei kommen Metadaten zum Einsatz, die formale und inhaltliche Eigenschaften von Informationen beschreiben. In diesem Zusammenhang zeigt das „Münchener Modell des Wissensmanagements“ (Reinmann-Rothmeier 2001) ein Vorgehen auf. Aus Sicht der pädagogischen Psychologie beschreibt das Modell in Form einer Analogie zu den Aggregatzuständen des Wassers den Übergang des Alltagswissens, genutzt in täglicher Konversation und im Handeln (gasförmig), über erste Systematisierung und Bereitstellung in Form eines gemeinsamen, kontrollierten Vokabulars, z. B. als Thesaurus (flüssig), hin zu einem semantisch reichhaltigen Wissensmodell innerhalb einer Wissensdomäne in Form einer Ontologie (fest). Die Stufen bis dorthin beschreiben Blumauer, Pellegrini (2006) in Form einer „semantischen Treppe“, auf der mit jeder (Evolutions-) Stufe der semantische Gehalt und die formale Ausdrucksmöglichkeit zunehmen (Ullrich et al. 2004 in Dengel 2012, S. 93). Ausgangspunkt ist das *Glossar*, eine Liste von Begriffen mit deren jeweiligen natürlich sprachlichen Beschreibung; Beziehungen zu anderen Begriffen werden nicht formell festgehalten. Die *Taxonomie* ist eine Hierarchie von Begriffen eines Themenbereichs, die zum Beispiel aus einem Glossar stammen könnten. Mit ihr lassen sich Über- und Unterordnungsbeziehungen abbilden und Vererbungsbeziehungen darstellen (Dengel 2012, S. 48 ff.). Mit einem *Thesaurus* lassen sich neben einer Taxonomie auch terminologische Beziehungen (bspw. Synonyme, Homonyme, Äquivalenzbeziehungen) von Begriffen untereinander darstellen (Krcmar 2015, S. 135). *Topic Maps* ist der Name einer nach ISO (International Organization for Standardization) standardisierten semantischen Technologie zur Repräsentation von Wissen und zur Verknüpfung des repräsentierten Wissens mit relevanten Informationen (Dengel 2012, S. 93), mit der sich auch inhaltliche Beziehungen darstellen lassen.

Der Begriff *Ontologie* – in der Philosophie bezeichnet er die „Lehre vom Sein“ – beschreibt in der Informatik die „formale Definition von Begriffen und deren Beziehungen als Grundlage

für ein gemeinsames Verständnis“ (Busse et al. 2014, S. 286 f.). Ontologien sollen die Kommunikation zwischen Computeranwendungen untereinander, zwischen Computeranwendungen und Menschen, aber auch zwischen Menschen verbessern beziehungsweise ermöglichen (Busse et al. 2014). Die am häufigsten gebrauchte Definition von Ontologie in Bezug auf die Informatik ist die von Tom Gruber (Gruber 1993, S. 1, siehe auch Guarino 2009, S. 2): „An ontology is an explicit specification of a conceptualization.“ Uschold und Gruninger (1996, S. 5) stellen in ihrer Definition die Nutzung von Ontologien in den Vordergrund: „An ontology is a shared understanding of some domain of interest“.

Gemäß Dengel 2012 ist eine Ontologie eine Beschreibung der Nutzung gemeinsamer Symbole und Begriffe (Syntax), des gemeinschaftlichen (Ein-)Verständnisses bezüglich deren Bedeutung (Semantik), einer Klassifikation der Begriffe in Form einer Taxonomie sowie die Vernetzung der Begriffe mit Hilfe von assoziativen Relationen bei gleichzeitiger Definition von Regeln und Definitionen, die festlegen, welche Relationen sinnvoll und erlaubt sind (Dengel 2012, S. 65). Mit Ontologien kann Wissen einer Domäne formal repräsentiert und prinzipiell unabhängig von Programmen wiederverwendet werden. Sie beschreiben also Konzepte und ihre Beziehungen innerhalb einer Wissensdomäne und unterstützen Maschinen dabei, Inhalte im Web interpretieren zu können, anstatt sie einfach darzustellen und damit sämtliche Vernetzungstätigkeiten dem Menschen zu überlassen (Blumauer, Pellegrini 2006).

Ontologien lassen sich in zwei Dimensionen nach dem Grad ihrer Spezialisierung unterscheiden, nach ihrer Ebene, d. h. nach der Spezialisierung der Thematik des Konzeptes, sowie nach der Art des Konzeptes selbst (Krcmar 2015, S. 137; Heijst et al. 1997). Die Ebenensicht unterscheidet zwischen Top-Level-Ontologien (auch upper, generic), die allgemeines Wissen beschreiben, sowie Domänen-, Aufgaben- und Anwendungsontologien. Zudem werden drei Arten von Ontologien unterschieden: terminologische Ontologien, Informations- und Wissensontologien. Bekannte Beispiele für realisierte Ontologien sind WordNet (Wordnet 2019), eine große lexikalische Datenbank (DB) der englischen Sprache, und SUMO (Suggested Upper Merged Ontology) (SUMO 2019), die Begriffe verschiedener Wissensgebiete darstellt und durch eine Verknüpfung das WordNet ergänzt. Zahlreiche weitere Beispiele für Ontologien finden sich in Protégé-OL (2019). Anfangs galt der Anspruch der Entwickler, mit Hilfe von Ontologien ein normatives Modell für eine Domäne zu erstellen, sodass eine proprietäre Beschreibung des Wissens ausreichte. Inzwischen existieren auch für eine Domäne mehrere Ontologien nebeneinander, sodass die Funktion einer Ontologie weniger die korrekte Beschreibung der Realität als vielmehr die Unterstützung einer korrekten Interpretation eines gegebenen Datenbestandes ist (Stuckenschmidt 2011). Dies gilt auch für den Bereich Produktion und Logistik, in dem erste Domänen- und Anwendungsontologien vorwiegend im Rahmen von Forschungsarbeiten (siehe dazu in Bauer 2014; Glöckner 2017; Hayder 2014; Scheuermann 2012) entwickelt wurden.

Durch diese Entwicklung erhalten der Austausch zwischen Ontologien sowie die Mitnutzung von Ontologien durch standardisierte Modellierungssprachen und über entsprechend gestaltete Schnittstellen zunehmend an Bedeutung. Mit dem Resource Description Framework Schema (RDFS) (W3C-RDFS 2014) wird eine standardisierte Sprache (Syntax und formales Vokabular) definiert, in der sich Ontologien formulieren lassen. Neben RDFS existieren eine Reihe weiterer Ontologie-Beschreibungssprachen wie z. B. DAML+OIL (W3C-DAML+OIL 2001), deren direkter Nachfolger OWL (Web Ontology Language) (W3C-OWL 2012) auf RDFS aufbaut und den heutigen Standard für die Formulierung von Ontologien darstellt (siehe dazu Dengel 2012; Hitzler et al. 2008). Heute werden Nutzer bei der Erstellung von Ontologien durch Editoren, z. B. Protégé (Protégé 2019), (OWLGrEd 2019), unterstützt. Die Editoren geben einen Überblick über eine bestehende Ontologie in Form geeigneter Visualisierungen, u. a. für die Darstellung von Taxonomie und Beziehungen, Unterstützung bei der Manipulation der Ontologie durch entsprechende Formulare sowie bei der logischen Überprüfung der Ontologie. In Protégé lassen sich bereits Anfragen an die Ontologie formulieren und auswerten (Dengel 2012, S. 159; Stuckenschmidt 2011 S. 199). Als formale Sprache für derartige Anfragen hat sich mittlerweile SPARQL – SPARQL Protocol and RDF (Resource Description Framework) Query Language (W3C-SPARQL 2013) – als Standard etabliert, eine an SQL (Structured Query Language) angelehnte Sprache. Der Server Apache Jena Fuseki (Fuseki 2019) bietet die Möglichkeit, eine mittels OWL beschriebene Ontologie im Web über das Hypertext Transfer Protocol (HTTP) für SPARQL-Anfragen verfügbar zu machen. Somit sind eine direkte Nutzung und eine einfache Integration von Ontologien in bestehende Anwendungen möglich.

3.5 Analyse von Prozessdaten

Die Datenanalyse stellt im Rahmen der betrieblichen Entscheidungsfindung einen Prozessschritt dar, der mit Hilfe statistischer Methoden versucht, Informationen aus vorliegenden Datenmengen eines Geschäftsprozesses zu gewinnen und diese im Anschluss zu visualisieren und hinsichtlich gezielter Fragestellungen zu analysieren (Schieder 2016).

Um solch einen Analyseprozess effizient zu realisieren, bieten sich verschiedene statistische Verfahren an, insbesondere solche, die Zusammenhänge identifizieren, sowie Verfahren des Data-Mining, die versuchen, automatisiert Muster in Datenmengen zu erkennen und beispielsweise eine Kennzahl über eine Menge von Einflussparametern mathematisch bestmöglich abzuschätzen (Düsing 2006). Die eigentliche Datenanalyse als Teilprozess des Knowledge Discovery in Databases (KDD) ist ein iterativer Prozess zur Wissensentdeckung aus historischen Daten (Fayyad et al. 1996). Ziel ist es, bislang unbekannte fachliche Zusammenhänge aus erhobenen und meist sehr großen Datenbeständen zu identifizieren. Korrelationsanalyse und Data-Mining-Verfahren sind der eigentliche Analyseschritt des KDD-Prozesses. Der KDD-Prozess wird gemäß Böhm (2003) in die Schritte Selektion, Vorverarbeitung, Transformation, Data Mining und Interpretation/Evaluation gegliedert. In weiteren Iterationen kann bereits gefundenes Wissen in den Prozess integriert

werden, um in einem erneuten Durchlauf genauere Ergebnisse zu erhalten. Typische Methoden des Data-Mining sind die Clusteranalyse (Janssen, Laatz 2007), die Klassifikation (Ferber 2003), die Assoziationsanalyse (Chamoni, Gluchowski 2006), die Regressionsanalyse (Backhaus et al. 2016), die Ausreißeridentifikation (Sachs, Hedderich 2006) und die Korrelationsanalyse (Backhaus et al. 2016).

Die Durchführung von Datenanalysen im Unternehmen ist chronologisch und teilweise in Zyklen aufgebaut. Das prinzipielle Vorgehen, aus unstrukturierten und ungefilterten Daten Zusammenhänge und Muster zu identifizieren, kann mit Hilfe von Phasenmodellen erreicht werden. Gängige Phasenmodelle sind das Wasserfall-Modell (Abts, Mülder 2013; Leimeister 2015), das V-Modell (Rausch 2008), das Spiralmodell (Abts, Mülder 2013, Böhm 1981), CRISP-DM (Cross-Industry Standard Process for Data Mining) (Wirth, Hipp 2000) und der KDD-Prozess (Fayyad et al. 1996).

Für die im Rahmen dieses Forschungsvorhabens vorliegenden Fragestellungen sind aufgrund ihres beschreibenden Charakters von Beobachtungen insbesondere die Verfahren der Clusteranalyse und der Rangkorrelation nach Spearman von Interesse. Daher wird auf sie im Folgenden näher eingegangen.

Mit Hilfe der Clusteranalyse sollen Ähnlichkeitsstrukturen in großen Datenbeständen aufgezeigt werden. Ziel des Verfahrens ist es, neue Gruppen, Kategorien, Klassen oder Segmente in Daten zu identifizieren (Gluchowski 2008). „Die gefundenen Ähnlichkeitsgruppen können graphentheoretisch, hierarchisch, partitionierend oder optimierend sein“ (Schulte in Schwarz 2015, S. 201). Die einem Cluster zugeordneten Datensätze sollen in Bezug auf ihre Eigenschaften oder Merkmale möglichst homogen sein, die unterschiedlichen Clustern zugeordneten Datensätze sollen heterogen sein (Backhaus 2016). Außerdem können bei der Clusterbildung mehrere Merkmale parallel herangezogen werden. Voraussetzungen für die Anwendung der Clusteranalyse sind metrisch skalierte Merkmale, die einfach in die Analyse einfließen können; ordinal und nominal skalierte Merkmale müssen als Dummy-Variablen skaliert werden (Janssen 2007). Dummy-Variablen sind binäre Variablen, die nur die Werte 0 oder 1 annehmen können. Generell gilt, dass sich eine nominale Variable mit n Ausprägungen durch $n - 1$ Dummy-Variablen ersetzen lässt; dies gilt nur für unabhängige Variablen und nicht für abhängige Variablen (Backhaus et al. 2016). Merkmale, die in unterschiedlichen Dimensionen skaliert sind, können zu einer Ergebnisverzerrung führen. Diese Werte müssen vor der Durchführung einer Clusteranalyse standardisiert werden, zum Beispiel durch eine Z-Transformation (Stein 2011). Des Weiteren sollten die Merkmale nicht untereinander korrelieren.

Eine wichtige Aufgabe der Datenanalyse ist die Analyse des Zusammenhangs zwischen einzelnen Merkmalen. Die Stärke des Zusammenhangs von zwei quantitativen Merkmalen wird in der deskriptiven Statistik und Inferenzstatistik als Korrelation bezeichnet und kann in lineare und nichtlineare Korrelation unterschieden werden (Runkler 2015). Bei multivariaten Datensätzen wird zusätzlich für jedes Paar von Variablen der Korrelationskoeffizient

berechnet. „Zur Korrelationsanalyse werden vornehmlich Verfahren der klassischen, multivariaten, robusten und explorativen Statistik eingesetzt, aber auch verschiedenste nichtlineare Regressionsverfahren, deren Approximationsfehler als Korrelationsmaß verwendet werden können“ (Runkler 2015, S. 59). Voraussetzung für die Durchführung der Korrelationsanalyse ist die Normalverteilung der untersuchten Daten. In der Literatur werden die beiden wesentlichen Korrelationsuntersuchungen nach Pearson und nach Spearman unterschieden (Cleff 2008). Bei der Rangkorrelation nach Spearman werden die ursprünglichen x-Werte in ihre Ränge übertragen. Dabei wird jedem x-Wert aus x_1 bis x_n als Rang die Platzzahl zugeordnet, die der Wert bei größtmäßiger Anordnung aller Werte erhält (Fahrmeir et al. 2016, S. 136 f.).

Datenexploration und Datenvisualisierung finden in der Regel parallel zueinander statt. Mit der Präsentation und der Dokumentation der Ergebnisse in aufbereiteter, zumeist visuell dargestellter Form ist das formale Vorgehen zur Durchführung von Datenanalysen abgeschlossen und die Ergebnisse können verwendet und kommuniziert werden. Das Vorgehen wird evaluiert; Rückschlüsse zu den Ausgangsprozessen werden gezogen. Dieses Vorgehen kann mehrmals durchlaufen werden.

3.6 Einsatz der Simulation für die Validierung von Projektplänen

Die von den Planern durchgeführten Schätzungen zur Prognose der Dauer von logistischen Prozessen unterliegen nach wie vor einer gewissen Unsicherheit, die auf mangelndes Wissen und/oder eine Abhängigkeit von nicht beeinflussbaren Faktoren zurückzuführen ist. Eine in der Wissenschaft etablierte Methode zur Berücksichtigung von Unsicherheiten in der Entscheidungsfindung ist die Simulation.

Die heutigen Projektmanagementwerkzeuge bieten noch keine Methodik zur Unterstützung eines Planers bei der Repräsentation von Unsicherheit in den Projektplänen. Ansätze, die den Einsatz von Simulation berücksichtigen, wurden in der Vergangenheit vor allem aus akademischer Sicht diskutiert. Durch den Einsatz von Simulationen können zeitliche Unsicherheiten in der Logistik und im Projektablauf genauer eingeschätzt werden. Der hohe Anteil von Spezifika im Rahmen von Projekten der Unikat- und Kleinserienfertigung schränken die Anwendung der Simulation allerdings aufgrund fehlender Modellierungsvorgaben ein. Dennoch kann die Simulation eine nützliche Rolle spielen.

So sind spezifische Softwarewerkzeuge für verschiedene Anwendungsbereiche verfügbar, die einfache Projektszenarien simulieren und die Ergebnisse visualisieren, um die Planung und Steuerung von Großbaustellen zu unterstützen. Diese stellen basierend auf Standort- und Terminplänen lediglich Ereignisse und Abläufe über einen Zeitraum dar, ohne jedoch logistische Prozesse bei der Simulation zu berücksichtigen. Andere Werkzeuge berücksichtigen neben den Bauprozessen selbst auch die Überwindung von räumlichen Distanzen zwischen Bauorten, für die entsprechend zusätzlicher Zeitbedarf einzuplanen ist. Für Projekte des Straßen-, Schienen- und Rohrleitungs- oder Tunnelbaus ist so eine wesentlich



genauere Planung möglich (TILOS 2018). Das Werkzeug OTD-PM (Fraunhofer 2018) nutzt ein Prozesskettenmodell, das die Simulation und Visualisierung der Projektschritte vorsieht und die Berücksichtigung des logistischen Lieferantenprozesses ermöglicht. Simulatoren wie ProModel und Simio[®] bieten Erweiterungen zum Projektsimulator an, mit dem sich auf Basis von Projektplänen unterschiedliche Szenarien modellieren, simulieren und analysieren lassen (siehe dazu ProModel 2019; Simio 2019).

In der deutschen Schiffsbauindustrie wird das Simulationswerkzeug STS (Simulation Toolkit Shipbuilding) eingesetzt, das seit den 90er Jahren ständig an die kundenspezifischen Bedarfe im Schiffbau angepasst wird (Steinhauer 2008). Das Toolkit basiert auf dem Werkzeug Siemens Plant Simulation, enthält parametrisierte und wiederverwendbare Blöcke zur Modellierung verschiedener Aspekte der Fertigung und Logistik und kann darüber hinaus sogar den Einfluss von Wetterdaten in der ereignisdiskreten Simulation abbilden. Seit 2006 entwickelt die Forschungsstiftung zwischen Schiffbau und Tiefbau mit dem Titel "Simulation of Outfitting in Shipbuilding and Civil Engineering" (SIMoFIT 2018; Steinhauer 2011) einen Simulationsansatz auf der Basis von Randbedingungen. Ziel des Projektes ist ein simulationsbasiertes Planungstool, das die einzelnen Projektbeteiligten, Lieferanten, verschiedene Ausführungsvarianten, Auftragsabhängigkeiten und die dynamische Produktionsumgebung berücksichtigt. In dem beschriebenen Ansatz wird ein "ConstraintManager" in das STS integriert, sodass die Visualisierung des Bauprozesses und einzelner Arbeitsschritte nur unter Berücksichtigung von Vorgänger- und Nachfolgerbeziehungen möglich wird. Darüber hinaus sollten Abhängigkeiten von Zeit- und Ressourcenverfügbarkeiten, wie z. B. Materialien oder Personalressourcen, visualisiert werden können (siehe z. B. Beißert et al. 2010). Gemäß Steinhauer und König (2010) kann die simulationsbasierte Analyse, die üblicherweise in der Serienproduktion eingesetzt wird, so genutzt werden, um die Planungssicherheit von einzigartigen und kundenspezifischen Anlagen zu bewerten und die Effizienz der Anlagenproduktion zu steigern. Auf diese Weise sind auch für kleinere Unternehmen Verbesserungspotenziale im Anlagenbau möglich.

Im Rahmen des Projektes simject (Gutfeld et al. 2015) wurde ein Demonstrator entwickelt, der drei Ansätze für das Management von Anlagenbauprojekten integriert und vergleicht: deterministische Planung, Monte-Carlo-Simulation und Discrete Event Simulation (DES). Ein deterministischer Plan ist die Grundlage für die Planung. Die Simulation bietet sich an, wenn genauere Informationen über Projekttermine erforderlich sind und Informationen über die enthaltene Unsicherheit relevant sind. Grundsätzlich kann die Simulation zur Validierung von generierten Projektplänen auf unterschiedlich detaillierten Ebenen erfolgen. Liegen nur abstrakte Informationen zur Beschreibung von Arbeitsgängen und deren Dauer in einem Projektplan vor, lassen sich die Unsicherheiten bezüglich der Kalkulation der Dauer im Plan selbst abbilden. Hierzu steht mit der Monte-Carlo-Simulation ein leistungsfähiges Instrument zur Verfügung (siehe dazu Kwak, Ingall 2007). Dafür wird eine sehr große Zahl gleichartiger Zufallsexperimente generiert, mit denen sich Unsicherheiten in der Projektpla-

nung prinzipiell gut abbilden lassen. Liegen detaillierte Informationen zu Strukturen und Abläufen im Rahmen des geplanten Projektes vor, bietet sich die DES an. Viele ereignisdiscrete Simulationswerkzeuge, die ursprünglich vorwiegend für stetig ablaufende Produktionsprozesse entwickelt wurden, bieten die Möglichkeit, auch (logistische) Prozesse auf Baustellen oder in der Kleinserienfertigung abzubilden, wie z. B. Plant Simulation der Firma Siemens Tecnomatix oder Enterprise Dynamics der Firma Incontrol. Größerer Modellierungsaufwand kann durch spezifische Modellkomponenten reduziert werden, die Einheiten des Anwendungsbereichs darstellen. Im Rahmen des Projektvorhabens simject konnte gezeigt werden, dass die Simulation die Projektplanung verbessern kann (Gutfeld et al. 2015).

4 Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

In diesem Kapitel werden in Abschnitt 4.1 der Ablauf des Forschungsprojektes SimCast und die in den einzelnen Arbeitsschritten durchgeführten Arbeiten beschrieben. Anschließend werden in Abschnitt 4.2 die Ergebnisse der einzelnen Arbeitsschritte ausführlich erläutert.

4.1 Beschreibung des Projektablaufs

Zur Erreichung der in Abschnitt 2.2 definierten Projektziele erfolgt die Durchführung des Projektes gemäß Antrag in sieben Arbeitsschritten (AS). Die sieben AS sowie der zeitliche Verlauf ihrer Bearbeitung werden in Abbildung 4-1 dargestellt. Schwerpunkte des Forschungsprojektes bilden die Entwicklung eines allgemeinen Methodenbaukastens auf Basis von Expertenwissen, die Quantifizierung von Wirkzusammenhängen sowie die Entwicklung von Prognosemodellen unter Nutzung von Methoden der Datenanalyse und Simulation.

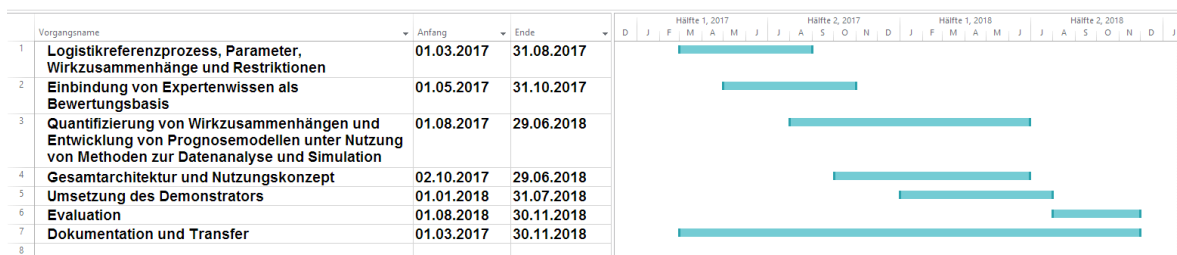


Abbildung 4-1: Arbeitsschritte von SimCast im zeitlichen Verlauf

In AS 1 werden zunächst logistische Referenzprozesse für KMU in der Unikat- und Kleinserienfertigung erarbeitet. Hierzu wird in der ersten PA-Sitzung am 07.04.2017 in Kassel nach einer Vorstellung des Forschungsvorhabens mit den Mitgliedern des PA (Liste der Industrieunternehmen siehe Anhang I) typische Logistikprozesse in der Unikat- und Kleinserienfertigung diskutiert. Diese werden um Ergebnisse des bereits durchgeführten Forschungsprojektes simject (Gutfeld et al. 2015) und Erkenntnisse aus einschlägigen systematischen Literaturanalysen ergänzt. Grundlage für die Erstellung logistischer Referenzprozesse ist ein umfassender Überblick über die Logistik in der Unikat- und Kleinserienfertigung sowie über den Umgang mit Daten in den jeweiligen Unternehmen. Dazu werden Einzelinterviews mit Hilfe eines dafür entworfenen Interviewleitfadens durchgeführt. Basierend auf den gewonnenen Erkenntnissen werden die definierten Logistikprozesse in ein Referenzmodell übertragen.

Der Fokus des ersten AS liegt in der Ermittlung möglicher Einflussparameter und ihrer Wirkzusammenhänge, die die Prozessdauer der Logistikprozesse bestimmen. Eine strukturierte Literaturanalyse führt dazu, in der Literatur belegte Einflussparameter kategorisiert in einem Ursache-Wirkungs-Diagramm zusammenfassend darzustellen. Für die fachspezifischen

Terminologien wird eine Ontologie erarbeitet. Die zweite PA-Sitzung am 26.09.2017 in Kassel wird genutzt, um das Referenzmodell sowie das Ursache-Wirkungs-Diagramm vorzustellen und zu diskutieren.

Die Bearbeitung des AS 2 steht in engem Zusammenhang zu AS 1 und wird nahezu parallel bearbeitet. Nach Auswahl einer geeigneten Befragungsförm zur Externalisierung von Expertenwissen werden die in AS 1 ermittelten Einflussparameter zur Bewertung von Parametern in Bezug auf ihren Einfluss auf die Dauer von Logistikprozessen mit Hilfe einer zweistufigen Delphi-Studie abgefragt. Experten bewerten diese nach ihrer Wichtigkeit in Bezug auf ihren Einfluss auf die Dauer der Logistikprozesse. Die Studie wird beim zweiten PA-Meeting in Vorbereitung auf die Durchführung vorgestellt und anschließend mit Hilfe des Online-Umfragetools LimeSurvey® zum Umfragebogen aufbereitet und online gestellt. Die Ergebnisse der Delphi-Studie werden beim dritten PA-Meeting am 27.02.2018 in Kassel diskutiert und anschließend publiziert (siehe dazu Wenzel et al. 2018).

In AS 3 werden auswertbare Unternehmensdaten spezifiziert und strukturiert. Zudem wird untersucht und begründet, welche statistischen Analyse- und Data-Miningverfahren geeignet sind und angewendet werden können. Ziel der Datenbeschaffung und -auswertung ist es, Plan- und Ist-Daten vergangener Projekte empirisch zu analysieren und die Zusammenhänge zwischen den Parametern aus AS 2 zu belegen. Bisher unbekannte Wechselwirkungen einzelner Parameter, die auf die Dauer logistischer Prozesse eines Unternehmens Einfluss nehmen, werden mit Data-Mining-Methoden (Cluster-, Assoziations- und Regressionsanalysen) untersucht. Hierfür kann ein Unternehmen, das das Forschungsvorhaben auch im PA begleitet, Daten zur Verfügung stellen, durch die konkrete unternehmensspezifische Parametergewichtungen identifiziert werden können. Weitere PA-Unternehmen sind gegenüber der Thematik aufgeschlossen, können aber keine geeigneten Daten zur Verfügung stellen. Insbesondere im gewählten Fokus der logistischen Prozesse sind bei den angefragten Unternehmen kaum nutzbare Datengerüste vorhanden. Entgegen der geplanten Vorgehensweise lassen sich die allgemeinen Wirkzusammenhänge nicht ausschließlich auf der Basis von Datenanalysen ermitteln. Der ergänzende Einsatz der Simulation bietet an dieser Stelle den Vorteil, fehlende Daten zu kompensieren.

In AS 4 wird der allgemeine Methodenbaukasten konzeptionell erarbeitet und die Einbindung in ein übergeordnetes Projektmanagementwerkzeug entworfen. Unter Verwendung der Ergebnisse aus AS 1 bis AS 3 wird eine durchgängige Vorgehensmethodik entwickelt, mit der der Methodenbaukasten prinzipiell unternehmensspezifisch adaptiert werden kann. Das resultierende Regelwerk aus einzelnen unternehmensspezifischen Berechnungsregeln kann als interaktives Plug-in in ein Projektmanagementwerkzeug eingebunden werden. Die Vorgehensmethodik beschreibt zum einen das Vorgehen insgesamt, um ein Unternehmen zu befähigen, die Ergebnisse des Forschungsvorhabens anwenden zu können, zum anderen beschreibt es detailliert, wie aus dem allgemeinen Methodenbaukasten ein unternehmensspezifisches Regelwerk erzeugt wird.

Anschließend erfolgt in AS 4 die Formalisierung eines Informationsmodells für das Gesamtkonzept, die Voraussetzung für die Implementierung eines ablauffähigen Demonstrators ist (Entwicklung in AS 5). Dabei wird zudem die in AS 1 angelegte Begriffsontologie finalisiert, die als Datenbasis für den Demonstrator dient. Auf der 4. PA-Sitzung am 28.05.2018 in Rheda-Wiedenbrück erfolgen die Vorstellung des Konzeptes des geplanten Demonstrators sowie die Abbildung kausaler Zusammenhänge zwischen Parametern aus statistischen Analysen in AS 3. Über die anschließende Diskussion mit den PA-Mitgliedern wird sichergestellt, dass die Methodik nicht nur technisch korrekt, sondern auch anwendergerecht umgesetzt wird.

Unter Verwendung der Ergebnisse aus AS 3 und AS 4 werden Teile der Methodik in Form eines ablauffähigen Demonstrators in AS 5 implementiert. Parallel zur Realisierung des informationstechnischen Plug-ins wird ein abgestimmtes Daten- und Informationsmodell durch das Konsortium finalisiert, sodass die in den verschiedenen Teilsystemen benötigten Daten ideal auf einer gemeinsamen Begriffsontologie aufbauen und relevante Planungsinformationen an genau einer Stelle im integrierten Datenmodell abgebildet werden. Abschließend werden exemplarisch konkrete Schätzungen für die Dauer von Transportprozessen umgesetzt und validiert, um den Demonstrator zu evaluieren und die Durchgängigkeit der Entwicklung an einem praxisnahen Beispiel aus der Unikatfertigung aufzuzeigen. Der Demonstrator wird beim fünften PA-Meeting am 31.07.2018 in Kassel vorgestellt.

Die Evaluation der Projektergebnisse erfolgt in AS 6 und fokussiert die Bewertung der entwickelten Methodik sowie des Demonstrators. Mit Hilfe eines Evaluationsleitfadens werden individuelle Evaluationsgespräche bei sieben Mitgliedern des PA durchgeführt. Auf der sechsten PA-Sitzung am 26.11.2018 in Kassel werden die Evaluationsergebnisse in einer gemeinsamen Präsentation von beiden Forschungsstellen vorgestellt und diskutiert. Ergänzende Anmerkungen seitens der PA-Mitglieder werden als zusätzliche Evaluationsergebnisse aufgenommen.

Alle Ergebnisse werden über die gesamte Projektlaufzeit im Rahmen von AS 7 dokumentiert. Des Weiteren werden die erreichten Ergebnisse auf einschlägigen wissenschaftlichen und industrienahen Veranstaltungen und in Publikationsorganen diskutiert und präsentiert (zu den Transfermaßnahmen siehe Kapitel 6).

4.2 Beschreibung der Projektergebnisse

Dieser Abschnitt fasst die wesentlichen Ergebnisse des Forschungsprojektes zusammen. Aufgrund der besseren Lesbarkeit sind einige Detailausführungen zu den Ergebnissen in den Anhängen zu finden. Die grundsätzliche Gliederung orientiert sich an den sieben Arbeitsschritten des Projektes (siehe Abschnitt 4.1).

4.2.1 Gesamtkonzept

Den zentralen Gegenstand des Forschungsprojektes stellt der allgemeine Methodenbaukasten dar, der verschiedene Methoden umfasst, die zur Prognose der Dauer von logistischen Prozessen auf Basis von Expertenwissen und historischen Prozess- und Projektdaten herangezogen werden können. Der allgemeine Methodenbaukasten umfasst u. a. Logistikreferenzprozesse, auf die Prozesse einflussnehmende Parameter, vermutete Wirkzusammenhänge der Einflussparameter, einen Best-Practice-Pool von Berechnungsregeln und eine Ontologie als Wissensbasis, die in den nachfolgenden Abschnitten 4.2.2 bis 4.2.7 im Detail beschrieben werden.

Im Zuge der Entwicklung eines Gesamtkonzeptes (siehe Abbildung 4-2) wird der allgemeine Methodenbaukasten zu einem unternehmensspezifischen Methodenbaukasten adaptiert. Das für die Adaption und Konfiguration notwendige Vorgehen stützt sich auf zwei Sichtweisen: einerseits wird das Vorgehen unter Einbeziehung von Expertenwissen, andererseits unter Einbeziehung historischer Projektdaten entwickelt. Das Vorgehensmodell wird in Abschnitt 4.2.12 erläutert. Ein weiterer Bestandteil des Vorgehensmodells ist die Simulation (siehe Abschnitt 4.2.8).

Der unternehmensspezifische Methodenbaukasten beinhaltet das Regelwerk inklusive der Datenstruktur für das entwickelte Schätz-Plug-in zur Integration in ein Projektmanagementwerkzeug. Als Schätz-Plug-in wird der Algorithmus bezeichnet, der die Informationen aus dem spezifischen Methodenbaukasten verarbeitet und Ergebnisse im Projektmanagementwerkzeug darstellt. Zur Verdeutlichung der entwickelten Methodik ist das Schätz-Plug-in aber auch Bestandteil des Demonstrators, der das gesamte Vorgehen inklusive aller vor- und nachgelagerten Programme zur Erzeugung einer durchgängigen Methodik nachvollziehbar macht. Die Entwicklung und Anwendung des Demonstrators wird in den Abschnitten 4.2.9 bis 4.2.11 beschrieben.

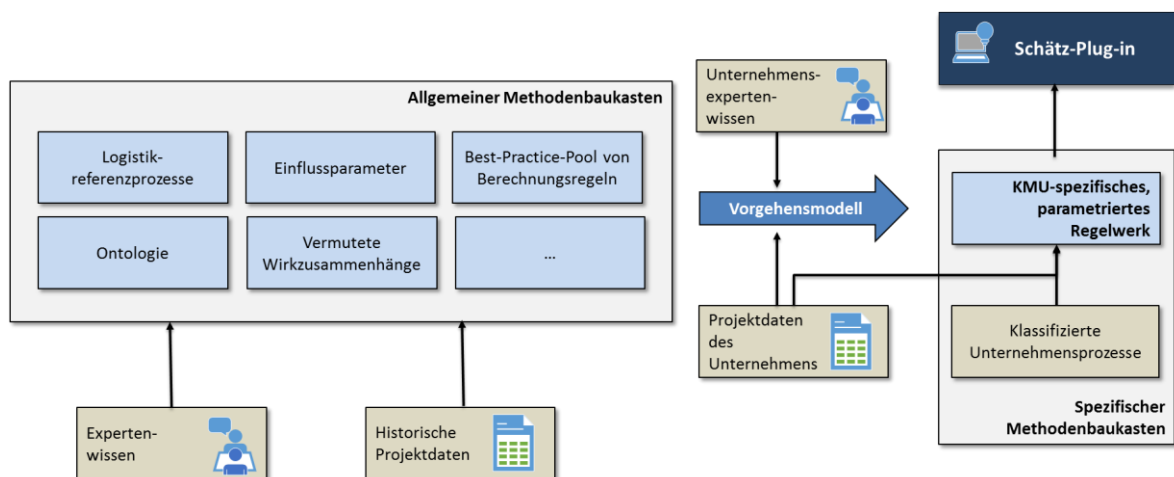


Abbildung 4-2: Gesamtkonzept im Rahmen des Projektes SimCast

4.2.2 Prozessaufnahme durch Experteninterviews

Um spezifische Informationen und Erfahrungen ausgewählter Expertinnen und Experten über logistische Prozesse und Projektdaten für die Prognose einer logistischen Prozessdauer in der Unikat- und Kleinserienfertigung zu ermitteln, werden leitfadenbasierte Experteninterviews durchgeführt, um implizites Wissen und Erfahrungen der Experten zu externalisieren (siehe dazu Abschnitt 3.3). Der Interviewleitfaden (siehe Anhang II) ist unterteilt in acht Leitfragen, zusammengefasst in zwei Hauptthemen. Die Leitfragen 1-4 (Teil I: Logistische Prozesse, Unternehmensinfrastruktur und Einflüsse auf die Prozessdauer) beziehen sich auf die Darstellung der in Unternehmen anfallenden Logistikprozesse sowie deren Peripherie (siehe Abbildung 4-3).

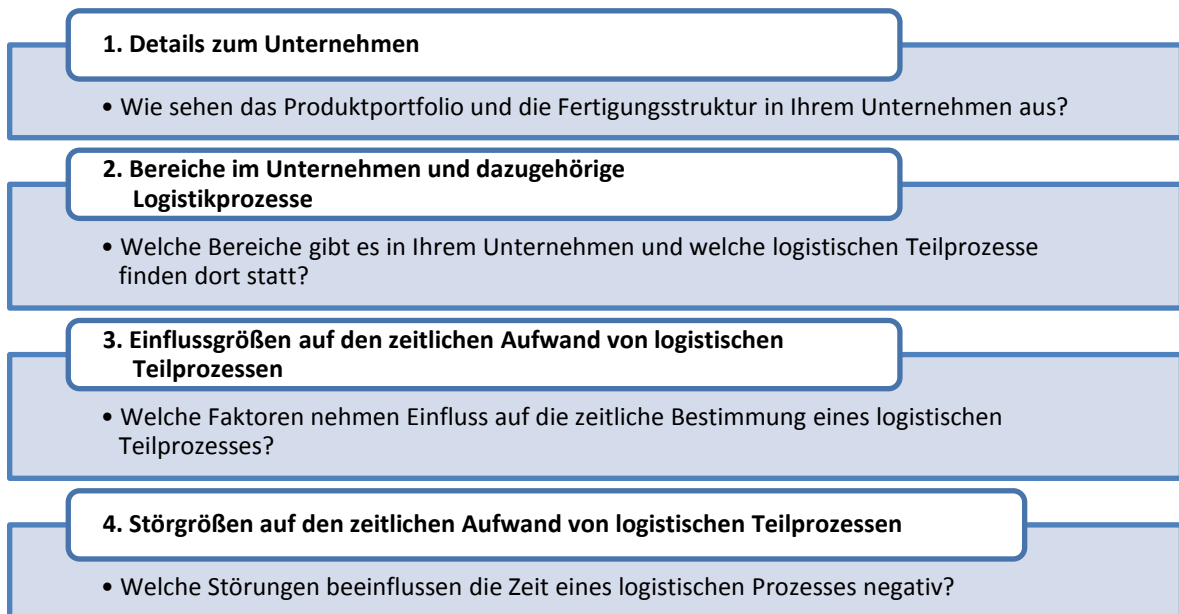


Abbildung 4-3: Interviewleitfaden Teil I

Zum Einstieg werden Details zum Unternehmen ermittelt, indem Fragen zum Produktportfolio und zur Fertigungsstruktur gestellt werden. Mit Hilfe der zweiten Leitfrage sind Bereiche im Unternehmen und logistische Prozesse in den jeweiligen Bereichen zu beschreiben. Sowohl die dritte als auch die vierte Leitfrage dienen zur Ermittlung der Einfluss- und Störgrößen auf die Dauer logistischer Prozesse. An dieser Stelle wird die Terminierung von logistischen Prozessen thematisiert. Mit Hilfe des ersten Teils des Interviewleitfadens können Informationen gewonnen werden, die Rückschlüsse auf die Dauer logistischer Prozesse geben. Die Identifizierung von logistischen Prozessen in der Unikat- und Kleinserienfertigung und die Informationen zur Ermittlung der Dauer dieser Prozesse unter Berücksichtigung der Einfluss- und Störgrößen fließen in weitere Forschungsarbeiten ein.

Die Relevanz der Einfluss- und Störgrößen wird unter Annahme der Formel 4-1 verdeutlicht.

$$t_{Transport} = \frac{s}{v} * x_{Unsicherheit}$$

Legende:
 $t_{transport}$ = Transportzeit
 s = Strecke zwischen Start und Ziel
 v = Geschwindigkeit des Transportmittels
 $x_{Unsicherheit}$ = Unsicherheitsfaktor durch Einfluss- und Störgrößen

Formel 4-1: Transportzeit unter Berücksichtigung von Einfluss- und Störgrößen

Die Dauer eines logistischen Prozesses $t_{Transport}$ lässt sich mit Hilfe der Strecke s und der Geschwindigkeit v berechnen, indem die Strecke zwischen Start und Ziel in Abhängigkeit der Umgebung angegeben wird und die Geschwindigkeit aus den technischen Daten des Transportmittels resultiert; an dieser Stelle sind bereits die Einflussgrößen auf den Transportprozess (z. B. Größe oder Gewicht des Objektes) von großer Relevanz. Werden ebenfalls die Störgrößen berücksichtigt, die die Strecke beispielsweise durch Hindernisse verlängern oder die Geschwindigkeit des Transportmittels beispielsweise durch einen Stau reduziert, nehmen diese einen Einfluss auf die zuvor ermittelte Prozessdauer. Dieser Einfluss wird über einen Unsicherheitsfaktor $x_{Unsicherheit}$ festgehalten.

Um die Möglichkeiten zur Analyse der Zusammenhänge aufzudecken, werden im zweiten Teil des Interviewleitfadens die Leitfragen 5-8 (Teil II: Datenanalysemethoden und Datenauswertung) zur Ermittlung der in den Unternehmen verfügbaren Daten, die eingesetzten Analysemethoden sowie die geplante spätere Verwendung der erfassten Daten thematisiert (siehe Abbildung 4-4). Die Experten werden mit der fünften Leitfrage über die Datenauswertung im Unternehmen, den Werkzeugen zur Datenanalyse und -pflege und den Umgang mit Daten befragt. Ebenfalls wird die Nachnutzung von Daten für die Planung neuer Projekte thematisiert. Die letzte Leitfrage bezieht sich auf die Visualisierung von projektbezogenen Daten und fokussiert die Abbildung der datenbasierten Informationsgewinnung.

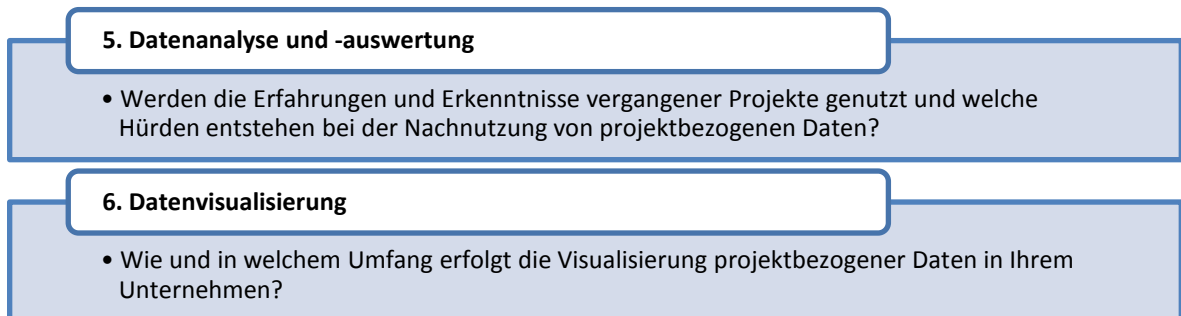
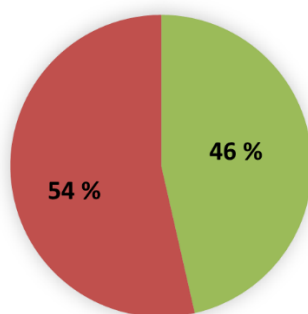


Abbildung 4-4: Interviewleitfaden Teil II

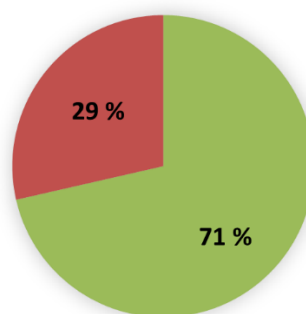
Die Experteninterviews werden mit Hilfe des Interviewleitfadens vor Ort bei den Unternehmen mkf GmbH in Lederhose, Müller Umwelttechnik GmbH & Co. KG in Schieder-Schwalenberg und AuE Kassel GmbH in Kassel sowie in Form eines Telefoninterviews mit einem Experten zu seinen Erfahrungen bei der Flensburger Schiffbau-Gesellschaft mbH durchgeführt. Die befragten Unternehmen stellen (Sonder-)Maschinen als Unikate her, produzieren ihre Produkte in der Werkshalle ihres Unternehmens nach dem Baustellenprinzip, demontieren diese teilweise wieder, transportieren die Anlagen zum Kunden, bauen die Anlage erneut auf und nehmen diese beim Kunden in Betrieb. Die Auswertung der Interviews ergibt, dass die Anzahl der am Produktionsprozess beteiligten Mitarbeitenden zwischen 2 und 20 variiert und die Durchlaufzeit eines Projektes zwischen 3 und 18 Monaten liegt. In allen Unternehmen läuft die Produktion nach einem standardisierten Prozess ab. Die Antworten zu den allgemeinen Fragen (Leitfrage 1: Unternehmensdetails) sind zu 46 % gleich (siehe Abbildung 4-5, a)).

Zu den Fragen mit logistischem Schwerpunkt konnte eine noch größere Ähnlichkeit der Antworten mit 71 % festgestellt werden (siehe Abbildung 4-5, b)). Logistische Prozesse laufen in den befragten Unternehmen prinzipiell gleich ab; eine Skizzierung der logistischen Abläufe in den Unternehmen zeigt dies deutlich auf. Die Vorlage zur Skizzierung der logistischen Abläufe ist im Anhang II, Anlage 2 einzusehen. Die Experten beschreiben, dass die Terminierung aufgrund von Erfahrungen, Schätzungen, historischen Daten und Wiederbeschaffungszeiten sowie durch Vorwärts- und Rückwärtsterminierung erfolgt, wobei die logistischen Prozesse bei der Planung kaum oder gar nicht berücksichtigt werden. Die Experten schätzen ihre Planungsgenauigkeit mittel bis ungenau ein und beschreiben merkbare zeitliche Differenz zum realen Projektdurchlauf. Den Einfluss auf die Prozessdauer und die Terminierung von logistischen Prozessen sowie diverse Störungen, die sporadisch auftreten und Einfluss auf die Prozessdauer und die Terminierung von logistischen Prozessen nehmen, vernachlässigen alle Unternehmen.

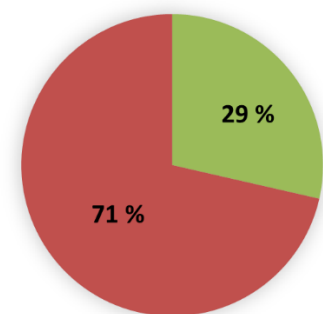
a) Allgemeine Fragen



b) Fragen zur Logistik



c) Fragen zur Datenanalyse



Legende:

Übereinstimmende Antworten der befragten Unternehmen
Abweichende Antworten der befragten Unternehmen

Abbildung 4-5: Auswertung der Experteninterviews

Die Antworten zum zweiten Teil, dessen Fragen die Datenanalyse im Bereich Projekt- und Prozessmanagement fokussieren, zeigen eine große Streuung auf (siehe Abbildung 4-5, c)). Die Experten erläutern, dass sie zur Datenanalyse und -pflege Werkzeuge wie Excel, Enterprise-Resource-Planning-Systeme (ERP-Systeme), Papierformulare oder Datenbanken nutzen; sie beschreiben, dass sie historische Projektdaten in zukünftigen Projekten berücksichtigen und jeweils die letzten ein bis vier Projekte betrachten. Logistische Prozesse werden an dieser Stelle jedoch nicht berücksichtigt. Als Hürden für die Nachnutzung historischer Daten sehen die Experten neben fehlerhaften Datensätzen eine mangelhafte Kommunikation, schlechte Buchungsdisziplin, einen zu großen Zeitaufwand sowie einen zu hohen Abstraktionsgrad der historischen Projekt- und Prozessdaten. Zu der letzten Leitfrage, der Visualisierung von projektspezifischen Daten, beschreiben die Experten, dass sie als Visualisierungsverfahren lediglich Excel und Anzeigen über ihr ERP-System nutzen; Microsoft-Project (MS-Project) als klassisches Werkzeug des Projektmanagements wird selten eingesetzt. Dennoch visualisieren die Unternehmen ihre Projektabläufe in einem Gantt-Diagramm und führen Mitarbeiter-Übersichtstabellen; in keinem Unternehmen wird eine Simulationsmethode in dem betrachteten Bereich eingesetzt.

Die gewonnenen Erkenntnisse aus den Experteninterviews fließen in die weiteren Forschungsarbeiten ein.

4.2.3 Aufbau eines logistischen Referenzmodells

Auf Basis der Fachliteratur (z. B. Schach, Schubert 2009; ten Hompel et al. 2007; Martin 2016; Pfohl 2018) und ergänzt um die Erkenntnisse aus den Experteninterviews (siehe Abschnitt 4.2.2) wird ein Referenzmodell zur allgemeingültigen Abbildung logistischer Abläufe in der Unikat- und Kleinserienfertigung in Anlehnung an das Supply-Chain-Operations-Reference (SCOR)-Modell (Bolstorff, Rosenbaum, Poluha 2007) entwickelt (siehe Anhang III). Dieses Referenzmodell gliedert sich in drei Ebenen (vereinfachter Auszug der Ebenen siehe Abbildung 4-6), die nachfolgend beschrieben werden.

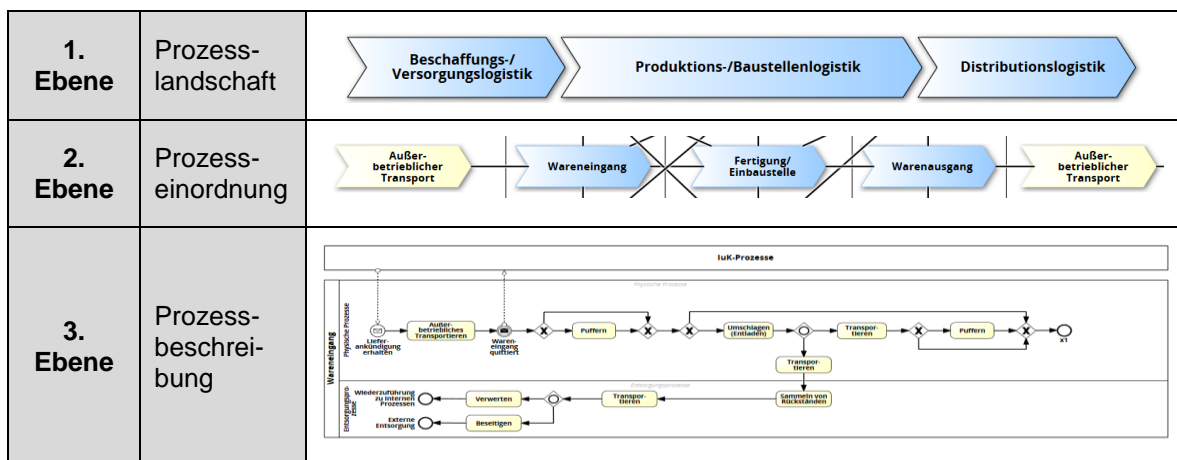







Abbildung 4-6: Auszug aus dem logistischen Referenzmodell (nach Dreyer 2018, S. 66)

Die Prozesslandschaft (Ebene 1) beschreibt die grundlegenden Bestandteile eines logistischen Systems, auch Logistikkette genannt. Die Logistikkette umfasst die Prozesse Beschaffungs-/Versorgungslogistik, Produktions-/Baustellenlogistik und Distributionslogistik. Die Versorgung des Unternehmens mit Ressourcen stellt die Beschaffungs-/Versorgungslogistik sicher, die logistischen Aufgaben in der Produktion übernimmt die Produktions-/Baustellenlogistik, und die Auslieferung des Produktes an den Kunden regelt die Distributionslogistik. Die Logistikkette stellt einen vorwärts gerichteten Fluss dar, neben dem es einen weiteren rückwärtsgerichteten Entsorgungsfluss zur Beseitigung oder Weiterverwendung von Abfällen gibt, der durch die Entsorgungslogistik organisiert ist. Zur Steuerung sämtlicher Prozesse dient die Informations- und Kommunikationslogistik, die als übergeordnetes System zu verstehen ist.

Die Prozesseinordnung (Ebene 2) stellt die Bereiche innerhalb der Unternehmens-/Baustellengrenze dar. Der Materialfluss kann über die Bereiche Wareneingang, Beschaffungs-/Baustellenlager, Zwischenlager, Fertigung-/Einbaustelle, Absatzlager und Wareneingang beschrieben werden. Auch hier sind die Entsorgung und das Informations- und Kommunikationssystem (IuK-System) als weitere Bestandteile der Beschreibung zu nennen, um den gesamten Prozess abzubilden. Bereits in den Experteninterviews ist deutlich geworden, dass die Produktion von Unikaten und Kleinserien in unterschiedlichen Produktionsvarianten erfolgt. Vier mögliche Varianten, die sich aus den Experteninterviews ergeben haben, sind in Tabelle 4-1 einzusehen und nachfolgend beschrieben.

Tabelle 4-1: Übersicht Produktionsvarianten

Variante	Unternehmen		Versand	Kunde	
	Montage	Demontage		Montage	Inbetriebnahme
1					
2					
3					
4					

In Variante 1 wird das Endprodukt im Unternehmen produziert, zum Kunden transportiert und dort in Betrieb genommen. Hierbei handelt es sich um Produkte, die im fertiggestellten Zustand sicher transportiert werden können, wie eine kompakte Sondermaschine oder ein kundenindividuelles Werkzeug. Ist ein Transport des Produktes im fertiggestellten Zustand nicht möglich, weil es sensible Komponenten oder eine nicht transportfähige Größe hat, so muss dieses im Unternehmen so demontiert werden, dass ein sicherer Transport garantiert ist. Beispielsweise ist dies bei einer Fertigungslinie der Fall. Diesen Fall spiegelt Variante 2 wider. Nach dem Transport zum Kunden wird das Produkt wieder montiert und in Betrieb genommen.

Einen besonderen Fall stellt Variante 3 dar. Hier wird das Produkt im Unternehmen fertiggestellt und kann von dort aus direkt vom Kunden eingesetzt werden. Die Inbetriebnahme erfolgt somit noch im Unternehmen. Als Beispiel sind Kanalreinigungsfahrzeuge und Schiffe aufzuführen. Bei der vierten Variante entsteht das Endprodukt beim Kunden, d. h., die Herstellung des Endproduktes erfolgt nicht vorab im Unternehmen, und die ersten Funktionstests können ebenfalls erst beim Kunden durchgeführt werden. Dies ist beispielsweise bei Anlagen der Fall, bei denen Stoffe zum Einsatz kommen, die eine Reinigung der Anlage nach einem Funktionstest im Unternehmen erfordern. Somit finden die Montage und Inbetriebnahme ausschließlich beim Kunden statt.

Bei der Beschreibung eines KMU-spezifischen Ablaufs im Unternehmen fallen entsprechende Bereiche ggf. weg, da beispielsweise ausschließlich auftragsbezogene Bestellungen erfolgen, sodass kein Beschaffungslager vorliegt. Jeder einzelne Bereich kann in einer weiteren Detaillierungsebene durch konkrete logistische Prozesse beschrieben werden. Die Prozessbeschreibung (Ebene 3) ermöglicht dem Nutzer, eine unternehmensspezifische Darstellung einzelner Bereiche durch Logistikprozesse, wie Transport, Umschlag, Lagerung, Kommissionierung oder Verpackung, vorzunehmen. Eine allgemeingültige Beschreibung liegt in der Modellierungssprache Business Process Model and Notation (BPMN) vor (siehe Anhang IV).

Um die Allgemeingültigkeit, Richtigkeit und Vollständigkeit des Referenzmodells zu erhöhen, wird dieses von drei Mitgliedern aus dem PA auf seine Validität geprüft. Hierzu wird in den Unternehmen mkf GmbH in Lederhose, Müller Umwelttechnik GmbH & Co. KG in Schieder-Schwalenberg und Paul Beier GmbH Werkzeug- und Maschinenbau & Co. KG in Kassel vor Ort eine Wertstromaufnahme für ein repräsentatives Produkt vorgenommen und anschließend in ein BPMN-Modell überführt. Dabei kann bis auf wenige geringfügige Abweichungen bestätigt werden, dass das Referenzmodell hinreichend genau und vollständig die Realität abbildet und für unterschiedliche Unternehmen und Anwendungsfälle genutzt werden kann. Die festgestellten Abweichungen werden, soweit allgemeingültig, im Modell ergänzt.

4.2.4 Externalisierung von Expertenwissen mittels Delphi-Studie

Um die Dauer eines logistischen Prozesses sicher zu prognostizieren, müssen die Einfluss- und Störgrößen bekannt sein (siehe Formel 4-1). Für die Logistikprozesse, die im Referenzmodell beschrieben sind, werden im weiteren Projektverlauf Einflussparameter identifiziert, die auf die Dauer eines logistischen Prozesses in der Unikat- und Kleinserienfertigung wirken können. Mit Hilfe einer systematischen Literaturrecherche (z. B. ten Hompel et al. 2007; Pfohl 2018; Haage 2014; Miebler 1998) und den durchgeführten Experteninterviews (siehe Abschnitt 2.2.2) können 91 Parameter mit potenziellem Einfluss auf die Dauer logistischer Prozesse identifiziert werden. Diese lassen sich in Anlehnung an Kuhn (1995) in folgende sechs Kategorien gliedern:

1. **Transformationsobjekte** erfahren im logistischen Prozess eine räumliche (Transport), zeitliche (Lagerung), sortenmäßige (Kommissionierung) Transformation, eine Transformation des Servicegrades (Verpacken) oder eine Schnittstellentransformation (Umschlagen).
2. **Ressourcen** umfassen für den Prozess notwendige Betriebsmittel, Arbeitsmittel, Arbeitshilfsmittel sowie das erforderliche Personal.
3. Die **Struktur** eines Prozesses beinhaltet die prozessinterne Aufbaustruktur sowie die technische Kommunikationsstruktur (Organisation der Informationstechnik).
4. Die **Lenkung** koordiniert und regelt den Prozess durch Regeln und Steuerungsvorschriften.
5. Die für die Prozessdurchführung benötigten **Daten** werden innerhalb eines Prozesses erfasst, verarbeitet und gespeichert.
6. Die **Arbeitsumgebung** (im weiteren Verlauf Umgebung) wirkt von außen auf den Prozess.

Eine Abbildung der 91 identifizierten Einflussparameter erfolgt in Form eines Ursache-Wirkungs-Diagramms, nach dem Erfinder auch Ishikawa-Diagramm oder auch Fischgräten-Diagramm bezeichnet, zur Darstellung von Kausalitätsbeziehungen (zum Ishikawa-Diagramm siehe Ishikawa 1987). Die Einflussparameter werden im Ishikawa-Diagramm den sechs aufgeführten Kategorien als Hauptgräten zugeordnet (siehe Anhang V).

Eine nähere Betrachtung der Einflussparameter zeigt, dass diese unterschiedlich ausgeprägt sind und unterschiedlich Einfluss im Logistikprozess nehmen können (siehe Anhang VI). Einige Parameter lassen sich durch einen konkreten Wert beschreiben, z. B. die Maße oder das Gewicht eines Objektes, und nehmen durch die zahlenmäßige Ausprägung beispielsweise Einfluss auf die Wahl eines Transportmittels. Andere Parameter werden durch ihre konkrete Ausprägung beschrieben und nehmen somit Einfluss auf Logistikprozesse und ihre Dauer, z. B. muss in Abhängigkeit der Form des Objektes ggf. ein Arbeitshilfsmittel zum Einsatz kommen, dessen Umgang zusätzliche Zeit in Anspruch nimmt. Zusätzlich kann eine Prozessdauer durch einen Faktor oder einen Prozentsatz beeinflusst werden, der im direkten Zusammenhang mit der Ausprägung eines Parameters steht. Beispielsweise müssen bei einer ermittelten Zeit 20 % aufgeschlagen werden, da für den Einfluss Niederschlag die Ausprägung „hoch“ zutrifft.

Um die Einflussparameter hinsichtlich ihrer Wichtigkeit bei der Ermittlung einer logistischen Prozessdauer zu prüfen, sollen diese von Experten gewichtet werden. Das in Abschnitt 4.2.3 beschriebene logistische Referenzmodell kann sich sowohl auf unternehmensinterne Logistikprozesse als auch auf die Logistikprozesse auf der Baustelle beziehen. Da in beiden Bereichen unterschiedliche Expertenkreise agieren, wird die Untersuchung zunächst mit Experten für innerbetriebliche Logistikprozesse durchgeführt.

In einer Voruntersuchung wird zunächst geprüft, welche Befragungsmethode sich für den Anwendungsfall eignet. Mit Hilfe einer Nutzwertanalyse werden die Befragungsmethoden Gruppendiskussion, Expertenbefragung, Experteninterview und Delphi-Studie verglichen (siehe Tabelle 4-2). Die Analyse basiert auf einer Masterarbeit, die im Rahmen des Projektes durchgeführt wurde (Barke 2018). Die in Barke (2018, S. 26 ff.) erarbeiteten Kriterien werden von Experten mit Hilfe eines paarweisen Vergleichs gewichtet und die Ausprägungen der Kriterien je Befragungsmethode mit Literaturstellen belegt. Mithilfe einer Bewertungsskala sind Ausprägungen zahlenmäßig definiert (siehe Anhang VII), um einen Nutzwert für jede Befragungsmethode berechnen zu können. Die Delphi-Studie (siehe dazu Abschnitt 3.3) wird für das Projekt unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Nutzwertanalyse als geeignete Methode ausgewählt.

Tabelle 4-2: Auswahl einer Befragungsmethode (Barke 2018, S. 29 ff.)

Kriterien	Gewichtung	Gruppen-diskussion	Experten-befragung	Experten-interview	Delphi-Studie
Anonymität	7,88 %	gering	hoch	mittel	hoch
Grad der Standardisierung	6,32 %	wenig	standardisiert	teilstandardisiert	standardisiert
Hilfemöglichkeiten	5,31 %	ja	nein	ja	nein
Zeitaufwand für Befragten	11,63 %	hoch	gering	hoch	mittel
Vorbereitung für Interviewer	5,22 %	hoch	hoch	hoch	hoch
Nachbereitung für Interviewer	5,04 %	hoch	hoch	hoch	hoch
Fragebogenkomplexität	6,14 %	hoch	gering	hoch	gering
Stichprobengröße	8,42 %	mittel	hoch	mittel	hoch
Kosten	4,85 %	mittel	gering	mittel	gering
Einfluss des Interviewers	6,32 %	hoch	gering	hoch	gering
Einfluss durch Dritte	7,23 %	hoch	gering	gering	hoch
Feedback	7,97 %	ja	nein	nein	ja
Rücklaufquote	9,52 %	hoch	mittel	hoch	hoch
Dauer der Durchführung	8,15 %	kurz	hoch	mittel	hoch
Gesamt	100,00 %	2,019	2,100	1,776	2,287

Im Zuge der Vorbereitung auf die Studie wird die Struktur der Befragung ausgearbeitet und die Fragestellung operationalisiert. Die Befragung beginnt mit einer Einführung zur Vorbereitung des Experten auf die Befragung. Dann folgt der eigentliche Fragenteil. Die Studie schließt mit einem Schlusswort ab, in dem der weitere Verlauf der Studie erläutert wird. Die 91 Parameter werden im Fragenteil entsprechend ihrer Kategorisierung nacheinander abgefragt. Es wird jeweils abgeprüft, ob der Einfluss auf die Dauer eines Logistikprozesses „hoch“, „mittel“, „gering“ oder „irrelevant“ ist. Es ist ebenfalls möglich, keine Angabe zu machen. Darüber hinaus haben die Experten die Möglichkeit, die Liste der Parameter um weitere Parameter zu ergänzen. Da sich eine Delphi-Studie durch Wiederholung der Befragung in mehreren Runden kennzeichnet, muss ein Abbruchkriterium definiert werden, das eine hinreichende Einigung unter den Experten beschreibt. Als Abbruchkriterium im Rahmen des Projektes wird eine Einigung der Experten hinsichtlich der Wichtigkeit festgelegt, indem ein Parameter von der Mehrheit als wichtig durch die Auswahl „hoch“ oder „mittel“ oder als unwichtig durch die Auswahl „gering“ oder „irrelevant“ abgestimmt wird. Ein Charakteristikum der Delphi-Studie ist ebenfalls, dass der Experte die Ergebnisse aus der Vorrunde einsehen kann und somit von der Meinung der anderen Experten beeinflusst wird.

Die Delphi-Studie wird über eine anonyme Onlinebefragung mit dem Werkzeug LimeSurvey® realisiert (siehe Anhang VIII). Für die Teilnahme an der Delphi-Studie können 14 Experten der Unikat- und Kleinserienfertigung aus dem Bereich Projektmanagement und Logistikplanung gewonnen werden. Die Experten kommen aus den Unternehmen mkf GmbH, Müller Umwelttechnik GmbH & Co. KG, AuE Kassel GmbH, Strama-MPS Maschinenbau GmbH & Co. KG, Paul Beier GmbH Werkzeug- und Maschinenbau & Co. KG, thyssenkrupp Fahrtreppen GmbH, Venjakob Maschinenbau GmbH & Co. KG, Fliegl Fahrzeugbau GmbH und Becker Sondermaschinenbau. Nach einem Pretest beginnt die erste Befragungsrunde über eine Laufzeit von zwei Wochen. Die Rücklaufquote beläuft sich in der ersten Runde mit zehn anonymen Teilnehmern auf 71,43 %. Ein Konsens kann nach der ersten Runde noch nicht gefunden werden, da sich die Mehrheit bei nur 87,37 % der Parameter hinsichtlich ihrer Wichtigkeit einig ist, sodass die Befragung mit den ausgewerteten Ergebnissen an dieselben 14 Experten geschickt wird. Durch eine Verlängerung der zweiten Runde auf drei Wochen kann mit neun anonymen Rückmeldungen eine Rücklaufquote von 64,29 % erzielt werden. Eine Einigung über alle Parameter kann bei der Mehrheit bereits nach der zweiten Runde erzielt werden, sodass die Delphi-Studie durch die Erfüllung des Abbruchkriteriums an dieser Stelle beendet wird.

Die Auswertung der Studie ergibt, dass die Experten die folgenden zehn Parameter als unwichtig für die Planung logistischer Prozesse einstufen:

1. Transformationsobjekt: Verpackung des Objektes
2. Arbeitshilfsmittel: Mechanische Größen
3. Arbeitsumgebung: Vorschriften
4. Transformationsobjekt: Stoffgrößen des Objektes
5. Arbeitshilfsmittel: Physikalische Eigenschaften des Arbeitshilfsmittels
6. Arbeitsumgebung: Temperatur
7. Arbeitsumgebung: Niederschlag
8. Transformationsobjekt: Bodenfläche des Objektes
9. Arbeitsumgebung: Windstärke
10. Arbeitsumgebung: Luftfeuchtigkeit

Das Urteil der Experten ist darauf zurückzuführen, dass die Parameter im Umfeld der Unternehmensgrenze bewertet werden und innerhalb der Baustellengrenze einen anderen Stellenwert haben können. Diese zehn Parameter werden im weiteren Projektverlauf für die Entwicklung der Methodik nicht näher betrachtet. Eine weitere Auswertung der Ergebnisse zeigt, dass die Experten die folgenden elf Parameter als besonders einflussreich beurteilen, da sie einstimmig als wichtig gelten:

1. Transformationsobjekt: Anzahl an unterschiedlichen Objekten
2. Transformationsobjekt: Verfügbarkeit des Objektes
3. Ressource: Auslastungsgrad des Personals
4. Struktur: Zuständigkeiten im Prozess

5. Struktur: Medienbrüche bei der Kommunikation
6. Ressource: Leistungsfähigkeit des Personals
7. Lenkung: Priorität des Auftrags
8. Struktur: Digitalisierung des Informationsaustausches
9. Lenkung: Reihenfolge der Prozesse
10. Lenkung: Einhaltung der Zielvorgaben
11. Lenkung: Qualität der Kontrolle des Prozesses

In Summe ist zu erkennen, dass unter Betrachtung aller Parameter eine Vielzahl der als wichtig eingestuften Parameter aus den Kategorien Transformationsobjekt und Ressource entstammen. Daraus ist zu schließen, dass das Transformationsobjekt und die Ressourcen für die Planung logistischer Prozesse eine einflussreiche Rolle spielen (Wenzel et al. 2018).

4.2.5 Analyse historischer Daten

Die Auswertung der Delphi-Studie wird mittels Korrelationskoeffizienten nach Spearman (Cleff 2008) vorgenommen. Durch die Berechnung der Korrelationskoeffizienten (siehe dazu Korrelationsanalyse in Abschnitt 3.5) zwischen jeweils zwei Parametern wird untersucht, ob die Einschätzung der Experten in Bezug auf die Wichtigkeit der Parameter hinsichtlich ihres Einflusses auf die logistische Projektdauer untereinander linear zusammenhängt. Im Anschluss werden hoch korrelierende Beziehungen manuell auf Kausalität geprüft. Kausale Zusammenhänge werden dann sukzessive zu Kausalketten abgebildet. Eine Kausalkette entsteht genau dann, wenn die Wirkung eines über Korrelation ermittelten Ursache-Wirkungszusammenhangs gleichzeitig Ursache eines anderen Ursache-Wirkungszusammenhangs ist. Abbildung 4-7 zeigt eine solche Kausalkette, dabei entspricht der Pfeilursprung der Ursache und die Pfeilspitze der Wirkung; durch Doppelpfeile dargestellte Wechselwirkungen werden ebenfalls identifiziert. An den Pfeilen wird der Korrelationskoeffizient angegeben. Anhand der Zugehörigkeit der untersuchten Parameter zu einer Kategorie im Ishikawa-Diagramm lassen sich Ursache-Gruppen (siehe Abschnitt 4.2.4) identifizieren, deren Parameter ursächlich die Dauer logistischer Prozesse beeinflussen.

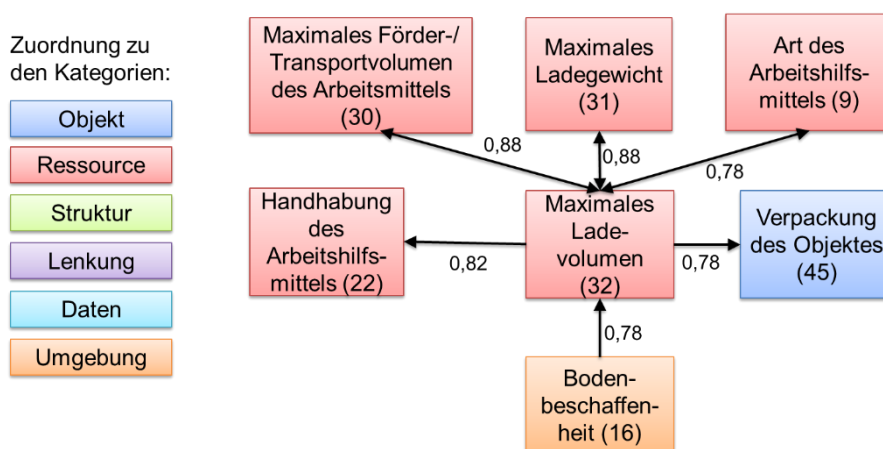


Abbildung 4-7: Beispiel einer komplexen Kausalkette

Die in Abbildung 4-7 dargestellte Kausalkette zeigt alle Ursache-Wirkungsbeziehungen, die auf den Einflussparameter „maximales Ladevolumen (32)“ wirken. Es ist zu sehen, dass drei der sechs Parameter als Ursachen und Wirkungen der Kategorie „Ressource“ zugeordnet sind; auf einen Parameter der Kategorie „Ressource“ wird eine Wirkung ausgeübt. Der Parameter „Bodenbeschaffenheit (16)“ wirkt ursächlich auf das „maximale Ladevolumen (32)“; der Parameter „Verpackung des Objektes (45)“ ist eine Wirkung des „maximalen Ladevolumens (32)“. Die aufgestellten Ketten dienen zum einen der Erstellung von Berechnungsregeln im weiteren Projektverlauf (siehe Abschnitt 4.2.6) zum anderen der Entwicklung des Programmablaufs bei der Implementierung des Demonstrators (siehe Abschnitt 4.2.10).

In Ergänzung zur Analyse des Expertenwissens werden unternehmensspezifische Projektdaten mit SimAssist® und Rapidminer® aufbereitet und analysiert. Die Ergebnisse der empirischen Analyse von Plan- und Ist-Daten vergangener Projekte belegen die Zusammenhänge zwischen den Parametern aus dem Ishikawa-Diagramm. Wechselwirkungen einzelner Parameter auf die Dauer logistischer Prozesse eines Projektpartners werden mit Hilfe von Data-Mining-Methoden (Clusteranalyse, Regressionsanalyse) ermittelt und als konkrete unternehmensspezifische Parametergewichtungen identifiziert. Jedoch ist die Anzahl der bereitgestellten Datensätze nicht groß genug, um einen hinreichend großen Stichprobenumfang für eine statistisch signifikante empirische Auswertung zu generieren.

Mit Hilfe der Clusteranalyse (siehe dazu Abschnitt 3.5) wird versucht, Arbeitsgänge zu gruppieren und daraus Wechselwirkungen zu Materialien, Mitarbeitenden, Maschinen und Zeiträumen zu ermitteln. Dabei wird im konkreten Fall festgestellt, dass sich Arbeitsgänge nicht untersuchen lassen, da diese für jeden Artikel neu vergeben werden und somit keine Cluster gebildet werden können. Je nachdem, wie der Artikel bearbeitet werden muss, kann die gleiche Arbeitsgang-ID (Arbeitsgang-Identifikation) mehrere Bedeutungen haben: Sägen, Fräsen oder Drehen. Daraus folgend wird lediglich ein Projekt im Hinblick auf die Identifizierung von Einflussparametern auf logistische Prozesse untersucht. Die Ergebnisse der Untersuchung werden nachstehend beschrieben und visualisiert.

Der Soll-Ist-Vergleich der Werkstattaufträge innerhalb des untersuchten Projektes, bezogen auf die Bearbeitungszeit, ergibt häufig eine Überschreitung der Soll-Zeit. Die anschließende Auswertung (siehe Abbildung 4-8) gibt Aufschluss darüber, zu wie viel Prozent die Ist-Bearbeitungszeit eines Werkstattauftrages von der Soll-Bearbeitungszeit abweicht; wenn Soll- und Ist-Wert übereinstimmen, liegt eine 100 %ige Erfüllung der Vorgabe vor. Nahezu 50 % der Aufträge sind mit einem Bearbeitungsstand von 0 % dokumentiert; ob es sich hierbei um eine fehlende Buchungsdisziplin der Mitarbeitenden oder einen noch ausstehenden Auftrag handelt, ist nicht ersichtlich. Die Gründe für eine Überschreitung der Soll-Bearbeitungszeiten sind ebenfalls nicht nachvollziehbar. Hier wäre in einem nächsten Schritt zunächst die Datenqualität zu verbessern, um zukünftig bessere Auswertungsergebnisse und damit auch Zusammenhänge auf Basis der Daten ermitteln zu können.

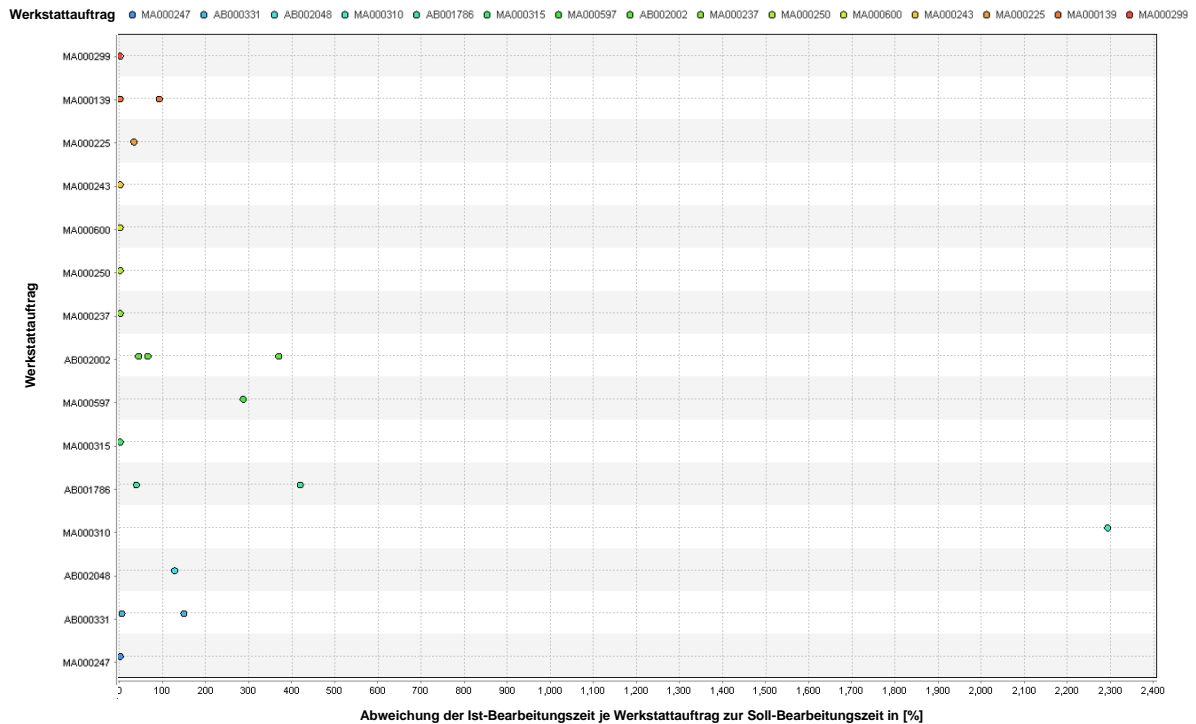


Abbildung 4-8: Abweichungen von Soll-Bearbeitungszeiten einzelner Werkstattaufträge

Anschließend werden verbesserungswürdige Arbeitsschritte identifiziert und daraus verbesserungswürdige Werkstattaufträge abgeleitet. Die identifizierten Arbeitsschritte haben keinen statistisch signifikanten Einfluss auf die Dauer logistischer Prozesse. Dieses Vorgehen bei der Analyse von Unternehmensdaten lässt sich jedoch auf Prozessdaten der Logistik übertragen. Assoziations- und Regressionsanalyse erzielen keine besseren Ergebnisse in hinreichender Qualität. Die Auswertungen ergeben, dass dem durchgeführten Soll-Ist-Vergleich nicht hinreichend viele Daten zugrunde liegen.

Weitere Mitglieder des PA stellen ebenfalls Unternehmensdaten bereit. Die ausführliche Analyse der Daten ergibt, dass diese weder in ihrer Qualität noch in ihrer Quantität den Anforderungen seitens des Projektes genügen. Die sich daraus ergebende Problematik wird im Ausblick in Kapitel 7 aufgegriffen.

4.2.6 Best-Practice-Pool von Berechnungsregeln

Für die Prognose einer Logistikdauer werden Berechnungsregeln auf Basis des gewonnenen Expertenwissens (siehe Abschnitt 4.2.4) und der Analyse historischer Daten (siehe Abschnitt 4.2.5) sowie unter Berücksichtigung der Ergebnisse einer Literaturrecherche (siehe Abschnitt 3.1) ermittelt und in einem Regelwerk zusammengefasst. Im Zuge der Entwicklung des Regelwerkes werden die bisherigen Forschungsergebnisse zusammengefügt, um eine Vorhersage einer logistischen Prozessdauer zu ermöglichen. Die aufgestellten Berechnungsregeln für das Regelwerk lassen sich in drei Typen gliedern:

Regeln des Typus 1 (Binärfunktionen) fungieren als eine Art Filter. Durch die Auswahlmöglichkeiten 0=nein und 1=ja werden auswählbare Optionen, wie zum Beispiel der Parameter

„Arbeitsmittel vorhanden“, gefiltert. Die Art der Beantwortung hat unmittelbaren Einfluss auf die Auswahl weiterer Parameter.

Formeln des Typus 2 (skalierbare Funktionen) berücksichtigen Einflüsse anhand ihrer Ausprägung. Die Ausprägung wird mit einem Faktor gleichgesetzt. So gibt es den Parameter „Medienbrüche“ in unterschiedlichen Ausprägungen: „kein Medienbruch“ bedeutet, dass sich die Dauer eines Transportprozesses nicht verlängert, der Faktor also mit 1,0 angenommen wird. Die Ausprägung „Medienbruch“ verlängert die Dauer eines Transportprozesses z. B. um 20 %, somit wird ein Faktor von 1,2 angenommen.

Formeln des Typus 3 (mathematische Funktionen) beziehen historische Daten ein und lassen sich mit Hilfe mathematischer Funktionen beliebig komplex abbilden. Ein Beispiel für eine derart ermittelte Funktion zur maximalen Auslastung eines Arbeitsmittels wird an dieser Stelle angegeben (siehe Formel 4-2). Die maximal zulässige Kapazität des Arbeitsmittels (AM) darf weder durch die Gesamtmasse von Objekt (O), Arbeitshilfsmittel (AHM) und Verpackung (V) noch durch das Gesamtvolumen von Objekt, AHM und Verpackung überschritten werden.

$$((m_O + m_{AHM} + m_V) \leq m_{AM}) \ \&\& \ ((V_O + V_{AHM} + V_V) \leq V_{AM})$$

Legende:

m_O = Masse des Objektes

m_{AHM} = Masse des Arbeitshilfsmittels

m_V = Masse der Verpackung

m_{AM} = Masse des Arbeitsmittels

V_O = Volumen des Objektes

V_{AHM} = Volumen des Arbeitshilfsmittels

V_V = Volumen der Verpackung

V_{AM} = Volumen des Arbeitsmittels

Formel 4-2: Maximale Auslastung eines Arbeitsmittels

Die drei Typen von Berechnungsregeln fließen, wie beschrieben, auf unterschiedliche Weise in das Regelwerk ein und finden in der Entwicklung des Demonstrators an verschiedenen Stellen Anwendung. Während Typus 1 Einfluss auf den Programmablaufplan nimmt, stellt Typus 2 lediglich einen Einfluss auf die am Ende ermittelte Prozessdauer dar. Typus 3 nimmt wiederum an mehreren Stellen eine wichtige Rolle ein, indem zum einen nach dem Ausschlussverfahren, wie in Formel 4-2, Einfluss auf den Programmablaufplan genommen wird und zum anderen mit Hilfe mathematischer Formeln eine konkrete Zeit prognostiziert wird. Eine Zusammenstellung von ausgewählten Berechnungsregeln ist in Anhang IX einzusehen.

4.2.7 Entwicklung einer Ontologie

Zur Repräsentation der erforschten Wissensstrukturen und Berechnungsregeln wird im Rahmen des Forschungsprojektes eine Ontologie für die Planung der Dauer logistischer Prozesse in der Unikat- und Kleinserienfertigung eingesetzt (siehe dazu in Abschnitt 3.4). Um zu prüfen, ob bereits Ontologien für die Logistik-Domäne bestehen, erfolgt eine Literaturrecherche. Sie wird durch eine Masterarbeit unterstützt, die im Zuge des Projektes durchgeführt wird (Gerewitsch 2018). In der Literaturanalyse werden die EBSCO und Google Scholar Datenbanken herangezogen. Eine Einschränkung des Zeitraumes wird nicht gesetzt und als Sprachen werden Deutsch und Englisch gewählt. Über die Schlagwörter „(ontology AND logistics) OR (Ontologie AND Logistik)“ konnten über EBSCO 219 und über Google Scholar 887 Treffer erzielt werden. Durch weitere Eingrenzungen und eine Filterung thematisch relevanter Artikel verbleiben nach dem Screening 17 Artikel für die nähere Analyse (siehe Anhang X). Trotz steigender Popularität ist der Einsatz einer Ontologie in der Logistik-Domäne noch nicht weit verbreitet. Die bestehenden Ontologien lassen sich im Rahmen des Projektes nicht anwenden und eignen sich auch nicht zur Erstellung einer eigenen Ontologie, da sie sich schwer auf die adressierte Problemstellung übertragen lassen.

Der Einsatz einer geeigneten Vorgehensweise unterstützt beim Entwerfen einer eigenen Ontologie. Mehrere bestehende Methoden (Uschold und King (1995); Grüninger und Fox (1995); Fernández, Gómez-Pérez und Juristo (1997); Sure und Studer (2002) und Noy und McGuinness (2001)) werden herangezogen und für die Entwicklung eines geeigneten Vorgehens analysiert.

Mit Hilfe der Bewertungskriterien Allgemeingültigkeit, Vollständigkeit, Detailtiefe, Einfachheit, Werkzeugunterstützung werden die Methoden miteinander verglichen und für den Einsatz im Rahmen des Projektes bewertet (Gerewitsch 2018, S. 46 ff.). Die Methoden nach Fernández, Gómez-Pérez und Juristo (1997) sowie nach Noy und McGuinness (2001) werden als Orientierungshilfe für einen eigenen Modellierungsansatz ausgewählt (siehe Abbildung 4-9). Die Stufen Spezifizierung, Konzeptualisierung und Implementierung stellen die technischen Phasen des Ontologie-Entwicklungsprozesses dar. Als unterstützende Aktivitäten erfolgen in jeder Phase eine Dokumentation und Verifikation und Validierung (V&V). Unter Verwendung des entwickelten Vorgehensmodells wird im weiteren Projektverlauf eine eigene Ontologie entworfen.

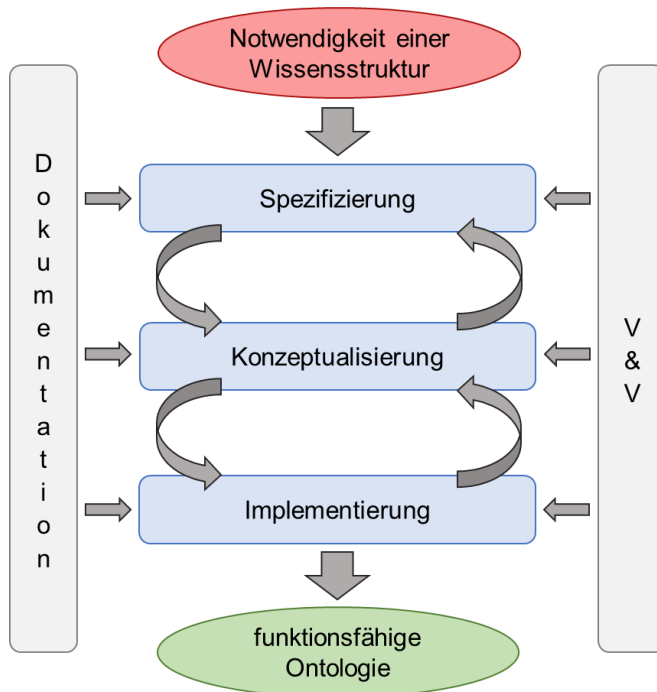


Abbildung 4-9: Ontologie-Design Vorgehensmodell (nach Gerewitsch 2018, S. 53)

Im Zuge der Spezifikation wird ein Anforderungsspezifikationsdokument erstellt (siehe Anhang XI). In diesem Dokument werden die Rahmenbedingungen, die Informationen zum Anwendungsbereich, Datum, Zweck, Nutzer, Level der Formalität, Umfang und Quelle des Wissens sowie Wissenserfassungstechnik festgehalten und abschließend Kompetenzfragen aufgestellt. Die anschließende Konzeptualisierung erfolgt schrittweise. Zu Beginn wird eine Basisterminologie erstellt, die das grundlegende Vokabular relevanter Begriffe enthält; diese werden aus vorangegangenen Arbeiten entnommen. Das Wissen wird dann strukturiert und mit einfachen Aussagen verknüpft, wie z. B. Maß hat eine Länge, Breite und Höhe. Zunächst wird eine Taxonomie erzeugt, in der Klassen und Relationen zwischen zwei Klassen definiert sind. Das Verb „ist“ beschreibt eine Beziehung zwischen zwei Objekten und das Verb „hat“ eine Eigenschaft eines Objektes. Diese Struktur lässt sich bereits visuell darstellen und wird als Lightweight-Ontologie definiert. Im Folgenden wird das Konzept der Ontologie näher erläutert.

Die definierten Kategorien aus Abschnitt 4.2.4, die Bereiche und die logistischen Prozesse aus dem Referenzmodell sowie die identifizierten Einflussparameter dienen als Grundlagen für die Klassenhierarchie. Am Beispiel der Klasse Kategorie, die als Oberklasse deklariert wird, wird der nähere Aufbau nachfolgend beschrieben (siehe Abbildung 4-10). Die konkreten Kategorien werden in der nächsten Ebene als Unterklasse deklariert. Diese können konkrete, unternehmensspezifische Objekte haben, die als konkrete Objekte (engl.: Individual) zu pflegen sind. Beispielsweise wäre das konkrete Transformationsobjekt „Blech“ oder „Rohr“ ein Individual der Unterklasse Transformationsobjekt. Analog verhält es sich bei der Unterklasse Arbeitsmittel.

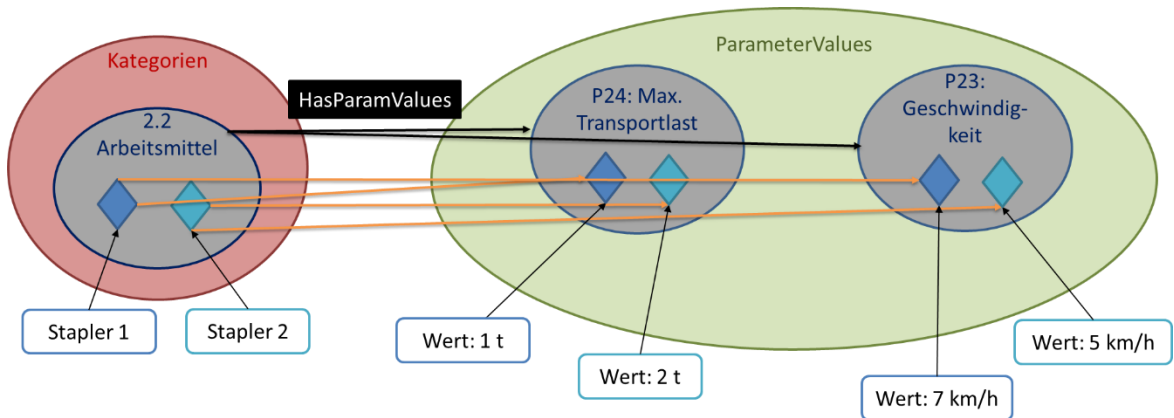


Abbildung 4-11: Konzept der Ontologie II

Das Konzept ist in diesem Zustand bereits so entwickelt, dass Wissen zu konkreten Bereichen für konkrete Prozesse abgefragt werden kann. Im nächsten Schritt sind die Wechselbeziehungen zwischen den Einflussparametern zu berücksichtigen. Hierfür wird eine neue Oberklasse ParameterTypes benötigt, die alle Parameter als Individuals speichert (siehe Abbildung 4-12). An dieser Stelle wird keine Spezifikation der Individuals vorgenommen; sie bleiben allgemeingültig. Jedoch wird zu jedem Individual die entsprechende Wechselwirkung zu anderen Einflussparametern gepflegt. Durch die Beschreibung der Beziehung durch das ObjectProperty „causeOf“ ergibt sich in logischer Konsequenz die entgegengesetzte Beziehung „consequenceOf“. Mit dieser Konzepterweiterung lassen sich die erforschten Kausalketten aus Abschnitt 4.2.5 abbilden. Die Individuals in der Oberklasse ParameterValues, die unternehmensspezifisch deklariert sind, werden mit dem allgemeingültigen Individual in der Oberklasse ParameterTypes in Beziehung gestellt über das ObjectProperty „typeOfParameter“. Die Konzeptualisierung ist an dieser Stelle abgeschlossen.

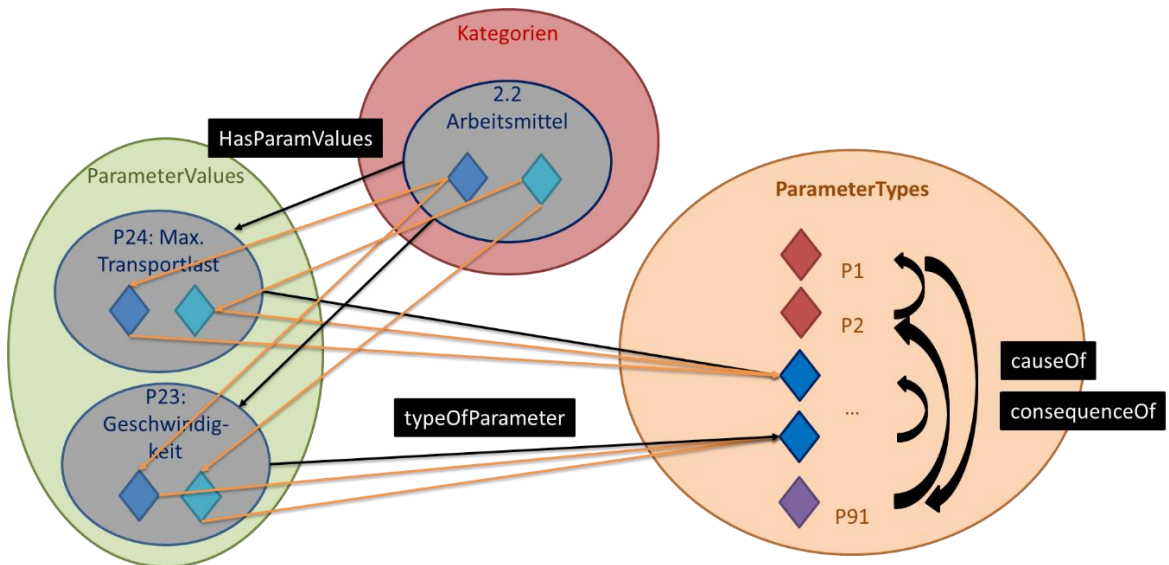


Abbildung 4-12: Konzept der Ontologie III

Im dritten Schritt des Vorgehensmodells findet die Implementierung statt. Diese erfolgt im Rahmen des Projektes in der Entwicklungsumgebung Protégé®. Das Wissen wird durch die beschriebene Klassenhierarchie, die Relationen und die Axiome/Restriktionen formalisiert, sodass eine Wissensstruktur entsteht, die das Abfragen von Wissen ermöglicht. Das Ontologie-Konzept wird in die Entwicklungsumgebung implementiert und mit Hilfe der Visualisierungshilfe OntoGraf ausschnittsweise in Abbildung 4-13 gezeigt. Blau hinterlegt ist die Klasse Bereiche mit Unterklassen zu sehen, orange hinterlegt die Oberklasse Logistische Prozesse mit den jeweiligen Unterklassen, grün hinterlegt die Oberklasse Kategorien mit Unterklassen sowie rot hinterlegt die Oberklasse ParameterValues (identifizierte Einflussparameter) mit den Unterklassen, die in direkter Beziehung mit den ParameterTypes stehen.

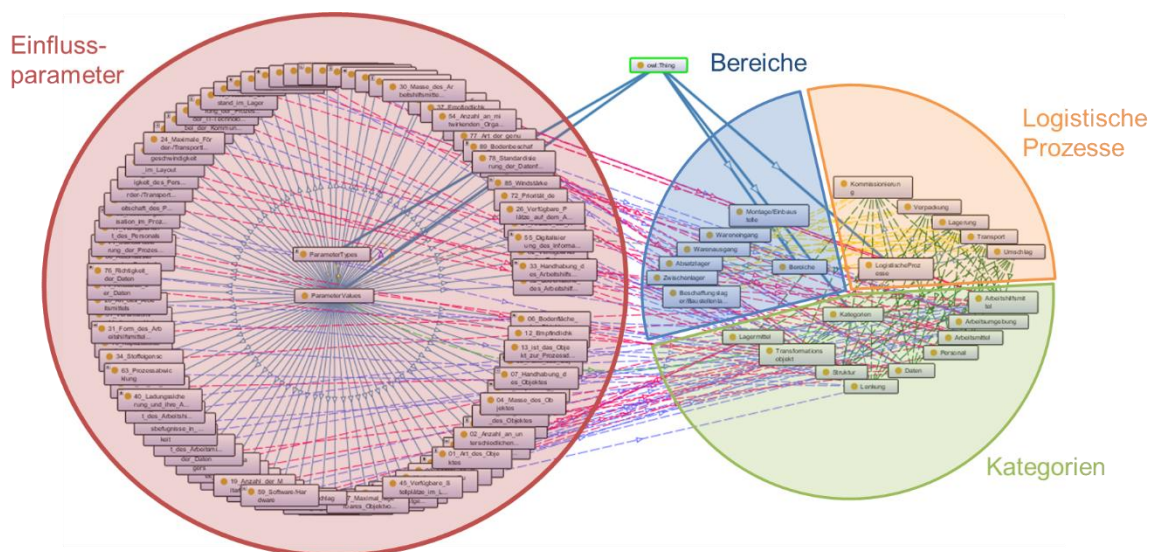


Abbildung 4-13: Ontologie – Grundstruktur

Um eine funktionsfähige Ontologie zu gewährleisten, sind die unterstützenden Aktivitäten Dokumentation und V&V von großer Bedeutung. Die Dokumentation findet parallel zu den drei Phasen des Vorgehensmodells statt. Insbesondere die Konzeptualisierung ist in einem hohen Detaillierungsgrad festgehalten und dient in Meetings als Diskussionsgrundlage für den Entwicklungsprozess. Neue Aufgaben in der Entwicklung der Ontologie sind stets tabellarisch hinsichtlich Bereich, Beschreibung, Ziel, Voraussetzung, Priorität und Erfüllungsgrad dokumentiert. Dies erweist sich bei der Implementierung in Protégé® als vorteilhaft, sodass der aktuelle Bearbeitungsstand stets dem Projektteam bekannt ist.

Die Validität der Ontologie kann durch eine kontinuierliche Überprüfung der Richtigkeit der Eingaben garantiert werden. Dazu werden vier Methoden herangezogen:

- OntoGraf: Der OntoGraf bildet die Ontologie grafisch ab. Somit können Klassen, Unterklassen, Individuals und ihre Beziehungen nachvollzogen und im Projektteam diskutiert werden. Der OntoGraf ermöglicht eine grafische Untersuchung der Vollständigkeit und Struktur der Ontologie und dient in erster Linie einer frühen Verifikation.

- **OWL-Reasoner:** Mit Hilfe eines OWL-Reasoners kann die Konsistenz der Ontologie geprüft werden. Durch die Charakterisierung von ObjectProperties wird durch die Aktivierung des Reasoners aufbereitetes Wissen angezeigt, das aufgrund von logischen Schlussfolgerungen gewonnen wurde. Inkonsistenzen zwischen dem Soll- und dem Ist-Zustand werden durch die Nutzung des Reasoners aufgedeckt und behoben.
- **DL Queries:** Im Zuge der Implementierung der Ontologie in Protégé können bereits durch einfache Abfragen die Funktionalitäten zur Nutzung der Ontologie geprüft und Fehler aufgedeckt werden. Mit Hilfe einer DL Query (Description Logic Query) kann der Entwickler nach Klassen, Unterklassen und Individuals suchen und ihre Vollständigkeit prüfen. Die Beziehungen zwischen den Klassen und Individuals werden somit hinsichtlich ihrer definierten Bedingungen getestet. Hierbei werden insbesondere die ObjectProperties „causeOf“ und „consequenceOf“ überprüft, die die Wechselwirkung zwischen den Einflussparametern beschreiben.
- **SPARQL-Queries:** SPARQL-Queries erfolgen in einer eigenen Abfragesprache, die der Datenbanksprache SQL ähnelt. Die Abfrageergebnisse werden in einem XML-Format (Extensible Markup Language-Format) zurückgegeben. Durch die Aktivierung des Reasoners können mit Hilfe der SPARQL-Queries komplexere Abfragen erfolgen. Erst durch die Überprüfung der Ontologie durch die SPARQL-Queries kann eine valide Ontologie garantiert werden, die die Funktionalitäten erfüllt.

Die Ontologie wird im weiteren Verlauf in die Entwicklung des Demonstrators eingebunden und über den Server Apache Jena Fuseki (Fuseki 2019) aufgerufen (siehe Abschnitt 3.4).

An dieser Stelle ist die Entwicklung des allgemeinen Methodenbaukastens auf Basis von Expertenwissen und historischen Daten abgeschlossen. Dieser umfasst alle relevanten Methoden, die in den Abschnitten 4.2.2 bis 4.2.7 beschrieben sind. Der Baukasten stellt eine Basis für das weitere Vorgehen einer unternehmensspezifischen Adaption dar (siehe Abbildung 4-14).

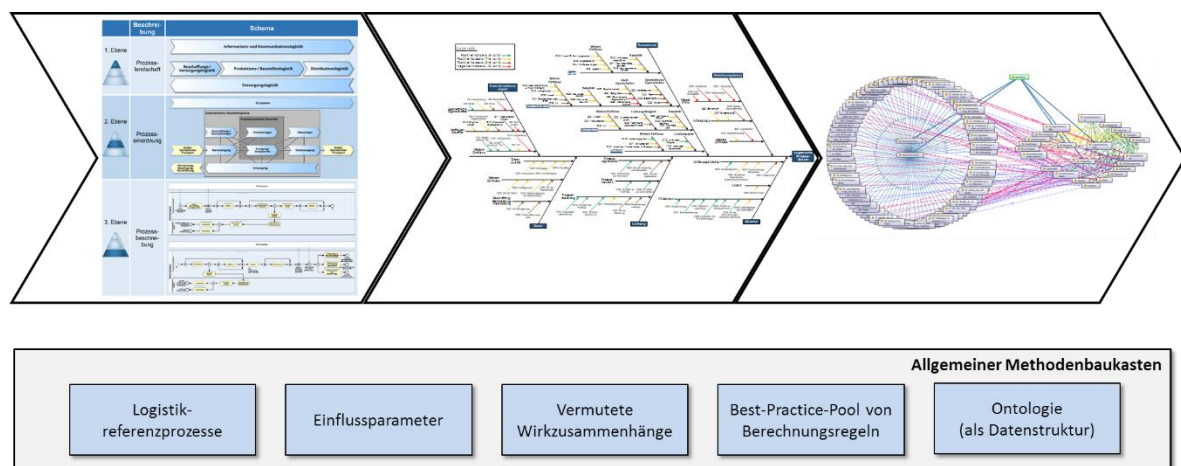


Abbildung 4-14: Allgemeiner Methodenbaukasten

Logistische Prozesse der Unikat- und Kleinserienfertigung sind in einem logistischen Referenzmodell beschrieben, für die logistischen Prozesse stehen identifizierte Einflussparameter zur Verfügung, die in vermuteten Wirkzusammenhängen stehen, und ein Best-Practice-Pool von Berechnungsregeln liegt vor und wird in Form einer Ontologie verwaltet.

4.2.8 Integration von Simulationsaspekten

Nicht für jede Problemstellung können die komplizierten Zusammenhänge, die zur jeweiligen Dauer eines logistischen Prozesses führen, über die unter Abschnitt 4.2.6 skizzierten Berechnungsregeln in ausreichendem Maße quantifiziert werden. Insbesondere durch dynamische Effekte im Zeitverlauf können komplexere Modelle zur Berechnung einer Prozessdauer erforderlich sein. Eine etablierte Methode hierzu ist insbesondere im Bereich Produktion und Logistik die Ablaufsimulation (Gutenschwager et al. 2017), mit der auch komplexe Prozesszusammenhänge mit einem hohen Detaillierungsgrad adäquat abgebildet werden können. Wie im Projekt simject (Gutfeld et al. 2015) beschrieben worden ist, können diese Modelle als Bewertungsfunktion der Dauer eines logistischen Prozesses aufgefasst und darum auch als weitere Schätzmethode erneut Anwendung finden (Kusturica et al. 2018). Basis der Schätzung ist ein Modell, das den jeweiligen Prozess hinreichend genau in seiner Dynamik abbildet. Die konkrete Parametrierung des Modells kann über vorliegenden Unternehmensdaten erfolgen. Das Simulationsmodell wird mit diesen Daten initialisiert, muss aber im Vorfeld und unabhängig vom Vorgehensmodell in SimCast erstellt und jeweils durch das Unternehmen aktuell gehalten werden.

Aus den beschriebenen Gründen sollen die Nutzung eines Simulationsmodells und dessen Integration in die SimCast-Methodik ergänzend zu den im Projektantrag gestellten Anforderungen Anwendung finden. Hierzu wird in Vorbereitung auf die Entwicklung des Demonstrators ein Simulationsmodell basierend auf vorliegenden Unternehmensdaten in der Simulationssoftware Simio® erstellt.

Simuliert werden soll ein unternehmensinterner Transportprozess vom Wareneingang zum Beschaffungslager. Der Transport eines Produktes, im Experiment wird dazu ein Blech verwendet, kann durch den Stapler 1, den Stapler 2, den Stapler 3, den Stapler 4 oder händisch durch den Mitarbeitenden erfolgen. Die angenommenen Geschwindigkeiten der Arbeitsmittel und des Mitarbeitenden sind triangular verteilt. Die triangulare Verteilung wird der Normalverteilung vorgezogen, da sowohl die Maschinen als auch die Mitarbeitenden den Modalwert ihrer Geschwindigkeit nach unten hin nahezu immer unterschreiten könnten; ihn in der Praxis aber nur geringfügig überschreiten können. Der Tätigkeit geschuldet handelt es sich also nicht um eine Normalverteilung. Abbildung 4-15 stellt die Verteilungen grafisch dar.

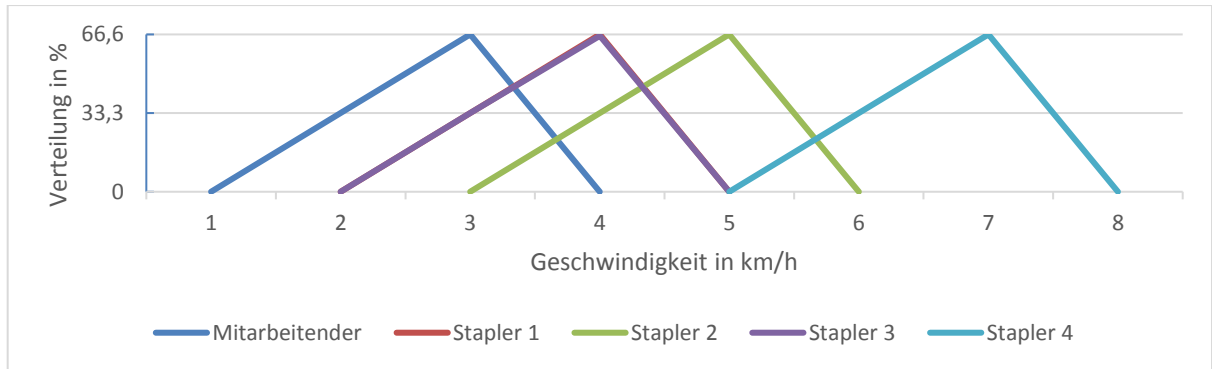


Abbildung 4-15: Trianguläre Verteilung der Geschwindigkeiten

Ein dem Beispielmodell zugrundeliegender Prozess wird an dieser Stelle exemplarisch dargestellt. Der Prozess dient der Ermittlung der Verfügbarkeit einzelner Arbeitsmittel (siehe Abbildung 4-16) sowie der Berechnung der Zwischenankunftszeit zu transportierender Teile im Prozess; hier der Transport vom Wareneingang in das Beschaffungslager.

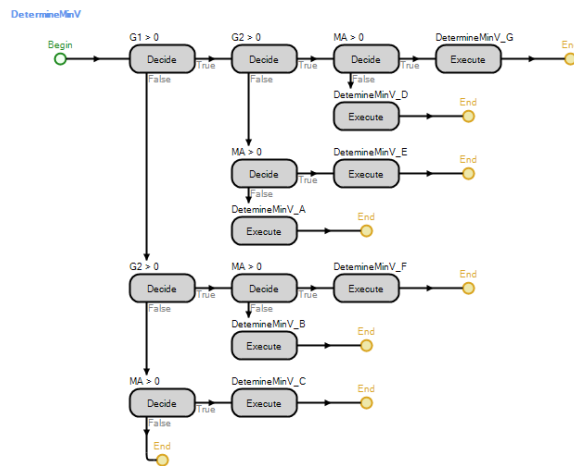


Abbildung 4-16: Prozess zur Überprüfung der Verfügbarkeit einzelner Arbeitsmittel

Dabei wird überprüft, ob der Stapler 1 (G1) vorhanden ist, also mehr als 0-mal in diesem Transportbereich einsatzfähig ist. Ist dies der Fall, werden Stapler 2 und der Mitarbeitende auf gleiche Weise überprüft und in dem Unterprozess DetermineV_G (siehe Abbildung 4-17) die Zwischenankunftszeit ermittelt. Wird einer der Verzweigungen mit False beantwortet, wird ein anderer Pfad ausgewählt; entsprechend ein anderer Unterprozess.

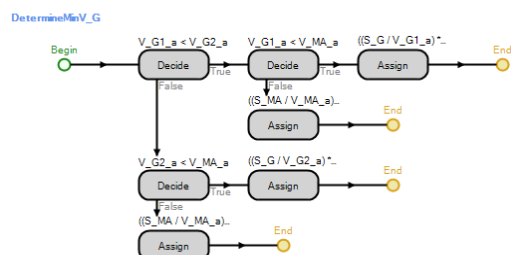


Abbildung 4-17: Unterprozess zur Ermittlung der Zwischenankunftszeit

Der Unterprozess vergleicht zunächst die niedrigsten Geschwindigkeiten. Ist V_{G1_a} kleiner als V_{G2_a} und V_{G1_a} kleiner als V_{MA_a} , so wird die Zwischenankunftszeit aus dem Wert von Stapler 1 ermittelt. Sie ergibt sich als Quotient der mit Stapler 1 zu fahrenden Strecke S_G und der Geschwindigkeit V_{G1_a} des ermittelten Staplers 1 und gibt an, wie schnell ein neues Teil maximal in den Prozess aufgenommen werden kann, ohne dass Puffer benötigt werden.

Das nachfolgende Simulationsmodell (siehe Abbildung 4-18) stellt einen Transportprozess vom Wareneingang über das Beschaffungslager, die Produktion und den Wareneingang dar. Der Strecke zwischen Wareneingang und Beschaffungslager wird durch den Stapler 1, den Stapler 2 oder händisch durch den Mitarbeitenden bedient. Folgende Verteilung wird dabei angenommen: Die Ortsveränderlichkeit von 70 % der Aufträge wird von Stapler 1, 20 % von Stapler 2 und 10 % von einem Mitarbeitenden händisch durchgeführt. Der Transport des Objektes zwischen Beschaffungslager und Produktion erfolgt zu 80 % mit Stapler 3, zu 20 % mit Stapler 3. Stapler 3 bedient zudem zu 80 % die Transporte von der Produktion in den Wareneingangsbereich. Zudem werden die Ortsveränderungen zu 20 % durch Stapler 4 durchgeführt. Die Verteilungen der eingesetzten Arbeitsmittel vom Ausgangs- zum Zielbereich werden unter den jeweiligen Transportstrecken dargestellt. Die im oberen rechten Bereich der Abbildung befindlichen Skalen zeigen den Minimal-, Durchschnitts- und Maximalwert der Dauer der simulierten Prozesse an.

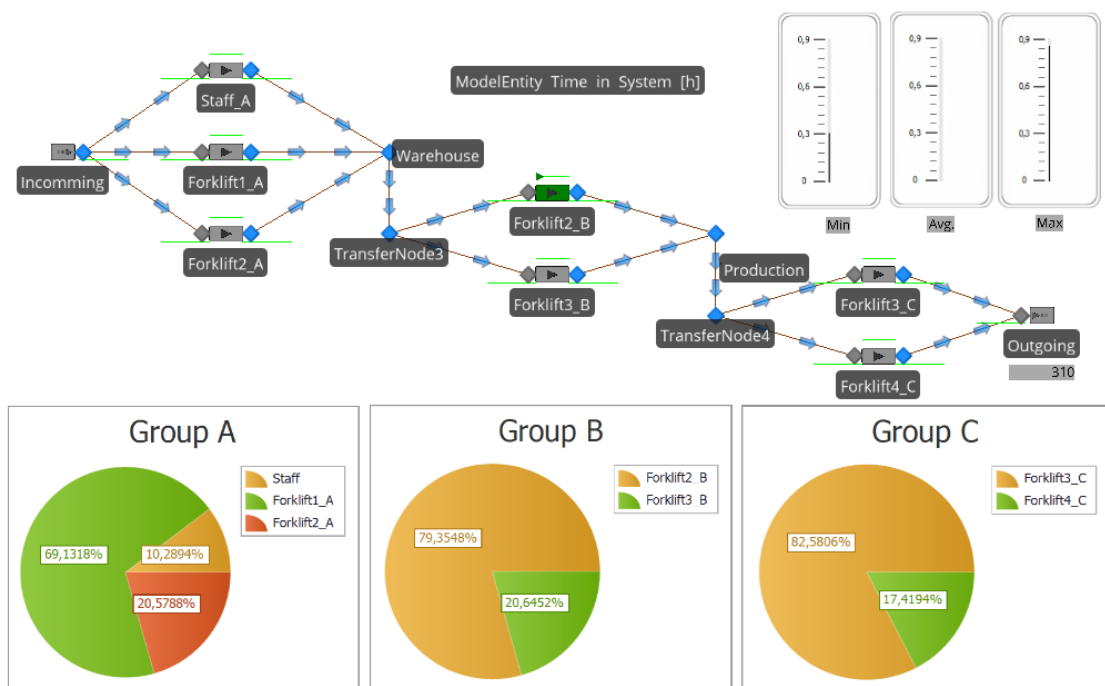


Abbildung 4-18: Simulationsmodell zur Ermittlung einer Prozessdauer (erstellt in Simio®)

Das Simulationsmodell wird im weiteren Verlauf in die Implementierung und Anwendung des Demonstrators einbezogen (siehe Abschnitte 4.2.10 und 4.2.11).

Das so beschriebene Simulationsmodell kann dann als Schätzer für die konkrete Dauer eines logistischen Prozesses herangezogen werden, wobei neben dem ausgewählten Schätzer auch ergänzende Parameter mit im Projektplan gespeichert werden können (beispielsweise weitere Daten hinsichtlich stochastischer Verteilungen). Im Rahmen der Projektplanung kann dies auch an verschiedenen Stellen und Teilprojektschritten eines Projektplans erfolgen. In Konsistenz mit den Ideen des Forschungsprojektes simject können diese Daten dann im Rahmen der Simulation des Gesamtprojektplans erneut verwendet werden. Hier dienen die Schätzer, ggf. angereichert mit spezifischen Parametern hinsichtlich stochastischer Eigenschaften, zur Abbildung von Prozessunsicherheiten. Sie können dann zu einer Risikobewertung des gesamten Projektplans verwendet werden. Hierfür wird der erstellte Projektplan in spezifische Plug-ins der SimAssist[®]-Plattform importiert, die in der Lage sind, den Projektplan um stochastische Einflussparameter zu ergänzen, zu simulieren und die Ergebnisse der Simulation im Rahmen einer Risikobewertung zu visualisieren (zur Funktionsweise der einzelnen Plug-ins siehe Abschlussbericht simject: Gutfeld et al. 2015).

4.2.9 Anforderungsanalyse, funktionales und technisches Lastenheft

Als Teil des Entwicklungsprozesses des Demonstrators erfolgt in diesem Abschnitt der Aufbau eines Anforderungskatalogs, basierend auf den Vorgaben zum Requirement Engineering nach Rupp, Joppich (2014). Die Anforderungen sind in funktionale und nicht-funktionale Anforderungen kategorisiert und in MUSS, SOLL und KANN-Funktionalitäten gewichtet. Die Priorisierung erfolgt entsprechend der geforderten Funktionalitäten des zu entwickelten Demonstrators. Die abgestimmten Anforderungen bilden die Basis für die weiteren Arbeiten im Entwicklungsprozess des Demonstrators.

Funktionale Anforderungen beziehen sich auf den Funktionsumfang des Demonstrators; nicht-funktionale Anforderungen beziehen sich auf die Umgebung, die Prozesse und die Eigenschaften. Hierzu zählen auch Anforderungen an das Laufzeitverhalten des Demonstrators sowie die Interaktion zwischen den einzelnen Komponenten wie der Ontologie, der Simulationssoftware Simio[®] und dem Analysetool Rapidminer[®]. Aufgelistete Anforderungen (Beispiel siehe Tabelle 4-3) werden als User-Stories (siehe Tabelle 4-4) beschrieben. Eine detaillierte Liste des Anforderungskatalogs befindet sich im Anhang XIII. Exemplarisch wird die Ermittlung von Prozesszeiten auf Basis historischer Daten angegeben. Die Anforderung besteht darin, Mittelwert, Median, Minimum, Maximum und Varianz der untersuchten Daten im Demonstrator zu berechnen und dem Anwender anzuzeigen.

Tabelle 4-3: Anforderung aus dem Anforderungskatalog

Prio	Name	System	Anforderung	Akteur	Tätigkeit	Objekt	Prozesswort
1	Prozesszeiten aus historischen Daten	Demonstrator	wird	dem Anwender	die Möglichkeit bieten	Mittelwert, Median, Minimum, Maximum und die Varianz aus historischen Daten	zu berechnen

Tabelle 4-4: User-Stories aus dem Anforderungskatalog

Wer	Wichtigkeit	Ziel/Wunsch (Was)	Nutzen (Warum)	Verb	Story
Anwender	möchte ich unbedingt	Mittelwert, Median, Minimum, Maximum und die Varianz aus historischen Daten berechnen	Präzisierung der statistischen Aussage	treffen	Als Anwender möchte ich unbedingt in Teil 2 des Demonstrators "Datenanalyse" folgende Ergebnisse angezeigt bekommen: Mittelwert, Median, Minimum, Maximum und die Varianz aus historischen Daten; um statistische Aussagen treffen zu können.

Die Definition von Anforderungen in Form von User-Stories dient dazu, die funktionalen und nicht-funktionalen Anforderungen an den Demonstrator so zu formulieren, dass auch Nicht-IT-Experten sie nachvollziehen können. Zu den definierten Anforderungen lassen sich im Einzelnen folgende methodische Ergänzungen ableiten:

- Verbesserung der Planung logistischer Prozesse auf Basis von ermittelten Einflussparametern
- Verbesserung der Planung logistischer Prozesse auf Basis von Auswertungen historischer Projekt- und Prozessdaten und deren Visualisierung
- Verbesserung der Planung logistischer Prozesse durch Ablaufsimulation logistischer Prozesse und deren Visualisierung
- Verbesserte Überwachung einzelner Vorgänge durch Anwendung der genannten Entscheidungsunterstützungsfunktionen
- Verbesserung der Projektüberwachung und Reaktion auf Planänderungen durch Gantt-Diagramme
- Systematische Ablage von Expertenwissen basierend auf Erfahrungswerten vorangegangener Projekte in einer Ontologie zur Wiederverwendung und kontinuierlichen Verbesserung der Planungsqualität
- Systematische Ablage von Projektdaten zur Wiederverwendung und kontinuierliche Verbesserung der Planungsdatenqualität durch Data-Mining-Verfahren

Spezifische Anforderungen, die beteiligte Unternehmen des PA äußern, 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
- Anwendung des zu entwickelnden Tools ohne Statistikkennntnisse; die zu entwickelnde Methodik soll in einem Methodenbaukasten im Hintergrund stattfinden
- Einbindung in eine Referenzarchitektur 4.0 (zum Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0) siehe z. B. Döbrich et al. 2017) und Integrierbarkeit in andere Projektmanagementwerkzeuge als Add-in bzw. Add-on
- Erweiterbarkeit des zu entwickelnden Demonstrators für nicht-logistische Prozesse

Eine zwingende Voraussetzung zur Erreichung einer hohen Akzeptanz der zu entwickelnden Methodik ist die Integrierbarkeit in die im jeweiligen Unternehmen eingesetzten Anwendungsprogramme. Gleichzeitig sollen die Methoden sinnvoll vernetzt und in qualitativ hochwertige Analysen integriert werden. Um dem Wunsch der Unternehmen nach einem transparenten Projektmanagementprozess nachzukommen und auch die Einbindung von Erfahrungswissen aus vorangegangenen Projekten zu ermöglichen, wird im Sinne eines Workflows ein Vorgehensmodell (siehe Abschnitt 4.2.12) zur Adaption vom allgemeingültigen zum unternehmensspezifischen Methodenbaukasten eine hohe Wichtigkeit zugeschrieben.

Die Anforderungen finden im Entwicklungsprozess des Demonstrators Anwendung.

4.2.10 Implementierung eines Demonstrators

Ein Demonstrator zeigt die Funktionalitäten der Methodik in einer praktischen Anwendung auf. Um einen Überblick dieser Funktionalitäten zu gewinnen, ist in Abbildung 4-19 ein Systembild des Demonstrators abgebildet. Auf Basis des entwickelten Systembildes des Demonstrators existiert ein dreiteiliges Plug-in, in dem die Funktionalitäten des Anforderungskatalogs prototypisch realisiert werden. Die drei Teile des Plug-ins gliedern sich wie folgt:

- Teil 1: Schätzung der Dauer logistischer Prozesse auf Basis von externalisiertem Expertenwissen
- Teil 2: Schätzung der Dauer logistischer Prozesse auf Basis einer Auswertung historischer Projektdaten mit Methoden des Data-Minings, insbesondere Clusteranalysen (k-Means) in Excel/Rapidminer®
- Teil 3: Schätzung der Dauer logistischer Prozesse auf Basis der Erstellung eines Simulationsmodells mit Simio®

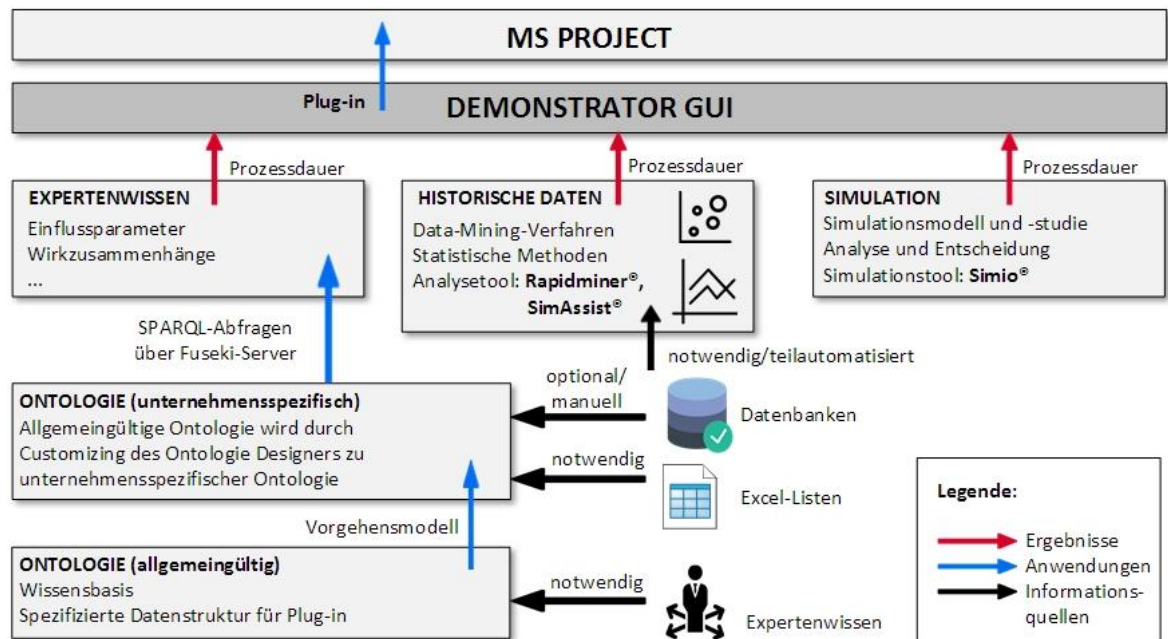


Abbildung 4-19: Systembild Demonstrator

Alle Teile können unabhängig voneinander für die Planung herangezogen werden. Das Plug-in wird in der Entwicklungsumgebung MS Visual Studio programmiert und die wesentliche Funktionsweise nachfolgend ausführlich beschrieben.

Dem Systembild kann entnommen werden, dass Expertenwissen als Informationsquelle für die Erstellung einer allgemeingültigen Ontologie einfließt, die die Wissensbasis und die spezifizierte Struktur für das Plug-in darstellt (siehe Abschnitt 4.2.7). Für die Adaption in eine unternehmensspezifische Ontologie werden historische Projektdaten sowie Informationen aus Excel-Listen genutzt und mit SimAssist® aufbereitet. Die Übertragung von unternehmensspezifischen Informationen aus Excel-Listen in die Ontologie erfolgt mittels eines Makros, um einen teilautomatisierten Prozess zu ermöglichen (im weiteren Verlauf erläutert). Auf das in der Ontologie verfügbare unternehmensspezifische Wissen wird durch SPARQL-Abfragen zugegriffen (ebenfalls im weiteren Verlauf erläutert), um auf die Dauer von logistischen Prozessen zu schließen (Teil 1 des Demonstrators). Neben der Bereitstellung einer Prozessdauer, basierend auf dem Expertenwissen in der Ontologie, soll die Prozessdauer ebenfalls auf Basis historischer Daten abgeschätzt werden können (Teil 2 des Demonstrators). Eine weitere Schätzung kann unter Einsatz der Simulationmethode einen Beitrag für die Unterstützung des Planers leisten (Teil 3 des Demonstrators). Die Ergebnisse werden in einem Plug-in über dessen grafische Benutzerschnittstelle (GUI: Graphical User Interface) ausgegeben. Als Projektmanagementwerkzeug wird zur Entwicklung des Demonstrators MS Project aufgrund der weiten Verbreitung bei KMU ausgewählt.

Für die Programmierung des Plug-ins in MS Visual Studio wird ein Sequenzdiagramm erstellt, das die Interaktionen der in der Anwendung des Demonstrators erforderlichen Teilnehmer grafisch beschreibt (siehe Anhang XIV). Dabei werden die Rollen des Anwenders

(User) und die Rolle des Beraters bereits berücksichtigt. MS Project, das Plug-in, die Ontologie, Excel-Listen für die Unternehmensdaten und historische Prozess- und Projektdaten interagieren mit den Rollen des Users und Beraters und sind im sequenziellen Ablauf für die Umsetzung des Demonstrators dargestellt. Ausgewählte Inhalte in der Entwicklung des Demonstrators werden nachfolgend beschrieben.

Das Menü des Projektmanagementwerkzeugs MS Projekt wird um die Registerkarte „SimCast“ und den Menüpunkt „Prozess planen“ erweitert. Durch Klicken auf den genannten Menüpunkt öffnet sich die Startseite des Plug-ins. Die grafische Oberfläche des Plug-ins zur Ermittlung der Dauer ausgewählter logistischer Prozesse in MS Project ist leicht bedienbar aufgebaut und enthält lediglich die drei Schaltflächen „Expertenwissen“, „Historische Projektdaten“ und „Simulationsmodell“ zur Auswahl der jeweiligen Methode. Zudem befinden sich auf der Startseite die jeweiligen Felder zur Anzeige der ermittelten Ergebnisse sowie zu jedem Ergebnis eine Schaltfläche „Übernehmen“, um das vom Anwender gewünschte Ergebnis aus dem Plug-in in MS Project zu übernehmen. Durch das Übernehmen passt sich die Länge des Vorgangs im Gantt-Diagramm automatisch an. Vorgänge, die mit einer der drei Methoden genauer geplant werden, bekommen eine Kennzeichnung. Die Implementierung der drei Teile des Demonstrators wird nachfolgend erläutert.

Grundvoraussetzung für die Schätzung einer Prozessdauer aus Basis von Expertenwissen (Teil 1 des Demonstrators) ist die dafür notwendige Speicherung strukturierter Unternehmensdaten in Form von Excel-Listen. Für die Funktionalität müssen die Listen „Stückliste“, „Transportmatrix“, „Arbeitsmittel“ und „Arbeitshilfsmittel“ mit entsprechenden Daten aus dem Unternehmen gepflegt werden (siehe Abbildung 4-20). Hierbei steht jede Zeile in der Excel-Liste für ein Objekt, dem spezifische Eigenschaften zuzuordnen sind (siehe Erläuterungen zu den Objekten in Abschnitt 4.2.7).

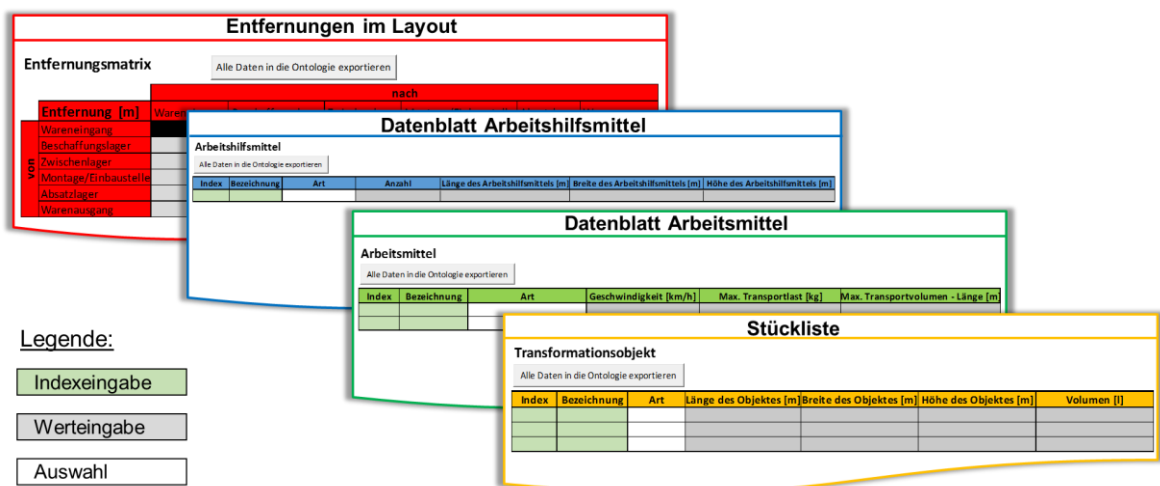


Abbildung 4-20: Excel-Listen als Informationsquelle für die Wissensbasis

Über die Schaltfläche „Daten in die Ontologie exportieren“ werden die eingepflegten Daten mit Hilfe eines Makros automatisch in die in Abschnitt 4.2.7 entwickelte Ontologie eingepflegt und eine neue Version einer Beispiel-Input-Datei *Ontologie.owl* wird unter dem Namen *Ontologie_Export.owl* gespeichert. Nach einem erfolgreichen Export und Integration der Daten in die Ontologie erscheint ein Dialogfenster „Import erfolgreich“.

Die Übernahme der Unternehmensdaten aus den Listen mittels Makros wird nachfolgend in Pseudocode dargestellt (siehe Abbildung 4-21). Für den Export von Daten aus den Listen wird ein Algorithmus geschrieben, um alle Unternehmensdaten in die Ontologie zu importieren. Dazu wird zunächst gezählt, wie viele Objekte mit entsprechenden gepflegten Eigenschaften in der Excel-Liste stehen. Dies erfolgt für jede Kategorie, wobei jede Kategorie einen eigenen Reiter darstellt. Liegt keine Benennung des Objektes vor oder befindet sich der Name des Objektes bereits in der Ontologie, findet keine Übernahme von Daten statt und die Zeile in Excel wird übersprungen. Ist dies nicht der Fall, werden alle beschriebenen Werte der zum Objekt zugeordneten Eigenschaften dem in der Ontologie angelegten Objekt zugeordnet.

```
File import  
Repeat for each category  
Counting objects to be exported  
    If object has no name or if object already exists in the ontology, cancel further  
    code execution  
    If parameter value exists and it has not been added yet, then add it  
Repeating for data properties from the same category
```

Abbildung 4-21: Pseudocode für die Programmierung des Makros

Die übernommenen Daten aus der Excel-Liste können in einer grafischen Darstellung der Ontologie in Abbildung 4-22 nachvollzogen werden. Über die Indexeingabe werden drei neue Objekte erzeugt (grün). Exemplarisch für das mittlere Objekt sind die Eigenschaften aus der Excel-Liste eingeblendet (grau). Diese lassen sich zum einen über Werteeingaben, wie z. B. der Angabe der Maße Länge, Breite und Höhe (rot), zum anderen über spezifizierte Ausprägungen definieren, die aus Vorschlägen ausgewählt werden (blau). Die Spezifizierung weiterer Parameter, die nicht auf diese Weise zu bestimmen sind, erfolgt im Zuge der praktischen Anwendung (zu den allgemeinen Parameterausprägungen siehe Abschnitt 4.2.4).

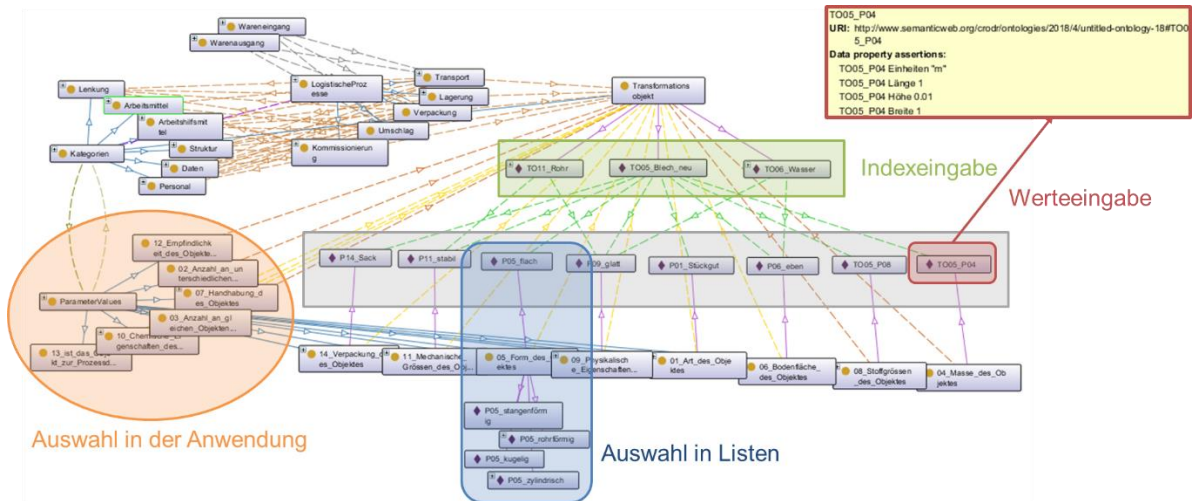


Abbildung 4-22: Ontologie – Grundstruktur

Die Ontologie kann direkt an das Plug-in für MS Project angebunden werden. Hierbei handelt es sich um eine Insellösung, da weitere Nutzer nicht auf die Wissensbasis zugreifen können und somit jeder Nutzer seine eigene Ontologie verwalten und warten muss. Um dies zu vermeiden, bietet sich die Nutzung eines Dienstes an, der die Ontologie lokal, im Intranet oder im Internet verfügbar macht. Die Nutzung eines sogenannten Fuseki-Servers ermöglicht einen solchen Dienst (Server Apache Jena Fuseki siehe Abschnitt 3.4). Zum Testen wird die Ontologie lokal auf dem Fuseki-Server über die Verbindung zu localhost:3030 hochgeladen. In der Fuseki-Umgebung können SPARQL-Abfragen bereits getestet werden. Das Plug-in nutzt diesen Dienst, um Abfragen an die Ontologie zu senden. Das Plug-in erhält entsprechend der gesendeten Anfrage eine XML-basierte Ausgabe, die der Fuseki-Server weitergibt. Der Zugriff des Plug-ins auf die Wissensbasis ist in Abbildung 4-23 dargestellt.

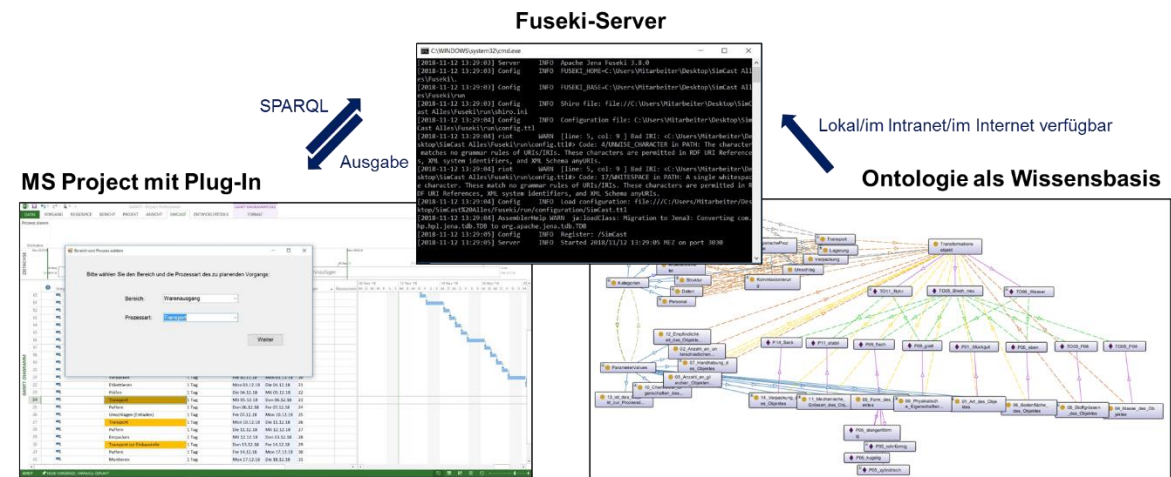


Abbildung 4-23: Zugriff auf die Wissensbasis

SPARQL-Abfragen sind bereits im Plug-in für die Anwendung statisch programmiert und vorab über den Fuseki-Server validiert worden. Nachfolgend werden zwei Beispiele erläutert. Das erste Beispiel zeigt den Quellcode einer SPARQL-Abfrage, um Kategorien zu filtern, die für einen bestimmten logistischen Prozess wichtig sind. Als logistischer Prozess wird in Abbildung 4-24 die Kommissionierung gewählt. Das Ergebnis zu der Abfrage, welche Kategorien für die Kommissionierung wichtig sind, kann in Anhang XII eingesehen werden.

```
SELECT DISTINCT ?object
WHERE {
    SimCast:Kommissionierung rdfs:subClassOf ?description.
    ?description owl:onProperty ?property.
    ?description owl:someValuesFrom ?object.
}
```

Abbildung 4-24: SPARQL-Abfrage I

Das zweite Beispiel in Abbildung 4-25 für eine SPARQL-Abfrage fragt Parameter ab, die mit einer Kategorie in Beziehung stehen. Die Beziehung wird als „parameterOf“ beschrieben und in dem Beispiel werden die Parameter erfragt, die dem Transformationsobjekt zugeordnet sind. Das Ergebnis zu der Abfrage, welche Parameter dem Transformationsobjekt zugeordnet sind, kann in Anhang V eingesehen werden.

```
SELECT DISTINCT ?a
WHERE {
    ?a rdfs:subClassOf SimCast:ParameterValues.
    ?a rdfs:subClassOf ?label.
    ?label owl:onProperty SimCast:parameterOf.
    {?label owl:onClass SimCast:Transformationsobjekt} UNION
    {?label owl:someValuesFrom SimCast:Transformationsobjekt}.
    FILTER (?a != owl:Nothing)
}
```

Abbildung 4-25: SPARQL-Abfrage II

Grundvoraussetzung für die Schätzung einer Prozessdauer aus Basis historischer Daten (Teil 2 des Demonstrators) ist die dafür notwendige Speicherung strukturierter Projekt- und Prozessdaten. Für die Funktionalität müssen aufbereitete Excel-Listen mit entsprechenden Daten aus dem Unternehmen gepflegt werden. Mit Hilfe einer Clusteranalyse (k-Means) in Excel können gleiche Prozesse identifiziert und in die Analyse mit einbezogen werden. Mit Hilfe von hinterlegten Berechnungsregeln im Regelwerk (Typus 2) wird die logistische Prozessdauer in eine mathematische Funktion überführt und ausgegeben. Die aufbereitete Excel-Liste ist direkt an das Plug-in angebunden und kann jederzeit überarbeitet werden.

Die Berechnungsregeln sind statisch in dem Plug-in abgelegt und werden in Abhängigkeit des Anwendungsfalls im Plug-in aufgerufen.

Für die Schätzung einer Prozessdauer unter Einbeziehung der Simulation (Teil 3 des Demonstrators) muss, wie bereits in Abschnitt 4.2.8 beschrieben, ein Simulationsmodell aufgestellt werden. Dieses wird ausschließlich im Simulationswerkzeug ausgeführt. Der Aufruf erfolgt direkt aus dem Plug-in, nach dem Simulationslauf ist das Ergebnis zurück in das Plug-in zu überführen.

Dem Anwender liegen nach Anwendung der drei Teile des Demonstrators auch drei Ergebnisse als Unterscheidungsunterstützung vor, von denen er ein Ergebnis für seine Planung übernehmen kann. Die Übernahme einer Prozessdauer aus dem Plug-in in das Gantt-Diagramm in MS Project erfolgt über einen automatisierten Schritt.

4.2.11 Anwendung des Demonstrators

Nachfolgend wird die Anwendung des Plug-in unter Nutzung des dreiteiligen Demonstrators näher beleuchtet.

Startet der Benutzer das Projektmanagementwerkzeug MS Project und anschließend das Plug-in nach Auswahl eines Planungsvorgangs, erscheint zunächst die grafische Oberfläche (Ebene 1), wie in Abbildung 4-26, links dargestellt. Der Anwender wählt den zu planenden Bereich (im Beispiel Warenausgang) und anschließend den zu planenden Prozess (im Beispiel Transport) aus und bestätigt dies über den Button „Übernehmen“. Auf der Startseite (Ebene 2) erscheinen die drei Teile der Planungsunterstützung (siehe Abbildung 4-26, rechts).

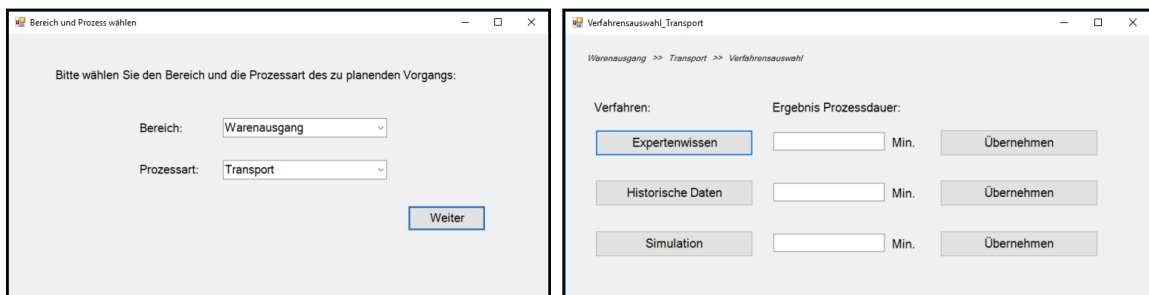


Abbildung 4-26: Anwendung des Demonstrators; links: Ebene 1, rechts Ebene 2

Über den Button „Expertenwissen“ kann der Anwender einen vorher in Ebene 1 ausgewählten Prozess auf Basis von Expertenwissen planen (Teil 1 des Demonstrators). Dafür stehen nun einzelne Auswahlfelder in Ebene 3 zur Verfügung, in denen er dem zu transportierenden Objekt weitere Einflussparameter zuordnet (siehe Abbildung 4-27). Eigenschaften zu den Transformationsobjekten und den Arbeitsmitteln werden zusätzlich in tabellarischer Form angezeigt. Im unteren Bereich der GUI hat der Anwender die Möglichkeit, zwei Parameter, die über Faktoren hinterlegt sind, in die Berechnung einfließen zu lassen. Der Einfluss durch Medienbrüche auf die Dauer logistischer Prozesse wird im Extremfall mit einem

Faktor von 1,2 angenommen; ohne Einfluss mit 1,0. Durch Klicken auf „Übernehmen“ wird das ermittelte Ergebnis auf der Startseite eingetragen und in Ebene 2 zwischengespeichert.

Abbildung 4-27: Ermittlung einer Prozessdauer auf Basis von Expertenwissen (Ebene 3)

Möchte der Anwender historische Daten bei der Ermittlung der Dauer des ausgewählten Prozesses untersuchen, gibt es die Möglichkeit, verfügbare, historische Daten zu analysieren (Teil 2 des Demonstrators). Die grafische Oberfläche zur Ermittlung einer Prozessdauer auf Basis von historischen Daten, wie in Abbildung 4-28 dargestellt, besitzt im oberen Teil einen Eingabebereich, im unteren Bereich einen Ausgabebereich sowie einen Darstellungsbereich im rechten Fensterteil.

Der Anwender wird aufgefordert eine beliebige Anzahl an Datensätzen, die in die Analyse einbezogen werden sollen, manuell einzugeben. Zudem kann er durch Checkboxes auswählen, welche historischen Prozessdaten in die Analyse einbezogen werden sollen. Wählt er „nur gleiche Prozesse betrachten“, erfolgt eine Datenbankabfrage und die Auswahl gleicher Prozesse. Wählt er „ähnliche Prozesse“, wird im Hintergrund eine Clusteranalyse zur Ermittlung ähnlicher Prozesse durchgeführt. Der Einfachheit halber wird auf die Anbindung von Analysewerkzeugen, wie bspw. Rapidminer®, verzichtet und die Clusteranalyse (k-Means) in Excel umgesetzt. Es besteht die Notwendigkeit der Auswahl einer der beiden Optionen, um anschließend durch „Berechnen“ statistische Methoden anzuwenden.

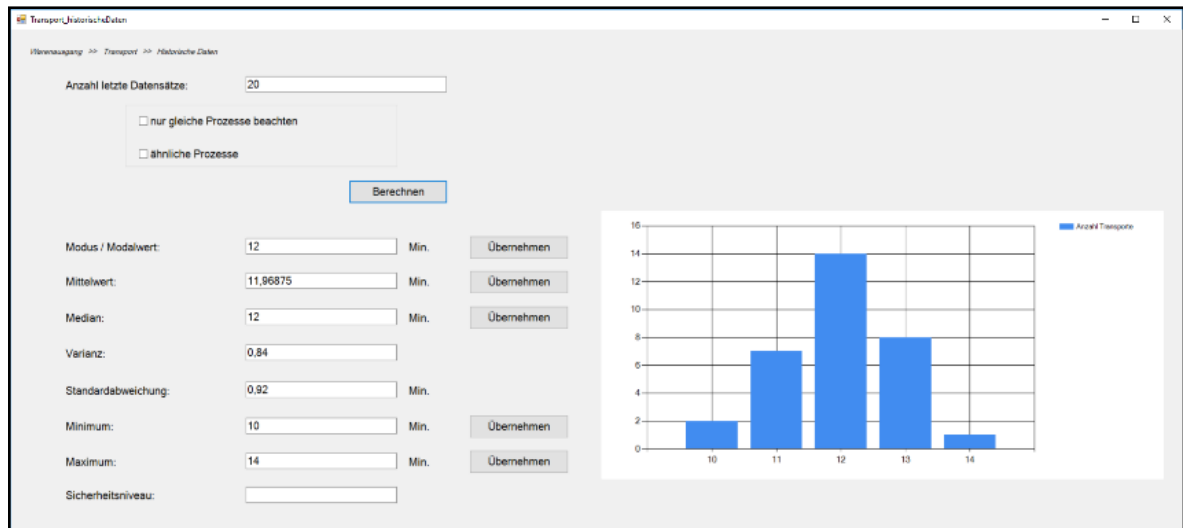


Abbildung 4-28: Ermittlung einer Prozessdauer auf Basis von historischen Daten (Ebene 3)

Ausgegeben werden Mittelwert, Median, Modus, Minimum, Maximum, Standardabweichung, Varianz und das Sicherheitsniveau. Der Anwender entscheidet aufgrund der Ergebnisse, welches dieser Ergebnisse er mittels „Übernehmen“ auf die Startseite (Ebene 2) überträgt und zwischenspeichert. Eine grafische Darstellung zeigt die Verteilung der Daten an. Es besteht die Möglichkeit, die genannten statistischen Lageparameter im Diagramm grafisch angezeigt zu lassen, um dem Anwender ein weitaus sichereres Ergebnis liefern zu können.

Möchte der Anwender Simulationsergebnisse bei der Ermittlung der Dauer des ausgewählten Prozesses untersuchen, gibt es die Möglichkeit, ein Simulationsmodell in das Plug-in einzubinden und direkt über den Button „Simulation“ aufzurufen (Teil 3 des Demonstrators). Mittels API (Application Programming Interface) lässt sich das hinterlegte Simulationsmodell in dem Simulationswerkzeug Simio[®] öffnen und ermöglicht die Durchführung von Simulationsläufen. Der Einstellungsbereich der Simio[®]-GUI verfügt über verschiedene Eingabemasken, die bereits durch den Simulationsexperten auf das Unternehmen angepasst sind. Der Anwender kann die Werte im Simulationsmodell manuell überschreiben sowie die eigentliche Simulation starten. Anschließend muss der Anwender die Ergebnisse der Simulation auf der Startseite (Ebene 2 des Plug-ins) manuell ergänzen.

Für die Übernahme eines der drei ermittelten Ergebnisse wählt der Anwender in Ebene 2 „Übernehmen“ aus, um das gewünschte Ergebnis aus dem Plug-in in MS Project zu übernehmen. Wie bereits in Abschnitt 4.2.10 beschrieben, passt sich die Länge des Vorgangs im Gantt-Diagramm automatisch an und bekommt eine Kennzeichnung (siehe Abbildung 4-29).

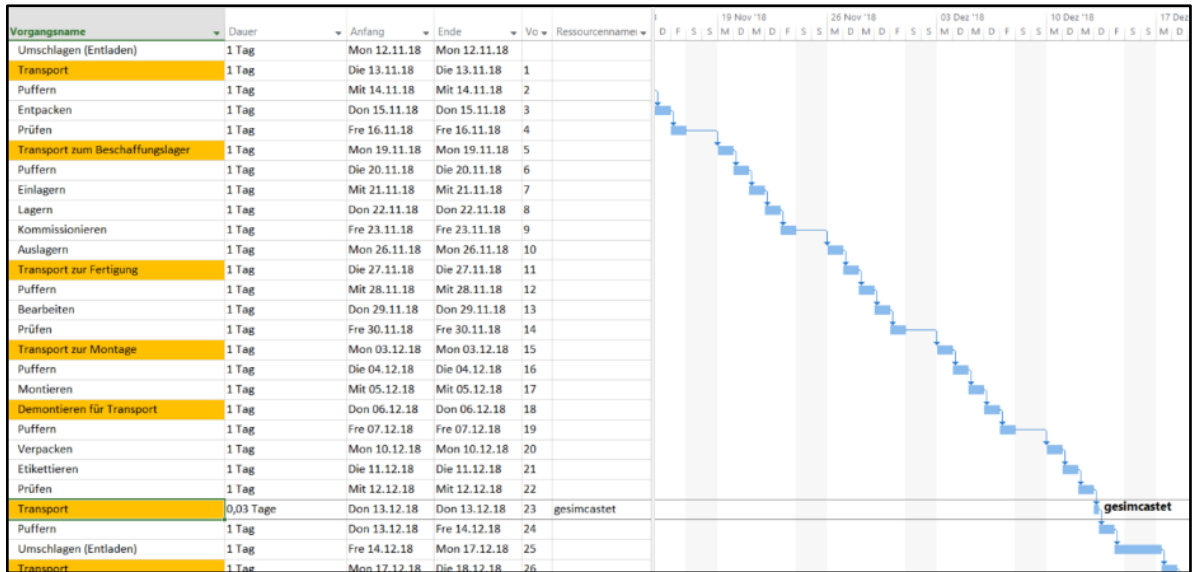


Abbildung 4-29: Gantt-Diagramm in MS Project

4.2.12 Vorgehensmodell und Nutzungskonzept

Für die Nutzung des Plug-ins im Unternehmen bedarf es eines Vorgehensmodells, das den notwendigen Adaptionprozess des allgemeingültigen Methodenbaukastens in eine unternehmensspezifische Form beschreibt und eine sichere Anwendung gewährleistet. Abbildung 4-30 zeigt das Funktionsprinzip zum Vorgehen für die notwendige Adaption des allgemeinen Methodenbaukastens, der zudem als spezifische Datenstruktur für das Schätz-Plug-in dient. Das Schätz-Plug-in greift auf diese Datenstruktur zu, um im Demonstrator die IT-Unterstützung zur Schätzung der Dauer von Logistikprozessen anzubieten. In das Vorgehensmodell fließen das Expertenwissen und die historischen Daten des konkreten Unternehmens ein (vgl. Kusturica et al. 2018b).

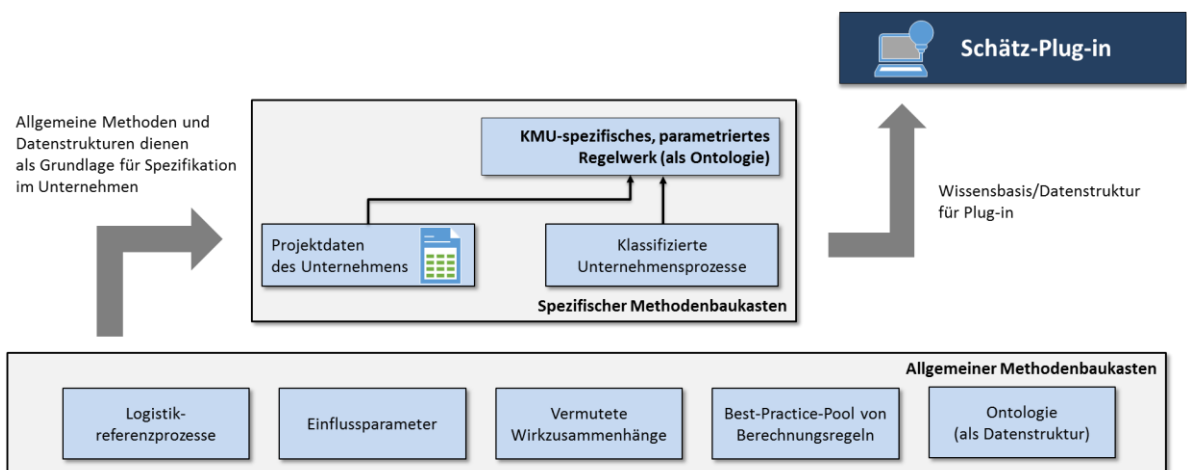


Abbildung 4-30: Funktionsprinzip zum Vorgehen

Nachfolgend wird das entwickelte Vorgehensmodell (siehe Anhang XV) beschrieben. Insgesamt gliedert sich der Prozess in sechs Phasen, die sukzessiv durchlaufen werden müssen (siehe Abbildung 4-31).



Abbildung 4-31: Phasen des Vorgehensmodells

Das Vorgehensmodell beginnt in Phase 0 mit einem Quickcheck, in dem geprüft wird, ob das Unternehmen alle Voraussetzungen für eine wissensbasierte Planung erfüllt. In dieser Phase wird eine Potenzialanalyse durchgeführt; hierzu werden Anforderungen an Daten, Unternehmen, Systeme und Mitarbeitende definiert. Erst wenn in einer Vorabprüfung eine wissensbasierte Planung als sinnvoll und möglich eingestuft wird, findet der eigentliche Prozess der Anpassung des allgemeinen Methodenbaukastens an einen unternehmensindividuellen wissensbasierten Planungsprozess statt.

In Phase 1 erfolgt eine Unternehmensanalyse, in der die logistischen Prozesse unter Nutzung des in Abschnitt 4.2.3 beschriebenen logistischen Referenzmodells abgebildet werden. Im Rahmen der unternehmensindividuellen Situationsanalyse werden der aktuelle Stand der Wissensbeschreibung sowie die relevante unternehmensinterne IT-Landschaft näher betrachtet. Abschließend entsteht ein Lastenheft, in dem die Anforderungen beschrieben sind, die durch die wissensbasierte Planung erfüllt werden sollen. Als methodisches Vorgehen wird in Phase 1 die Durchführung von Interviews empfohlen.

In Phase 2 werden die gesammelten Informationen aus der Unternehmensanalyse ausgewertet und überprüft, ob zum einen die Wissensbasis aus dem allgemeinen Methodenbaukasten für das Unternehmen einsetzbar ist und ob zum anderen die existierenden Daten im Vergleich zu den erforderlichen Daten von quantitativer und qualitativer Güte sind (sog. Phase 2.1, in Abbildung 4-31 nicht detailliert). Bei dem Abgleich mit der vorliegenden Wissensbasis aus dem Forschungsprojekt können drei Fälle auftreten:

Fall 1: Wissen vorhanden und wird benötigt

Fall 2: Wissen im Unternehmen muss in der Wissensbasis ergänzt werden

Fall 3: nicht das gesamte Wissen in der Wissensbasis wird benötigt

Ausschließlich im Fall 2 findet die sogenannte Phase 2.2 statt, in der eine Erweiterung der existierenden Wissensbasis erforderlich ist, bevor die nächste Phase eintreten kann. Bei dem Abgleich der erforderlichen Daten mit den existierenden Daten können zwei Fälle auftreten:

Fall 1: Daten sind in ausreichender Quantität und Qualität vorhanden

Fall 2: Daten sind nicht in ausreichender Quantität und Qualität vorhanden

Auch findet ausschließlich im Fall 2 die Phase 2.2 statt, in der zur Datengewinnung zunächst Daten aufgenommen werden müssen, bis diese den in Phase 0 definierten qualitativen und quantitativen Anforderungen entsprechen. Für die Untersuchung der aufgenommenen Daten wird der KDD-Prozess angewandt (siehe Abschnitt 3.5). Dieser beinhaltet das Data Mining als eigentlichen Analyseschritt.

Liegen sowohl Wissens- als auch Datenbasis in nutzbarer Qualität vor, erfolgt in der Phase 3 die unternehmensspezifische Adaption des allgemeingültigen Methodenbaukastens und der Ontologie. Parallel erfolgen sowohl die Verwaltung und die Visualisierung der Daten, um diese z. B. unter Einsatz des Werkzeuges SimAssist® präsentieren zu können, als auch die Analyse der Daten beispielsweise unter Nutzung des Werkzeuges Rapidminer®. Weitere Einflussparameter für das Unternehmen werden identifiziert und im weiteren Verlauf der Aufbau eines Simulationsmodells durchgeführt.

In Phase 4 finden die technische Einrichtung des Dienstes und des Plug-ins im Unternehmen statt. An dieser Stelle erfolgen ein Integrationstest, der die Anbindung des Plug-ins an die bestehende IT-Infrastruktur überprüft sowie ein Akzeptanztest bei dem aus Sicht des Anwenders überprüft wird, ob das Plug-in wie beabsichtigt funktioniert. Die vierte Phase schließt mit der Endabnahme ab. Zu diesem Zeitpunkt ist die wissensbasierte Planung im Unternehmen möglich. Als abschließende Phase in dem Vorgehensmodell finden in Phase 5 zur verbreiteten Nutzung von SimCast Schulungen statt, sodass das System im Unternehmen im Alltagsgeschäft eingeführt werden kann.

Für die Durchführung der Phasen des Vorgehensmodells sowie für die anschließende Nutzung des Dienstes zur wissensbasierten Planung im Unternehmen sind verschiedene Rollen notwendig, die im Gesamtsystem unterschiedliche Verantwortung tragen. Eine Übersicht der Rollen und zugehöriger Tätigkeiten sind in Abbildung 4-32 in Form eines Use-Case-Diagramms abgebildet.

Auf der linken Seite des Diagramms befinden sich die Rollen, die im Unternehmen im direkten Kontakt mit einem Projektmanagementwerkzeug, wie z. B. MS Projekt, und der wissensbasierten Planung stehen. Dazu gehört der Projektplaner, der die Projektpläne erstellt und verwaltet und in den Projektplänen die Aktivitätsdauer für aufgeführte Vorgänge festlegt. Informationen, die durch Anwendung der Schätz-Plug-ins bereitgestellt werden, sollen für die Planung der Dauer von logistischen Prozessen genutzt werden. Neben dem Projektplaner gibt es im Unternehmen Nutzer der Projektpläne, die diese Projektpläne lediglich lesen, interpretieren und den Projektfortschritt dokumentieren. Damit der Projektplaner den Dienst der wissensbasierten Planung nutzen kann, ist die Rolle eines Administrators (Admin) für MS Office notwendig, der das Plug-in installiert und aktuell hält.

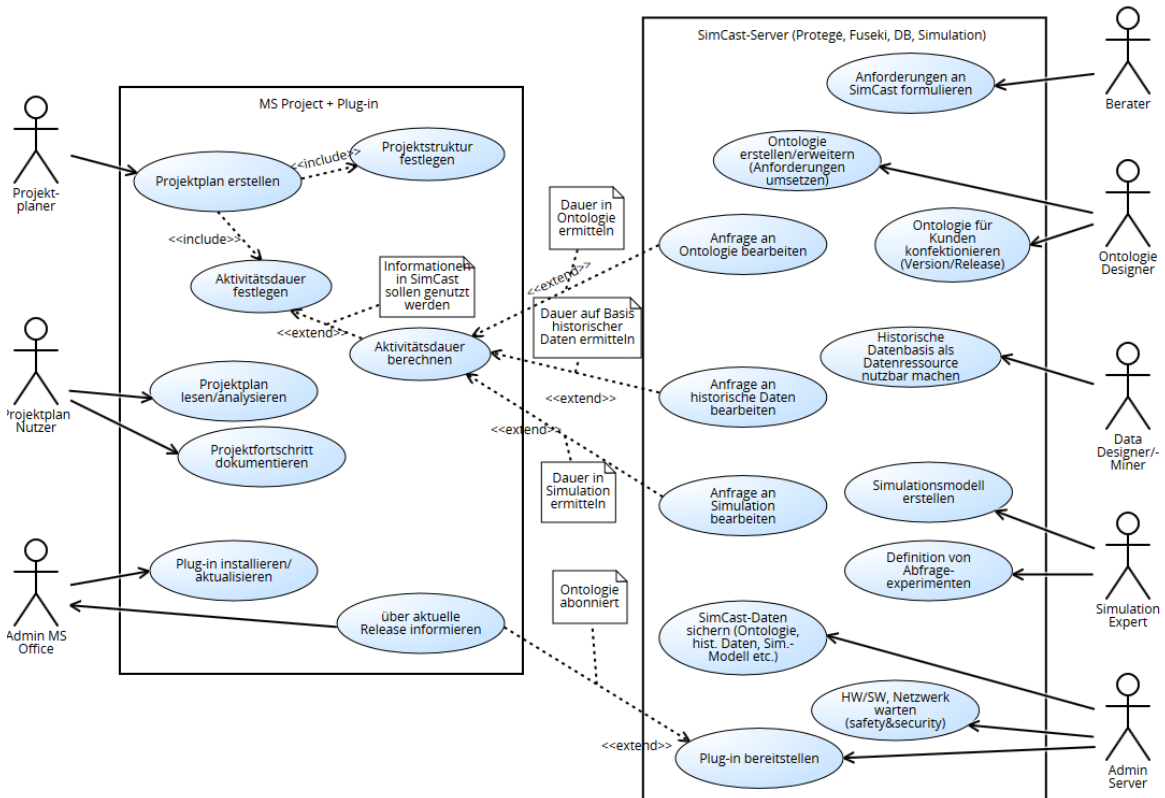


Abbildung 4-32: Use-Case-Diagramm zur Nutzung der Methodik

Auf der rechten Seite befinden sich die Rollen, die im direkten Kontakt mit einem SimCast-Server stehen, um den Dienst zur wissensbasierten Planung im Unternehmen zur Verfügung zu stellen. Die zur Ausführung der entwickelten Methodik notwendigen unterstützenden Komponenten (Fuseki-Server, Protégé, Datenbanken und die Simulationssoftware) können lokal, im Intranet oder im Internet auf einem SimCast-Server abgespeichert und ausgeführt werden. Die verarbeiteten Daten werden anschließend mit Hilfe eines Plug-ins vom SimCast-Server an MS Project übertragen und dort dann ausgegeben.

Wie bereits im Vorgehensmodell beschrieben, müssen zunächst Anforderungen seitens des Unternehmens an die wissensbasierte Planung formuliert werden. Diese Aufgabe übernimmt der Berater, der den Kontakt mit dem Unternehmen herstellt und im Nachgang bei Fragen und Wünschen seitens des Unternehmens zur Verfügung steht. Die Anforderungen, die der Berater aus den Interviews heraus formuliert, setzt der Ontologie-Designer um, indem er die allgemeingültige Ontologie in eine unternehmensspezifische Form ausarbeitet. Darüber hinaus besteht die Aufgabe des Ontologie-Designers in der Konfektionierung der Ontologie für den Kunden, damit dieser stets mit der aktuellsten Version arbeitet. Die historische Datenbasis wird vom Data-Designer/Miner als Datenressource für die Projektplanung im Unternehmen nutzbar gemacht und steht dann für die Prognose der Dauer von logistischen Prozesszeiten zur Verfügung. Als dritte Rolle verarbeitet der Simulationsexperte die Prozesse und Datengerüste in einem Simulationsmodell. Neben der Erstellung

des Simulationsmodells führt er Experimente für den Kunden durch. Für den SimCast-Server muss es ebenfalls einen Administrator geben, um dem Kunden einen reibungslosen Service anbieten zu können. Dieser stellt dem Kunden das Plug-in bereit, damit dieses im Unternehmen installiert und vom Projektplaner genutzt werden kann. Darüber hinaus sichert der Administrator die SimCast-Daten und wartet das Netzwerk, um eine sichere Nutzung des Dienstes zu gewährleisten.

4.2.13 Evaluation der Methodik

Die Evaluation bezieht sich sowohl auf die Bewertung der Methodik als auch auf die des Demonstrators. Hierzu wird ein Evaluationsleitfaden entwickelt, der als Basis für die durchzuführende Evaluation und ggf. individuelle Evaluationsgespräche dient. Der Leitfaden fokussiert insbesondere die Überprüfung der Einsetzbarkeit für KMU in Bezug auf Plausibilität, grundsätzliche Anwendbarkeit und Relevanz des Plug-ins. Der Großteil der insgesamt 18 Fragen kann auf einer Skala von 0 bis 10 bewertet werden, wobei 0 für „trifft überhaupt nicht zu“ und 10 für „trifft voll zu“ steht. Kann der Experte keine Aussage treffen, so kann die Frage mit einem Kreuz bei „Keine Antwort“ beantwortet werden. Zudem bieten die Fragen die Möglichkeit für eine kurze Begründung der Entscheidung. Drei Fragen (3, 8 und 9) werden als geschlossene Fragen gestellt, bieten jedoch ebenfalls die Möglichkeit für eine Begründung der Entscheidung. Vier Fragen (13 und 16 bis 18) werden ausschließlich als offene Fragen gestellt und zielen auf Meinungen zum Projektverlauf und weitere Hinweise für die Forschung ab. Die Evaluationsfragen sind in Anhang XVI aufgeführt.

Die Evaluation der Projektergebnisse erfolgt bei vier PA-Mitgliedern vor Ort (mkf GmbH (5 Teilnehmer aus unterschiedlichen Abteilungen), Müller Umwelttechnik GmbH, Venjakob Maschinenbau GmbH & Co KG, SimPlan AG) und bei zwei PA-Mitgliedern per Webmeeting (Thyssenkrupp Fahrtreppen GmbH (2 Mitarbeitende) und AuE Kassel GmbH). Die Befragten sind in leitenden Positionen in den beteiligten Unternehmen tätig, mit dem Projektverlauf und den Projektergebnissen vertraut und beantworten die Fragen aus ihrer praxisbezogenen Sichtweise.

Insgesamt können elf 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 4-5 interpretiert werden können.

Tabelle 4-5: Gruppierung von Antwortwerten im Rahmen der Evaluation

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

Zu den im Anhang XVI aufgeführten Fragen ist an der Stelle ebenfalls eine grafische Darstellung der quantitativen Antworten im Einzelnen aufgeführt. Die Auswertung geschlossener Fragen wird exemplarisch anhand von Frage 3 dargestellt (siehe Abbildung 4-33).

Frage 3: *Ist aus Ihrer Sicht das Ishikawa-Diagramm vollständig?*

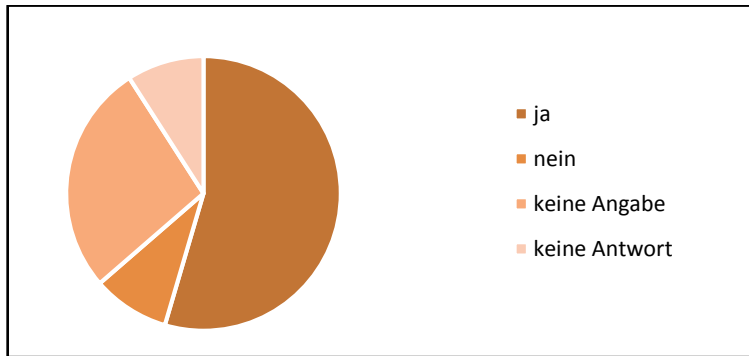


Abbildung 4-33: Bewertung der Vollständigkeit des Ishikawa-Diagramms

Ergänzende qualitative Feedbacks, in dem Fragenbogen als *Grund* bezeichnet, werden ebenfalls ausgewertet. Nachfolgend werden die Antworten (siehe Abbildung 4-34) sowie die Begründungen für die Beantwortung zu Frage 4 aufgeführt. Eine vollständige Übersicht aller Begründungen zu den jeweiligen Fragen findet sich ebenfalls in Anhang XVI.

Frage 4: *Wie bewerten Sie die Hilfestellung, dass die Dauer logistischer Prozesse automatisch berechnet wird?*

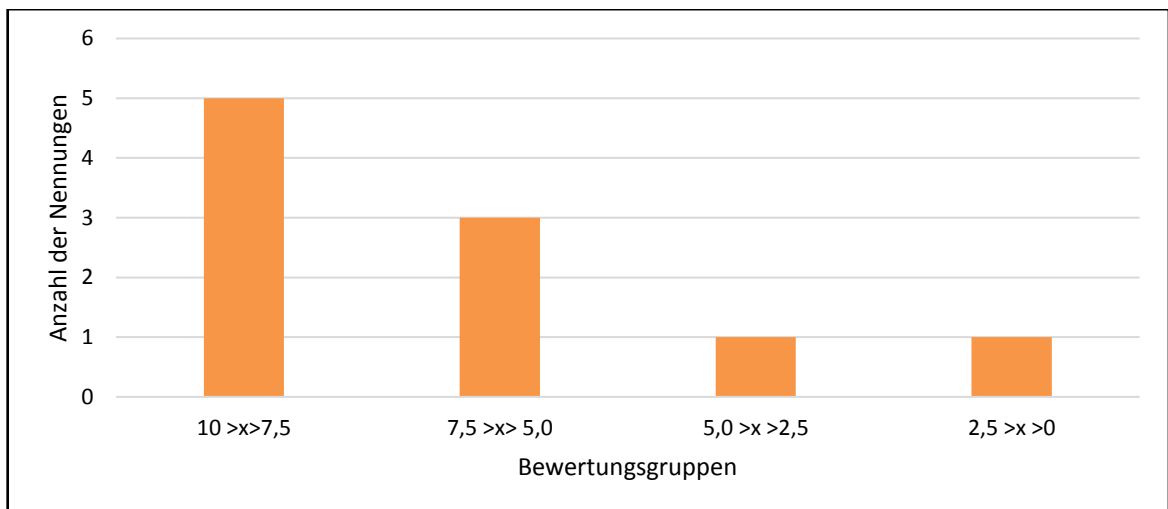


Abbildung 4-34: Bewertung der Hilfestellung zur Berechnung der Dauer logistischer Prozesse

Die Evaluation ergibt, dass eine genauere Schätzung logistischer Prozesse auf Basis von Expertenwissen durch eine Auswertung historischer Projektdaten sowie mittels Simulation durch die Befragten sehr begrüßt und der vorgestellte Workflow als zielführend eingeschätzt wird. Befürchtungen bestehen vor allem hinsichtlich des zu erwartenden Aufwandes und der fehlenden Allgemeingültigkeit und somit der nicht möglichen Übertragbarkeit auf nichtlogistische Prozesse. Die Praktikabilität des Referenzprozesses wird sehr differenziert

beantwortet. Grund dafür sind die Differenzen in der Logistik kleiner und mittelgroßer Unikat- und Kleinserienfertiger. Acht von elf Befragten bewerten die Hilfestellung, dass die Dauer logistischer Prozesse automatisch berechnet wird, als sehr positiv bis positiv.

Die Fragen fünf bis sieben beziehen sich auf die drei Teile des Demonstrators.

Frage 5: Wie bewerten Sie die Hilfestellung, dass die Dauer logistischer Prozesse über SimCast-Berechnungsregeln unter Berücksichtigung der ermittelten Einflussparameter abgesichert wird? (Teil 1 des Demonstrators)

Frage 5a: Ist das dargestellte Ergebnis transparent und nachvollziehbar?

Frage 5b: Wie beurteilen Sie die Darstellung der Ergebnisse in Teil 1?

Frage 6: Wie bewerten Sie die Hilfestellung, dass die Dauer logistischer Prozesse über eine Datenanalyse unter Einbeziehung historischer Projektdaten abgesichert wird? (Teil 2 des Demonstrators)

Frage 6a: Ist das dargestellte Ergebnis transparent und nachvollziehbar?

Frage 6b: Wie beurteilen Sie die visuelle Darstellung der Analyseergebnisse?

Frage 7: Wie bewerten Sie die Hilfestellung, dass die Dauer logistischer Prozesse über eine Simulation abgesichert wird?

Frage 7a: Ist das dargestellte Ergebnis transparent und nachvollziehbar?

Frage 7b: Wie beurteilen Sie die Darstellung der Simulationsergebnisse?

Die jeweiligen Unterfragen a und b zielen auf die Transparenz und Nachvollziehbarkeit sowie der Darstellung der Ergebnisse in den jeweiligen Teilen. Die Spannweite der Antworten ist bei Frage 5 am größten (0 bis 10). Die Fragen 6 und 7 hingegen werden mit jeweils mindestens zwei Punkten bewertet. Ursache für die große Spannweite in Frage 5 ist wahrscheinlich das Antwortverhalten in der zweiten Frage. 8 von 11 Teilnehmern beantworten diese Fragen mit negativ bis sehr negativ, da auf den Referenzprozess nicht immer alle identifizierten Parameter in gleichem Maße bei jedem der befragten Unternehmen wirken. Die höchste Transparenz der dahinterliegenden Methodik wird in Teil 2 des Plug-ins erreicht (Frage 6a), da eine Datenanalyse rational nach vorgegebenen mathematischen und statistischen Methoden erfolgt. Die geringste Transparenz und somit die geringste Nachvollziehbarkeit ergibt sich aus Frage 5a. Grund dafür ist ein wenig verbreitetes Wissen über den Aufbau und die Anwendungsmöglichkeiten von Ontologien im wirtschaftlichen Kontext.

Die Darstellung der Ergebnisse (jeweils Frage b) wird immer von mehr als 50 % der Befragten als mindestens „positiv“ bewertet, die Visualisierung der Ergebnisse der Datenanalyse und die Visualisierung des Simulationsmodells sogar als sehr positiv bewertet. Deren Umsetzbarkeit unter aktuellen Randbedingungen wird jedoch noch als schwierig angesehen (Frage 11: *Können Sie sich vorstellen, diese Vorgehensweise anzuwenden, wenn Ihnen eine entsprechende Anwendungssoftware zur Verfügung steht?*). Die Wahrscheinlichkeit der Umsetzbarkeit der Vorgehensweise (Frage 12: *Wie wahrscheinlich ist es, dass Sie die Vorgehensweise umsetzen?*) liegt bei unter 50 %. Als Hürden (Frage 13: *Welche Umset-*

zungshürden können Sie in Ihrem Unternehmen identifizieren?) werden maßgeblich folgende Aussagen erfasst: zu geringe Kapazität des Planers, erhöhter Aufwand bei der Datenpflege, Zeitaufwand, Logistikprozesse nehmen nur einen kleinen Teil der Projektdauer in Anspruch und zu hohe IT-Abhängigkeit.

Historische Projektdaten werden in den Unternehmen teilweise projektindividuell gespeichert, in künftigen Projekten wird aber kaum darauf zurückgegriffen. Als Fragen im Forschungsprojekt bleiben daher offen, wie die Datenaufnahme in KMU möglichst pragmatisch und ohne finanziellen Aufwand erfolgen kann und wie die Pflege des Datenbestandes mit vertretbarem Aufwand verbessert werden kann (siehe Kapitel 7).

Aus Sicht der Industriepartner im PA wird der Projektverlauf als sehr gut eingeschätzt. Die Industriepartner sehen 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.

4.2.14 Dokumentation und Transfer

Zum Projektstart werden Projektkurzbeschreibungen in den Campusmagazinen beider Forschungsstellen (Laroque 2017; Wenzel 2017) sowie in der Netzwerkbrochure Mobilitätswirtschaft Nordhessen 2017 platziert (Wenzel, Laroque 2017). Neben der umfassenden Dokumentation der in den Arbeitsschritten erzielten Ergebnisse werden die erreichten Ergebnisse im Rahmen von einschlägigen nationalen und internationalen wissenschaftlichen Konferenzen diskutiert und präsentiert. Das Vorgehensmodell ist bei der British Academy of Management (BAM) in Bristol publiziert und präsentiert worden (Kusturica et al. 2018b). Im Dezember 2018 sind die Forschungsergebnisse auf der Winter Simulation Conference (WSC) in Göteborg publiziert (Kusturica et al. 2018a) und durch die Projektmitarbeiterinnen einem Fachpublikum präsentiert und diskutiert worden (Gliem, Kusturica 2018). Außerdem wurden Ergebnisse in der Fachzeitschrift Industrie 4.0 Management veröffentlicht (Wenzel et al. 2018). Alle Publikationen, projektbegleitenden Abschlussarbeiten und Vorträge sind in Abschnitt 6.2 aufgelistet. Nach Projektende wird ein Beitrag in der Zeitschrift Logistics Research eingereicht (Kusturica et al. 2019). Die Einbeziehung des wissenschaftlichen Nachwuchses in die Forschungsarbeiten erfolgt über einschlägige Abschlussarbeiten an den beteiligten Universitäten.

Die Projektwebseite www.project-simcast.de ist auch nach Projektende abrufbar, um eine nachhaltige Nutzung sicherzustellen. Darüber hinaus wird dieser Abschlussbericht 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

Sowohl vom Umfang als auch vom Inhalt waren die durchgeführten Arbeiten zur Erreichung des Forschungsziels notwendig und leisten einen angemessenen Beitrag zum Forschungsvorhaben „SimCast – Simulationsgestützte Prognose der Dauer von Logistikprozessen“. Zur Durchführung der Arbeiten hat Forschungsstelle 1 über die Projektlaufzeit insgesamt 21,1 Personenmonate wissenschaftlich-technisches Personal anteilig in den einzelnen Arbeitsschritten eingesetzt. Entgegen der Bewilligung konnte eine Besetzung der Stelle bei Forschungsstelle 1 erst zum 01.04.2017 erfolgen. Die minimale zeitliche Verzögerung von einem Monat konnte im Jahr 2018 durch ergänzendes Personal kompensiert werden, so dass der Projektverlauf in seiner Gesamtheit nicht gefährdet wurde. Geräte und Leistungen Dritter wurden weder beantragt noch eingesetzt. Forschungsstelle 2 hat zur Durchführung der Arbeiten über die Projektlaufzeit insgesamt 20,5 Personenmonate wissenschaftlich-technisches Personal anteilig in den einzelnen Arbeitsschritten eingesetzt. Geräte und Leistungen Dritter wurden weder beantragt noch eingesetzt. Die geplanten Arbeiten zu Beginn des Vorhabens erfolgten über den Einsatz der Projektleitung selbst, da die zur Verfügung stehende Stelle erst ab 15.03.2017 besetzt werden konnte.

Bei der Bewilligung wurden die Raten für das Jahr 2017 auf ca. 120 % erhöht und die Raten für 2018 entsprechend reduziert; diese bei der Bewilligung vorgenommene Mittelverschiebung konnte nicht über eine Verschiebung der Aufwände von 2018 auf 2017 im Rahmen des Arbeitsplans sinnvoll abgefangen werden; aus diesem Grund wurde eine Mittelverschiebung, wie in der ursprünglichen Planung beantragt, vorgenommen.

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 des Hochbaus.

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 Maßnahmen, um das Management ihrer Kundenprojekte zukünftig unter Anwendung der Ideen aus dem SimCast-Projekt zu verbessern.

Die Firma Venjakob Maschinenbau GmbH & Co. KG ist Experte für die Konzeption, den Bau und die Inbetriebnahme von Lackieranlagen, zumeist als kundenspezifisches Unikat. Im Bereich der Konstruktion und der Vorproduktion am Hauptstandort werden die Erzeugnisse möglichst modular entwickelt und kundenspezifische Erweiterungen nur ergänzt. Für diese Bereiche liegen relativ gute Daten vor, die eine Abschätzung der benötigten Arbeitsleistung im Rahmen der Projektkalkulation in der Vertriebsphase ermöglicht. Der eigentliche Transport, der Aufbau und die Inbetriebnahme der Anlage beim Kunden erfolgen über speziell ausgebildete Montageteams, die weltweit im Einsatz sind und über verschiedene Projekte eingeplant werden können. Hierfür liegen heute nur wenige belastbare Daten und Informationen zu den Aufwänden in dieser Projektphase vor. In Zukunft soll auf Basis der Ideen des Projektes eine genauere Datenerfassung erfolgen, die im Nachgang eine entsprechende Analyse ermöglicht. Auf dieser Basis können dann mit der SimCast-Methodik verbesserte Aufwandsschätzungen für diese Prozesse erfolgen.

AuE aus Kassel integriert lückenlos Mechanik, Elektrik und Steuerungstechnik des Maschinen- und Anlagenbaus sowie übergeordnete IT- und Logistiksysteme. Die Firma ist Teil der Strama-MPS Maschinenbau GmbH & Co. KG, einem international renommierten Sondermaschinenbauer und bietet Komplettlösungen aus Consulting, Projektierung, Engineering, Fertigung, Montage, Inbetriebnahme und After Sales Service an. Die Firma hat als Mitglied im PA SimCast aktiv begleitet, sieht die aktuellen Herausforderungen aber eher in der Aufwandsabschätzung im Bereich der Konstruktion und des Engineering. Hier finden aktuell erste Gespräche darüber statt, ob und wie die entwickelte Methodik auch auf diesen Anwendungsfall angewendet und ggf. adaptiert werden kann.

Diese beiden Beispiele zeigen exemplarisch das Potenzial der im Rahmen des Forschungsvorhabens entwickelten Methoden. Insbesondere die prototypische Implementierung innerhalb des Projektes hilft in der Kommunikation mit den KMU, konkrete Wettbewerbsvorteile im Bereich des Projektmanagements zu diskutieren und entsprechende Maßnahmen innerhalb des Unternehmens einzuleiten.

5.2 Beitrag zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit von KMU

Mit dem Einsatz der im SimCast-Projekt entwickelten Methodik wird eine verbesserte Projektplanung gewährleistet, indem die Prozessdauer sicherer abgeschätzt werden kann. Durch die Verbesserung der Projektplanung können auch die Projektkosten durch das KMU spezifischer abgeschätzt werden; die Planungsqualität in der Angebotsphase steigt. 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.

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 25 % der eingeplanten Projektlaufzeit durch die verbesserten Schätzer reduziert werden können.

Über die Auswertung der verfügbaren Daten können neben der geschätzten Prozessdauer aber auch weitere Aussagen über den Prozess gewonnen werden, beispielsweise, wie stabil eine Zeit überhaupt abgeschätzt werden kann. Ggf. können so weitere Untersuchungen hinsichtlich Ursache-Wirkungsbeziehungen angestoßen werden, die das Schätzmodell sukzessive verbessern können. Darüber hinaus erfolgt insgesamt ein verbessertes Projektmanagement bei den anwendenden KMU, schon allein durch die Tatsache, dass im Rahmen der Anpassung der allgemeinen Ontologie auf die spezifischen Anforderungen des Unternehmens das Wissen aus den Köpfen der verantwortlichen Mitarbeitenden in die Ontologie eingebunden wird und damit auch anderen Mitarbeitenden zur Verfügung steht.

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. Das o. g. Beispiel der Firma Venjakob zeigt, dass der Einsatz der Montageteams insgesamt, d. h. über verschiedene Baustellen hinweg, optimiert werden kann.

Ein qualitativ hochwertiger Projektplan liefert den Unternehmen Sicherheit für die eigene Planung aber auch die der zuliefernden Prozesse. Die Kundenkommunikation kann verbessert werden, die termingerechte Aufnahme des Anlagenbetriebs wird abgesichert. Sie stellt den entscheidenden Wettbewerbsvorteil für den Anlagenbetreiber dar. Daher sind Ter-

mineinhaltung 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 Prognose der Dauer logistischer Prozesse für die Realisierung und termingerechte Inbetriebnahme kundenindividueller Anlagen vor. Gesamtkonzept 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 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 Simulationsmodelle das Produkt Simio® der Firma Simio LLC® eingesetzt werden. Das als Demonstrator in MS Project entwickelte Plug-in lässt sich prinzipiell zu einer kommerziellen Lösung weiterentwickeln. Die im Hintergrund verwendete Ontologie, die mit der Software Protégé® erstellt wurde, ist aktuell frei verfügbar. Erste Gespräche zu einer möglichen Entwicklungs- und Vermarktungspartnerschaft zwischen den Forschungsstellen und der SimPlan AG zur Einbindung des entwickelten Plug-ins in die Software SimAssist® sollen im zweiten Quartal 2019 begonnen werden.

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 auf Basis des verfügbaren Wissens und der im Unternehmen abgelegten Daten eine verbesserte Aufwandsschätzung im Projektmanagement der Logistikprozesse einbeziehen.

6 Transfermaßnahmen

6.1 Ergebnistransfer in die Wirtschaft

6.1.1 Ergebnistransfer in die Wirtschaft während der Projektlaufzeit

In der nachfolgenden Aufstellung (siehe Tabelle 6-1) sind die Transfermaßnahmen aufgeführt, die im Verlauf des Projektes durchgeführt wurden.

Tabelle 6-1: Durchgeführte Transfermaßnahmen

Durchgeführte Maßnahme	Ziele	Rahmen	Durchführung	Datum/ Zeitraum
Maßnahme A: Information an den (PA)	Regelmäßige Diskussion der Ergebnisse	A1: Durchführung regelmäßiger PA-Sitzungen zur Vorstellung des Projektverlaufs, erster Ergebnisse, weiterer Vorgehensweisen sowie zur Abschlusspräsentation	1. PA-Meeting 2. PA-Meeting 3. PA-Meeting 4. PA-Meeting (Extern) 5. PA-Meeting 6. PA-Meeting entsprechend der PA-Planung (vgl. Abschnitt 4.2.)	10.05.2017 26.09.2017 27.02.2018 28.05.2018 31.07.2018 26.11.2018
Maßnahme B: Gezielte Ansprache interessierter Unternehmen auch außerhalb des PA	Erweitertes Feedback zu den Ergebnissen sowie industrielle Anwendung	B1: Ansprache von Unternehmen der Branche B2: Beteiligung an der Messe "Forum Maschinenbau"	Gewinn neuer PA-Mitglieder: <ul style="list-style-type: none"> • Mkf GmbH • Fliegl Fahrzeugbau GmbH • STC Engineering GmbH • Venjakob Maschinenbau GmbH & Co. KG • Paul Beier GmbH Werkzeug- und Maschinenbau & Co. KG • REFA Institut e. V. • Zukunftsallianz Maschinenbau e. V. Keine Teilnahme, da neue PA-Mitglieder bereits über B1 erfolgreich eingeworben	Über die gesamte Projektlaufzeit
Maßnahme C: Bekanntmachung des Projektes und Publikation der Ergebnisse über Projekt-Homepage	Übergreifende Bekanntmachung des Projektes und seiner Ergebnisse	C1: Erstellung einer Homepage C2: Regelmäßige Aktualisierung	www.project-simcast.de	2. Quartal 2017, dann fortlaufend
Maßnahme D: Transfermaßnahmen durch die BVL	Verbreitung durch die BVL in die Wirtschaft	D1: Informationen zum Projektstand in den FV-News D2: Zusammenfassende Darstellung im Forschungsreport und Verbreitung durch den Verband	D1/D2: Informationen zum Projektstand an die BVL versandt	08.01.2018

Maßnahme E: Gremienarbeit, Einbeziehung von Multiplika- toren	Bekanntma- chung des Vorhabens und seiner Ergebnisse in Gremien, Arbeitskrei- sen, Fach- verbänden und Netzwer- ken: Beide Forschungs- stellen sind aktive Mit- glieder in zahlreichen Gremien und Netzwerken.	E1: Beteiligung an ausgewählten Regi- onalveranstaltun- gen oder Publikati- onen im MoWiN.net e.V.	Mobilitätswirtschaft Nordhessen Vol. 12 publiziert	2017
		E2: Veranstaltun- gen OWL Maschi- nenbau e.V.	Keine geeignete Ver- anstaltung, individuelle Abstimmung mit OWL Maschinenbau e. V. er- folgt	
		E3: Veranstaltun- gen Zukunftsallianz Maschinenbau e.V.	Teilnahme an der ZAM-Innovations- Werkstatt „Der digitale Zwilling im gesamten Produktlebenszyklus“, Fraunhofer IFF	13.04.2018
		E4: Kooperations- verbund SIMoFit e.V.	SIMoFit: Ansprechpart- ner zu anderem PA- Mitglied gewechselt, direkte Beteiligung über PA	
		E5: Baulogistik	Teilnahme/Projektvor- stellung am 27. Treffen des Kompetenzzent- rum Baulogistik in Dortmund zu dem Thema „Forschungs- themen und For- schungsfelder der Baulogistik“	23.11.2017
Maßnahme F: Nutzung von Multiplikatoren der Hochschu- len	Bekanntma- chung des Vorhabens im wirtschaft- lichen und wissen- schaftlichen Umfeld; Er- höhung des Bekannt- heitsgrades sowie indust- rielle An- wendung	F1: Magazine und Jahresberichte der beteiligten Universi- täten	Campus News der Uni Kassel, Campus3 Magazin der WHZ	Juni 2017 Oktober 2017
		F2: Forschungsportale der For- schungsstellen	Veröffentlichung in Converis	Laufend
Maßnahme G: Veröffentli- chung	Ergebnis- transfer in Wirtschaft und Wissen- schaft	G1: Initiierung von Dissertationen/Ab- schlussarbeiten	Wissenschaftliche Ar- beiten:12	Ab Beginn
		G2: Beiträge in Fachzeitschriften	Beitrag im Industrie 4.0 Management 5.2018	Oktober 2018

<p>Maßnahme H: Publikation auf wissenschaftlichen Tagungen</p>	<p>Bekanntmachung in wissenschaftlichem Umfeld</p>	<p>H1: Winter Simulation Conference (WSC) H2: Multikonferenz Wirtschaftsinformatik H3: Tagung der WGAB e.V. Weitere</p>	<p>Beitrag und Vortrag auf der WSC 2018 in Göteborg, Schweden Keine Teilnahme, Beitrag und Vortrag auf der BAM 2018 in Bristol, United Kingdom</p>	<p>Dezember 2018 September 2018</p>
<p>Maßnahme I: Akademische Lehre und berufliche Weiterbildung</p>	<p>Vermittlung der Ergebnisse an die Studierenden durch die enge Verzahnung von Forschung und Lehre</p>	<p>I1: Bachelor-Lehrveranstaltungen an der Westsächsischen Hochschule Zwickau im Fachprofil Wirtschaftsinformatik I2: Master-Lehrveranstaltung im Master Management, Fach Projektmanagement an der Westsächsischen Hochschule Zwickau I3: Master-Lehrveranstaltungen des Maschinenbaus und der Wirtschaftsingenieure an der Universität Kassel: Seminar: Ausgewählte Themen zur digitalen Produktions- und Logistikplanung I4: Weiterbildungsmasterstudiengang „Industrielles Produktionsmanagement“, Kassel (Leitung: S. Wenzel)</p>	<p>Erledigt</p>	<p>Laufend</p>

6.1.2 Geplante Transfermaßnahmen nach Ende des Vorhabens

Die nachfolgende Übersicht (siehe Tabelle 6-2) benennt bereits konkret geplante Maßnahmen zum Ereignistransfer nach Projektende.

Tabelle 6-2: Geplante Transfermaßnahmen

Durchgeführte Maßnahme	Ziele	Rahmen	Datum/ Zeitraum
Maßnahme J: Veröffentlichungen	Ergebnistransfer in Wirtschaft und Wissenschaft	J1: Beiträge in internationalen Fachzeitschriften (z. B. Logistics Journal, Logistics Research) J2: Bericht auf der Website der BVL J3: Veröffentlichung des Abschlussberichtes	3. Quartal 2019 2. Quartal 2019 2. Quartal 2019
Maßnahme K: Transfer in die Industrie durch Verband	Ergebnistransfer in Wirtschaft und Wissenschaft	K1: Zusammenfassende Darstellung im Forschungsreport und Verbreitung durch die BVL in Industrie K2: Ausgewählte Ergebnisse in den FV-News	2. Quartal 2019 2. Quartal 2019
Maßnahme L: Industrieberatung auf Basis der Forschungsergebnisse	Individueller Transfer der Ergebnisse in die Industrie	L1: Beratungsgespräche nach Bedarf	Start 2019, dann laufend
Maßnahme M: Initiierung einer Entwicklungspartnerschaft	Prüfung einer Zusammenarbeit zur Integration der Methodik in weitere Projektmanagementwerkzeuge	M1: Vorstellung der Methodik bei Projektmanagementsoftwareanbietern	Start 2019, 2. Quartal 2019: SimPlan AG, dann laufend
Maßnahme N: Erweiterung der akademischen Lehre und berufliche Weiterbildung	Permanente Einbindung der Ergebnisse in die Lehre	N1: Bachelor-Lehrveranstaltung an der Westsächsische Hochschule Zwickau N2: Master-Lehrveranstaltung im Master Management an der Westsächsische Hochschule Zwickau N3: Master-Lehrveranstaltung des Maschinenbaus und der Wirtschaftsingenieure an der Universität Kassel N4: Weiterbildungsmaster-studien-gang „Industrielles Produktionsmanagement“ der Universität Kassel	Laufend

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 (Maßnahme E1 - E4) ist erfolgt und wird auch nach Projektende fortgeführt; die Forschungsstellen sind aktive Mitglieder im OWL MB und in der Zukunftsallianz Maschinenbau. Die geplante und

bestätigte Publikation (Maßnahme J1) zur Darstellung der Ergebnisse eröffnet ein über die bisherigen Publikationen und Vorträge hinausgehende Leserschaft. Die Veröffentlichung auf der WSC 2018 (Maßnahme H1) ist erfolgt.

Der Transfer in die universitäre Lehre (Maßnahme I) 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. Aufgrund der erzielten Projekterkenntnisse bezüglich fehlender Projekt- und Prozessdaten besteht weitergehender Forschungsbedarf zur Erfassung von Projekt- und Prozessdaten im laufenden Betrieb in der Unikat- und Kleinserienfertigung.

6.2 Veröffentlichungen und universitäre Abschlussarbeiten

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

Publikationen

Kusturica, W., Laroque, C., Gliem, D., Stolipin, J. and Wenzel, S. (2018a): Estimating process duration and safeguard project planning in a one-of-a-kind manufacturing environment by the use of simulation techniques. In: Rabe, M.; Juan, A. A.; Mustafee, N.; Skoogh, A.; Jain, S.; Johansson, B.: Proceedings of the 2018 Winter Simulation Conference. Omnipress, Göteborg, S. 3909-3920.

Kusturica, W.; Laroque, C.; Gliem, D.; Wenzel, S. (2019): Ontology-based prediction of the duration of logistical processes using the example of one-of-a-kind and small batch production. In: Logistics Research. Springer. Erscheint in 2019.

Kusturica, W.; Laroque, C.; Richter, M. (2018b): Data-driven Decision Support for Manufacturing SMEs - A procedural Model, proceedings of 32. Konferenz der British Academy of Management, Bristol.

Laroque, C. (2017): Wirtschaftsinformatiker starten SimCast-Projekt - Projekt soll simulationsgestützte Prognose für Dauer von Logistikprozessen liefern. Campus3 Magazin der Westsächsischen Hochschule Zwickau, Jahrgang 11/Nummer 2, S. 30.

Wenzel, S. (2017): Prognose von logistischen Prozessen in der Unikat- und Kleinserienfertigung. Campus News, Universität Kassel, am 6. Juni 2017.



Wenzel, S.; Gliem, D.; Laroque, C.; Kusturica, W. (2018): Sichere Prognose der Dauer logistischer Prozesse - Einflüsse auf die Dauer von Logistikprozessen der Unikat- und Kleinserienfertigung. In: Industrie 4.0 Management 34 (2018) 5, S. 43 - 46.

Wenzel, S.; Laroque, C. (2017): Valide Planung der Dauer logistischer Prozesse in der Unikat- und Kleinserienfertigung. In: MoWiN.net e. V.: Mobilitätswirtschaft Nordhessen Vol. 12, S. 7.

Vorträge

Gliem, D.; Kusturica, W. (2018): Estimating process duration and safeguard project planning in a one-of-a-kind manufacturing environment by the use of simulation techniques. Vortrag auf der Winter Simulation Conference 2018, Göteborg, 9.-12. Dezember.

Laroque, C. (2018): Data-driven Decision Support for Manufacturing SMEs - A procedural Model, 32. Vortrag auf der Konferenz der British Academy of Management, Bristol 4.-6. September.

Bachelor-/Masterarbeiten/Belegarbeiten und Studienprojekte

Aloui, F. (2019): Status quo Analyse zur Datenerfassung im laufenden Betrieb in der Unikat- und Kleinserienfertigung. Masterarbeit, Universität Kassel, Fachgebiet Produktionsorganisation und Fabrikplanung, Kassel. Erscheint 2019.

Barke, L. (2018): Expertenbasierte Analyse von Einflüssen auf logistische Prozesse in der Unikat- und Kleinserienfertigung. Masterarbeit, Universität Kassel, Fachgebiet Produktionsorganisation und Fabrikplanung, Kassel.

Bockemühl, R. (2018): Erarbeitung und Anwendung einer Vorgehensweise zur Reduzierung der Durchlaufzeiten von Projekten im Sondermaschinenbau. Masterarbeit, Universität Kassel, Studiengang Industrielles Produktionsmanagement.

Dreyer, J. (2018): Bestimmung der Einflussparameter von logistischen Prozessdauern in der Unikat- und Kleinserienfertigung. Masterarbeit, Universität Kassel, Fachgebiet Produktionsorganisation und Fabrikplanung, Kassel.

Gerewitsch, N. (2018): Entwicklung eines Modells zur Repräsentation von Wissensstrukturen bei der Planung der Dauer von logistischen Prozessen in der Unikat- und Kleinserienfertigung. Masterarbeit, Universität Kassel, Fachgebiet Produktionsorganisation und Fabrikplanung, Kassel.

Helmholz, P. (2019): Entwicklung eines Modells zur Datengenerierung durch Simulation für die Ermittlung der Dauer logistischer Prozesse in der Unikat- und Kleinserienfertigung. Masterarbeit, Universität Kassel, Fachgebiet Produktionsorganisation und Fabrikplanung, Kassel. Erscheint 2019.

- Heußner, J. (2018): Optimierung logistischer Prozesse in der Unikat- und Kleinserienfertigung mit Hilfe der Wertstromanalyse am Beispiel eines Produktionsprozesses bei Paul Beier. Semesterarbeit, Universität Kassel, Fachgebiet Produktionsorganisation und Fabrikplanung, Kassel.
- Kusturica, W. (2017): Entwicklung eines Vorgehensmodells zur datengetriebenen Projektplanung in KMU. Masterarbeit, Westsächsische Hochschule Zwickau, Institut für Management und Information, Zwickau.
- Parulewski, T. (2019): Modellierung von Wissensstrukturen aus einem Simulationsmodell. Masterarbeit, Universität Kassel, Fachgebiet Produktionsorganisation und Fabrikplanung, Kassel. Erscheint 2019.
- Porabka, T. (2019): Entwicklung eines Vorgehens zur Aufnahme logistischer Prozesszeiten im Sondermaschinenbau und Anwendung in der Firma Venjakob Maschinenbau GmbH. Semesterarbeit, Universität Kassel, Fachgebiet Produktionsorganisation und Fabrikplanung, Kassel. Erscheint 2019.
- Schwartner, I. (2019): Konzeption von KPIs zur Steuerung und Optimierung der Vertriebsprozesse der Sondermaschinenbau-Firma Sporer PCS GmbH. Diplomarbeit, Westsächsische Hochschule Zwickau, Professur Wirtschaftsinformatik, Zwickau. Erscheint 2019.

7 Fazit und Ausblick

Zum Abschluss dieses Projektes liegt mit der Methodik eine leistungsfähige Lösung zur Abschätzung der Dauer logistischer Prozesse für die Realisierung und termingerechte Inbetriebnahme kundenindividueller Anlagen vor. Gesamtkonzept, Vorgehensmodell sowie die entwickelte Ontologie sind in allgemeiner Form beschrieben, 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.

Eine weitere Erkenntnis, die über das konkrete Vorhaben hinausgeht, hat sich im Rahmen der Auswertung der historischen Projektdaten in den Unternehmen herauskristallisiert: Viele der befragten KMU im Maschinen- und Anlagenbau haben schlichtweg zu wenige oder zu abstrakte Daten aus den vergangenen Projekten als Rückmeldungen vorliegen. Immer dann, wenn einzelne Tätigkeiten noch innerhalb der Unternehmensgrenzen durchgeführt werden, wird mittels der ERP-Systeme geplant, und es werden Rückmeldungen zu den konkreten Fertigungs- und Transportschritten erfasst. Sobald der Bauort vom Unternehmen zum eigentlichen Kunden auf die Baustelle wechselt, verringert sich die Menge verfügbarer, digitaler Daten erheblich. Zumeist wird mit hoher Abstraktion und manuell der entstehende Aufwand in Papierform dokumentiert und findet anschließend keinen Einzug in Projektauswertungen oder -analysen. Durch die durchgeführten Interviews lassen sich hierfür im Wesentlichen zwei Gründe identifizieren:

1. Der Aufwand auf der Baustelle durch die Monteur-Teams für die Dokumentation soll möglichst gering ausfallen; eine zusätzliche, detailliertere Protokollierung direkt in digitaler Form würde mit den heute verfügbaren Mitteln einen erheblichen Mehraufwand bedeuten. Effiziente Technologien existieren hier heute nicht.
2. In Bezug auf die Gesamtkosten des Projektes bildet der Einsatz des Transportes, der Montage und der Inbetriebnahme beim Kunden für manche der befragten Unternehmen nur einen eher geringen Teil der Wertschöpfung des Unternehmens ab. In der Analyse der Projekte wird daher häufig der Fokus auf technologische, konstruktive Erkenntnisse gesetzt, obwohl auch im Bereich der oben genannten Services ein erhebliches Potenzial zur Prozessverbesserung vermutet werden kann.

Für die Branche insgesamt ist davon auszugehen, dass sich der Wettbewerb in den kommenden Jahren eher weiter verschärfen dürfte. Damit rücken zukünftig die oben genannten und untersuchten Prozesse für KMU bei zukünftigen Planungsprojekten stärker in den Fokus der Betrachtung. Die oben genannten Fragestellungen sind zukünftig für die Unternehmen noch zu lösen.

Literaturverzeichnis

- Abts, D.; Mülder, W. (2013): Grundkurs Wirtschaftsinformatik. 8., überarbeitete und erweiterte Auflage. Springer Vieweg, Wiesbaden.
- Akhavian, R.; Behzadan, A. H. (2013): Automated knowledge discovery and data-driven simulation model generation of construction operations. In: Pasupathy, R.; Kim, S.-H.; Tolk, A.; Hill, R.; Kuhl, M. E.: Proceedings of the 2013 Winter Simulations Conference. Omnipress, Savannah, S. 3030-3041.
- Arnold, D.; Isermann, H.; Kuhn, A.; Tempelmeier, H.; Furmans, K. (Hrsg.) (2008): Handbuch Logistik. 3., neu bearbeitete Auflage. Springer, Berlin.
- Backhaus, K.; Erichson, B.; Plinke, W.; Weiber, R. (2016): Multivariate Analysemethoden. Eine anwendungsorientierte Einführung. 14. Auflage. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- Barke, L. (2018): Expertenbasierte Analyse von Einflüssen auf logistische Prozesse in der Unikat- und Kleinserienfertigung. Masterarbeit, Universität Kassel, Fachgebiet Produktionsorganisation und Fabrikplanung, Kassel.
- Bauer, F. (2014). Planungswerkzeug zur wissensbasierten Produktionssystemkonzipierung. Dissertation Fakultät Maschinenbau, Universität Paderborn, zur Erlangung des Dr.-Ing.
- Beißert, U.; König, M.; Bargstädt, H.-J. (2010): Soft Constraint-based simulation of execution strategies in building engineering. In: Journal of Simulation 4(4) S. 222-231.
- Blumauer, A.; Pellegrini, T. (2006): Semantic Web und semantische Technologien: Zentrale Begriffe und Unterscheidungen. In: Pellegrini T., Blumauer A.: Semantic Web. Wege zur vernetzten Wissensgesellschaft. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Boehm, B. W. (1981): Software Engineering Economics. Prentice-Hall, Englewood Cliffs.
- Böhm, C. (2003): Vorlesung „Knowledge Discovery in Databases“, Ludwig Maximilians Universität München, Institut für Informatik, Lehr- und Forschungseinheit für Datenbanksysteme, München.
- Bolstorff, P. A.; Rosenbaum, R. G.; Poluha, R. G. (2007): Spitzenleistungen im Supply Chain Management: Ein Praxishandbuch zur Optimierung mit SCOR. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- Borchardt, A.; Göthlich, S. E. (2009): Erkenntnisgewinnung durch Fallstudien. In: Albers, S.; Klapper, D.; Konradt, U.; Walter, A.; Wolf, J. (Hrsg.): Methodik der empirischen Forschung. 3. Auflage. Gabler Verlag, Wiesbaden, S. 33-48.

- Bortz, J.; Döring, N. (2006): Forschungsmethoden und Evaluation. Für Human- und Sozialwissenschaftler. 4. Aufl. Springer-Medizin-Verlag, Heidelberg.
- Bundschuh M.; Fabry, A. (2004): Aufwandschätzung von IT-Projekten. 2. Auflage. mitp-Verlag, Bonn.
- Burghardt, M. (2002): Einführung in Projektmanagement. Definition, Planung, Kontrolle, Abschluss. 4. überarbeitete Auflage. Publicis KommunikationsAgentur GmbH, GWA Erlangen.
- Busse, J.; Humm, B. G.; Lübbert, C.; Moelter, F.; Reibold, A.; Rewald, M.; Schlüter, V.; Seiler, B.; Tegtmeyer, E.; Zeh, T. (2014): Was bedeutet eigentlich Ontologie? In: Informatik Spektrum 37 (4) 2014.
- Chamoni, P.; Gluchowski, P. (2006): Analytische Informationssysteme. Business Intelligence-Technologien und -Anwendungen. Springer, Heidelberg.
- Cleff, T. (2008): Deskriptive Statistik und moderne Datenanalyse. Eine computergestützte Einführung mit Excel, SPSS und STATA. Springer, Wiesbaden.
- Dengel, A. (2012): Semantische Technologien. Grundlagen – Konzepte – Anwendungen. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg.
- DIN 69901 (2009): Projektmanagement. Projektmanagementsysteme (Teil 1-5). Beuth, Berlin.
- Dreyer, J. (2018): Bestimmung der Einflussparameter von logistischen Prozessdauern in der Unikat- und Kleinserienfertigung. Masterarbeit, Universität Kassel, Fachgebiet Produktionsorganisation und Fabrikplanung, Kassel.
- Döbrich, U.; Hankel, M.; Heidel, R.; Hoffmeister, N. (2017): Basiswissen RAMI 4.0. Referenzarchitekturmodell und Industrie 4.0-Komponente Industrie 4.0. Beuth, Berlin.
- Düsing, R. (2006): Knowledge Discovery in Databases. Begriff, Forschungsgebiet, Prozess und System. In: Chamoni, P. Gluchowski, P. (Hrsg.): Analytische Informationssysteme. Business Intelligence-Technologien und -Anwendungen. Springer, Berlin.
- Fahrmeir, L.; Heumann, C.; Künstler, R., Pigeot, I.; Tutz, G. (2016): Statistik. Der Weg zur Datenanalyse. Springer, Berlin Heidelberg.
- Fayyad, U., Piatetsky-Shapiro, G., Smyth, P. (1996): From Data Mining to Knowledge Discovery in Databases, American Association for Artificial Intelligence. In: AI Magazine, Vol. 17, Nr. 3, S. 41.
- Ferber, R. (2003): Information Retrieval. Suchmodelle und Data-Mining-Verfahren für Textsammlungen und das Web. Dpunkt Verlag, Heidelberg.

- Fernández-López, M.; Gómez-Pérez, A.; Juristo, N. (1997): Methontology. From ontological art towards ontological engineering.
URL: http://oa.upm.es/5484/1/METHONTOLOGY_.pdf, zuletzt besucht am 04.02.2018.
- Fraunhofer (2018): OTD NET – Simulationsstudie für Supply-Network-Fragen des Fraunhofer-Institutes für Materialfluss und Logistik.
URL: https://www.iml.fraunhofer.de/de/abteilungen/b2/supply_chain_engineering/produkte/otd-net.html, zuletzt besucht am 04.02.2018.
- Fuseki (2019): Apache Jena Fuseki.
URL: <https://jena.apache.org/documentation/fuseki2/>, zuletzt besucht am 06.02.2019
- Gepp, M. (2014): Standardisierungsprogramme als Ansatz zur Steigerung der Wirtschaftlichkeit im industriellen Anlagen-Engineering. Schriftenreihe innovative betriebswirtschaftliche Forschung und Praxis, Band 418. Verlag Dr. Kovač, Hamburg.
- Gerewitsch, N. (2018): Entwicklung eines Modells zur Repräsentation von Wissensstrukturen bei der Planung der Dauer von logistischen Prozessen in der Unikat- und Kleinserienfertigung. Masterarbeit, Universität Kassel, Fachgebiet Produktionsorganisation und Fabrikplanung, Kassel.
- Gessler, M. (Hrsg.) (2012): Kompetenzbasiertes Projektmanagement (PM3). Handbuch für die Projektarbeit, Qualifizierung und Zertifizierung auf Basis der IPMA Competence Baseline Version 3.0. GPM Deutsche Gesellschaft für Projektmanagement e.V. 5. Auflage. Nürnberg.
- Gliem, D.; Kusturica, W. (2018): Estimating process duration and safeguard project planning in a one-of-a-kind manufacturing environment by the use of simulation techniques. Vortrag auf der Winter Simulation Conference 2018, Göteborg, 9.-12. Dezember.
- Glöckner, M.; Ludwig, A. (2017): Ontological Structuring of Logistics Services. In: Proceedings of the International Conference on Web Intelligence, Leipzig, S. 23-26.
- Gluchowski, P.; Gabriel, R.; Dittmar, C. (2008): Management Support Systeme. Computergestützte Informationssysteme für Fach- und Führungskräfte. 2. Auflage. Springer, Berlin Heidelberg.
- Gruber, T. (1993). A Translation Approach to Portable Ontology Specifications. In: Knowledge Acquisition, 5 (2), S. 199-220.
- Grüninger, M; Fox, M. S. (1995): Methodology for the Design and Evaluation of Ontologies. Workshop on Basic Ontological Issues in Knowledge Sharing, IJCAI-95, Montreal.

- Gruß, R. (2010): Zweistufiges Taktphasenmodell zur Steigerung der Prozesseffizienz in der Unikatfertigung auf Basis der Lean Production. Universität Cottbus, Fakultät für Maschinenbau Elektrotechnik und Wirtschaftsingenieurwesen. Dissertation.
- Guarino, N.; Oberle, D.; Staab, S. (2009): What is an Ontology? In: Staab, S.; Studer, R. (eds.): Handbook on Ontologies, International Handbooks on Information Systems, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- Gutenschwager, K.; Rabe, M.; Spieckermann, S.; Wenzel, S. (2017): Simulation in Produktion und Logistik. Grundlagen und Anwendungen. Springer, Berlin.
- Gutfeld, T.; Jessen, U., Wenzel, S.; Akbulut, A.; Laroque, C.; Weber, J. (2015): simject - simulationsgestütztes logistikintegriertes Projektmanagement im Anlagenbau. Veröffentlicht durch Wenzel, S.; Laroque, C., Kassel, Fachgebiet Produktionsorganisation und Fabrikplanung.
- Gutfeld, T.; Jessen, U., Wenzel, S.; Laroque, C.; Weber, J. (2014): A Technical Concept for Plant Engineering by Simulation-Based and Logistics-Integrated Project Management. In: Tolk, A; Yilmaz, L.; Diallo, S. Y.; Ryzhov, I. O.: Proceedings of the 2014 Winter Simulation Conference. Omnipress, Savannah, S. 3423-3434.
- Haage, G. (2014): Time Based Performance Measurement in der Logistik. Analyse und Bewertung logistischer Strukturen und Prozesse auf Basis des Wettbewerbsfaktors Zeit. Dissertation, Philipps-Universität zu Marburg. Marburg.
- Häder, M. (2014): Delphi-Befragungen. Ein Arbeitsbuch. 3. Auflage. Springer, Wiesbaden.
- Häder, M. (2015): Empirische Sozialforschung. Eine Einführung. 3. Auflage. Springer, Wiesbaden.
- Hayder, H.; Ahmad, A.; Bouneffa, M.; Fonlupt, C. (2014): Logistics Optimization Using Ontologies. In: Proceedings of ICCSA 2014, Juni 2014, Le Havre, France.
- Heidmann, R. (2015): Windenergie und Logistik: Losgröße 1: Logistikmanagement im Maschinen- und Anlagenbau mit geringen Losgrößen. DIN e.V. (Hrsg.), Beuth, Berlin.
- Heijst, G. v.; Schreiber, A.T.; Wielinga, J. (1997): Using explicit ontologies in KBS development. In: International Journal of Human-Computer Studies, 46 (2-3), S. 183-292.
- Helfferrich, C. (2014): Leitfaden- und Experteninterviews. In: Baur, N; Blasius, J. (Hrsg.): Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung. Springer, Wiesbaden.
- Hitzler, P.; Krötzsch, M.; Rudolph, S.; Sure, Y. (2008): Semantic Web. Grundlagen. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- Ishikawa, K (1987): What is total quality control? The japanese way. Translated by David J. Lu. 6. Auflage. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J.

- Janssen, J.; Laatz, W. (2007): Statistische Datenanalyse mit SPSS für Windows. 6., neu bearbeitete und erweiterte Auflage. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Jenny, B. (2001): Projektmanagement in der Wirtschaftsinformatik, 5. Auflage. vdf Hochschulverlag, Zürich.
- Jessen, U.; Möller, L.; Wenzel, S.; Akbulut, A.; Laroque, C. (2015): A Comparison of the Usage of Different Approaches for the Management of Plant Engineering Projects. In: Yilmaz, L.; Chan, W. K. V.; Moon, I.; Roeder, T. M. K.; Macal, C; Rossetti, M. D.: Proceedings of the 2015 Winter Simulation Conference. Omnipress, Savannah, S. 3402-3413.
- Kaya, M. (2009): Verfahren der Datenerhebung. In: Albers, S.; Klapper, D.; Konradt, U.; Walter, A.; Wolf, J. (Hrsg.): Methodik der empirischen Forschung. 3. Auflage. Gabler Verlag, Wiesbaden.
- Kessler, S.; Krause, S.; Nagel, L. (2009): Nutzungsmöglichkeiten der Workbench zur Unterstützung des Planungsprozesses von Güterverkehrszentren. In: Buchholz, P.; Clausen, U. (Hrsg.): Große Netze der Logistik. Die Ergebnisse des Sonderforschungsbereichs. Springer, Berlin, S. 271-295.
- Krcmar, H. (2015): Informationsmanagement. 6. Auflage. Springer Verlag, Berlin.
- Kuhn, A. (1995): Prozessketten in der Logistik: Entwicklungstrends und Umsetzungsstrategien. Dortmund.
- 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.
- Kusturica, W., Laroque, C., Gliem, D., Stolipin, J. and Wenzel, S. (2018a): Estimating process duration and safeguard project planning in a one-of-a-kind manufacturing environment by the use of simulation techniques. In: Rabe, M.; Juan, A. A.; Mustafee, N.; Skoogh, A.; Jain, S.; Johansson, B.: Proceedings of the 2018 Winter Simulation Conference. Omnipress, Göteborg, S. 3909-3920.
- Kusturica, W.; Laroque, C.; Gliem, D.; Wenzel, S. (2019): Ontology-based prediction of the duration of logistical processes using the example of one-of-a-kind and small batch production. In: Logistics Research. Springer. Erscheint in 2019.
- Kusturica, W.; Laroque, C.; Richter, M. (2018b): Data-driven Decision Support for Manufacturing SMEs - A procedural Model. In: proceedings of 32. Konferenz der British Academy of Management, Bristol.
- Kwak, Y. H.; Ingall, L. (2007): Exploring Monte Carlo Simulation Applications for Project Management. In: Risk Management 9 (2007); S. 44-57.

- Laakmann, F. (2005): Konstruktionsmethodischer Gestaltungsansatz für die Logistik. Umsetzung eines Modellierungskonzeptes für Planungswissen in der Logistik, Dissertation Universität Dortmund.
- Laroque, C. (2017): Wirtschaftsinformatiker starten SimCast-Projekt - Projekt soll simulations-gestützte Prognose für Dauer von Logistikprozessen liefern. Campus3 Magazin der Westsächsischen Hochschule Zwickau, Jahrgang 11/Nummer 2, S. 30.
- Laroque, C. (2018): Data-driven Decision Support for Manufacturing SMEs - A procedural Model, 32. Vortrag auf der Konferenz der British Academy of Management, Bristol 4.-6. September.
- Leimeister, J. M. (2015): Einführung in die Wirtschaftsinformatik. 12. Auflage. Springer Gabler, Berlin, Heidelberg.
- Linstone, H. A.; Turoff, M. (1975): The Delphi Method. Techniques and Applications. Addison-Wesley. Reading.
- Martin, H. (2016): Transport- und Lagerlogistik. Systematik, Planung, Einsatz und Wirtschaftlichkeit. 10. Auflage. Springer, Wiesbaden.
- Meuser, M.; Nagel, U. (2009): Experteninterview und der Wandel der Wissensproduktion. In: Bogner, A.; Littig, B.; Menz, W. (Hrsg): Experteninterviews. Theorien, Methoden, Anwendungsfelder. 3., grundlegend überarbeitete Auflage. VS Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden, S. 35-60.
- Meuser, M.; Nagel, U. (2013): Experteninterviews - wissenssoziologische Voraussetzungen und methodische Durchführung. In: Friebertshäuser, B.; Langer, A.; Prengel, A. (Hrsg): Handbuch qualitative Forschungsmethoden in der Erziehungswissenschaft. Unter Mitarbeit von Heike Boller und Sophia Richter. 4. Auflage. Weinheim, Basel: Beltz Juventa.
- Miehler, G. (1998): Zeitcontrolling indirekter Prozeßketten. Springer, Wiesbaden.
- Möhring, W.; Schlütz, D. (2003): Die Befragung in der Medien- und Kommunikationswissenschaft: eine praxisorientierte Einführung. Westdeutscher Verlag.
- Möller, T.; Dörrenberg, F. (2003): Projektmanagement. Oldenbourg, München.
- Naderer, G.; Balzer, E. (2007): Qualitative Marktforschung in Theorie und Praxis. Grundlagen, Methoden und Anwendungen. Gabler Verlag, Wiesbaden.
- Nonaka, I.; Takeuchi, H. (2012): Die Organisation des Wissens. Wie japanische Unternehmen eine brachliegende Ressource nutzbar machen. 2. Auflage. Frankfurt am Main: Campus.
- North, K. (2011): Wissensorientierte Unternehmensführung. Wertschöpfung durch Wissen. Gabler Verlag, Wiesbaden.

- Noth, T.; Kretzschmar, M. (1984): Aufwandschätzung von DV-Projekten. 1. Auflage. Springer, Berlin.
- Noy, F. N.; McGuinness, D. (2001): Ontology Development 101. A Guide to Creating Your First Ontology.
URL: https://protege.stanford.edu/publications/ontology_development/ontology101.pdf, zuletzt besucht am 06.02.2019
- OWLGrEd (2019): OWLGrEd - A free ontology editor.
URL: <http://owlgred.lumii.lv/>, zuletzt besucht am 06.02.2019
- Pfohl, H.-C. (2018): Logistiksysteme. Betriebswirtschaftliche Grundlagen. 9. Auflage. Springer, Berlin Heidelberg.
- Pmbok (2013): Project Management Institute. A Guide to the Project Management Body of Knowledge (Pmbok® Guide). Pennsylvania: Project Management Institute, Inc. 5th Edition.
- Polanyi, M. (1985): Implizites Wissen. Übersetzt von Horst Brühmann. Suhrkamp Verlag, Frankfurt am Main.
- Probst, G., Raub, S., Romhardt, K. (2012): Wissen managen. Wie Unternehmen ihre wertvollste Ressource optimal nutzen. Gabler, Wiesbaden.
- ProModel (2019): ProModel.
URL: <https://www.promodel.com/>, zuletzt besucht am 27.02.2019.
- Protégé (2019): Protégé - A free, open-source ontology editor and framework for building intelligent systems.
URL: <https://Protégé.stanford.edu/>, zuletzt besucht am 06.02.2019
- Protégé-OL (2019): Protégé Ontology Library.
URL: https://Protégéwiki.stanford.edu/wiki/Protégé_Ontology_Library, zuletzt besucht am 06.02.2019
- Raithel, J. (2008): Quantitative Forschung. Ein Praxiskurs. VS Verlag für Sozialwissenschaften/GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden. 2. Auflage. Wiesbaden.
- Rausch, A.; Broy, M. (2008): Die V-Modell XT Grundlagen. In: Das V-Modell XT. eXamen.press. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Reinmann-Rothmeier, G. (2001): Wissen managen: Das Münchener Modell, Forschungsbericht Nr. 131. München: Ludwig-Maximilians-Universität, Lehrstuhl für Empirische Pädagogik und Pädagogische Psychologie.
- Runkler, T. A. (2015): Data Mining. Modelle und Algorithmen intelligenter Datenanalyse. 2., aktualisierte Auflage. Springer Fachmedien, Wiesbaden.

- Rupp, C.; Joppich, R. (2014): Requirements-Engineering und -Management: Aus der Praxis von klassisch bis agil. München.
- Sachs, L., Hedderich, J. (2006): Angewandte Statistik. Methodensammlung mit R. 12., vollständig neu bearbeitete Auflage. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Schach, R.; Schubert, N. (2009): Logistik im Bauwesen. In: Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Universität Dresden, 58 (2009) 1-2, S. 59-63.
- Scheuermann, A.; Hoxha, J. (2012): Ontologies for Intelligent Provision of Logistics Services. In: 7th International Conference on Internet and Web Applications and Services (ICIW 2012). Deutschland, Mai 2012.
- Schieder, C. (2016): Historische Fragmente einer Integrationsdisziplin. Beitrag zur Konstruktgeschichte der Business Intelligence. In: Gluchowski, P.; Chamoni, P. (Hrsg.): Analytische Informationssysteme. Business Intelligence-Technologien und -Anwendungen. Springer, Berlin, S. 13-32.
- Schulte S. (2015): Customer Lifecycle und Customer Value – mit optimierten Daten zu optimierter Kundenkommunikation. In: Schwarz, T.: Big Data im Marketing: Chancen und Möglichkeiten für eine effektive Kundenansprache. 1. Auflage. Haufe Gruppe, Freiburg, München.
- Simio (2019): Simio Scheduling Software.
URL: <https://www.simio.com/software/production-scheduling-software.php>, zuletzt besucht am 04.02.2019.
- SIMoFit (2018): Simulation of Outfitting Processes in Shipbuilding and civil Engineering.
URL: <http://simofit.inf.bi.ruhr-uni-bochum.de/>, zuletzt besucht am 04.02.2018.
- Spath, D. (Hrsg.); Ganschar, O.; Gerlach, S.; Hämmerle, M.; Krause, T.; Schlund, S. (2013): Studie Produktionsarbeit der Zukunft. Industrie 4.0. Fraunhofer Verlag, Stuttgart.
- Stein, P.; Vollnhals, S. (2011): Grundlagen clusteranalytischer Verfahren. Institut für Soziologie. Universität Essen Duisburg.
- Steinhauer, D. (2008): Planung komplexer Montageabläufe mit Hilfe der constraintbasierter Simulation. In: Rabe, M.: Advances in Simulation for Production and Logistics Applications, S. 81-89. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart.
- 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), edited by Bertram, V., TUHH Technologie GmbH, 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.
- Stuckenschmidt, H. (2011): Ontologien. Konzepte, Technologien, Anwendungen. 2. Auflage. Springer, Berlin Heidelberg.
- SUMO (2019): Suggested Upper Merged Ontology (SUMO).
URL: <http://www.adampease.org/OP/>, zuletzt besucht am 06.02.2019
- Sure, Y.; Studer, R. (2002): On-To-Knowledge Methodology - Final Version.
URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.14.798&rep=rep1&type=pdf>, zuletzt besucht am 04.02.2018.
- Szczesny, K.; König, M. (2015): Reactive scheduling based on actual logistics data by applying simulation-based optimization. In: Visualization in Engineering, 3 (2015) 10.
- ten Hompel, M.; Schmidt, T.; Nagel, L.; Jünemann, R. (2007): Materialflusssysteme. Förder- und Lagertechnik. 3. Auflage. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Tiedemann, H. (2005): Wissensmanagement in der Fabrikplanung. Dissertation, Technische Universität Braunschweig. Aachen.
- TILOS (2018): TILOS – Weg-Zeit-Planung.
URL: www.tilos.org, zuletzt besucht am 04.02.2018.
- Ullrich, M., Maier, A. und Angele, J. (2004) Taxonomie, Thesaurus, Topic Map, Ontologie. Ein Vergleich.
URL <http://www.ullri.ch/download/Ontologien/ttto13.pdf>, zuletzt besucht am 28.02.2019.
- Uschold, M.; Gruninger, M. (1996): Ontologies. Principles, Methods and Applications. In: Knowledge Engineering Review, Volume 11 Number 2.
- Uschold, M.; King, M. (1995): Towards a Methodology for Building Ontologies, S. 1-13.
- Voigtmann, J. (2014): Simulation bauleistungsprozesse im Ausbau. Dissertation, Bauhaus-Universität Weimar.
- W3C-DAML+OIL (2001): DAML+OIL Reference Description
URL: <https://www.w3.org/TR/daml+oil-reference>, zuletzt besucht am 06.02.2019
- W3C-OWL (2012): OWL 2 Web Ontology Language Document Overview (Second Edition)
URL: <https://www.w3.org/TR/owl2-overview/>, zuletzt besucht am 06.02.2019
- W3C-RDFS (2014): RDF Schema 1.1.
URL: <https://www.w3.org/TR/rdf-schema/>, zuletzt besucht am 06.02.2019

- W3C-SPARQL (2013): SPARQL 1.1 Update.
URL: <https://www.w3.org/TR/sparql11-update/>, zuletzt besucht am 06.02.2019
- Wenzel, S. (2017): Prognose von logistischen Prozessen in der Unikat- und Kleinserienfertigung. Campus News, Universität Kassel, am 6. Juni 2017.
- Wenzel, S.; Gliem, D.; Laroque, C.; Kusturica, W. (2018): Sichere Prognose der Dauer logistischer Prozesse - Einflüsse auf die Dauer von Logistikprozessen der Unikat- und Kleinserienfertigung. In: Industrie 4.0 Management 34 (2018) 5, Seite 43 - 46.
- Wenzel, S.; Laroque, C. (2013): Methodik für ein simulationsgestütztes logistikintegriertes Projektmanagement im Anlagenbau. In: Dangelmaier, W.; Laroque, C.; Klaas, A. (Hrsg.): Simulation in Produktion und Logistik. Entscheidungsunterstützung von der Planung bis zur Steuerung. HNI-Verlagsschriftenreihe, Paderborn.
- Wenzel, S.; Laroque, C. (2017): Valide Planung der Dauer logistischer Prozesse in der Unikat- und Kleinserienfertigung. In: MoWiN.net e.V.: Mobilitätswirtschaft Nordhessen Vol. 12, S. 7.
- Willmann, C. (2011): Konzeption einer kontextbasierenden Wissensumgebung für die Digitale Fabrik. Dissertation Universität Kassel. Shaker, Aachen.
- Willmann, C.; Wenzel, S. (2009): Bereitstellung von Wissen am Arbeitsplatz zur Unterstützung individueller Lernprozesse. Veränderung der Qualifikation durch die Digitale Fabrik. In: Industrie Management 25 (2009) 2, S. 51-54.
- Wirth, R.; Hipp, J. (2000): CRISP-DM: Towards a standard process model for data mining. In: Proceedings of the 4th international conference on the practical applications of knowledge discovery and data mining. Citeseer, S. 29-39.
- WordNet (2019): WordNet - A Lexical Database for English.
URL: <https://wordnet.princeton.edu>, zuletzt besucht am 06.02.2019
- Xie, H.; Fernando, S.; AbouRizk, S. (2011): "Integrating realtime project progress input into a construction simulation model". In: Jain, S.; Creasey, R. R.; Himmelspach, J.; White, K. P.; Fu, M.: Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference, Omnipress, Savannah, S. 3443-3454.
- Zell, H. (2003): Grundbegriffe und Grundstrukturen von Projekten. In: Bernecker, M.; Eckrich, K. (Hrsg.): Handbuch Projektmanagement. Oldenbourg: München, S. 53-60.

Anhang I – Projektbegleitender Ausschuss

<p>mkf GmbH Lindenstr. 1 07589 Lederhose www.mkf-automation.de</p>	
<p>Müller Umwelttechnik GmbH & Co. KG Julius-Müller-Straße 3 32816 Schieder-Schwalenberg www.mueller-umwelt.de</p>	
<p>SimPlan AG Sophie-Scholl-Platz 6 63452 Hanau www.simplan.de</p>	
<p>Fliegl Fahrzeugbau GmbH Oberpöllnitzer Straße 8 07819 Triptis www.fliegl.com</p>	
<p>STC-Engineering GmbH Altenburger Straße 63a 08396 Waldenburg www.stc-engineering.com</p>	
<p>Venjakob Maschinenbau GmbH & Co. KG Augsburger Straße 2-6 33378 Rheda-Wiedenbrück www.venjakob.de</p>	
<p>Paul Beier GmbH Werkzeug- und Maschinenbau & Co. KG Naumburger Str. 36 34127 Kassel www.beier-kassel.de</p>	

<p>OWL Maschinenbau e.V. Ritterstraße 19 33602 Bielefeld www.owl-maschinenbau.de</p>	
<p>REFA-Institut e.V. Emil-Figge-Str. 43 44227 Dortmund www.refa.de</p>	
<p>Zukunftsallianz Maschinenbau e.V. Messegelände / P 36 Robotation Academy 30521 Hannover www.zukunftsallianz-maschinenbau.de</p>	
<p>ThyssenKrupp System Engineering GmbH Wehrstraße 19 36151 Burghaun www.thyssenkrupp-system-engineering.com</p>	
<p>Thyssenkrupp Fahrtreppen GmbH Kolumbusstrasse 8 22113 Hamburg</p>	
<p>Strama-MPS Maschinenbau GmbH & Co. KG Ittlinger Str. 195 94315 Straubing www.strama-mps.de</p>	
<p>AuE Kassel GmbH Heinrich-Hertz-Str. 52 34123 Kassel www.aue-kassel.de</p>	

Anhang II – Interviewleitfaden zum Projekt

SimCast – Simulationsgestützte Prognose der Dauer von Logistikprozessen

Entwicklung einer simulationsgestützten Methodik zur abgesicherten Prognose der Dauer logistischer Referenzprozesse in der Unikat- und Kleinserienfertigung

Sehr geehrte Expertin/geehrter Experte,

das Forschungsprojekt „SimCast - Simulationsgestützte Prognose der Dauer von Logistikprozessen“ befasst sich mit der Entwicklung einer simulationsgestützten Methodik zur abgesicherten Prognose der Dauer logistischer Referenzprozesse in der Unikat- und Kleinserienfertigung. Für eine zielführende Umsetzung des Forschungsvorhabens ist der Wissenstransfer zwischen Industrie und Forschung von großer Bedeutung.

Im Rahmen eines Interviews sollen spezifische Informationen und Erfahrungen ausgewählter Expertinnen und Experten über logistische Prozesse und Projektdaten für die Auswertung einer logistischen Prozessdauer zur Vorbereitung einer Delphi-Studie eingeholt werden. Zur Einstimmung auf das Interview erhalten Sie den speziell hierzu entwickelten Interviewleitfaden vorab. Sie können die Fragen digital in der versendeten PDF auch bereits soweit wie möglich ausfüllen; entsprechende Ankreuzmöglichkeiten und Textfelder sind hierfür vorgesehen. Bitte beachten Sie beim Ausfüllen die blau dargestellten Anweisungen zur Beantwortung der einzelnen Fragen. Können einzelne Fragen aufgrund von Unklarheiten oder mangelnder Information nicht beantwortet werden, werden wir dies explizit in einem anschließenden persönlichen Interview klären.

Der Interviewleitfaden ist unterteilt in 2 Hauptthemen. Die Leitfragen 1-5 (Teil I) beziehen sich auf die Darstellung der in Ihrem Unternehmen anfallenden Logistikprozesse sowie deren Peripherie. Die Leitfragen 6-8 (Teil II) dienen der Ermittlung der in Ihrem Unternehmen eingesetzten Datenanalysemethoden sowie der Datenauswertung und späteren Verwendung.

Wir danken Ihnen für Ihre Bereitschaft, im Projekt „SimCast“ mitzuwirken, und freuen uns, gemeinsam mit Ihnen und für Ihr Unternehmen neue Erkenntnisse bei der Entwicklung einer simulationsgestützten Methodik zur abgesicherten Prognose der Dauer logistischer Referenzprozesse in der Unikat- und Kleinserienfertigung zu generieren.

Vielen Dank,

Ihr SimCast-Team



Teil I:

Logistische Prozesse, Infrastruktur und Einflüsse auf die Prozessdauer

Leitfrage 1:

Themenschwerpunkt: Details zum Unternehmen – Fragen zum Produktportfolio und zur Fertigungsstruktur in Ihrem Unternehmen

- a) Werden in Ihrem Unternehmen Produkte in Kleinserien produziert oder sind Ihre Produkte Unikate?

Benutzen Sie bitte je Kreuz einen neuen Fragebogen. Nennen Sie bei der Wahl einer Kleinserie bitte auch die durchschnittliche Seriengröße.

- Kleinserien
- Unikate
- andere

- b) Was produzieren Sie?

Bitte setzen Sie ein oder auch mehrere Kreuz(e).

- Anlagen
- (Sonder-)Maschinen
- andere:

Bitte beschreiben Sie Ihre Produkte

(typische Produkte, Größe, Gewicht, Material, ...).

- c) Wo produzieren Sie Ihre Produkte?

Bitte setzen Sie ein oder auch mehrere Kreuz(e).

- Beim Kunden auf der Baustelle
- Beim Kunden in der Werkshalle
- In der Werkshalle Ihres Unternehmens
- andere:

d) Nach welchem Prinzip produzieren Sie Ihre Produkte?

Bitte setzen Sie ein oder auch mehrere Kreuz(e).

- Baustellenprinzip¹
- Werkstattprinzip²
- andere:

e) Wie viele MitarbeiterInnen sind im Durchschnitt am Produktionsprozess Ihres Produktes beteiligt?

Bitte notieren Sie eine Mitarbeiterzahl.

Anzahl MitarbeiterInnen:

f) Wie lange läuft ein typisches Projekt in Ihrem Unternehmen?

Bitte geben Sie Ihre Angabe in Jahren oder Monaten an und notieren Sie bei Bedarf weitere Informationen.

g) Ist die Herstellung eines Produktes in Ihrem Unternehmen ein standardisierter Prozess, den Sie je nach Anforderungen an ein neues Projekt anpassen?

Bitte setzen Sie ein Kreuz.

- ja
- nein
- teilweise

Bitte beschreiben Sie standardisierte Prozesse in Ihrem Unternehmen und bei der Auswahl „teilweise“, welche Prozesse noch nicht standardisiert sind.

¹ Baustellenfertigung: Anlage/Maschine kann aufgrund des Gewichtes/der Größe nicht für jeden Montage-/Fertigungsschritt bewegt werden und befindet sich an einem Ort, an dem sich die Produktion abspielt (vergleiche zum Beispiel Arnold et al. (2008), S. 313 ff.)

² Werkstattfertigung: Die Anlage/Maschine wird für jeden Montage-/Fertigungsschritt in entsprechende Bearbeitungsbereiche transportiert, wo ein bestimmter Bearbeitungsprozess stattfindet (vergleiche zum Beispiel Arnold et al. (2008), S. 313 f.)

Leitfrage 2:

Themenschwerpunkt: Bereiche in Ihrem Unternehmen und dazugehörige Logistikprozesse

- a) Welche Bereiche gibt es in Ihrem Unternehmen zur Abwicklung einer Unikat- und Kleinserienfertigung?

Bitte markieren Sie Ihre Auswahl mit einem Kreuz und fügen Ergänzungen unter „weitere“ ein.

- Anlieferungsbereich
- Baustellen-/Zentrallager
- Zwischenlager/Puffer (Anlagenbau/Produktion)
- Verbauort/Montageposition (Anlagenbau/Produktion)
- Fertigwarenlager
- Versandbereich
- Entsorgungsbereich
- weitere:
- weitere:
- weitere:

- b) Welche logistischen Teilprozesse gibt es in den in 2a) aufgelisteten Bereichen?

Bitte markieren Sie Ihre Auswahl mit einem Kreuz und fügen Ergänzungen unter „weitere“ ein.

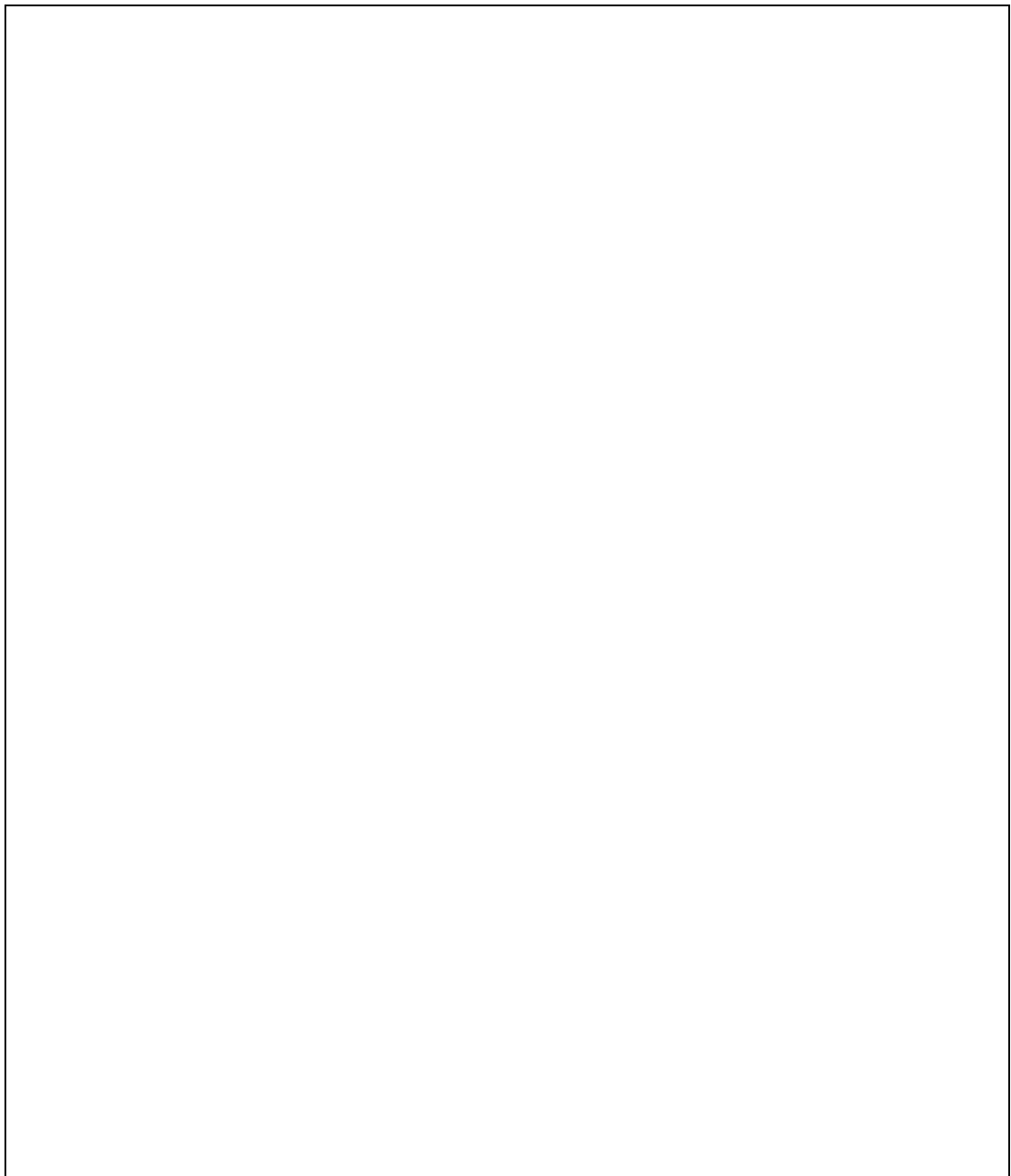
- Transportprozess
- Lagerprozess
- Umschlagen
- Kommissionieren
- Ver-/Entpacken
- IuK-Prozess
- weitere:
- weitere:
- weitere:

Sie können bei Bedarf weitere Anmerkungen in dem folgenden Feld notieren.

- c) Welche logistischen Teilprozesse aus 2b) finden in welchen Bereichen Ihres Unternehmens aus 2a) statt?

Bitte beschreiben Sie, welche logistischen Teilprozesse in welchem Bereich angesiedelt sind und in welcher Reihenfolge diese durchlaufen werden können. Gerne können Sie auch vorhandene Dokumente einreichen, in denen die Prozesse bereits abgebildet sind.

In Anlage 1 können Sie anhand eines Beispiels eine mögliche Zuordnung einsehen und bei Bedarf die vorbereitete Vorlage aus Anlage 2 für Ihre Darstellung nutzen.



Leitfrage 3:

Themenschwerpunkt: Einflussgrößen auf den zeitlichen Aufwand von logistischen Teilprozessen

a) Auf welcher Basis nehmen Sie die Terminierung für ein Planungsprojekt vor?
Bitte setzen Sie ein Kreuz. Machen Sie spezifische Angaben in den entsprechenden Feldern.

- Erfahrungen,
welche?
- Schätzungen,
welcher prozentuale Zuschlag?
- Historische Daten
(Weitere Befragung erfolgt in Leitfrage 5)
- sonstiges:

Bei Bedarf können Sie Angaben zu Ihrer Vorgehensweise im folgenden Feld machen.

b) Wie genau schätzen Sie Ihre Planung ein?

Bitte setzen Sie ein Kreuz.

- sehr genau, keine zeitliche Differenz im realen Projektdurchlauf
- genau, kleine zeitliche Differenz im realen Projektdurchlauf
- mittel, merkliche zeitliche Differenz im realen Projektdurchlauf
- ungenau, große zeitliche Differenz im realen Projektdurchlauf

Nennen Sie bitte Ihre durchschnittliche Abweichung von Ihren Planzeiten zu der realen Durchführungszeit absolut und/oder in Prozent.

c) Berücksichtigen Sie bei Planungsprojekten Faktoren, die Einfluss auf die Prozessdauer und die Terminierung von logistischen Prozessen nehmen (z. B. Geschwindigkeitsbegrenzungen)?

Bitte setzen Sie ein Kreuz.

- nein, ich vernachlässige diese Aspekte
- nein, ich plane aber zur Sicherheit Zeitpuffer für die logistischen Prozesse ein
- ja

d) Welche Faktoren nehmen bei Ihren Projekten Einfluss auf die Prozessdauer?
Bitte markieren Sie Ihre Auswahl durch ein oder mehrere Kreuz(e) und ergänzen weitere Einflussfaktoren in Ihrem Unternehmen in den entsprechenden Feldern.

<input type="checkbox"/> Verfügbarkeit <input type="checkbox"/> Erfahrung <input type="checkbox"/> Qualifikation	<input type="checkbox"/> Transport-/Fördermittelart <input type="checkbox"/> Verfügbarkeit <input type="checkbox"/> Kapazität	<input type="checkbox"/> StVO <input type="checkbox"/> Beschaffenheit des Bodens <input type="checkbox"/> Strecke (Start/Ziel)
Personal	Technik: Fahrzeug	Äußere Bedingungen
Produkt	Technik: Lager	IT
<input type="checkbox"/> Dimensionen LxBxH <input type="checkbox"/> Gewicht <input type="checkbox"/> Material <input type="checkbox"/> Volumen <input type="checkbox"/> Anzahl <input type="checkbox"/> Verfallsdatum	<input type="checkbox"/> Lagerart (Bauform) <input type="checkbox"/> Lagermittel (z. B. Boden-/Regallagerung) <input type="checkbox"/> Ladehilfsmittel (z. B. Paletten, Behälter) <input type="checkbox"/> Lagergut (z. B. Stück-/Schüttgut) <input type="checkbox"/> Ein-/Auslagerungsstrategie <input type="checkbox"/> Verfügbarkeit (z. B. Regalbediengerät) <input type="checkbox"/> Kapazität (z. B. Lager/Ladehilfsmittel) <input type="checkbox"/> Kommissionierprinzip (z. B. Person zur Ware)	<input type="checkbox"/> Bedienung <input type="checkbox"/> Handhabung <input type="checkbox"/> Aufgabe <input type="checkbox"/> Verfügbarkeit

Leitfrage 4:

Themenschwerpunkt: Störgrößen auf den zeitlichen Aufwand von logistischen Teilprozessen

a) Berücksichtigen Sie bei Planungsprojekten Störungen, die sporadisch auftreten und Einfluss auf die Prozessdauer und die Terminierung von logistischen Prozessen nehmen?

Bitte setzen Sie ein Kreuz.

- ja
- nein

b) Wie planen Sie Störungen im Projekt ein?

Bitte setzen Sie ein Kreuz. Machen Sie spezifische Angaben in den entsprechenden Feldern.

- Erfahrungen, welche?
- Schätzungen, welcher prozentuale Zuschlag?
- historische Daten (Weitere Befragung erfolgt in Leitfrage 5)
- sonstiges:

c) Welche Störungen in Bezug auf logistische Prozessdauer nehmen Einfluss auf Ihre Projektplanung?

Bitte markieren Sie Ihre Auswahl durch ein oder mehrere Kreuz(e) und ergänzen auftretende Störfaktoren in Ihrem Unternehmen in den entsprechenden Feldern.

<input type="checkbox"/> Krankheit <input type="checkbox"/> Fehlende Qualifikation	<input type="checkbox"/> Ausfall	<input type="checkbox"/> Klima, z. B. Unwetter <input type="checkbox"/> Verkehrsbehinderungen, z. B. Stau <input type="checkbox"/> Hindernisse
Personal	Technik	Äußere Bedingungen
Produkt	IT	Management
<input type="checkbox"/> Schlechte Qualität <input type="checkbox"/> Nicht verfügbar	<input type="checkbox"/> Nicht verfügbar	<input type="checkbox"/> Fehlplanung <input type="checkbox"/> Organisationsprobleme

Teil II:

Datenanalysemethoden und Datenauswertung

Leitfrage 5:

Themenschwerpunkt: Datenanalyse und -auswertung

a) Wie werden projektbezogene Planungsdaten in Ihrem Unternehmen abgelegt?

Bitte notieren Sie z. B., wo Sie Ihre Daten ablegen, in welchem Format, ...

b) Welche projektbezogenen Daten werden in Ihrem Unternehmen erhoben?

Bitte setzen Sie ein oder mehrere Kreuz(e) und schreiben Sie bei Bedarf Bemerkungen in das Textfeld. Sie können weitere Daten ergänzen.

- Zeitkritische Daten:
- Ressourcenkritische Daten:
- Kostenverursachende Daten:

c) Wann werden die meisten Daten in Bezug auf die Projektlaufzeit erzeugt und um welche Daten handelt es sich dabei?

Bitte markieren Sie Ihre Auswahl mit einen oder mehreren Kreuz(en). Notieren Sie Ihre Schätzung in % in das Textfeld und notieren Sie, welche Daten Sie in dieser Projektphase erzeugen.

- Direkt nach Projektstart: %
Erzeugte Daten:
- Kontinuierlich über den gesamten Verlauf des Projektes hinweg: %
Erzeugte Daten:
- Kurz vor Projektende: %
Erzeugte Daten:
- Noch nie betrachtet

d) Mit welchen Tools werden die Daten erhoben/gepflegt?

Setzen Sie ein oder mehrere Kreuz(e) und notieren Sie, wo Sie dieses Tool anwenden.

- Tabellenkalkulation (z. B. Excel)
Anwendung:
- Datenbank direkt (z. B. Access, MySQL, Oracle)
Anwendung:
- ERP-System
Anwendung:
- Andere anwendungsspezifische IT-Systeme:
Anwendung:
- Papierformulare
Anwendung:

e) Werten Sie in Ihrem Unternehmen anfallende projektbezogene Daten aus?

Markieren Sie Ihre Auswahl mit einem Kreuz.

- ja
- gelegentlich
- nein
- keine Angaben

Wenn „gelegentlich“ oder „ja“, welche projektbezogenen Daten werten Sie aus (Art der Daten) und warum (Grund der Auswertung)?

Notieren Sie Ihre Angaben in den entsprechenden Feldern.

Welche?	Warum?

Welche Auswertungstools werden dabei verwendet?

- keine
- folgende:

Notieren Sie Ihre Angaben in den entsprechenden Feldern.

	Welche?	Grund der Auswertung?
Statistiksoftware		
Visualisierungssoftware		

f) Beziehen Sie historische Projektdaten in zukünftige Projekte ein?

Markieren Sie Ihre Auswahl mit einem Kreuz.

- ja
- nein
- keine Angaben

Wenn ja, welche historischen Projektdaten beziehen Sie und wie? Aus wie vielen vergangenen Projekten beziehen Sie hierfür historische Daten?

Notieren Sie Ihre Angaben in den entsprechenden Feldern.

Welche?	Wie?	Anzahl betrachteter Projekte

g) Werden die Erfahrungen und Erkenntnisse vergangener Projekte genutzt und wenn ja wie?

Markieren Sie Ihre Auswahl mit einem Kreuz.

- ja
- nein
- keine Angaben

Wenn ja, welche historischen Projektdaten beziehen Sie mit ein und wie?

Notieren Sie Ihre Angaben in den entsprechenden Feldern.

Welche?	Wie?

h) Welche Hürden entstehen bei der Nachnutzung von projektbezogenen Daten?

Notieren Sie Ihre Angaben in dem Feld.

Leitfrage 6:

Themenschwerpunkt: Datenvisualisierung

a) Nutzen Sie Visualisierungsverfahren?

Markieren Sie Ihre Auswahl mit einem Kreuz.

- ja
- nein
- keine Angaben

Wenn ja, wofür nutzen Sie Visualisierungsverfahren?

Notieren Sie Ihre Angaben in den entsprechenden Feldern.

Anwendung	Verfahren/Tool

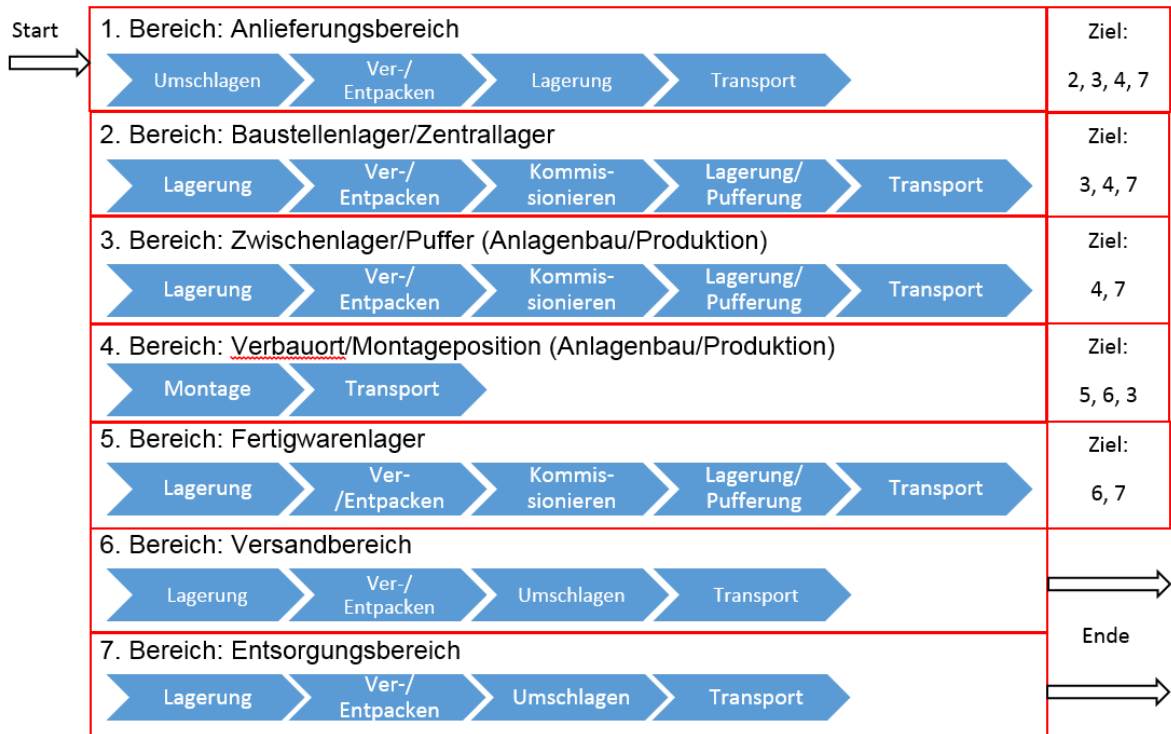
b) Wie gehen Sie bei der Visualisierung des Projektablaufplanes vor?

In welchen Bereichen nutzen Sie welchen Diagrammtyp (Struktur-Diagramm)?

Haben Sie weitere Fragen, Wünsche, Anregungen?

Anlage 1

Beispiel logistischer Prozessketten in spezifischen Bereichen eines Unternehmens mit möglicher Reihenfolgebildung

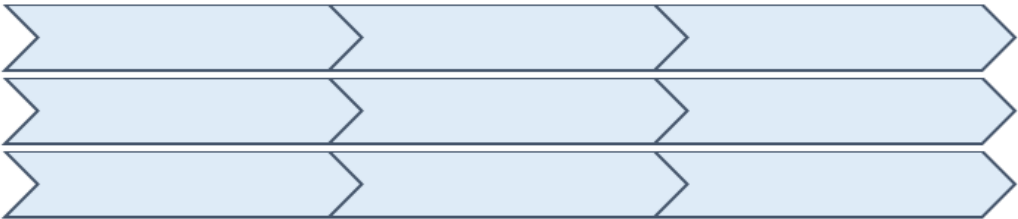
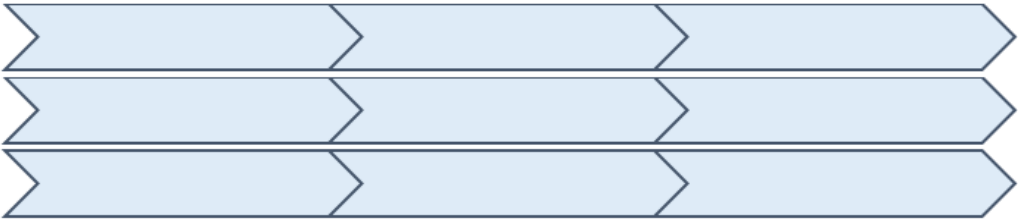
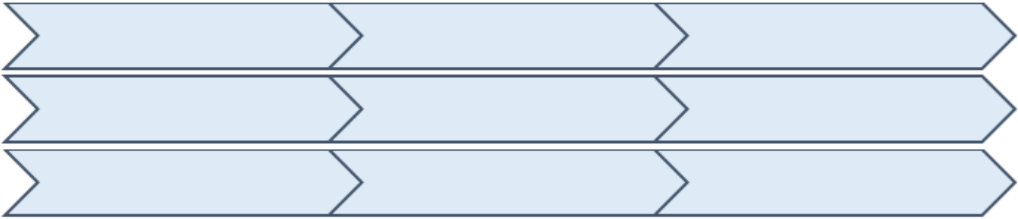
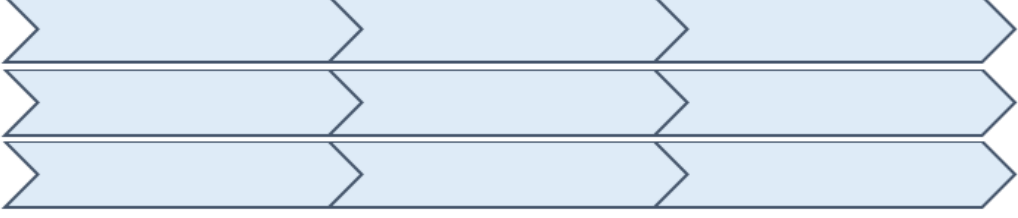







Anlage 2

Vorlage für die Beschreibung der Teilprozesse in bestimmten Bereichen

Empfohlene Vorgehensweise:

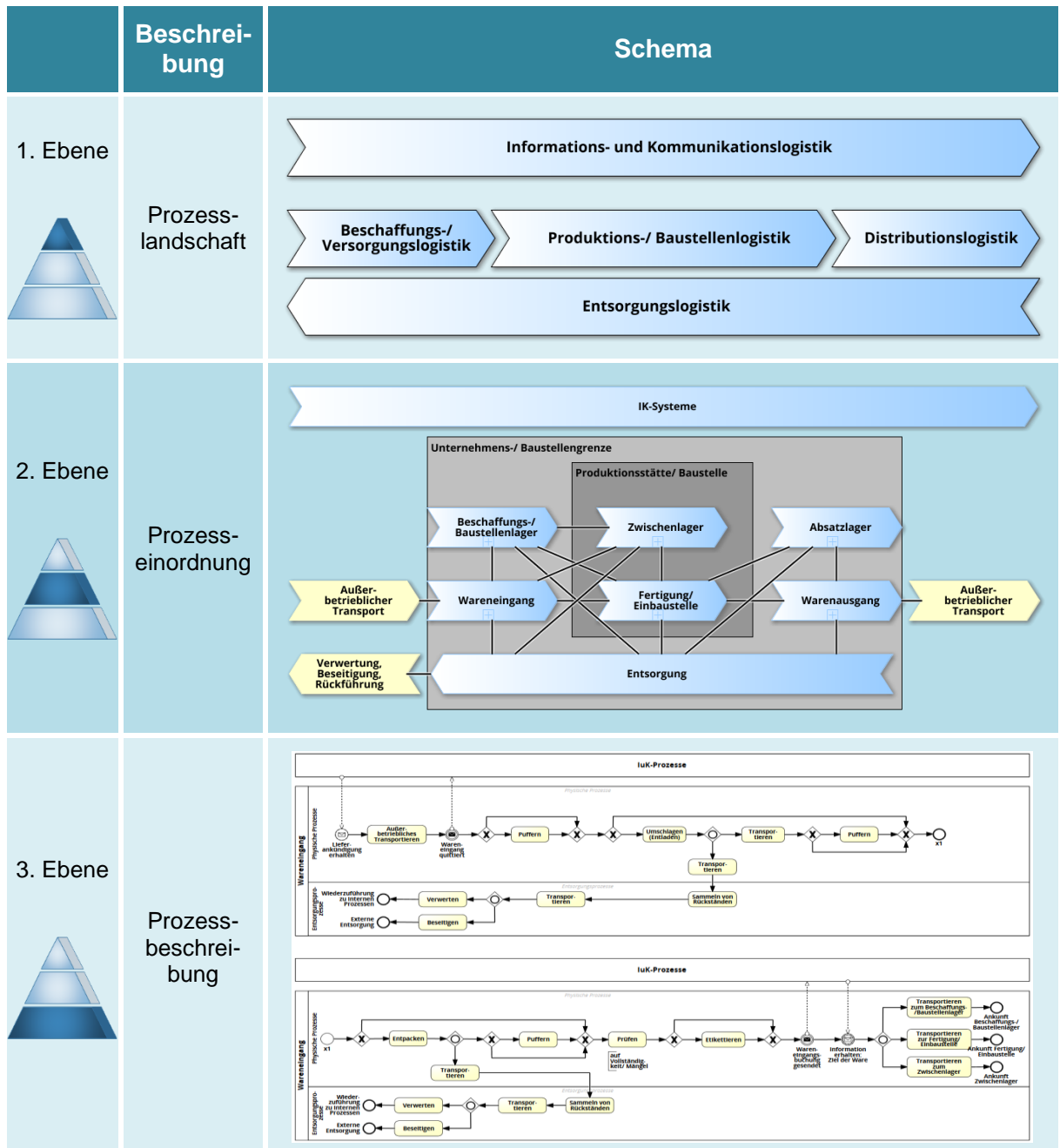
1. Bereiche in Ihrem Unternehmen notieren.
2. Ablauf logistischer Teilprozesse innerhalb eines Bereiches in den Prozessketten einfügen.
3. Reihenfolge festlegen, in der die Bereiche durchlaufen werden können. Als Ziel die Nummer des nächsten Bereiches nennen.

<p>1. Bereich:</p> 	<p>Ziel:</p>
<p>2. Bereich:</p> 	<p>Ziel:</p>
<p>3. Bereich:</p> 	<p>Ziel:</p>
<p>4. Bereich:</p> 	<p>Ziel:</p>

<p>5. Bereich:</p> 	<p>Ziel:</p>
<p>6. Bereich:</p> 	<p>Ziel:</p>
<p>7. Bereich:</p> 	<p>Ziel:</p>
<p>8. Bereich:</p> 	<p>Ziel:</p>
<p>9. Bereich:</p> 	<p>Ziel:</p>

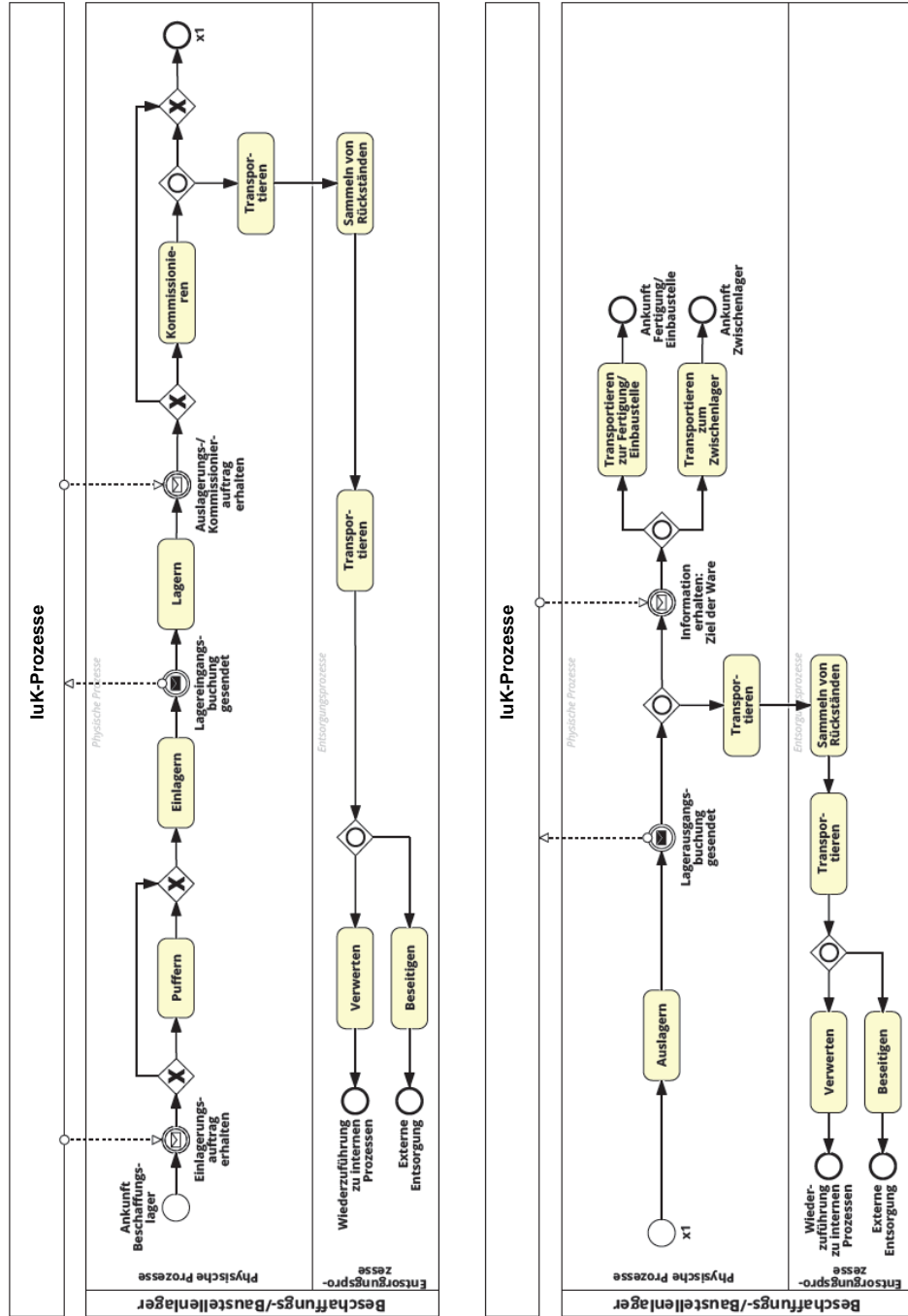
Anhang III – Logistisches Referenzmodell – alle Ebenen

Quelle: Dreyer (2018), S. 66



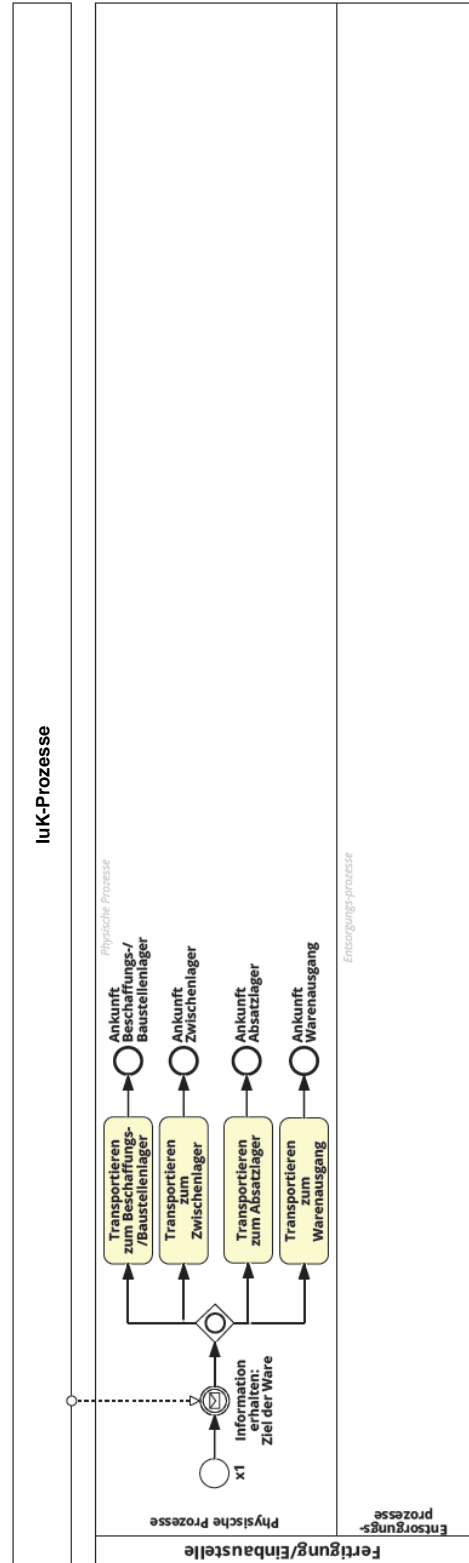
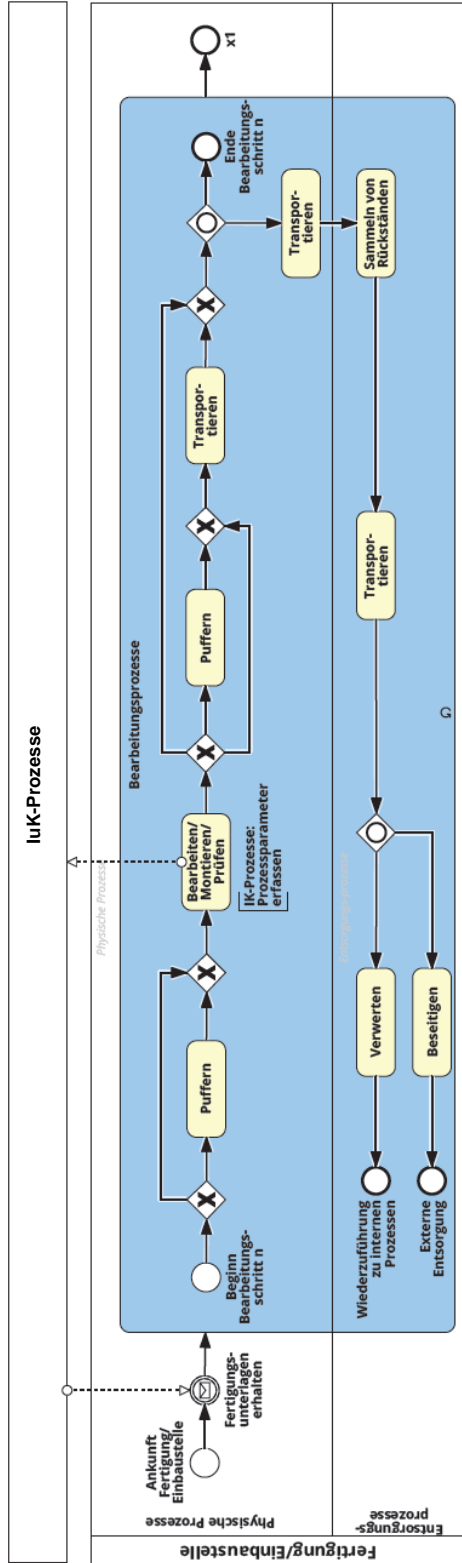
Quelle: Dreyer (2018), S. 53

4) Ebene 3: Prozessbeschreibung - Beschaffungs-/ Baustellenlager



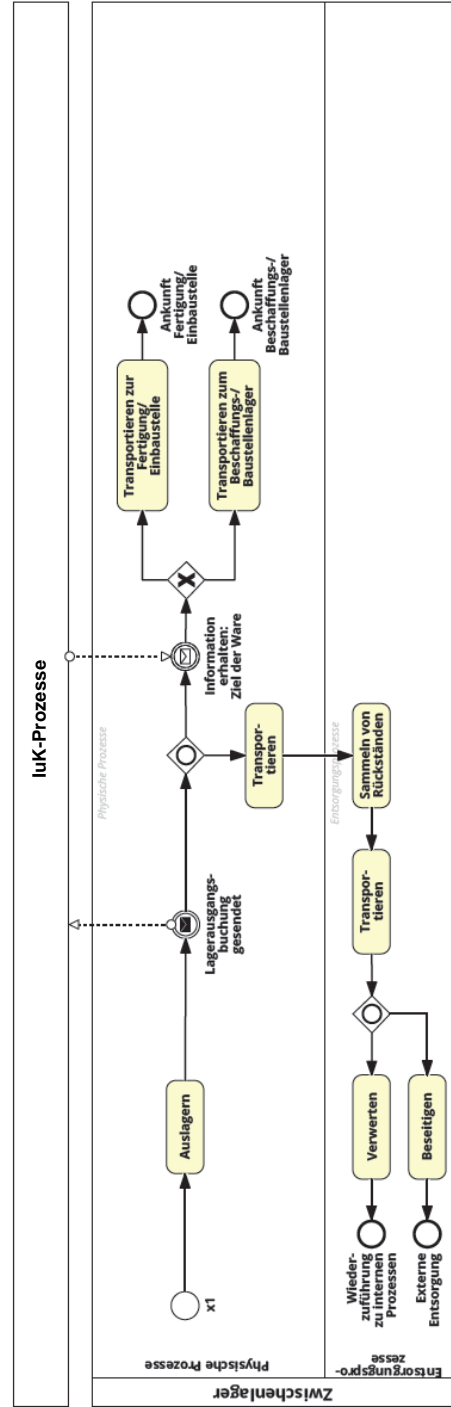
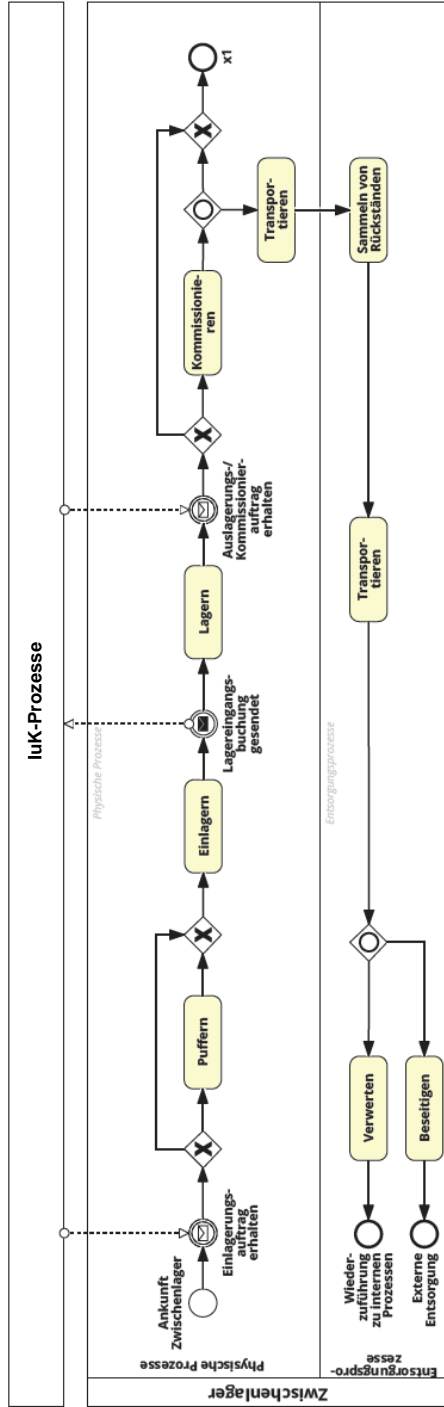
Quelle: Dreyer (2018), S. 58

5) Ebene 3: Prozessbeschreibung - Fertigung/Einbaustelle



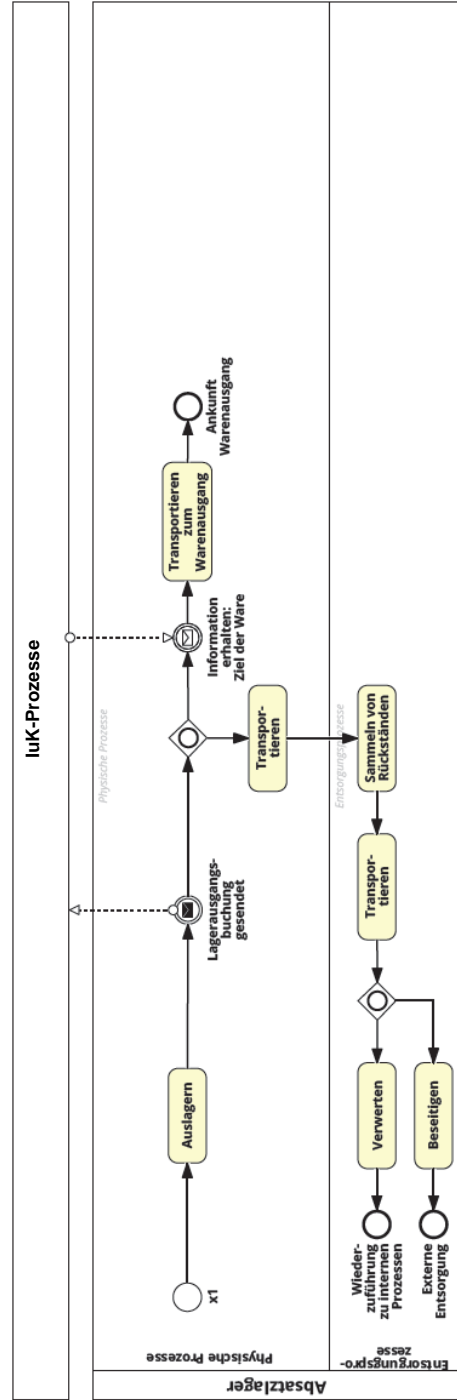
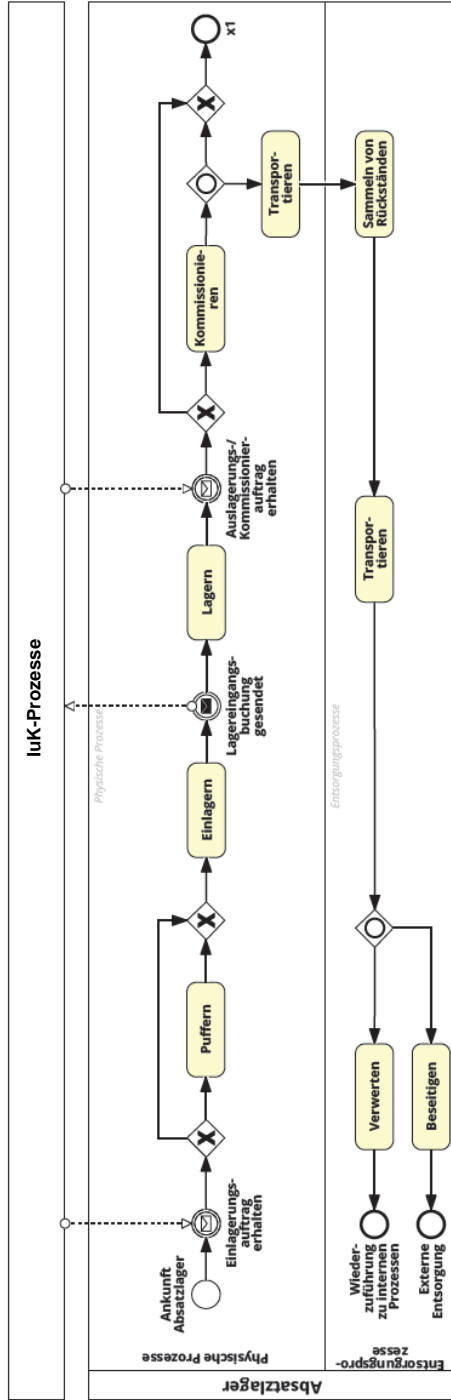
Quelle: Dreyer (2018), S. 59

6) Ebene 3: Prozessbeschreibung - Zwischenlager



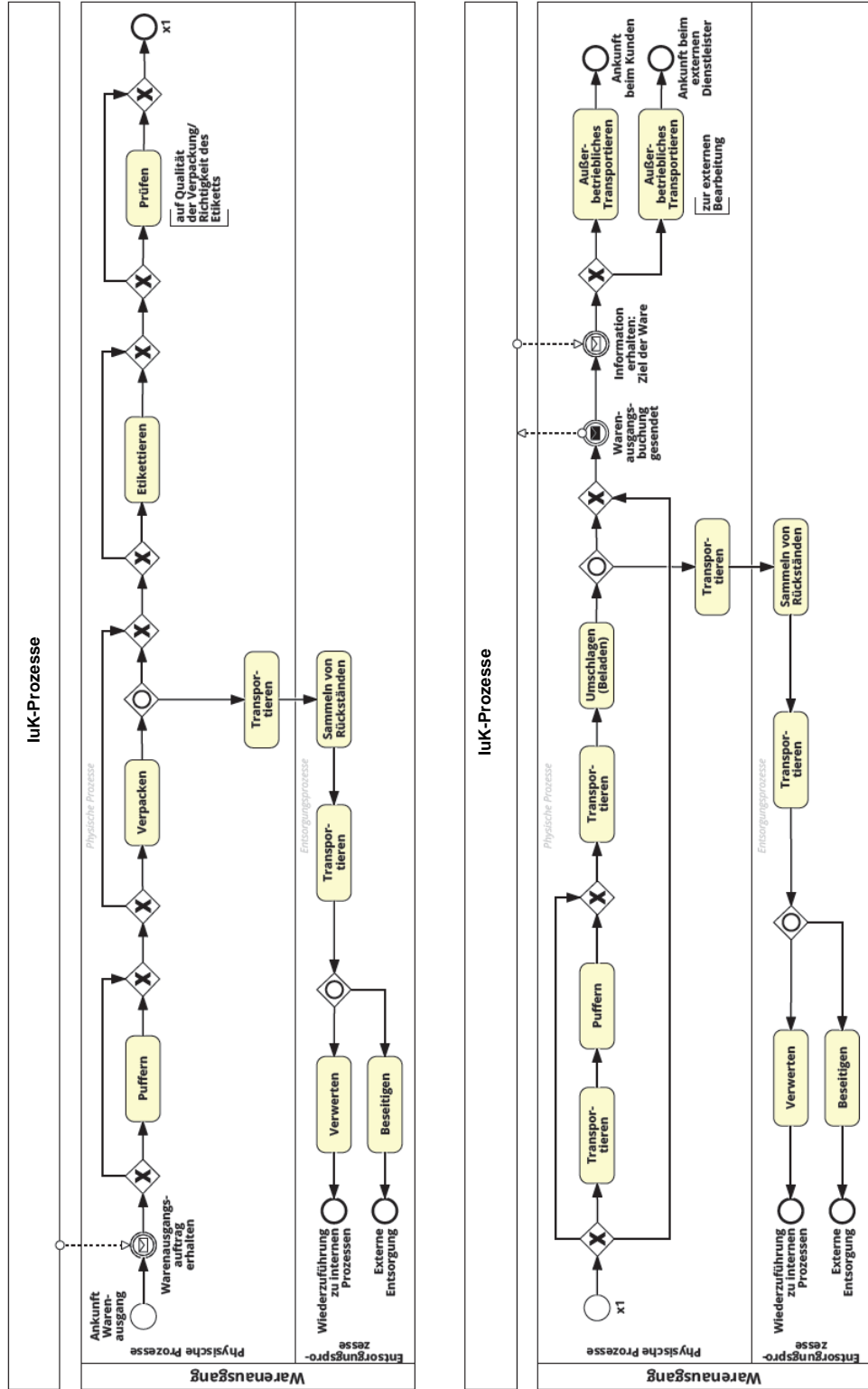
Quelle: Dreyer (2018), S. 49

7) Ebene 3: Prozessbeschreibung - Absatzlager



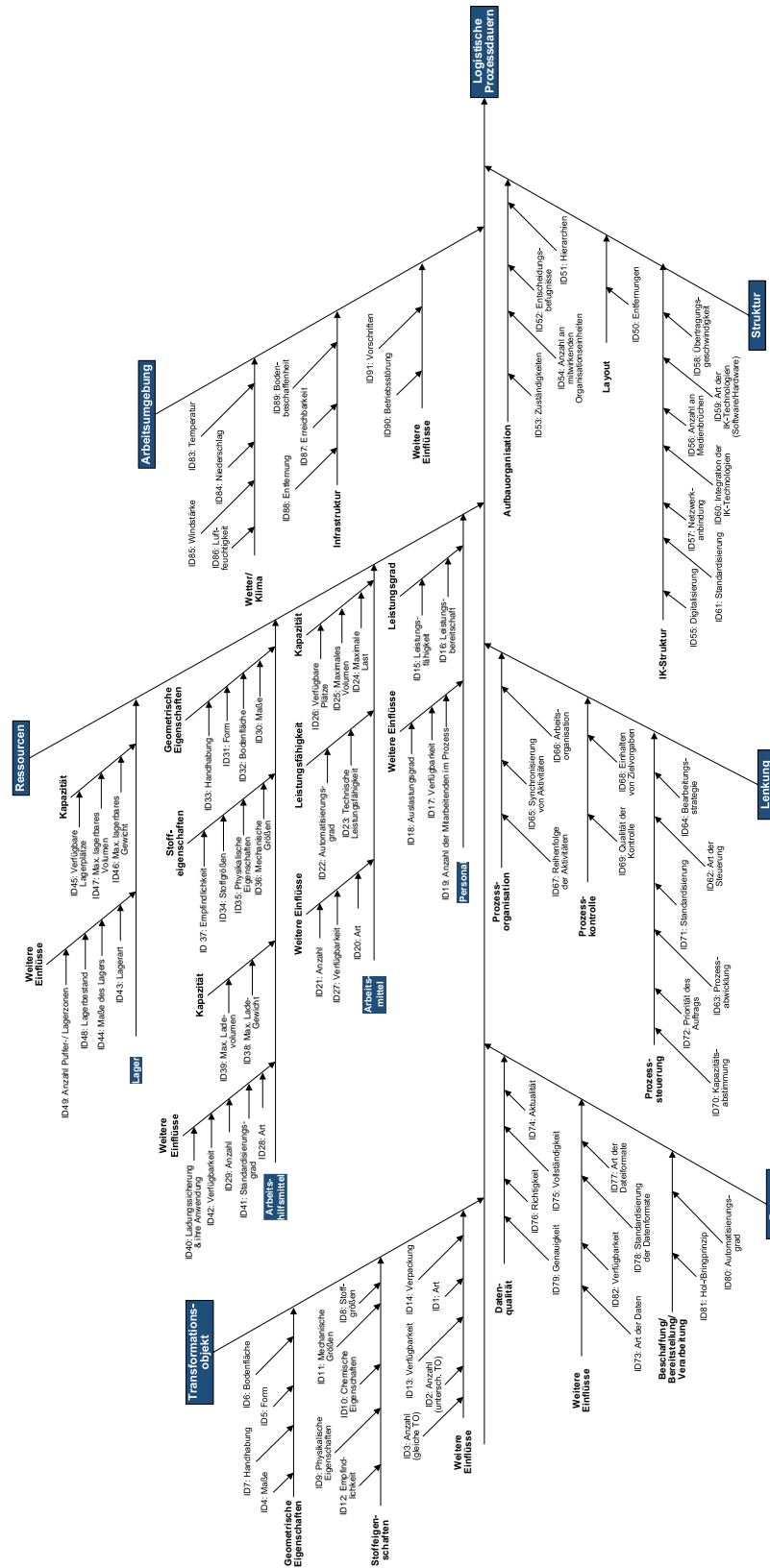
Quelle: Dreyer (2018), S. 65

8) Ebene 3: Prozessbeschreibung - Warenausgang



Anhang V – Einflussparameter im Ishikawa-Diagramm

Quelle: In Anlehnung an Dreyer (2018), S. 96



Anhang VI – Parameterausprägungen

Wert	Filter	Faktor	Prozent
Anzahl an unterschiedlichen Objekten im Prozess	Art des Objektes	Verantwortlichkeiten im Unternehmen	Empfindlichkeit des Objektes
Anzahl an gleichen Objekten im Prozess	Form des Objektes	Entscheidungsbefugnisse in Abhängigkeit der Aufbauorganisation	Leistungsfähigkeit des Personals
Maße des Objektes	Bodenfläche des Objektes	Zuständigkeiten im Prozess	Leistungsbereitschaft des Personals
Stoffgrößen des Objektes	Handhabung des Objektes	Digitalisierung des Informationsaustausches	Auslastungsgrad des Personals
Anzahl der Mitarbeitenden im Prozess	Physikalische Eigenschaften des Objektes	Medienbrüche bei der Kommunikation	Automatisierung des Arbeitsmittels
Anzahl der Arbeitsmittel im Prozess	Chemische Eigenschaften des Objektes	Netzwerkanbindung	Empfindlichkeit des Arbeitshilfsmittels
Geschwindigkeit des Arbeitsmittels	Mechanische Größen des Objektes	Software/Hardware	Standardisierung der Arbeitshilfsmittel
Maximale Förder-/Transportlast des Arbeitsmittels	Ist das Objekt zur Prozessdurchführung anwesend?	Art der Steuerung in einem Prozess	Integration der IT-Technologie im Prozess
Maximales Förder-/Transportvolumen des Arbeitsmittels	Verpackung des Objektes	Prozessabwicklung	Standardisierung
Verfügbare Plätze auf dem Arbeitsmittels	Verfügbarkeit des Personals	Bearbeitungsstrategie	Einhaltung der Zielvorgaben
Anzahl an Arbeitshilfsmitteln im Prozess	Art des Arbeitsmittels	Synchronisierung der Prozesse	Standardisierung der Prozessausführung
Maße des Arbeitshilfsmittels	Verfügbarkeit des Arbeitsmittels	Arbeitsorganisation im Prozess	Aktualität der Daten
Materialeigenschaften des Arbeitshilfsmittels	Art des Arbeitshilfsmittels	Reihenfolge der Prozesse	Standardisierung der Datenformate
Maximales Ladegewicht	Form des Arbeitshilfsmittels	Qualität der Kontrolle des Prozesses	Genauigkeit der Daten
Maximales Ladevolumen	Bodenfläche des Arbeitshilfsmittels	Kapazitätsabstimmung	Automatisierung der Beschaffung/Bereitstellung/Verarbeitung von Daten
Maße des Lagers	Handhabung des Arbeitshilfsmittels	Vollständigkeit der Daten	
Maximal lagerbares Objektgewicht	Physikalische Eigenschaften des Arbeitshilfsmittels	Richtigkeit der Daten	
Maximal lagerbares Objektvolumen	Mechanische Größen	Hol- /Bringprinzip bei der Beschaffung/Bereitstellung von Daten	
Aktueller Bestand im Lager	Ladungssicherung und ihre Anwendung	Temperatur	
Anzahl an Puffer-/Lagerzonen im Prozess	Verfügbarkeit des Arbeitshilfsmittels	Niederschlag	
Entfernungen im Layout	Lagerart	Windstärke	
Anzahl an mitwirkenden Organisationseinheiten	Verfügbare Stellplätze im Lager	Luftfeuchtigkeit	
Übertragungsgeschwindigkeit	Verfügbarkeit der Daten	Erreichbarkeit	
Entfernung		Bodenbeschaffenheit	
		Betriebsstörung	
		Vorschriften	

Anhang VII – Bewertungsskala der Kriterien für die Nutzwertanalyse

Quelle: in Anlehnung an Barke (2018), S. 29

Bewertungsskala	1	2	3
Kriterien	Ausprägungen		
Anonymität	Gering	Mittel	Hoch
Grad der Standardisierung	Nicht/wenig standardisiert	Teilstandardisiert	Standardisiert
Hilfemöglichkeiten	Nein	-	Ja
Zeitaufwand für Befragten	Hoch	Mittel	Gering
Zeitaufwand für Interviewer (Vorbereitung)	Hoch	Mittel	Gering
Zeitaufwand für Interviewer (Nachbereitung)	Hoch	Mittel	Gering
Fragebogenkomplexität	Gering	Mittel	Hoch
Stichprobengröße	Gering	Mittel	Hoch
Kosten (inkl. Fahrkosten, Drucken, Versand, Programmieren)	Hoch	Mittel	Gering
Einfluss des Interviewers	Hoch	Mittel	Gering
Einfluss durch andere Teilnehmer/Dritte	Gering	Mittel	Hoch
Feedback (Meinungsänderung möglich)	Nein	-	Ja
Rücklaufquote	Gering	Mittel	Hoch
Dauer der Durchführung	Hoch (größer vier Wochen)	Mittel (ein Monat)	Kurz (kleiner einer Woche)

Anhang VIII – Delphi-Studie

Quelle: In Anlehnung an Barke (2018)

Bewertung von Parametern in Bezug auf ihren Einfluss auf die Dauer von Logistikprozessen

Sehr geehrte Damen und Herren,

herzlich willkommen zur ersten Runde unserer Delphi-Studie zu dem Thema „Bewertung von Parametern in Bezug auf ihren Einfluss auf die Dauer von Logistikprozessen“, die im Rahmen des Forschungsprojektes „**SimCast**“ durchgeführt wird (weitere Projektinformationen siehe Infokasten). Mit Hilfe Ihrer Expertise sollen Parameter für die Prognose einer logistischen Prozessdauer identifiziert werden, die die Dauer eines logistischen Prozesses in der Unikat- und Kleinserienfertigung besonders stark beeinflussen. Die Befragung wird insgesamt ca. 15-20 Minuten Zeit in Anspruch nehmen.

Die Fragen im Rahmen der Delphi-Studie gliedern sich in sechs Kategorien:

1. **Transformationsobjekte** (im weiteren Verlauf Objekte genannt) erfahren im logistischen Prozess eine räumliche (Transport), zeitliche (Lagerung), sortenmäßige (Kommissionierung) Transformation, eine Transformation des Servicegrades (Verpacken) oder eine Schnittstellentransformation (Umschlagen).
2. **Ressourcen** umfassen für den Prozess notwendige Betriebsmittel, Arbeitsmittel, Arbeitshilfsmittel sowie das erforderliche Personal.
3. Die **Struktur** eines Prozesses beinhaltet die prozessinterne Aufbaustruktur sowie die technische Kommunikationsstruktur (Organisation der Informationstechnik).
4. Die **Lenkung** koordiniert und regelt den Prozess durch Regeln und Steuerungsvorschriften.
5. Die für die Prozessdurchführung benötigten **Daten** werden innerhalb eines Prozesses erfasst, verarbeitet und gespeichert.
6. Die **Arbeitsumgebung** wirkt von außen auf den Prozess.

Im Folgenden erhalten Sie zu jeder Kategorie eine Auflistung von möglichen Parametern. Diese bewerten Sie anhand Ihrer praktischen Erfahrung in Bezug auf ihren Einfluss auf die logistische Prozessdauer. Wenn Sie für einen Parameter keine Bewertung vornehmen können, dann wählen Sie die Option „Keine Angabe“ aus. Zudem können Sie weitere Parameter ergänzen, von denen Sie annehmen, dass sie einen Einfluss auf die Dauer logistischer Prozesse haben. Grundsätzlich haben Sie die Möglichkeit, Ihre Antworten zu speichern und zu einem späteren Zeitpunkt fortzufahren.

Wir danken Ihnen für Ihre Bereitschaft, im Projekt „SimCast“ mitzuwirken, und stellen Ihnen die Ergebnisse der Studie gerne zur Verfügung.

Vielen Dank!

Ihr SimCast-Team



Kategorie 1: Objekt

Wie bewerten Sie die Parameter des Objektes in Bezug auf ihren Einfluss auf die Dauer von Logistikprozessen?

	hoch	mittel	gering	irrelevant	keine Angabe
Art des Objektes [Stückgut, Schüttgut, Flüssigkeit, Gas, Langgut]	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Anzahl an unterschiedlichen Objekten im Prozess	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Anzahl an gleichen Objekten im Prozess [in Abhängigkeit der Losgröße]	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Maße des Objektes [Länge, Breite, Höhe, Durchmesser]	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Form des Objektes [stangenförmig, rohrförmig, zylindrisch, kugelig]	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Bodenfläche des Objektes [eben, gewölbt, mit Rillen, mit Rand]	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Handhabung des Objektes [Wird ein Hilfsmittel im Prozess benötigt?]	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Stoffgrößen des Objektes [Material, spez. Gewicht]	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Physikalische Eigenschaften des Objektes [elektrostatisch, glatt, weich, zerbrechlich, scharfkantig]	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Chemische Eigenschaften des Objektes [ätzend, explosiv, giftig, brennbar, klebrig]	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Mechanische Größen des Objektes [Reibungswert, Rutschwinkel, Schwerpunktlage: labil, stabil, veränderlich]	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Empfindlichkeit des Objektes [gegen Stoß, Erschütterung, Druck, Feuchtigkeit]	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Verfügbarkeit des Objektes [ist das Objekt zur Prozessdurchführung anwendend?]	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Verpackung des Objektes [Beutel, Kasten, Kiste, Sack, Schachtel]	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Kategorie 2: Ressourcen

Wie bewerten Sie die folgenden Parameter des Personals in Bezug auf ihren Einfluss auf die Dauer von Logistikprozessen?

	hoch	mittel	gering	irrelevant	keine Angabe
Leistungsfähigkeit des Personals [Qualifikation, Erfahrung]	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Leistungsbereitschaft des Personals [Motivation, Sensibilität]	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Verfügbarkeit des Personals [Anwesenheit/Betriebszeit]	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Auslastungsgrad des Personals [überarbeitet, überlastet, nicht ausgelastet]	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Anzahl der Mitarbeitenden im Prozess	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Wie bewerten Sie die folgenden Parameter des Arbeitsmittels, z. B. Stetigförderer, Unstetigförderer, LKW oder Roboter, in Bezug auf ihren Einfluss auf die Dauer von Logistikprozessen?

	hoch	mittel	gering	irrelevant	keine Angabe
Art des Arbeitsmittels [Stetigförderer, Unstetigförderer, LKW, Roboter; beeinflusst Leistung und Kapazität]	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Anzahl der Arbeitsmittel im Prozess	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Automatisierung des Arbeitsmittels [manuell, teilautomatisiert, vollautomatisiert]	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Geschwindigkeit des Arbeitsmittels [in Abhängigkeit der Bewegungsart: horizontal/ vertikal]	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Maximale Förder-/Transportlast des Arbeitsmittels	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Maximales Förder-/Transportvolumen des Arbeitsmittels	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Verfügbare Plätze auf dem Arbeitsmittels [Kapazität des Arbeitsmittel]	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Verfügbarkeit des Arbeitsmittels [störungsfreie Zeit/Betriebszeit]	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Wie bewerten Sie die folgenden Parameter des Arbeitshilfsmittels, z. B. Ladehilfsmittel, in Bezug auf den Einfluss auf die Dauer von Logistikprozessen?

	hoch	mittel	gering	irrelevant	keine Angabe
Art des Arbeitshilfsmittels [tragend (Palette), umschließend (Gitterbox, Behälter), abschließend (Container)]	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Anzahl an Arbeitshilfsmitteln im Prozess	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Maße des Arbeitshilfsmittels [Länge, Breite, Höhe]	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Form des Arbeitshilfsmittels [palettenförmig, tafelförmig, allseitig geschlossen]	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Bodenfläche des Arbeitshilfsmittels [mit Rollen, mit Kufen, eben]	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Handhabung des Arbeitshilfsmittels [stapelbar, zusammenklappbar, kranbar, (nicht) unterfahrbar, ziehbar]	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Materialeigenschaften des Arbeitshilfsmittels [Materialart, Gewicht]	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Physikalische Eigenschaften des Arbeitshilfsmittels [z. B. ESD-Ladungsträger für elektronische Bauteile zur elektrostatischen Entladung (ESD = Electrostatic Discharge)]	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Mechanische Größen des Arbeitshilfsmittels [Reibungswert, Rutschwinkel, Ausrichtung in Bezug auf Förderrichtung: parallel, Schwerpunktlage: labil]	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Empfindlichkeit des Arbeitshilfsmittels [gegen Stoß, Feuchtigkeit]	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Maximales Ladegewicht [in Abhängigkeit der Kapazität des LHM]	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Maximales Ladevolumen [in Abhängigkeit der Kapazität des LHM]	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ladungssicherung und ihre Anwendung [Zurrgurt, Stretchband, Keile, Netze]	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Wie bewerten Sie die folgenden Parameter des Lagermittels, z. B. Durchlaufregal, Fachbodenregal, in Bezug auf den Einfluss auf die Dauer von Logistikprozessen?

	hoch	mittel	gering	irrelevant	keine Angabe
Lagerart [Boden, Regal, statisch, dynamisch]	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Maße des Lagers [Länge, Breite, Höhe]	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Verfügbare Stellplätze im Lager	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Maximal zu lagerndes Objektgewicht	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Maximal zu lagerndes Objektvolumen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Aktueller Bestand im Lager	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Anzahl an Puffer-/Lagerzonen im Prozess	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Kategorie 3: Struktur

Wie bewerten Sie die folgenden Parameter der prozessinternen Aufbaustruktur in Bezug auf ihren Einfluss auf die Dauer von Logistikprozessen?

	hoch	mittel	gering	irrelevant	keine Angabe
Entfernungen im Layout [z. B. Entfernungen der Transportwege auf der Baustelle]	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Verantwortlichkeiten im Unternehmen [steile, flache Hierarchie]	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Entscheidungsbefugnisse in Abhängigkeit der Aufbauorganisation [Selbstständigkeit aller Mitarbeitenden, nur Meister, nur Geschäftsführung]	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Zuständigkeiten im Prozess	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Wie bewerten Sie die folgenden Parameter der technischen Kommunikationsstruktur (Organisation der Informationstechnik) in Bezug auf ihren Einfluss auf die Dauer eines logistischen Prozesses?

	hoch	mittel	gering	irrelevant	keine Angabe
Digitalisierung des Informationsaustausches [Papier, mündlich, elektronisch]	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Medienbrüche bei der Kommunikation [z. B. von Papier auf elektronische Medien]	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Netzwerkanbindung [zum Austausch von Daten]	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Übertragungsgeschwindigkeit [in Abhängigkeit der Netzwerkanbindung]	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Software/Hardware [modern, überholt]	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Integration der IT-Technologie im Prozess	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Standardisierung [z. B. von Software/Hardware im Prozess; auch prozessübergreifend]	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Kategorie 4: Lenkung

Wie bewerten Sie die folgenden Parameter der Lenkung in Bezug auf ihren Einfluss auf die Dauer von Logistikprozessen?

	hoch	mittel	gering	irrelevant	keine Angabe
Art der Steuerung in einem Prozess [z. B. selbstgesteuerte Systeme wie Kanban]	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Prozessabwicklung [schlank, flexibel, komplex, starr]	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Bearbeitungsstrategie [Batch-Betrieb, ohne Strategie]	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Synchronisierung der Prozesse [getaktete Prozessschritte, auch prozessübergreifend]	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Arbeitsorganisation im Prozess [Teamarbeit, Arbeitsteilung]	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Reihenfolge der Prozesse [nach dem Werkstattprinzip, Baustellenprinzip]	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Einhaltung der Zielvorgaben	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Qualität der Kontrolle des Prozesses [nach Protokoll, individuell]	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kapazitätsabstimmung [nach Bedarf, maximale Ausbringung]	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Standardisierung der Prozessausführung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Priorität des Auftrags [Prozessdurchführung in Abhängigkeit des Bereitstellungstermins, der verfügbaren Stellfläche]	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Kategorie 5: Daten

Wie bewerten Sie die Daten in Bezug auf ihren Einfluss auf die Dauer von Logistikprozessen?

	hoch	mittel	gering	irrelevant	keine Angabe
Art der Daten [Auftragsdaten, Materialdaten, Qualitätsdaten; in Abhängigkeit der Zuordnung im Prozess]	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Aktualität der Daten [neuste Version oder bereits überholt]	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Vollständigkeit der Daten [die z. B. für die Prozessdurchführung benötigt werden]	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Richtigkeit der Daten [Sind die Daten fehlerhaft?]	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Art der genutzten Datenformate im Prozess	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Standardisierung der Datenformate	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Genauigkeit der Daten [ausreichend für eine hohe Prozessqualität, zu detailliert]	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Automatisierung der Beschaffung/Bereitstellung/Verarbeitung von Daten [manuell (z. B. Papier), automatisch (z. B. elektronisch)]	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Hol-/Bringprinzip bei der Beschaffung/Bereitstellung von Daten	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Verfügbarkeit der Daten [in Abhängigkeit der Ablagestruktur, Archivierung, ...]	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Kategorie 6: Arbeitsumgebung

Wie bewerten Sie die folgenden Parameter der Arbeitsumgebung in Bezug auf ihren Einfluss auf die Dauer von Logistikprozessen?

	hoch	mittel	gering	irrelevant	keine Angabe
Temperatur	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Niederschlag	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Windstärke	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Luftfeuchtigkeit	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Erreichbarkeit [Anbindung an Autobahn, Verkehrswegenetz]	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Entfernung [von einem Arbeitsprozess zum nächsten]	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Bodenbeschaffenheit [Steigung, Ebenheit]	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Betriebsstörung [Hindernisse im Prozess]	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Vorschriften [in Abhängigkeit der Straßenverkehrsordnung (StVO), Betriebsordnung]	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Soziodemografische Fragen

Da es sich um eine anonyme Befragung handelt, bitten wir Sie abschließend um Angaben zu Ihrem Unternehmen, Ihrer Position und Ihren Produkten:

Bitte geben Sie die Anzahl der in Ihrem Unternehmen beschäftigten Mitarbeitenden an:

- < 50
- 50-100
- 101-250
- > 250

Bitte geben Sie Ihre Position im Unternehmen an:

- Projektmanager
- Logistikplaner
- Logistikleiter
- Produktionsplaner
- Sonstiges

In welchem Bereich sind Ihre Produkte angesiedelt?

- Anlagenbau
- Maschinenbau
- Sondermaschinenbau
- Sonstiges:

Fragen, Wünsche oder Anregungen können Sie an dieser Stelle gerne äußern:

Wir danken Ihnen herzlich für Ihre Teilnahme.

Wir werden die zweite Runde dieser Delphi-Studie am 01.12.2017 starten und freuen uns sehr, Sie auch für eine Teilnahme an der Fortsetzung der Studie zu gewinnen. Die Studie wird nach der zweiten Runde abgeschlossen sein.

Ihr SimCast-Team



Anhang VIV – Berechnungsregeln

Typus 1:

Parameter	Ausprägung 1	Ausprägung 2	Ausprägung 3	Ausprägung 4	Ausprägung 5
Montage im Unternehmen	Komplettmontage	Baugruppen			
Abnahme	beim Kunden	im Unternehmen			
Endmontage	beim Kunden	im Unternehmen			
Transport zum Kunden	Komplettmontage	Baugruppen	kein Transport		
Gewicht	<500 kg	<2 t	>2 t		
Art des Objektes	Stückgut	Schüttgut	Flüssigkeit	Gas	Langgut
Handhabung des Objektes/Hilfsmittel notwendig?	ja	nein			
Objekt bei Prozessdurchführung anwesend	ja	nein			
Arbeitsmittel verfügbar?	ja	nein			
Art des Arbeitsmittels	Stetigförderer	Unstetigförderer	LKW	Roboter	
Handhabung des Arbeitsmittels	stapelbar	zusammenklappbar	kranbar	(nicht) unterfahrbar	
Arbeitshilfsmittel verfügbar?	ja	nein			
Art des Arbeitshilfsmittels	Palette	Gitterbox			
Form des Arbeitshilfsmittels	palettenförmig	tafelförmig	allseitig geschlossen		
Verfügbarkeit des Personals	anwesend: 25-50-75-100 %	abwesend: Urlaub, Krank			
Lagerart	Boden	Regal	statisch	dynamisch	
Priorität des Auftrags	a	b	c		
Physikalische Eigenschaften des Objektes	fest	flüssig	gasförmig	ändert seinen Zustand	

Typus 2:

Parameter	Ausprägung 1	Ausprägung 2	Ausprägung 3
Auslastungsgrad des Personals	80 %	100 %	120 %
Leistungsgrad des Personals	80 %	100 %	120 %

Typus 3:

Nr.	Parameter	Formel
1.	Kommissionierzeit	= Basiszeit + Wegzeit + Greifzeit + Totzeit + Verteilzeit
2.	Kapazität AM	> $\frac{[m(\text{Objekt}) + m(\text{AHM}) + m(\text{Verpackung}) < m(\text{AM})]}{[V(\text{Objekt}) + V(\text{AHM}) + V(\text{Verpackung}) < V(\text{AM})]}$ &&
3.	Kapazität AHM	> $\frac{[m(\text{Objekt}) + m(\text{Verpackung}) < m(\text{AHM})]}{[V(\text{Objekt}) + V(\text{Verpackung}) < V(\text{AHM})]}$ &&
4.	minimale Umschlagzeit	= Transportzeit + Handlingzeit (zwischen Entladen und Verladen in einer Logistikstation)
5.	effektive Umschlagzeit	= minimal Umschlagzeit + Wartezeit (bis zur Abfahrt des nächsten Transports oder bis zum Eintreffen der letzten Sendung, die für die ausgehende Ladung bestimmt ist)
6.	Transportzeit pro Transportauftrag	= $\frac{\text{Transportzeit gesamt}}{\text{Anzahl Transportaufträge}}$ [Stunden/Auftrag]
7.	$v = s/t$	$t = s/v$ mit s aus Layout/Transportmatrix und v aus Datenblatt des Arbeitsmittels
8.	Ist das Objekt zur Prozessdurchführung anwesend?	Wenn ja: nächsten Parameter abfragen sonst nein: Datum eingeben, wann Objekt verfügbar sein wird, neuer "Starttermin"
9.	Bestand/Wiederbeschaffung	wenn Bestand(Lager) \geq Anzahl, dann alles ok; sonst Anzahl \leq Sicherheitsbestand (<0) dann Beschaffung auslösen (neuer "Starttermin")

Legende:

- V = Volumen
- m = Masse
- t = Zeit
- s = Strecke
- v = Geschwindigkeit



Anhang X – Literaturanalyse

Quelle: In Anlehnung an Gerewitsch (2018), S. 88

Systematische Literaturanalyse nach wissenschaftlichen Artikeln

Zielthemengebiet
durchsuchte Datenbanken
Einschränkungen

Ontologie-Ansätze im Bereich der Logistik
EBSCO & Google Scholar
Sprache: Englisch & Deutsch
keine Einschränkung des Zeitraums

EBSCO

Suchbegriff	Treffer	weitere Eingrenzung	Thematisch relevante Artikel
(Ontologie AND Logistik) OR (Ontology AND logistics)	219	keine	13
(Ontologie And Unternehmenslogistik) OR (Ontology AND corporate logistics)	0	keine	
(Ontologie And Unternehmenslogistik) OR (Ontology AND company logistics)	0	keine	

Google Scholar

Suchbegriff	Treffer	weitere Eingrenzung	Thematisch relevante Artikel
Ontologie + Logistik OR ontology + logistics	887	für Ergebnisse mit höherer Güte und Relevanz Eingrenzung auf Vorkommen im Titel	siehe folgende Zeilen
Ontology + logistics	48		11 (abzüglich Dopplung 4)
Ontologie + Logistik	0		

Anhang XI – Anforderungsspezifikationsdokument

Quelle: In Anlehnung an Gerewitsch (2018), S. 59

Anforderungsspezifikationsdokument	
Anwendungsbereich:	Logistik (Unikat- und Kleinserienfertigung)
Datum:	20.04.2018
Zweck:	Planung der Dauer logistischer Prozesse
Nutzer:	Projektmanager
Level der Formalität:	OWL-basiert
Umfang:	Beschreibung logistischer Prozesse
	Beschreibung der Einflussparameter
	Darstellen der Wechselbeziehungen zwischen den Parametern
Quelle des Wissen:	Ishikawa-Diagramm SimCast
	BPMN-Modell SimCast
	Logistik-Referenzmodell SimCast
	Wikipedia
	Literatur zu Logistik
Wissenserfassungstechnik:	Experteninterview (indirekt, da Referenzmodell und Ishikawa darauf beruhen)
	Brainstorming
	Inhaltsanalyse der Wissensquellen
Kompetenzfragen:	Welche Einflussparameter hat das Transformationsobjekt?
	Welche Einflussparameter haben die Ressourcen?
	etc.
	Welche Wechselwirkungen gibt es zwischen den Parametern?
	Welches Arbeitsmittel handhabt welches Transformationsobjekt?
	Aus welchen logistischen Prozessen besteht der Wareneingang?
	Welche Geschwindigkeit hat ein Arbeitsmittel?
	Welche Parameter wirken auf die Geschwindigkeit eines Arbeitsmittels ein?

Anhang XII – Zuordnung von Logistikprozessen in Kategorien und Bereiche

Kategorie		Transport	Umschlag	Lagerung	Kommissionierung	Verpackung
1	Transformationsobjekt	X	X	X	X	X
2.1	Personal	X	X	X	X	X
2.2	Arbeitsmittel	X	X	-	X	-
2.3	Arbeitshilfsmittel	X	X	X	X	X
2.4	Lagermittel	-	-	X	X	-
3	Struktur	X	X	X	X	X
4	Lenkung	X	X	X	X	X
5	Daten	X	X	X	X	X
6	Umgebung	X	X	X	X	X
Bereich						
	Wareneingang	X	X	-	-	X
	Beschaffungslager/Baustellenlager	X	-	X	X	-
	Zwischenlager	X	-	X	X	-
	Montage/Einbaustelle	X	-	-	-	-
	Absatzlager	X	-	X	X	-
	Warenausgang	X	X	-	-	X

Anhang XIII – Anforderungen als User-Stories

Funktionale Anforderungen ohne Bedingungen

Nr.	Name	User-Story
1	Teilprozesse auswählen	Als Anwender möchte ich unbedingt den zu planenden Prozess aus einem Drop-Down-Menü auswählen, um die weitere Bearbeitung prozessfokussiert zu ermöglichen.
2	manuelles Überschreiben von Prozesszeiten	Als Anwender möchte ich die berechnete Dauer manuell überschreiben können, um weiterhin selbst ermittelte Prozesszeiten zu hinterlegen.
3	Prozesszeiten aus Simulation	Als Anwender möchte ich unbedingt in Teil 3 des Demonstrators "Simulation" ein hinterlegtes Simulationsmodell zur Ermittlung von Prozesszeiten nutzen können, um genauere Ergebnisse zu erhalten.
4	Prozesszeiten aus historischen Daten	Als Anwender möchte ich unbedingt in Teil 2 des Demonstrators "Datenanalyse" folgende Ergebnisse angezeigt bekommen: Mittelwert, Median, Minimum, Maximum, Varianz; um statistische Aussagen treffen zu können.
5	Anbindung der Ontologie	Als Anwender möchte ich unbedingt, dass das Plug-in an eine Ontologie angebinden ist, um immer auf den aktuellsten Wissen- und Datenbestand zugreifen zu können.
6	Prozesskennzeichnung	Als Anwender möchte ich unbedingt sehen, welche Prozesse bereits gekennzeichnet sind, um effektives Arbeiten zu ermöglichen.
7	Anzeigen des Wizzard-Bearbeitungsstandes	Als Anwender möchte ich unbedingt die durch die Methodik verwendeten Parameter bei bereits ermittelter Prozessdauer speichern, um sie immer aktuell angezeigt zu bekommen.
8	Speichern des erweiterten Projektplans	Als Anwender möchte ich unbedingt die durch die Methodik verwendeten Parameter bei bereits ermittelter Prozessdauer angezeigt bekommen, um damit weiter arbeiten zu können und den SimCast-Bearbeitungsstand rekonstruieren zu können.
9	Datenimport	Als Anwender will ich den Datenimport aus anderen MS-Produkten nutzen.
10	Suchfunktion	Als Anwender möchte ich einfache Suche nach Worten wie Mitarbeitender, AHM, Prozess, Bereich, um effektives Arbeiten zu ermöglichen
11	Übersichtsfenster des Wizzards	Als Anwender möchte ich unbedingt eine Übersicht über die Ergebnisse der einzelnen Teile des Demonstrators
12	Dokumentation des Demonstrators	Als Anwender möchte ich unbedingt eine schriftliche Dokumentation haben, um alle Funktionen des Demonstrators kennenlernen zu können.
13	Andere MS-Produkte nutzen	Als Anwender möchte ich den Datenimport aus anderen MS-Produkten nutzen, um flexibel zu bleiben.
14	MS-Excel-/Project Datenaustausch	Als Anwender will ich eine Import-/Exportfunktion über CSV (Comma-separated values) haben, um flexibel zu bleiben.
15	MS-Office Export	Als Anwender möchte ich eine Anbindung an die MS-Office-Komponente Visio, Word-, PowerPoint haben, um flexibel zu bleiben.
16	SQL-Anbindung	Als Anwender will ich eine Open Database Connectivity (ODBC)-Schnittstelle, u. a. für Access-Anbindung haben, um flexibel zu bleiben.
17	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.

Nr.	Name	User-Story
18	Ressourcenverwaltung durchführen	Als Anwender möchte ich unbedingt Soll- und Ist-Daten der eingesetzten Ressourcen verwalten können, um Medienbrüche zu vermeiden.
19	Projektplanverwaltung	Als Anwender möchte ich CSV-Daten und XML-Daten einlesen können, um Medienbrüche zu vermeiden.
20	ERP-Schnittstelle	Als Anwender möchte ich eine definierte Schnittstelle zu Excel haben, um flexibel zu bleiben.
21	Logistik-Simulations-schnittstelle	Als Anwender möchte ich einen Datenaustausch zwischen Plan- und Logistiksimulation ermöglichen, um optimieren zu können.
22	Verrechnungsbedingungen	Als Anwender möchte ich unbedingt Zeiten, Entfernungen, Geschwindigkeiten, Kapazitäten (Ladung) berücksichtigen, um optimieren zu können.
23	Transportrestriktionen	Als Anwender möchte ich den Einfluss von Transportrestriktionen auf die Zeit darstellen, um optimieren zu können.
24	Wetterdaten-Plan	Als Anwender möchte ich den Einfluss des Wetters im geplanten Zeitraum über den Zeitfaktor darstellen, um Auswirkungen zu sehen.
25	Risiko: Behörden	Als Anwender möchte ich Einflüsse durch Behörden (Gutachten- und Prozessverfahren) auf die Termintreue/Projekttermine darstellen, um Konsequenzen aufzuzeigen, wenn dieses Risiko eintritt.
26	Verteilungsfunktion aus historischen Daten	Als Anwender will ich unbedingt historische Daten als Verteilungen für Projektschritte einbinden, um optimieren zu können.
27	Logistik-Simulations-schnittstelle	Als Anwender will ich unbedingt Projektschritte als Logistiksimulation abbilden, ansteuern und Ergebnisse integrieren, um optimieren zu können.
28	Gantt-Charts	Als Anwender möchte ich Gantt-Charts der (simulierten) Projektpläne erzeugen und überblenden, um die Ergebnisse sichtbar zu machen.
29	Ergebnisvisualisierung	Als Anwender will ich Ergebnisvisualisierung auch für einzelnen Abteilungen/Betriebsbereiche anzeigen lassen, um separate Diagramme für Abteilungen/Betriebsbereiche darstellen zu können.

Nicht-funktionale Anforderungen bezogen auf Prozesse

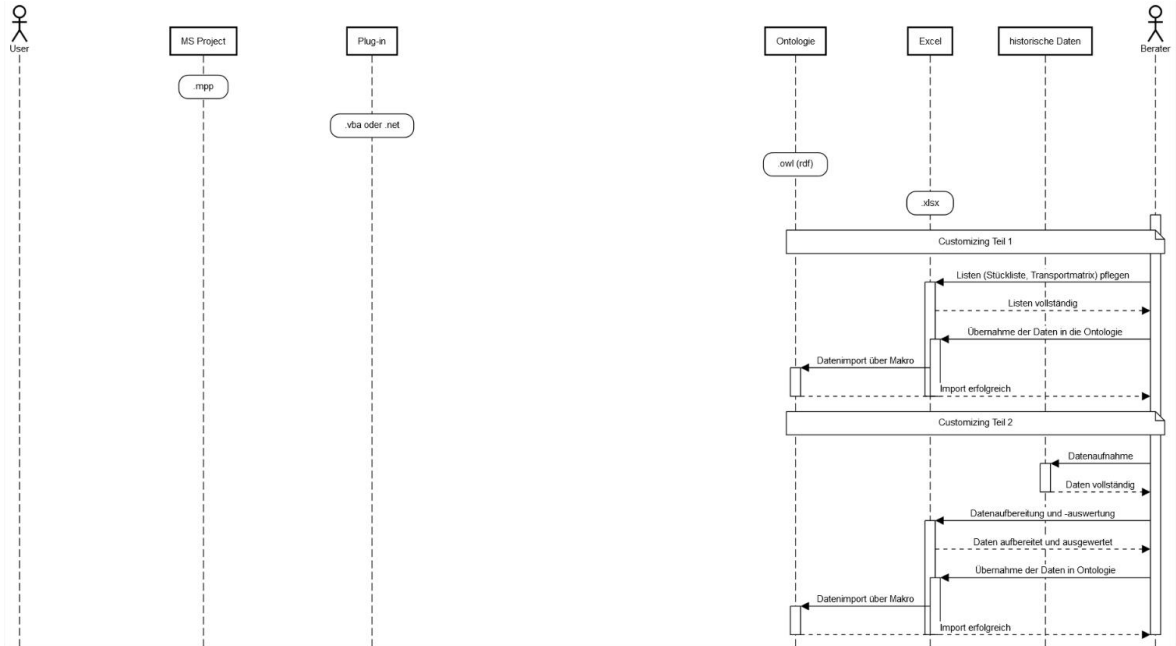
Nr.	Name	User-Story
1	Manipulationssicherheit	Als Anwender möchte ich unbedingt die Sicherheit, dass die hinterlegte Berechnungslogik nicht manipuliert werden kann.
2	Schulung	Als Anwender möchte ich bei der Einführung des Plug-ins einmal geschult werden.
3	Bereitstellung geeigneter Hardware	Als Anwender möchte ich für die Installation des Plug-ins und weitere Arbeiten einen Computer bereitgestellt bekommen.

Nicht-funktionale Anforderungen bezogen auf Umgebung

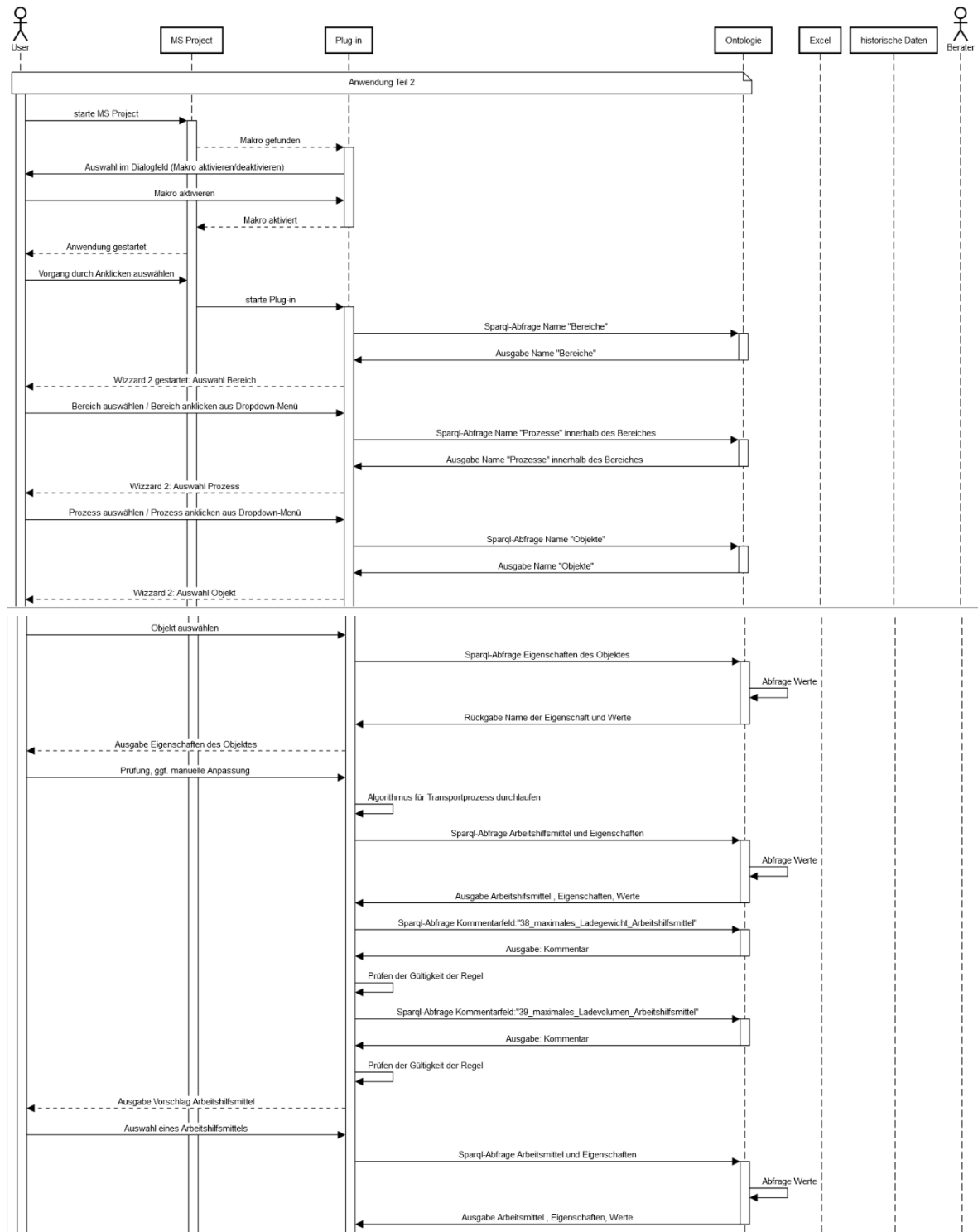
Nr.	Name	User-Story
1	Mehrfachzugriff	Als Anwender möchte ich unbedingt parallel mit anderen Nutzern auf dem Ontologieserver arbeiten können.

Anhang XIV – Sequenzdiagramm

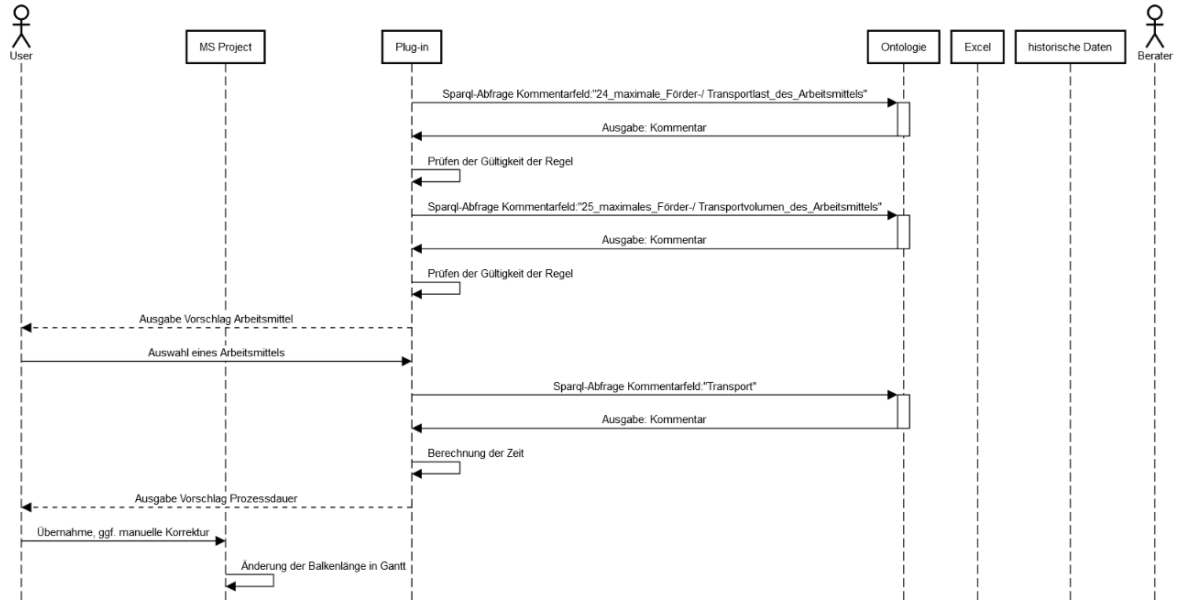
Abschnitt 1: Vorbereitung



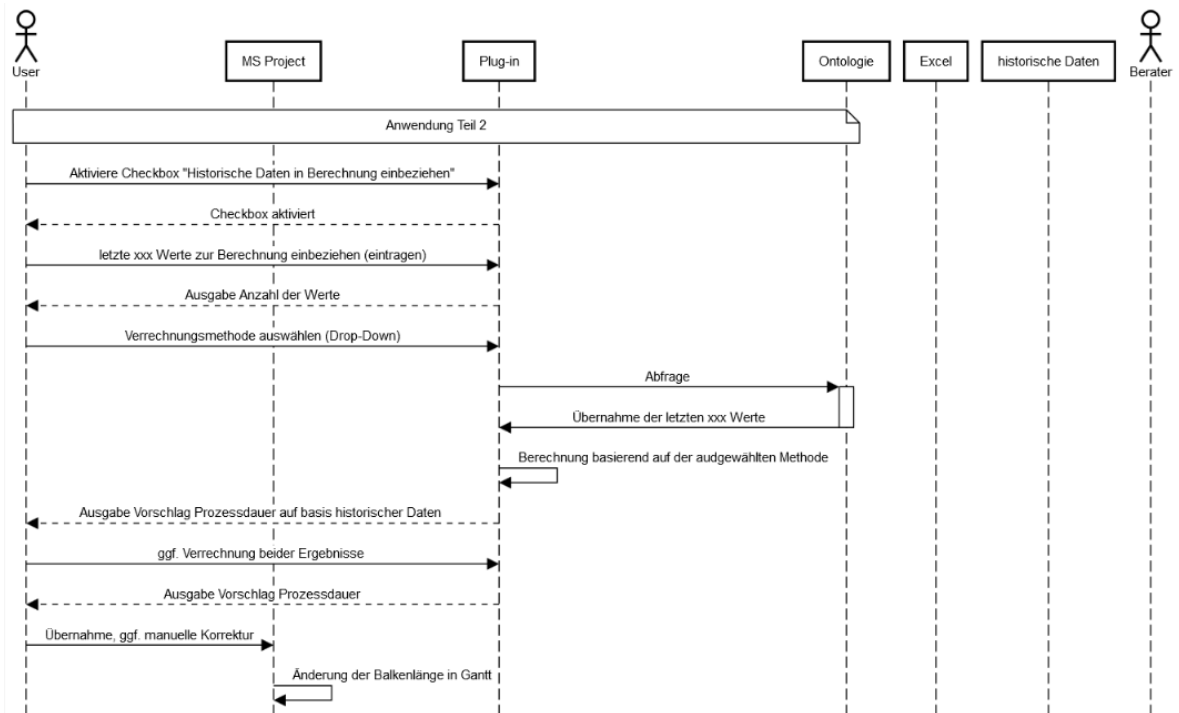
Abschnitt 2: Teil 1 des Demonstrators



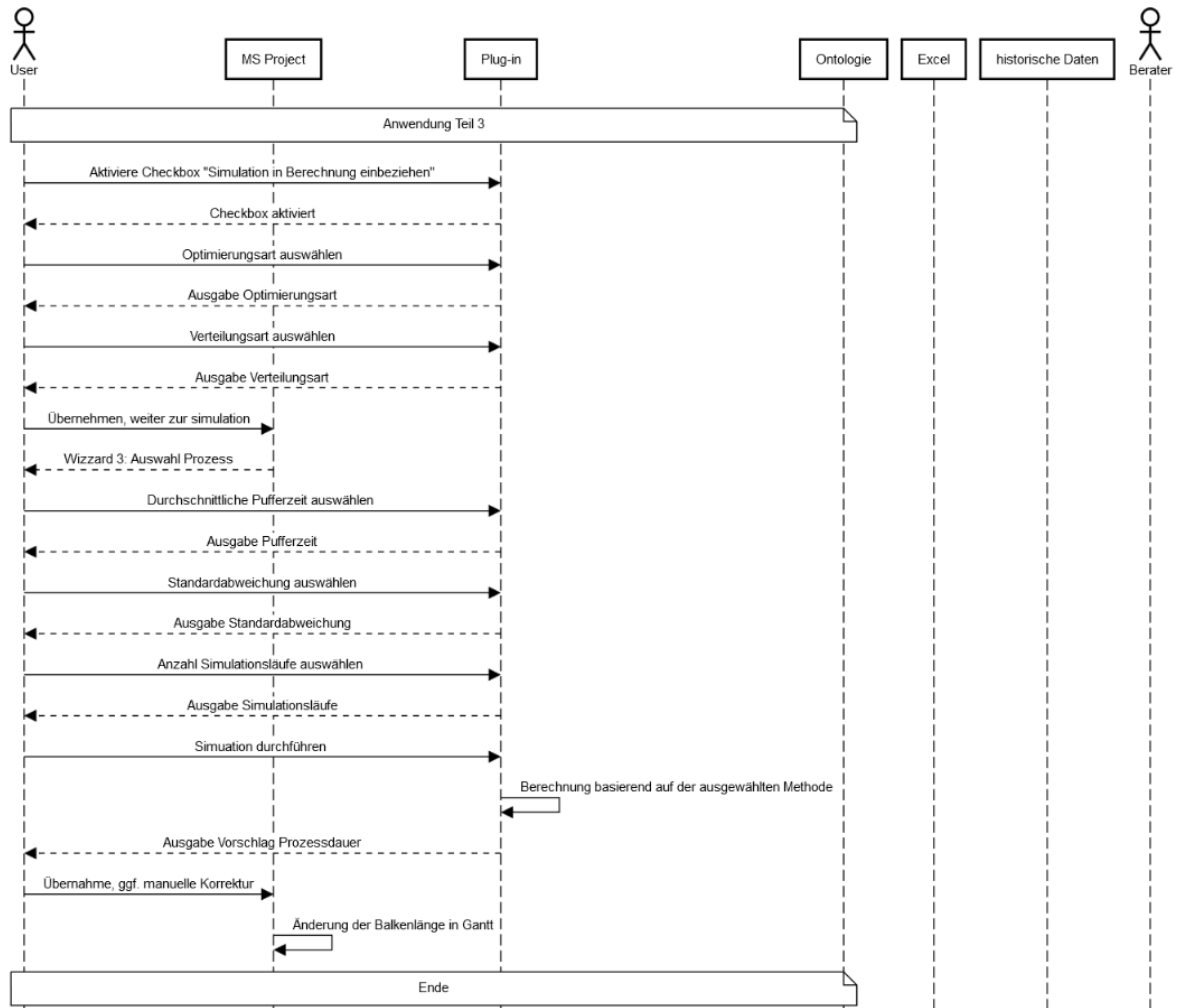
Anhang XIV – Sequenzdiagramm



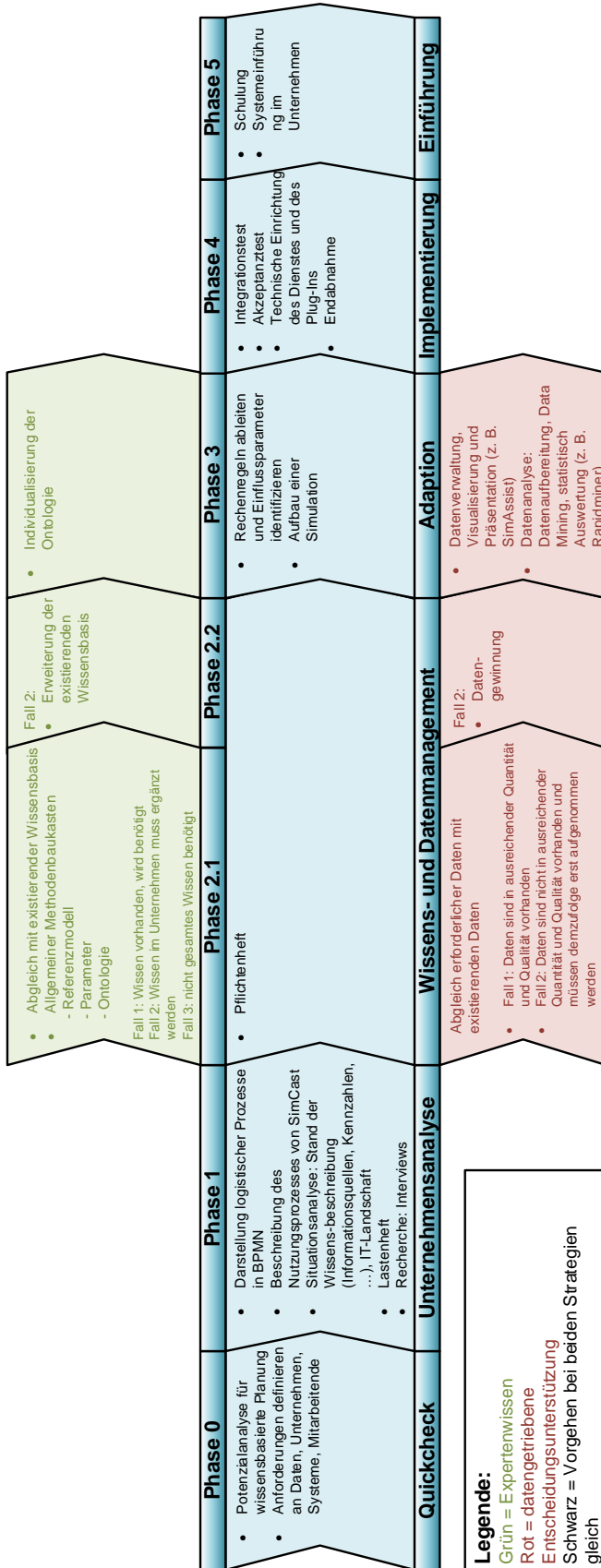
Abschnitt 3: Teil 2 des Demonstrators



Abschnitt 4: Teil 3 des Demonstrators

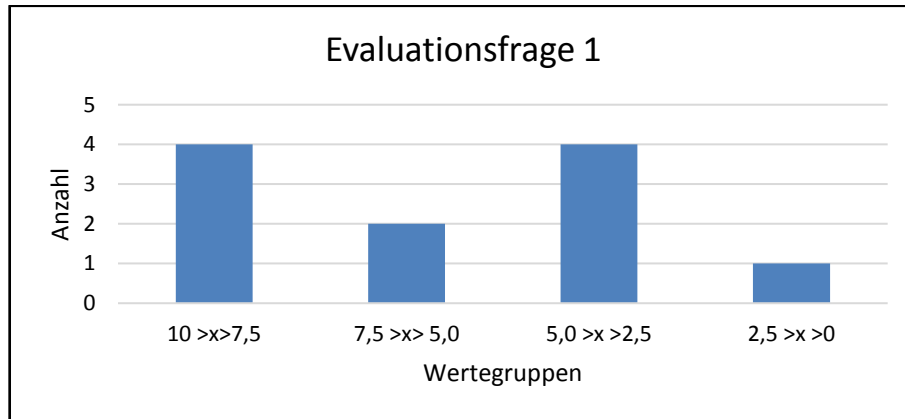


Anhang XV – Vorgehensmodell

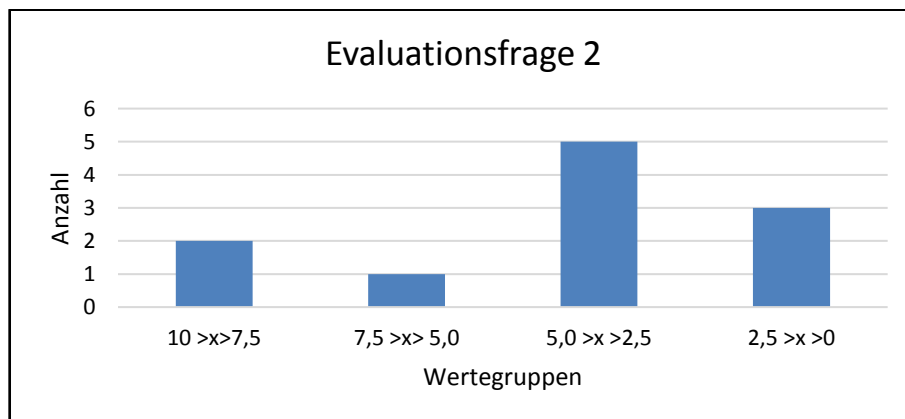


Anhang XVI – Evaluationsergebnisse

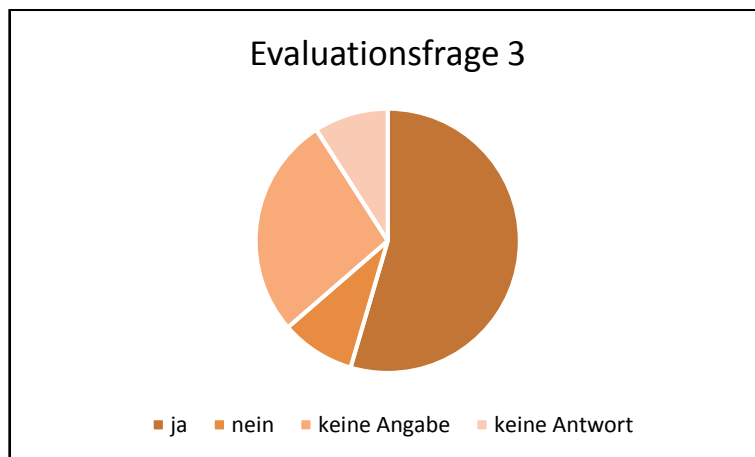
Frage 1: Entspricht der entwickelte Workflow realen Abläufen im Unternehmen?



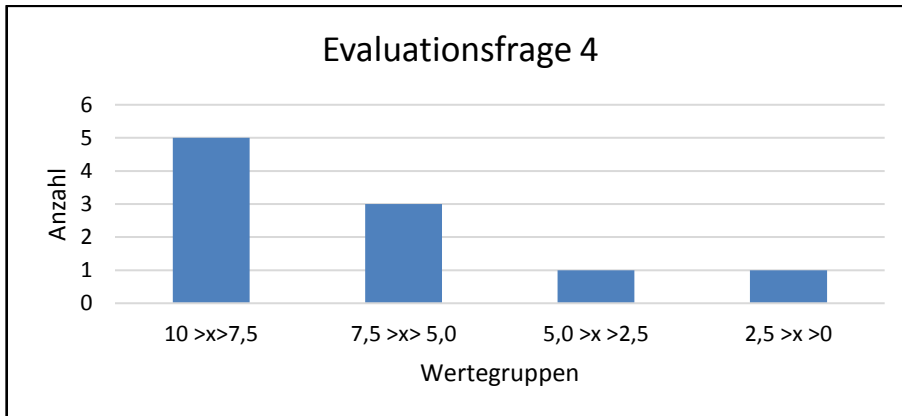
Frage 2: Wie praktikabel finden Sie den Referenzprozess zur Abbildung der logistischen Prozesse in KMU der Unikat- und Kleinserienfertigung?



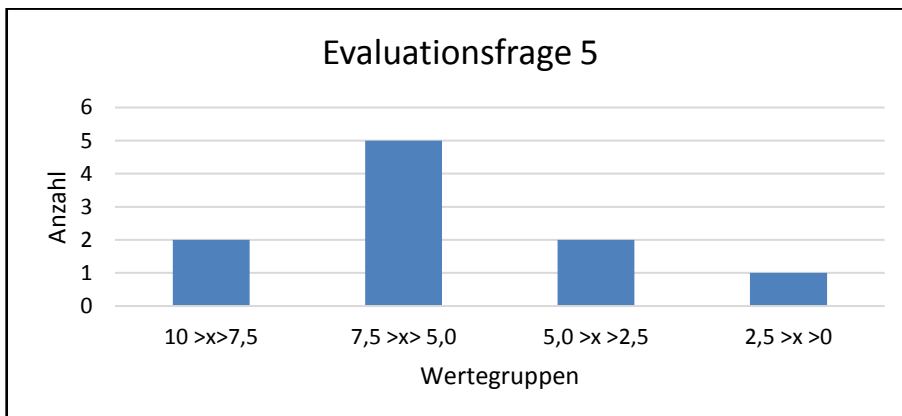
Frage 3: Ist aus Ihrer Sicht das Ishikawa-Diagramm vollständig?



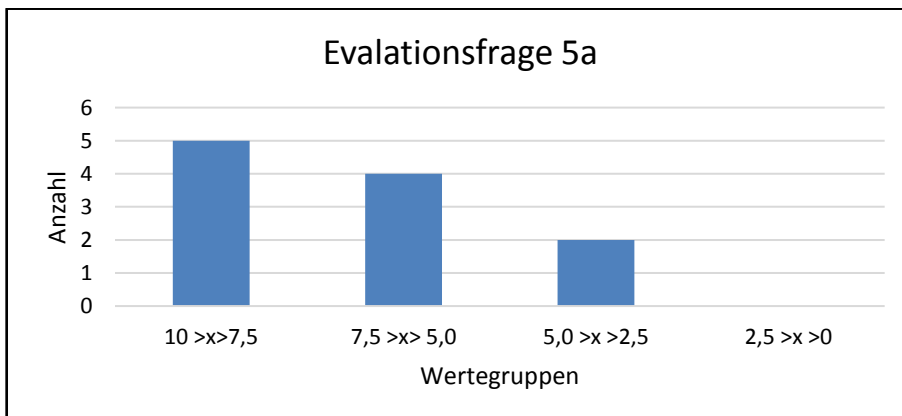
Frage 4: Wie bewerten Sie die Hilfestellung, dass die Dauer logistischer Prozesse automatisch berechnet wird?



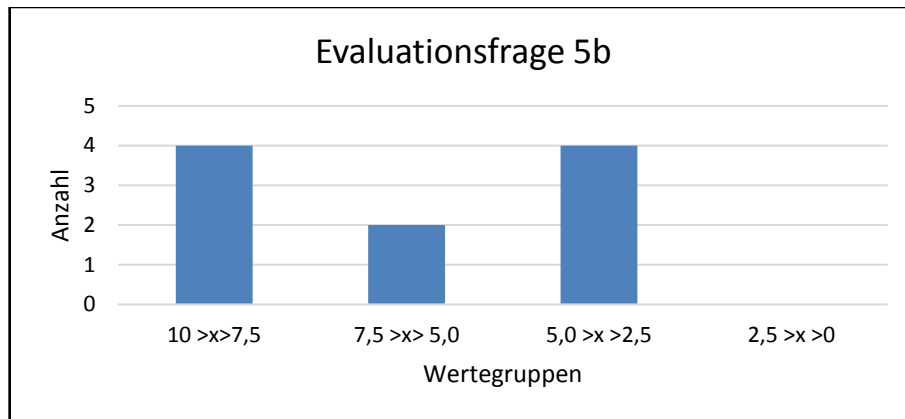
Frage 5: Wie bewerten Sie die Hilfestellung, dass die Dauer logistischer Prozesse über SimCast-Berechnungsregeln unter Berücksichtigung der ermittelten Einflussparameter abgesichert wird? (Teil 1 des Demonstrators)



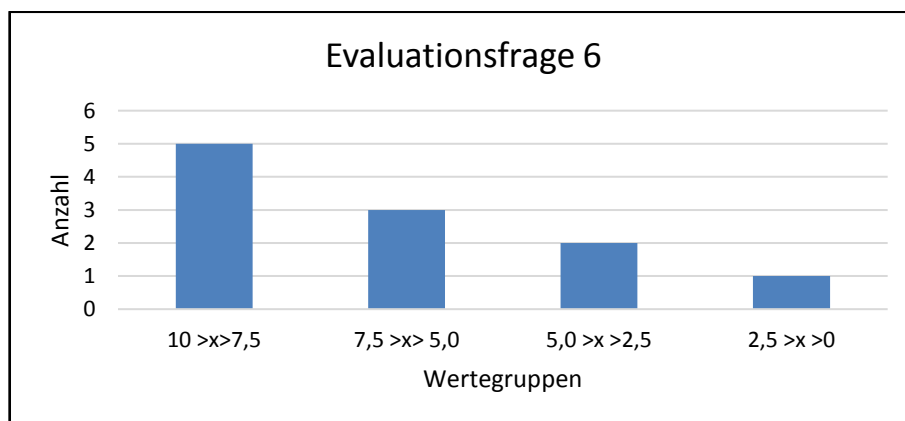
Frage 5a: Ist das dargestellte Ergebnis transparent und nachvollziehbar?



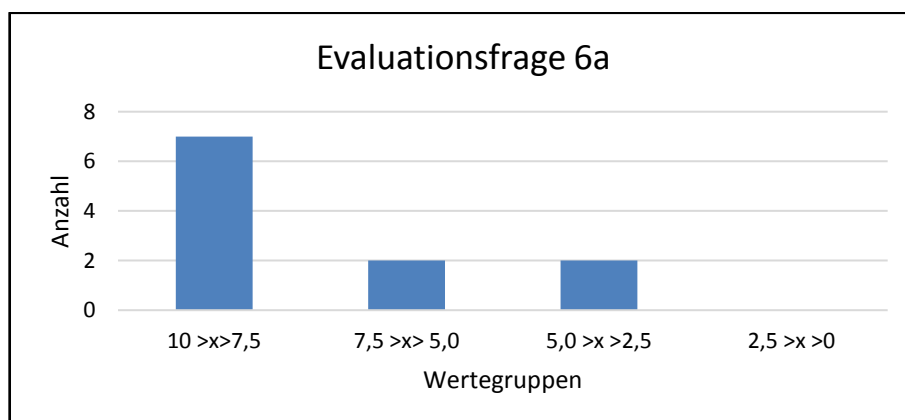
Frage 5b: Wie beurteilen Sie die Darstellung der Ergebnisse in Teil 1?



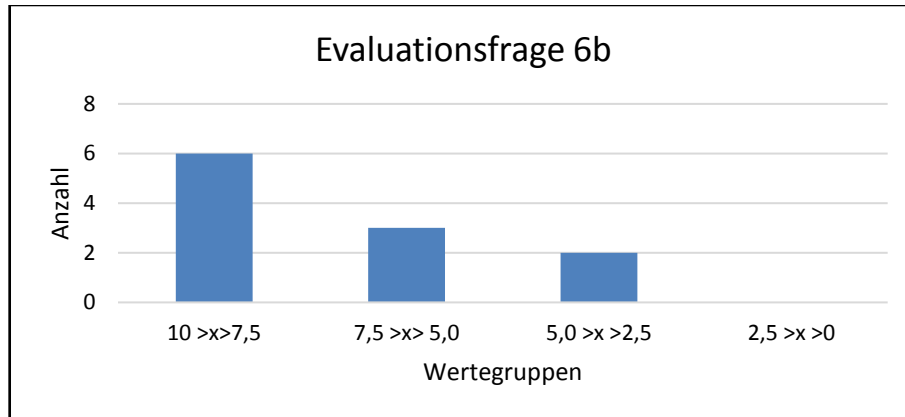
Frage 6: Wie bewerten Sie die Hilfestellung, dass die Dauer logistischer Prozesse über eine Datenanalyse unter Einbeziehung historischer Projektdaten abgesichert wird? (Teil 2 des Demonstrators)



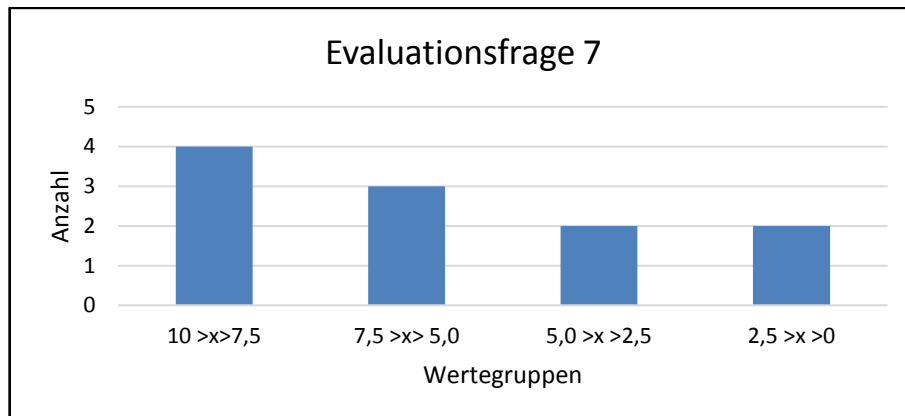
Frage 6a: Ist das dargestellte Ergebnis transparent und nachvollziehbar?



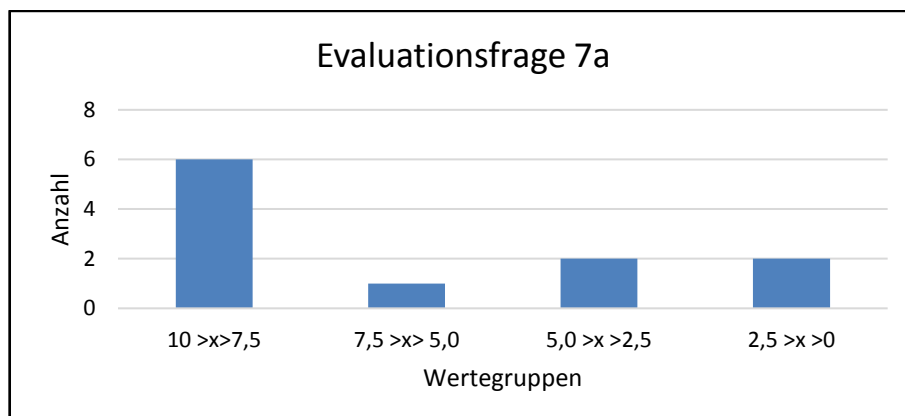
Frage 6b: Wie beurteilen Sie die visuelle Darstellung der Analyseergebnisse?



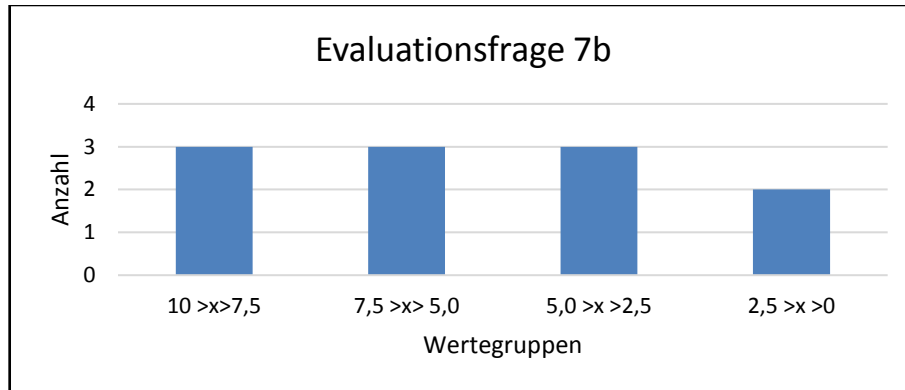
Frage 7: Wie bewerten Sie die Hilfestellung, dass die Dauer logistischer Prozesse über eine Simulation abgesichert wird?



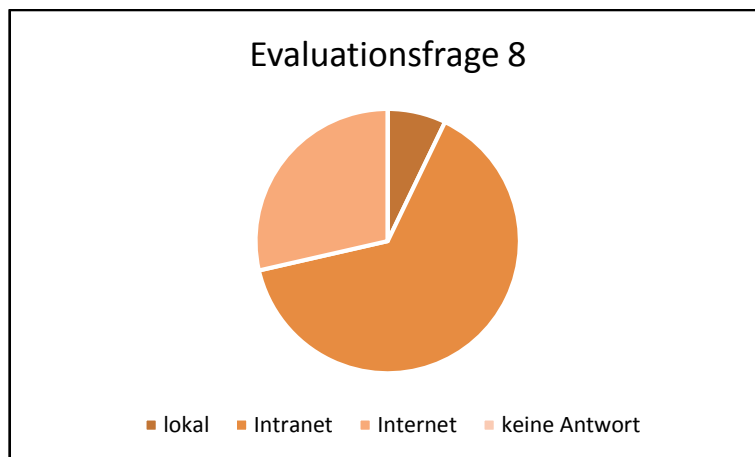
Frage 7a: Ist das dargestellte Ergebnis transparent und nachvollziehbar?



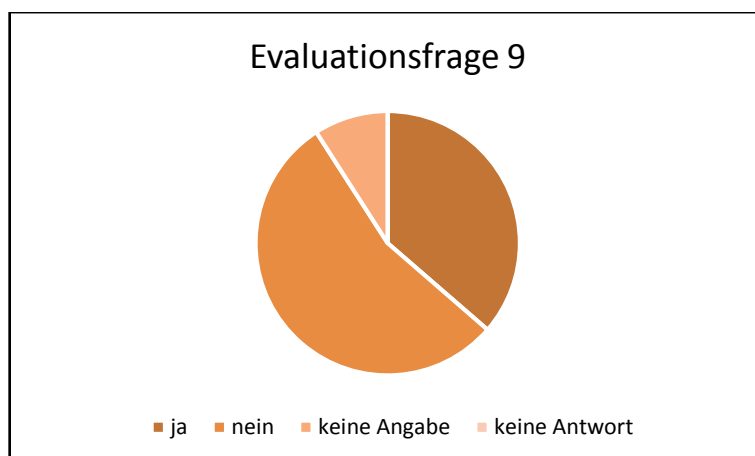
Frage 7b: Wie beurteilen Sie die Darstellung der Simulationsergebnisse?



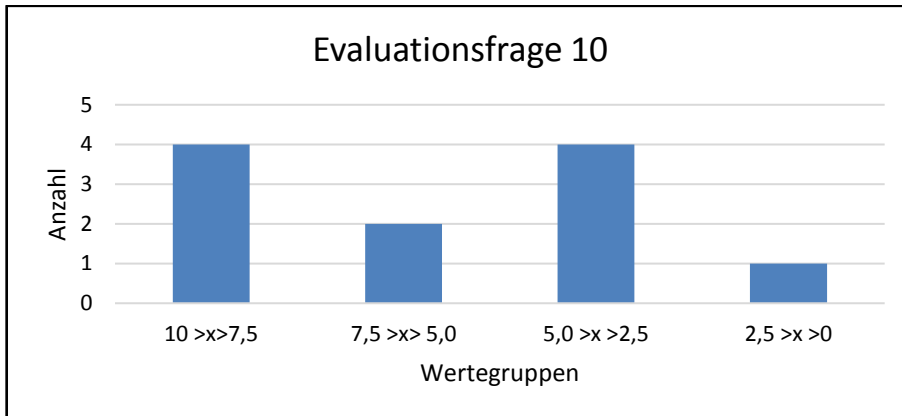
Frage 8: Welche Nutzungsform der Wissensbasis (Ontologie) würden Sie bevorzugen?



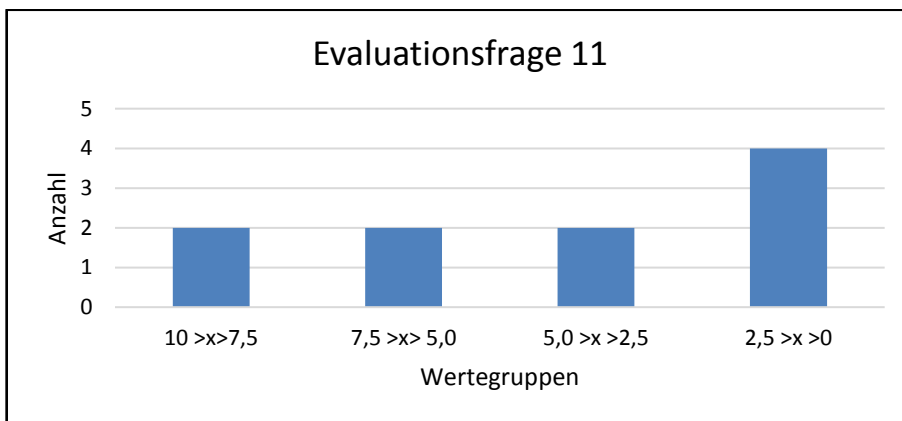
Frage 9: Können Sie sich vorstellen, das Know-how zum Customizing der unternehmensspezifischen Ontologie anzueignen und anzuwenden?



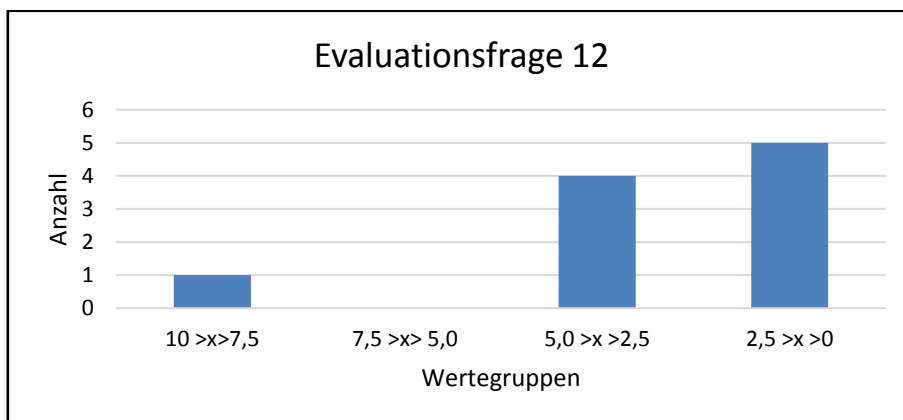
Frage 10: Wie hoch schätzen Sie die Bedienfreundlichkeit des entwickelten Demonstrators ein?



Frage 11: Können Sie sich vorstellen, diese Vorgehensweise anzuwenden, wenn Ihnen eine entsprechende Anwendungssoftware zur Verfügung steht?



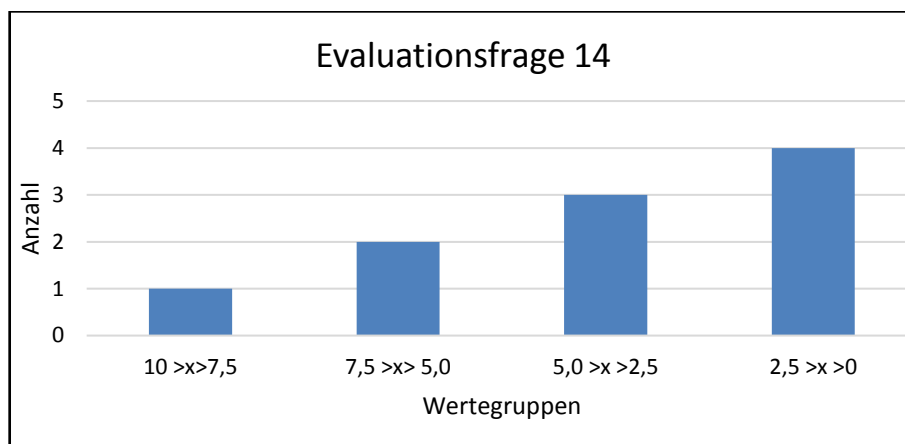
Frage 12: Wie wahrscheinlich ist es, dass Sie die Vorgehensweise umsetzen?



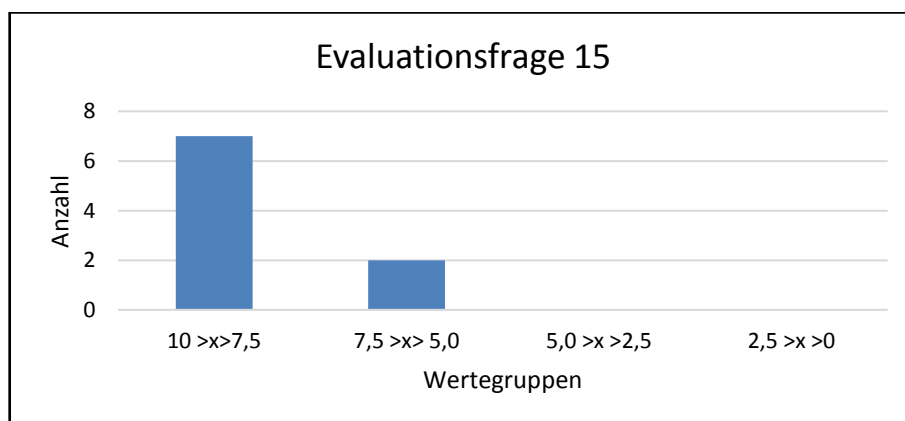
Frage 13: Welche Umsetzungshürden können Sie in Ihrem Unternehmen identifizieren?

- Akzeptanz der Mitarbeiter
- keine Kapazität
- Schulung nötig; entsprechende Anwendungsfälle müssen vorhanden sein
- Datenimport und Datenexport am bestehenden ERP-System und MES Zeiterfassung
- Datenpflege; Zeitaufwand
- Der Aufwand steht für unsere kleinteiligen Logistikprozesse in keinem Verhältnis zu dem erwartbaren Nutzen. Der Anteil an Logistikprozessen ist verglichen mit anderen Prozessen wie Konstruktion, Fertigung und Montage verschwindend gering
- IT-Abhängigkeit; Programmwissen: Simio®/MS Project
- IT-Qualität; Kosten/Nutzen; Mensch selber
- Anwenderfreundlichkeit
- mittelständisches Denken; Angst vor Veränderung; etwas Neues muss erst überzeugen
- Return on Investment (ROI)

Frage 14: Wie hoch schätzen Sie den erwarteten Mehrwert für Ihr Unternehmen ein, wenn Sie Projekte unter Berücksichtigung von SimCast-Berechnungen planen würden?



Frage 15: Wie gut war nach Ihrem Empfinden der Projektverlauf insgesamt?



Frage 16: Was hat Ihnen am Projektverlauf besonders gut gefallen?

- Der Blick von Außenstehenden auf interne Prozesse; Anregungen für Verbesserungen
- Einbeziehung der Partner; Vorstellung des Ergebnisses
- Informationsfluss bzw. Verlauf in Form von Mails bzw. persönlich nachvollziehbares Ergebnis; gutes Projektteam
- Involvierung von Unternehmen
- strukturiertes Vorgehen; Austausch mit verschiedenen Unternehmen

Frage 17: Was hat Ihnen am Projektverlauf weniger gut gefallen?

- sinnvolle Anwendungsmöglichkeiten im Unternehmen
- Termine rechtzeitiger Bescheid geben; Termine über Teamviewer®
- Ergebnis ist alles in allem doch eher theoretisch geblieben; das prototypische „Deployment“ zu/mit einem der Anwendungspartner wäre (im Rückblick) wünschenswert gewesen.

Frage 18: Welche Hinweise haben Sie aus Sicht eines PA-Mitglieds für zukünftige Forschungsprojekte?

- Praxistauglichkeit beachten
- Programme vereinfachen; weniger verschiedene Programme
- Datenflüsse; Ist Demonstrator auch auf andere Bereiche anwendbar?
→ Montageplanung, Entwicklung
- KMU ist nicht gleich KMU, genauer definieren